ISSN 1978-0176

PROSIDING
Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir

Peningkatan Profesionalitas SDM dan Riset Iptek Nuklir dalam Mewujudkan SDM Nuklir Unggul

Yogyakarta, 25 Agustus 2016

SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
YOGYAKARTA

ISSN 1978-0176

PROSIDING
Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir

Peningkatan Profesionalitas SDM dan Riset Iptek Nuklir dalam Mewujudkan SDM Nuklir Unggul

Yogyakarta, 25 Agustus 2016

SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
YOGYAKARTA

Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir

Peningkatan Profesionalitas SDM dan Riset Iptek Nuklir dalam Mewujudkan SDM Nuklir Unggul

Kamis 25 Agustus 2016,
Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta

Hak Cipta © 2016 Pada Penulis

ISSN 1978-0176

Hak publikasi pada Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

ISSN 1978-0176

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat kami susun dan terbitkan sebuah prosiding hasil Seminar Nasional XII SDM Teknologi Nuklir yang telah diselenggarakan pada tanggal 25 Agustus 2016 oleh Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional.

Tema pada pelaksanaan seminar tahun ini adalah "**Peningkatan Profesionalitas SDM dan Riset Iptek Nuklir dalam Mewujudkan SDM Nuklir Unggul**" yang didasarkan pada pertimbangan semakin mendesaknya permasalahan ekonomi dan persaingan sumber daya manusia tingkat regional yang dihadapi oleh Indonesia dewasa ini. Di Era Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) saat ini, arus perpindahan barang dan jasa antar negara di Asia Tenggara akan berjalan tanpa hambatan. Oleh karena itu, salah satu aspek penting yang perlu disiapkan oleh bangsa ini adalah SDM yang kompeten dan unggul. Pelaksanaan forum ilmiah ini sangat diharapkan menjadi salah satu upaya untuk mengkaji peran profesionalitas SDM dan Riset Iptek Nuklir dalam peningkatan aplikasi teknologi nuklir yang unggul dan berkelanjutan.

Prosiding Seminar Nasional XII SDM Teknologi Nuklir Tahun 2016 ini terdapat 55 makalah berasal dari berbagai satuan pusat kerja di BATAN, LIPI, UGM dan Universitas Muhamadiyah Purwokerto yang terdistribusi dalam berbagai bidang penelitian dan kajian yaitu bidang SDM teknologi nuklir dan sains, bidang Fisika dan Instrumentasi, bidang Keselamatan dan Lingkungan, bidang Kimia dan Proses, dan bidang teknologi reaktor. Makalah yang terpilih untuk diterbitkan di jurnal nasional terakreditasi LIPI yaitu Jurnal Hasil Penelitian Industri (HPI) dengan Nomor Akreditasi 630/AU2/P2MI-LIPI/03/2015 berjumlah satu dan Jurnal Forum Nuklir berjumlah lima makalah. Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada para pembicara utama, mitra bestari, para peserta seminar, dan segenap panitia dari STTN-BATAN atas terselenggaranya seminar dan terbitnya prosiding ini.

Penyusunan dan proses pengeditan prosiding ini telah dilakukan dalam waktu sekitar tiga setengah bulan semenjak tanggal pelaksanaan seminar, namun demikian kami menyadari masih terdapat kekurangan dan kelemahan dalam penyusunan prosiding ini. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan kami terima sebagai bahan evaluasi dalam penyusunan prosiding pada seminar yang akan datang.

Yogyakarta, Januari 2017

Panitia Seminar Nasional XII

SDMTN 2016

ISSN 1978-0176

SUSUNAN PANITIA PELAKSANA
SEMINAR NASIONAL SDM TEKNOLOGI NUKLIR XI
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR - BATAN
TAHUN 2016

Penanggung Jawab Program	: Ir. Noor Anis Kundari, M.T.
Ketua	: Dr. Deni Swantomo, M.Eng.
Wakil Ketua	: Dr. Muhtadan, M.Eng.
Sekretaris	: Kartini Megasari, M.Eng.
Wakil Sekretaris	: Ardhani Dyah K., S.ST.
Bendahara	: Royan Novi Amar, SE
Acara dan Persidangan	: Joko Sunardi, M.Kom* Toto Trikasjono,M.Kes. Suprapto, ST Ahmad Bustanul AD. Gea Fitria
Kesekretariatan	: Dhani Aditya Adli Muhaimin Bilqis Latifa Nanik Setyowati
Publikasi dan Sponsor	: Budi Suhendro, SST. Sabilul Falah Ir. Surakhman Siti Patimah Nasution
Penerimaan Makalah dan Penerbitan Prosiding:	Dr. Eng Sutanto, M.Eng. * Haries Handoyo, SST Maria CHP., M.Eng. Naufal AS. Irianto RF. Alfiyatur R. Sinta EO.
Akomodasi dan Perlengkapan	: Agus Purwanto * Bayu Setiawan, SE Wijanarko Thera Sahara
Konsumsi	: Sri Rahayu Bukit Indah Rahayu, A.Ma
Dokumentasi/Dekorasi	Taurina EK., S.,ST Afrizal A.
Pembantu Umum	Rujito Wagimin
Sie K3	Rizky DF. Anisa NS.

ISSN 1978-0176

TIM REVIEWER
SEMINAR NASIONAL SDM TEKNOLOGI NUKLIR XI
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
TAHUN 2016

1. Prof. Ir. Sunarno, M.Eng. Ph.D (UGM)
2. Prof. Dr. Sigit (BATAN)
3. Prof. Dr. Agus Taftazani (BATAN)
4. Prof. Ir. Syarip (BATAN)
5. Dr. Muh. Dani Supardan
6. Dr.rer. nat. Ir. As Natio Lasman (BBPT)
7. Dr. Anwar Budianto, DEA. (STTN-BATAN)
8. Dr. Ir Aliq, MT (STTN-BATAN)
9. Ir. Zaenal Abidin, M.Kes (STTN-BATAN)
10. Sugili Putra, ST, M.Sc (STTN-BATAN)
11. Ir. Giyatmi, M.Si (STTN-BATAN)
12. Ir. Dwi Priyantoro, M.Si (STTN-BATAN)
13. Toto Trikasjono,ST,M.Kes.(STTN-BATAN)
14. Ir. Noor Anis Kundari, MT. (STTN-BATAN)
15. Drs. Supriyono, M.Sc. (STTN-BATAN)
16. Ir. Djiwo Harsono, M.Eng. (STTN-BATAN)
17. Maria Christina Prihatiningsih, SST, M.Eng. (STTN-BATAN)
18. Dr. Eng. Sutanto, M.Eng. (STTN-BATAN)
19. Dr. Deni Swantomo, M.Eng. (STTN-BATAN)
20. Dr. Asril Pramutadi Mustari (ITB)
21. Dr. Muhtadan, M.Eng. (STTN-BATAN)
22. Edy Giri Rachman Putra, PhD. (STTN-BATAN)

ISSN 1978-0176

LEMBAR PERNYATAAN

Kami selaku panitia pelaksana Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir tahun 2016, dengan ini menyatakan bahwa seluruh makalah yang terdapat dalam prosiding ini telah diseleksi oleh reviewer dan telah diseminarkan pada tanggal 25 Agustus 2016 bertempat di Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Yogyakarta.

Yogyakarta, 20 Januari 2017

Panitia

ISSN 1978-0176

DAFTAR ISI

Halaman Sampul i

Kata Pengantar iii

Susunan Panitia Seminar SDMTN 2016 iv

Tim Reviewer Seminar SDMTN 2016 v

Lembar Pernyataan vi

Daftar Isi vii

PENINGKATAN PROFESIONALITAS SDM UNTUK MEWUJUDKAN IPTEK NUKLIR UNGGUL 1
Djarot S. Wisnubroto

SISTEM PENGENMBANGAN SERTIFIKASI KOMPETENSI KERJA SDM INDONESIA 13
Bachtiar Siradjuddin

INTERNATIONALISATION IN NUCLEAR EDUCATION AND NUCLEAR HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT 27
Herma Buttner

UPAYA PENINGKATAN KOMPETENSI PEGAWAI TU BATAN MELALUI DIKLAT ADMINISTRASI PERKANTORAN 49
Nata Wijaya, Rhisa Azaliah

ANALISIS PENGGUNAAN MENU SITASI ARTIKEL UNTUK PELAPORAN PUBLIKASI ILMIAH DAN SITASI ARTIKEL DI BATAN 57
Noer'Aida1, Susana, Harini Wahyuningrum

ANALISIS PENILAIAN MANDIRI PELAKSANAAN REFORMASI BIROKRASI DI BATAN 67
Harini Wahyuningrum1, Falikul Fikri1, Tanti Susanti

ANALISIS KOMPETENSI PEGAWAI BIRO PERENCANAAN DALAM MEMBERIKAN LAYANAN PELANGGAN DI BATAN 77
Harini Wahyuningrum, Budi Santoso

UJI STATISTIK KORELASI ANTARA JALUR PENDAFTARAN MAHASISWA ELEKTROMEKANIK TERHADAP INDEKS PRESTASI KUMULATIF TAHUN PERTAMA 2012-2014 STTN BATAN 85

Fatin Yuniarti, Dwi Priyantoro, Praptana

PENINGKATAN KUALITAS SUMBER DAYA MANUSIA DALAM PENGELOLAAN PENERIMAAN NEGARA BUKAN PAJAK DI BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL (STUDI KASUS PAIR) 91
Maulida Mitayani, Ani Syamsi

MANAJEMEN BAHAYA KEBAKARAN DAN LEDAKAN DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR 99
Moch. Romli

STRATEGI PENINGKATAN KAPASITAS STTN BATAN UNTUK MENDUKUNG PENYELENGGARAAN PENDIDIKAN TINGGI NASIONAL 105
Ani Syamsi, Budi Santoso

RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI KEPEGAWAIAN BERBASIS WEB PADA PUSAT INOVASI LIPI 113
Karno

STRATEGI KOMUNIKASI DALAM SOSIALISASI PENGEMBANGAN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL DAN IRADIATOR PADA MASYARAKAT SEKITAR KAWASAN NUKLIR SERPONG 121
I.Aeni Muharromah

PENGUATAN POSISI DAN DAN PERAN PETUGAS PROTEKSI RADIASI DALAM PELAYANAN KESEHATAN 129
Eri Hiswara

PEMANFAATAN LIMBAH CAIR PABRIK SUSU UNTUK MENINGKATKAN KANDUNGAN PROTEIN DAN ZAT BESI DALAM TUBUH IKAN 135
Widya Pangestika1, Sugili Putra1, Yuda Bondan Suratna2

PERAN BATAN DALAM PENYEDIAAN SDM TAHAP PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN PLTN PERTAMA DI INDONESIA 143
Moch. Djoko Birmano

KOMPETENSI UNTUK PENINGKATAN PROFESIONALISME SDM BATAN 151
Endang Kristuti, Tyn Isprianto

POSISI ALUMNI STTN DALAM MENYONGSONG KEHADIRAN PLTN DI ERA PRESIDEN JOKOWI 163
Supriyono

PENENTUAN KETEBALAN OPTIMUM KOLIMATOR DAN BODI KOLIMATOR RENOGRAF DENGAN MCNP6 173
Kasmudin, Sanda

ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR SUMBER COBALT60 200 kCi DI ATAS KOLAM IRADIATOR GAMMA MENGGUNAKAN KODE KOMPUTER FLUENT 183
Sanda

STABILITAS LUARAN BERKAS RADIASI COBALT-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION 193
Assef Firnando Firmansyah, C. Tuti Budiantari, Gatot Wurdiyanto dan Nurman R.

VERIFIKASI PENENTUAN LUARAN PESAWAT PEMERCEPAT LINIER TRILOGY 201
Sri Inang Sunaryati, Assef Firnando Firmansyah, Gatot Wurdiyanto, Nurman Rajagukguk

PENENTUAN FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL PADA POSISI ELEMEN BAKAR TERAS 90 RSG GAS 209
Elisabeth Ratnawati, Sutrisno, Jaka Iman

TINJAUAN EFISIENSI SISTEM PENYEDIA AIR DINGIN PADA VENTILASI ZONA RADIASI RENDAH RSG-GAS 215
Kiswanto, Nugraha Luhur

VERIFIKASI PENGUKURAN ARUS DETEKTOR JKT 03 REAKTOR RSG-G.A SIWABESSY 225
Sutrisno, A. Mariatmo, Elisabeth Ratnawati, Hari Prijanto

KARAKTERISTIK BERKAS RADIASI Co-60 PESAWAT TELETERAPI GWXJ80 233
Fendinugroho, Assef Firnando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati, Nurman R dan Gatot Wurdiyanto

PERANCANGAN REAKTOR BATCH UNTUK PEMISAHAN PERAK DARI LARUTAN BEKAS PENCUCIAN FILM RADIOGRAFI 241
Salman Yasir Fakhry Putra, Noor Anis Kundari, Kris Tri Basuki

RANCANG BANGUN PAPAN INFORMASI REAL TIME STATUS OPERASI DAN DAYA REAKTOR KARTINI SECARA NIRKABEL 249
Hendyka Ovie Arista, Adi Abimanyu, Muhtadan

IDENTIFIKASI TINGKAT RADIASI GAMMA DI LINGKUNGAN SEKITAR REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY 257
Unggul Hartoyo, Suhadi, Subiharto, Nugraha Luhur

PENGARUH IMPLANTASI ION NITROGEN TERHADAP KEKERASAN CLADDING MATERIAL BAHAN BAKAR REAKTOR RISET AlMgSi 265
Satrio Pradana, Dwi Priyantoro, Tjipto Sujitno

RANCANG BANGUN MODUL MONITORING RADIASI PADA SISTEM DETEKSI DAN PENCARIAN SUMBER RADIASI 271
Radhia Pradana, Adi Abimanyu, Sudiono

ISSN 1978-0176

KAJIAN PENGUKURAN LAJU DOSIS BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DI INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS 277
Dyah Sulistyani Rahayu

STUDI ALIRAN UAP PANASBUMI DI DALAM PIPA MENGGUNAKAN MODEL DISPERSI AKSIAL 285
Sugiharto

KOMPONEN BIAYA BAHAN BAKAR NUKLIR PADA BIAYA PEMBANGKITAN LISTRIK PLTN BESAR DAN KECIL 295
Mochamad Nasrullah

SISTEM AKUISISI DATA UNTUK PENGUKURAN VARIABEL PROSES PELARUTAN SERBUK YELLOW CAKE MENJADI URANIL NITRAT DI INSTALASI PEMURNIAN DAN KONVERSI 303
Sugeng Rianto, Triarjo, Meniek Rachmawati, Anwar

OPTIMASI WAKTU PADA PROSES PEMBENTUKAN LAPISAN TIPIS PERMUKAAN BUSH RANTAI DENGAN metode PLASMA dari CAMPURAN GAS HELIUM METANA TEKANAN 1,6 mBar 311
Bangun Pribadi, Tjipto Sujitno, Dwi Priyantoro, Anang Dwi Prasojo

MENYIAPKAN RISET DAN PENGEMBANGAN SISTEM TRANPORT MATERIAL BERBASIS MAGLEV 317
Aliq Zuhdi ,Timoteus Setyo Rahmadi, Arbi Dimyati

ANALISIS UNSUR-UNSUR PENGOTOR DALAM SERBUK U-Zr-Hx, DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM 325
Asminar,Yanlinastuti, Slamet Pribadi

PEMBUATAN SERBUK PADUAN U-35ZrHx U-45ZrHx U-55ZrHx DENGAN PROSES HYDRIDING 333
Suyoto, Yatno Dwi Agus Susanto

PENGUJIAN UREA LEPAS TERKENDALI (CRF) PADA TANAH GAMBUT KALIMANTAN TERHADAP PRODUKTIVITAS PADA VARIETAS SIDENUK 339
Ummu Azisah Hasibuan, Wijiyono

PEMUNGUTAN PERAK DARI LARUTAN FIXER PENCUCI FILM RADIOGRAFI BERBASIS REAKSI PERTUKARAN 347
Pandu Dwi Cahya Perkasa, Noor Anis Kundari, Sugili Putra

EVALUASI BEBAN BUSBAR BNA/BNB/BNC YANG DICATU OLEH GENSET BRV10/20/30 RSG GA. SIWABESSY 355
Koes Indrakoesoema, Yayan Andriyanto

PENGEMBANGAN POLIETILENA OKSIDA-POLIETILENA GLIKOL DIMETAKRILAT HIDROGEL FILM UNTUK APLIKASI PEMBALUT LUKA MELALUI IRADIASI ELEKTRON BEAM 365
Haryanto, Nunuk Aries N.

IMPLEMENTASI FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) PADA PERAWATAN TUNGKU REDUKSI ME-11 UNTUK PEMROSESAN GAGALAN PELET SINTER UO2 371
Triarjo, Sugeng Rianto, Meniek Rachmawati

RADIOGRAFI Co-60 MENGUJI BEARING HOUSING 379
Djoli Soembogo

RADIOGRAFI SINAR-X MENGUJI HUB AIR DEFLECTOR 385
Djoli Soembogo, Harun Al Rasyid R, Namad Sianta

PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA PARAMETER PROSES REAKTOR KARTINI BERBASIS SIMULASI MENGGUNAKAN SUPER PLC T100MD-2424 391
Lolika Dia Amora, Adi Abimanyu, Muhtadan

SISTEM KENDALI GENERATOR INDUKSI MENGGUNAKAN ARDUINO 399
Agus Purbhadi, Budi Suhendro, Abdul Khanan

RANCANG BANGUN GENERATOR INDUKSI 1 FASA MENGGUNAKAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 409
Ignatius Agus Purbhadi, Suyatno, Ahsanu Qoulan

APLIKASI ISOTOP ALAM SEBAGAI STUDI INTERKONEKSI HIDRAULIK DANAU LIDO DENGAN AIR TANAH SEKITARNYA 417
Dessy Purbandari

PENENTUAN SPHERICITY DAN DISTRIBUSI INTENSITAS BERKAS ELEKTRON DARI SUMBER ELEKTRON TIPE PIERCE BERBASIS MATLAB 423
Achmad Ramadhani, Darsono, Anwar Budianto, Suhartono

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGUKURAN PARAMETER TERMOHIDROLIKA BERBASIS LABVIEW PADA UNTAI FASSIP 435
Sumantri Hatmoko, Sudarno, Djiwo Harsono

ANALISIS UNSUR PADA LUMPUR ENDAPAN PENAMPUNG LIMBAH CAIR KOLAM DRAINASE RSG-GAS 443
Nugraha Luhur, Rohidi, Mashudi

RANCANG BANGUN ALAT MONITOR KADAR KARBON DIOKSIDA DI PERMUKAAN TROPOSFER BERBASIS ANDROID 451
Fauzy Fatahillah, Ginaldi Ari Nugroho, Nugroho Tri Sayoto

RANCANG BANGUN MECHANIC CUTTING BERBASIS ARDUINO DENGAN TIGA DERAJAT KEBEBASAN 459
Aryanda Lukmana, Suroso, Nugroho Tri Sanyoto

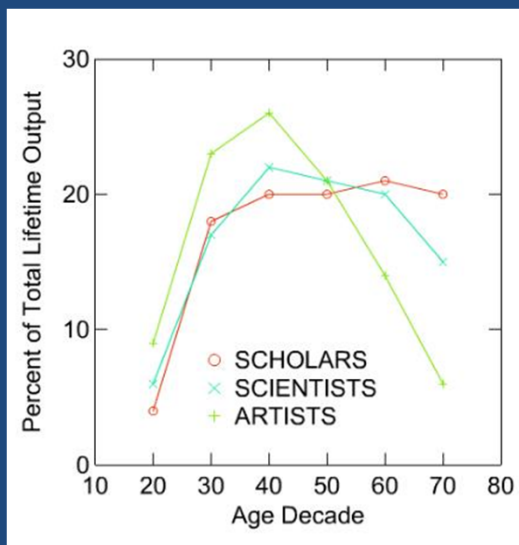
MODIFIKASI SISTEM KENDALI SIMULATOR LENGAN ROBOT PEMINDAH BARANG MENJADI SISTEM KENDALI BERBASIS ARDUINO 467
Yadi Yunus, Dayu Dymas Ilham Perkasa, Budi Suhendro

ISSN 1978-0176

PENINGKATAN PROFESIONALITAS SDM UNTUK MEWUJUDKAN IPTEK NUKLIR UNGGUL

Djarot S. Wisnubroto
Badan Tenaga Nuklir Nasional

batan



www.batan.go.id

ISSN 1978-0176

PERKEMBANGAN SDM NUKLIR INDONESIA

- Sejarah Iptek Nuklir bermula dari visi Bung Karno terhadap Energi Atom.
- 1950an: pengiriman sarjana Indonesia untuk mengambil gelas S2 dan S3 di luar negeri → membangun reaktor riset Bandung dan reaktor Yogyakarta.
- 1970an: beberapa jurusan di ITB, UGM, dan UI memberikan pelajaran tentang radiasi dan nuklir.
- 1980an: saat pembangunan Reaktor Serpong, dikirim karyasiswa ke berbagai negara.
- Berdirinya PATN (1985) dan kemudian menjadi STTN (2001).

www.batan.go.id

Tantangan Program SDM Nuklir

- Tidak ada program besar dalam 25 tahun terakhir → demotivasi dan penurunan kompetensi
- Penuaan SDM →kekurangan SDM & sebagian tak mau keluar dari *comfort zone*
- Anggaran yang terbatas → penuaan fasilitas
- "Monopoli" Nuklir BATAN → tak ada kompetisi & sulit meyakinkan pemangku kepentingan karena terlalu BATAN sentris

ISSN 1978-0176

Solusi 1: Ciptakan Program Unggulan BATAN

- Pembangunan Iradiator Gamma Merah Putih
- Program Taman Sains dan Tekno
- Pembangunan RDE
- Revitalisasi Reaktor Bandung
- dll

50 TAHUN REAKTOR TRIGA BANDUNG MENGABDI

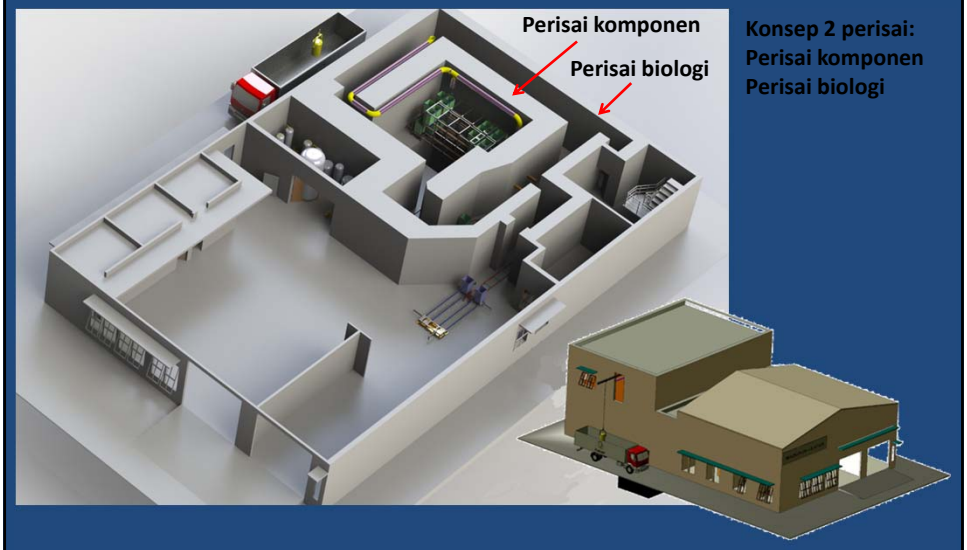




www.batan.go.id

ISSN 1978-0176

PEMBANGUNAN IRADIATOR GAMMA



Konsep 2 perisai:
Perisai komponen
Perisai biologi

PILOT PLANT PRODUKSI LOGAM TANAH JARANG (LTJ) Muntok Bangka Barat



Pilot Plant LTJ Hidroksida



Produk LTJ Hidroksida

Pilot Plant LTJ hidroksida dari monasit dengan kapasitas 50 kg monasit per hari telah berdiri dan komisioning pada Juli 2015

ISSN 1978-0176

PROGRAM REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL



PENDAYAGUNAAN IPTEK NUKLIR







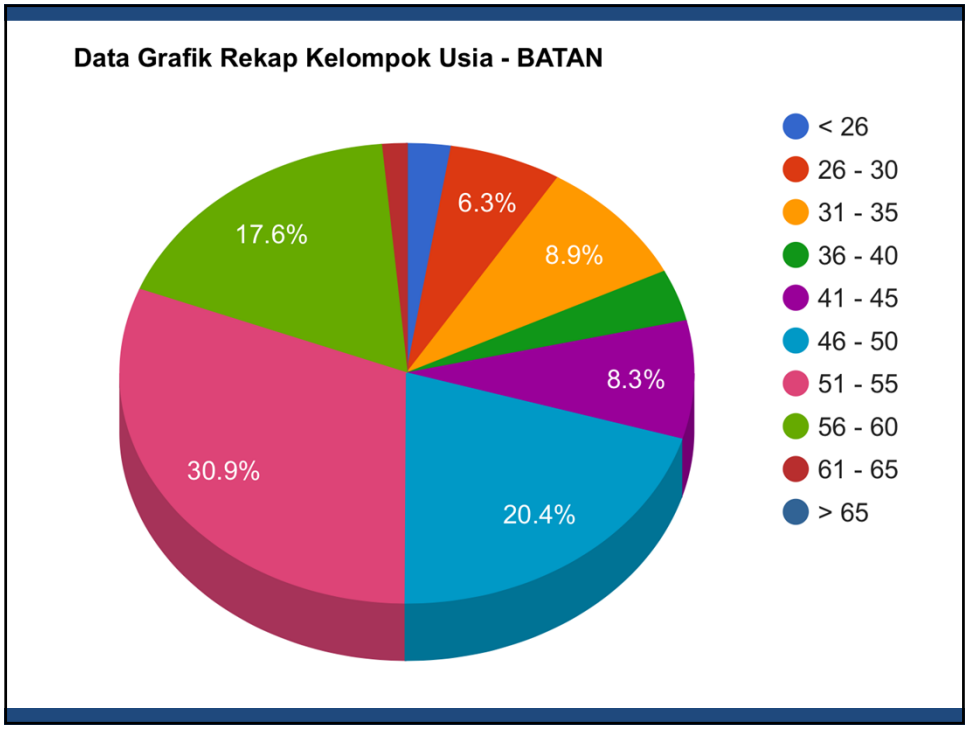
ISSN 1978-0176

Visi: "BATAN unggul di tingkat regional, berperan dalam percepatan kesejahteraan menuju kemandirian bangsa"

Kondisi SDM (25/8/16):

- Usia rata-rata SDM : 47 thn, 11 bln, 22 hari
- Jumlah SDM : 2722 pegawai
- Sd 2019 berkurang : ~ 600 peg. (puncak di 2018)
- Contoh kondisi PSTA : 44,15% usia 56-65 thn
- Usia 45 thn ke bawah : 30,7 %
- Fungsional tertentu : 40,0%

www.batan.go.id

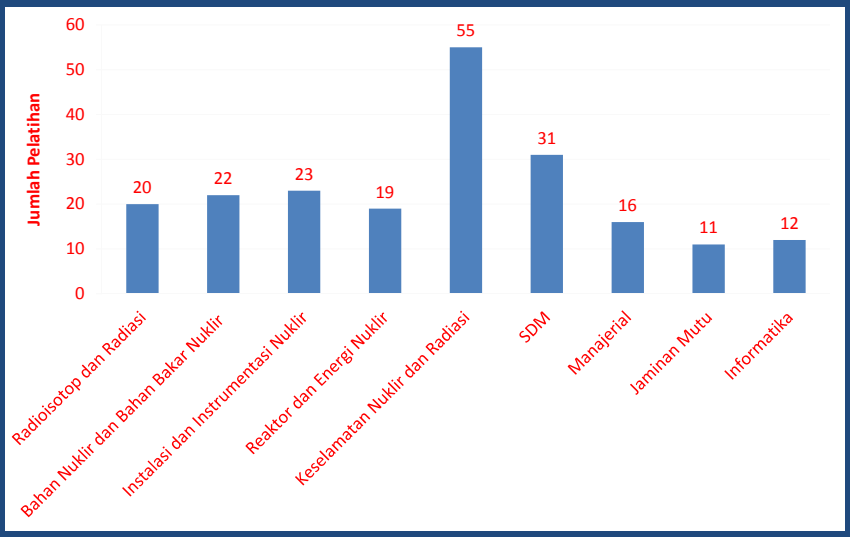


ISSN 1978-0176

Solusi 2: Menghadapi penuaan pegawai

- Lolos butuh selektif
- Kerjasama dengan perguruan tinggi → berefek ganda: berkembangnya komunitas nuklir dan mengisi kekosongan tenaga peneliti.
- Pegawai non PNS: PPPK (?) & out sourcing
- Optimalkan PNS yang ada: multi-tasking, opsi pemutihan pranata nuklir, usulkan jabatan fungsional tertentu baru.

Jumlah Pelatihan Kenukliran Pusdiklat BATAN 2010-2015



ISSN 1978-0176

Lembaga Pendidikan Kenukliran

Faculty	Subject	UGM (S1)	UI (S1)	ITB (S1)	STTN (D4)
Engineering	Nuclear Eng.	40	0	0	0
	Physic Eng.	93	0	100	0
	Electrical Eng.	103	80	150	0
	Chemical Eng.	115	80	271	0
	Mechanical Eng.	119	80	155	0
	Electronic & Mechanics	0	0	0	34
	Elektronic and Instrumentation	0	0	0	31
	Nuclear and Tecnochemical	0	0	0	37
Natural Science	Physic	75	90	227	0
	Chemistry	179	70		0
Specialization		Nuclear Eng: Teknology, safety, and Medical Physic	Nuclear Physic and Particle	Nuclear Physic	Reactor Technology

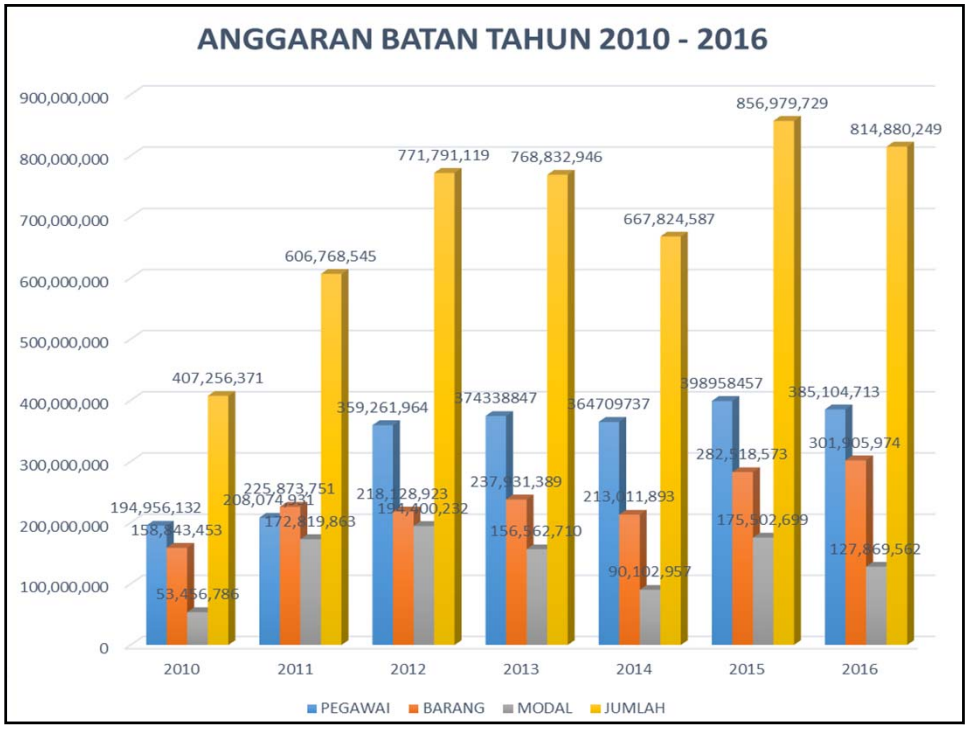
Deendarlianto, French-Indonesia Joint Seminar, Serpong, 12-13 October 2015

Situasi Fasilitas Nuklir BATAN

- Puncak pembangunan: 1965, 1978, 1987
- Berkonsekuensi *ageing* (~50thn, ~40thn, 30thn)
- DIPA BATAN fluktuatif, meskipun cenderung naik, tetapi tak sebanding dengan proses penuaan fasilitas.
- DIPA 2016, porsi Gaji 47%, sementara litbang 10,66%.

www.batan.go.id

ISSN 1978-0176



Solusi 3: Menghadapi Keterbatasan Anggaran

- Manfaatkan fasilitas nuklir yang ada secara maksimal, terutama 3 reaktor riset (*masih underutilized*)
- Tonjolkan litbang yang berbiaya rendah yang segera bisa dimanfaatkan masyarakat → misalnya pertanian.
- Kerjasama dalam dan luar negeri.

ISSN 1978-0176

Solusi 4: Mengurangi "monopoli" BATAN di bidang nuklir

- Kerjasama dengan perguruan tinggi di bidang iptek nuklir, terutama dengan yang baru tumbuh.
- Mendorong lembaga lain di pemerintah pusat maupun daerah untuk berbicara nuklir.
- Dalam jangka panjang merevisi UU No. 10/1997 terkait tugas dan fungsi BATAN .
- BATAN sebagai *clearing house*.

KESIMPULAN

- Fokus pada sumber daya yang ada, baik fasilitas maupun SDM. Masih banyak yang bisa dilakukan supaya nuklir Indonesia unggul.
- Buka seluas-luasnya kerjasama dengan perguruan tinggi atau lembaga lain. Kurangi monopoli, ciptakan sinergi sekaligus kompetisi.
- Program unggulan (RDE, Irradiator Gamma dll) salah satu tujuannya merubah *mind-set* SDM nuklir supaya berbasis target.

ISSN 1978-0176



ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Indonesia Kompeten

Sistem Pengembangan Sertifikasi Kompetensi Kerja SDM Indonesia

Oleh
Ir.Bachtiar Siradjuddin, MM, IPU
Komite Perencanaan, Harmonisasi Kelembagaan BNSP

Jogyakarta, 25 Agustus 2016

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

LATAR BELAKANG

1. SDM merupakan salah satu modal utama dari kegiatan Industri, selain kapital, teknology dan lainnya
2. Tantangan Dunia Kerja Globalisasi/AFTA/APEC
   - Dampak terhadap pasar kerja
   - Tenaga kerja yang terampil sangat penting untuk menarik investasi
   - Perbaikan pendidikan dan sistem pelatihan sebagai dasar penyempurnaan SDM Nasional
   - Tidak ada solusi yang mudah ataupun jalan pintas yang dapat menghubungkan penyempurnaan SDM nasional dengan pendidikan dan pelatihan

ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Kondisi Kualitas SDM Hasil Pendidikan saat ini

Berdasarkan data yang diperoleh dari Kemendiknas mutu SDM hasil pendidikan Indonesia rendah dengan indikator :

1. Daya saing (*competitiveness*)

   SDM Indonesia rendah, lebih rendah dari SDM Vietnam, apalagi Malaysia.

2. Nilai dan sikap kewiraswastaan rendah, makin tinggi pendidikan makin rendah sikap kewiraswastaannya.
3. GDP yang rendah, meskipun rata-rata lama pendidikan penduduk Indonesia cukup tinggi tapi GDPnya rendah.

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

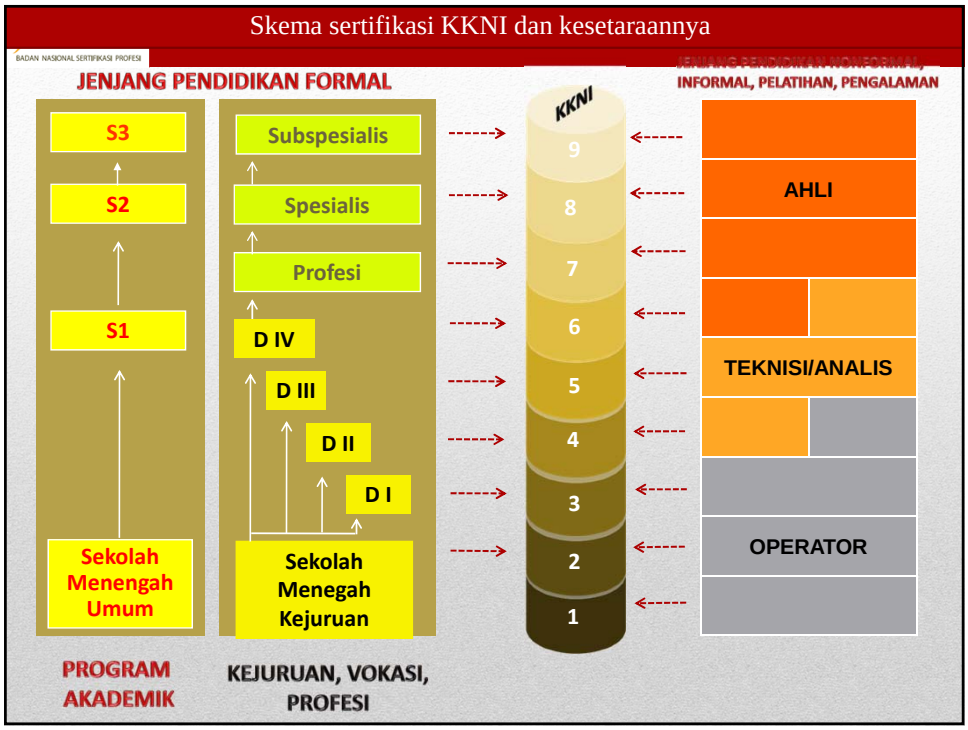
Tuntutan kompetensi profesi dari sistem industri

- ISO 17025/ SNI 19-17025 : Lab
- SHACCP+ISO 22000 : Ind Pangan
- IWA2 : Diklat
- ISO 9000/SNI 19-9000 : Industri
- ISO 14000/SNI 19-14000 : lingkungan
- ISO 15189 : Klinik
- CAC/RCP1/SNI 01-4852 : pertanian
- IFOAM Standard : Organik
- IEC : Listrik
- dll

KAN
Komite Akreditasi Nasional

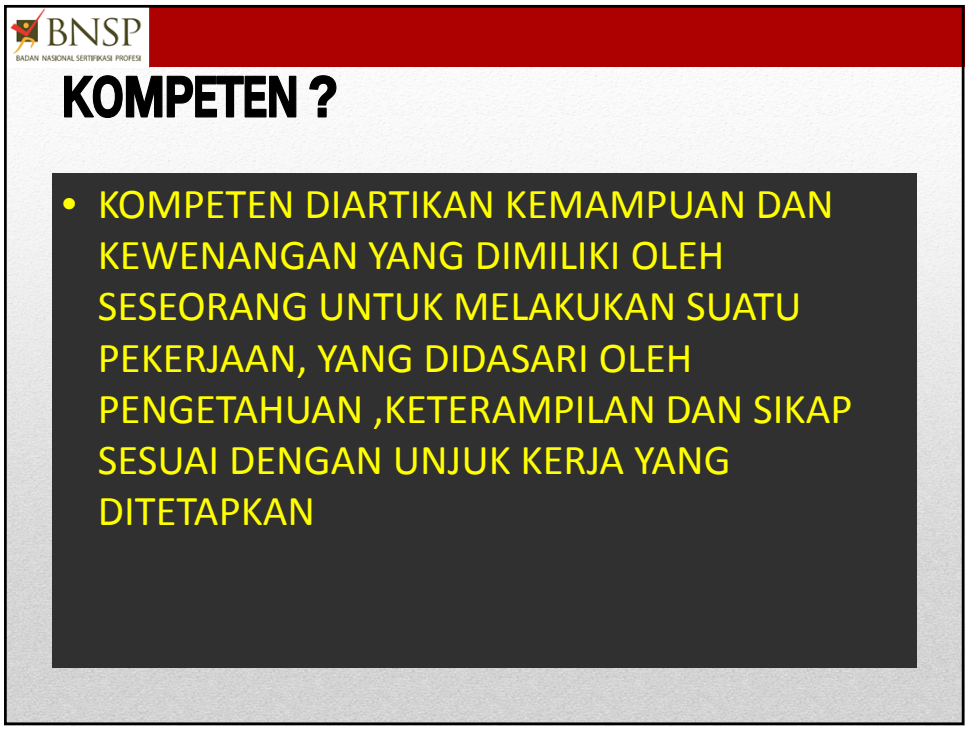
ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Sertifikasi Kompetensi Kerja

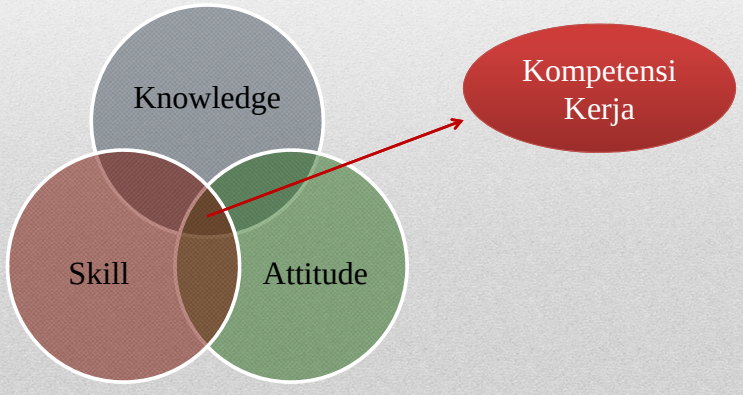
- Proses pemberian sertifikat kompetensi yang dilakukan secara sistematis dan obyektif melalui uji kompetensi yang mengacu kepada Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI), regional, internasional dan/atau khusus.

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Kompetensi kerja

Integrasi dari 3 (tiga) komponen:

- *Knowledge* : *Know Why*
- *Skill* : *Know How*
- *Attitude* : *How Should*

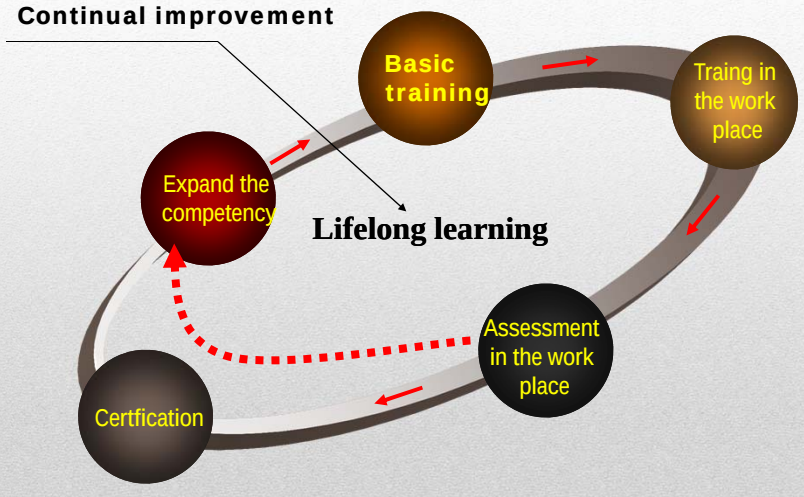


10

ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Cycle Diagram of lifelong learning



BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Manfaat Sertifikasi kompetensi

Untuk Usaha :

- Membantu usaha meyakinkan kepada kliennya bahwa produk/jasanya telah dibuat oleh tenaga-tenaga yang kompeten.
- Membantu usaha dalam rekruitmen dan mengembangkan tenaga berbasis kompetensi → meningkatkan efisensi HRD →efisiensi nasional.
- Memastikan usaha mendapatkan tenaga yang kompeten.
- Membantu usaha dalam sistem pengembangan karir dan renumerasi tenaga berbasis kompetensi.
- Memastikan dan meningkatkan produktivitas.

ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Manfaat sertifikasi kompetensi

Untuk tenaga kerja:

- Membantu tenaga profesi meyakinkan kepada organisasi/usaha /kliennya bahwa dirinya kompeten dalam bekerja atau menghasilkan produk atau jasa.
- Membantu memastikan dan memelihara kompetensi untuk meningkatkan percaya diri tenaga profesi.
- Membantu tenaga profesi dalam merencanakan karirnya.
- Membatu tenaga profesi dalam mengukur tingkat pencapaian kompetensi dalam proses belajar di lembaga formal maupun secara mandiri.
- Membantu tenaga profesi dalam memenuhi persyaratan regulasi.
- Membantu pengakuan kompetensi lintas sektor dan lintas negara
- Membantu tenaga profesi dalam promosi profesinya dipasar tenaga kerja

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Manfaat sertifikasi kompetensi

Untuk LEMDIKLAT:

- Membantu memastikan *link and match* antara kompetensi lulusan dengan tuntutan kompetensi dunia usaha .
- Membantu memastikan tercapainya efisiensi dalam pengembangan program diklat.
- Membantu memastikan pencapain hasil diklat yang tinggi.
- Membantu Lemdiklat dalam sistem asesmen baik formatif, sumatif maupun holistik yang dapat memastikan dan memelihara kompetensi peserya didik selama proses diklat.

ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

Tujuan sertifikasi kompetensi

Untuk Pemerintah:

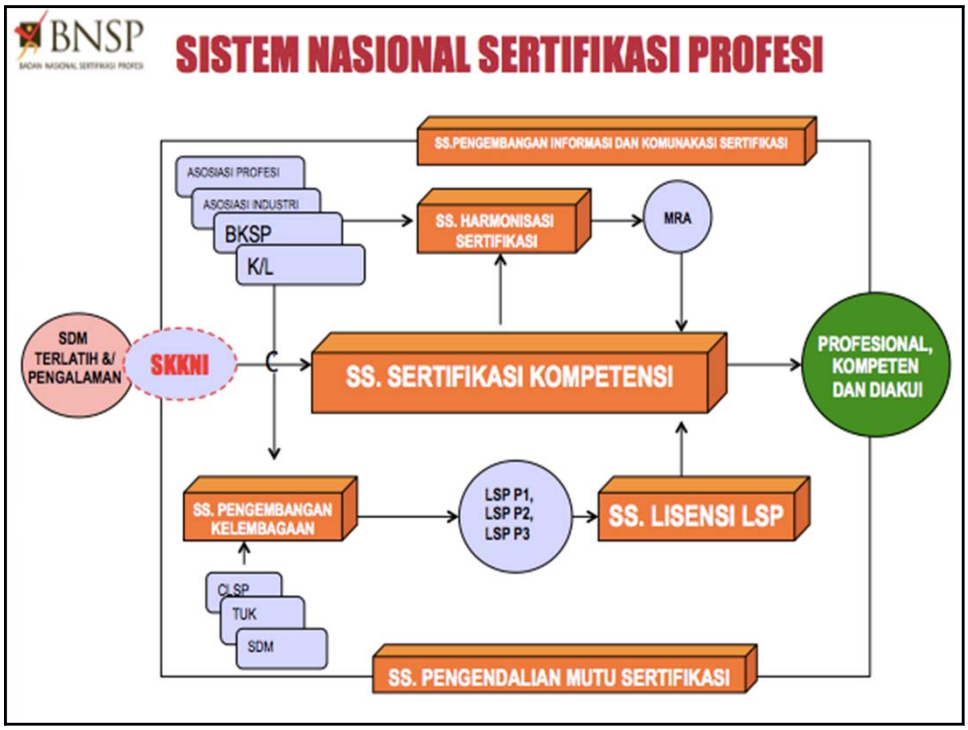
- Membantu memastikan pencapaian program pengembangan SDM pada sektornya.
- Membantu memastikan kesesuaian sistem pembinaan dan pengendalian SDM dalam sektornya.
- Membatu memastikan target-target perencanaan program pembangunan pada sektornya.

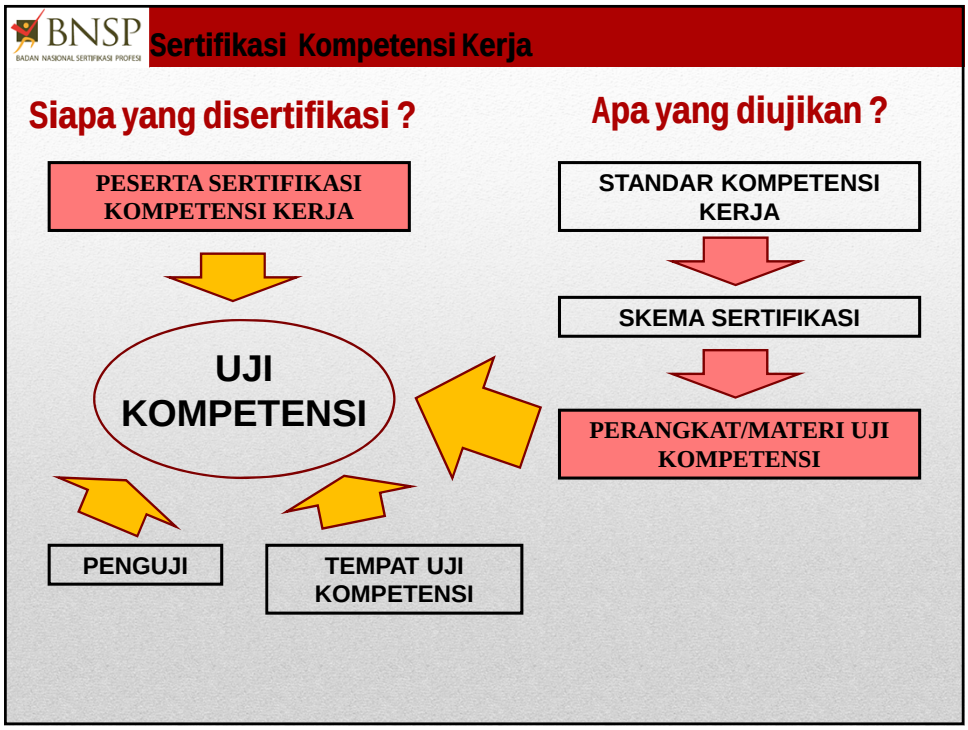
BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

APA DAN SIAPA BNSP ?

- OTORITAS KOMPETEN DAN INDEPENDEN BERTANGGUNG JAWAB KEPADA PRESIDEN
- BERTUGAS MENYELENGGARAKAN SERTIFIKASI KOMPETENSI KERJA
- KEANGGOTAAN TERDIRI DARI 15 ORANG UNSUR MASYARAKAT DAN 10 ORANG UNSUR PEMERINTAH
- DIBENTUK BERDASARKAN PP NO. 23 TAHUN 2004 ATAS PERINTAH UU NO. 13 TH 2003 TENTANG KETENAGAKERJAAN

ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

STANDAR KOMPETENSI KERJA



- Menggambarkan pengetahuan, keterampilan maupun sikap yang disyaratkan dalam pekerjaan di "industri"
- **Dibuat oleh industri**
- Merupakan pedoman dasar pelatihan, untuk menentukan kualifikasi maupun penilaian kompetensi
- Merupakan pedoman bagi pelatih maupun evaluator terhadap penyelenggaraan dan penilaian pelatihan

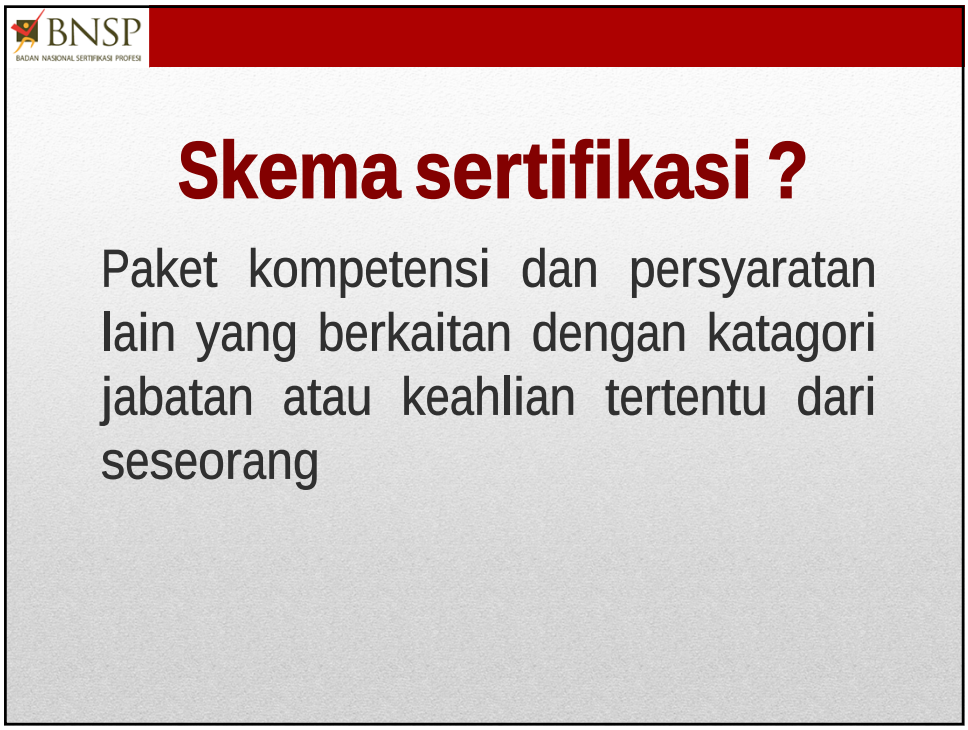
19

BNSP
BADAN NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

PENERAPAN SKKNI KEMAMPUAN TELUSUR DAN EKIVALENSI DNG SISTEM DIKLAT, SERTIFIKASI DAN SOP usaha

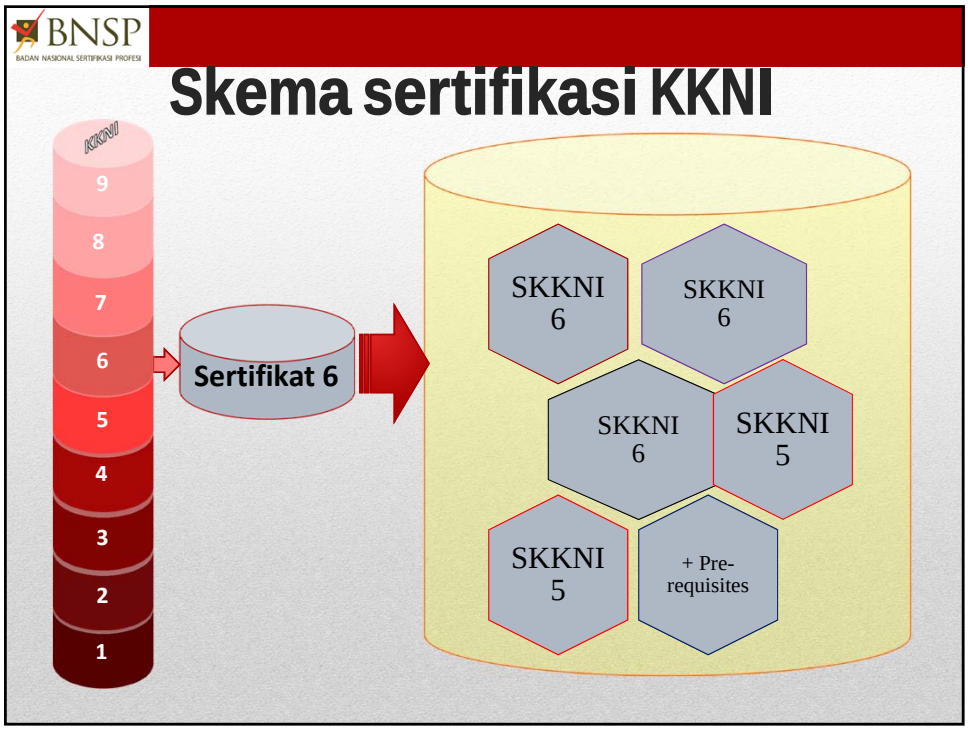
SKKNI	PENERAPAN DALAM DIKLAT	SERTIFIKASI	PENERAPAN PADA usaha
Judul Unit	Judul Learning material	Skema sertifikasi unit kompetensi	Judul SOP
Deskripsi unit	Ruang lingkup diklat	Ruang lingkup asesmen	Ruang lingkup SOP
Elemen	Pencapaian hasil pembelajaran	Elemen asesmen	Langkah-langkah proses
KUK	Kriteria evaluasi belajar	Kriteria pencapaian Kompetensi	Instruksi kerja
Batasan Veriabel	Kontektualisasi diklat	Kontektualisas asesmen dan spesifikasi	Spesifikasi sesuai dengan konteks
Panduan Penialaian	evaluasi	Penduan asesmen	QA

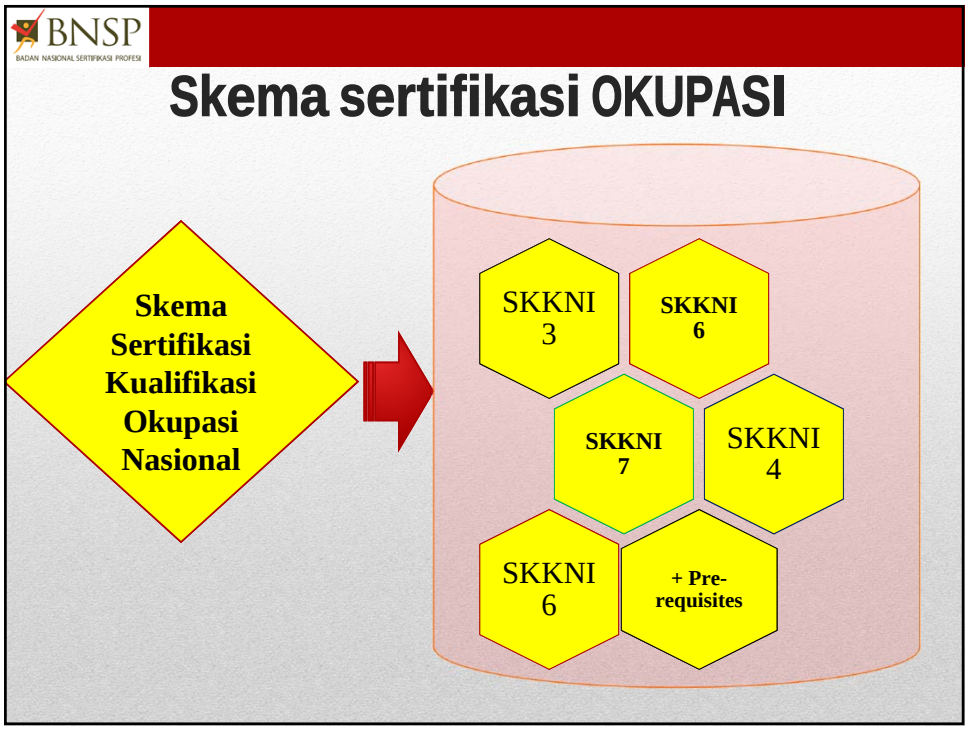
ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176



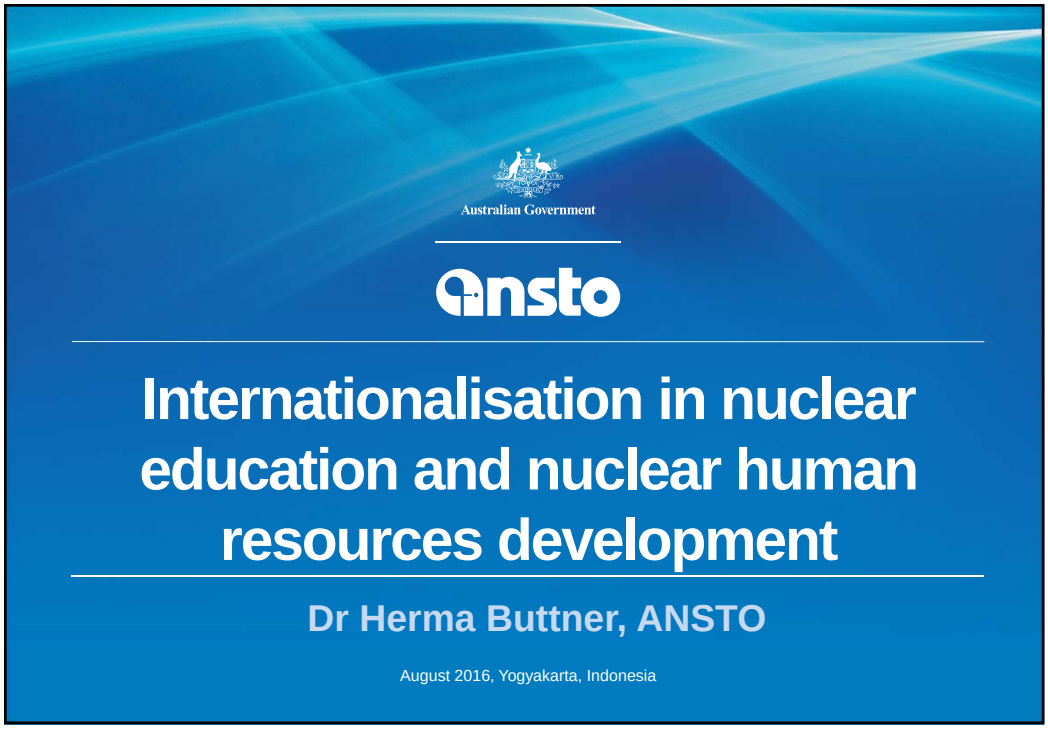


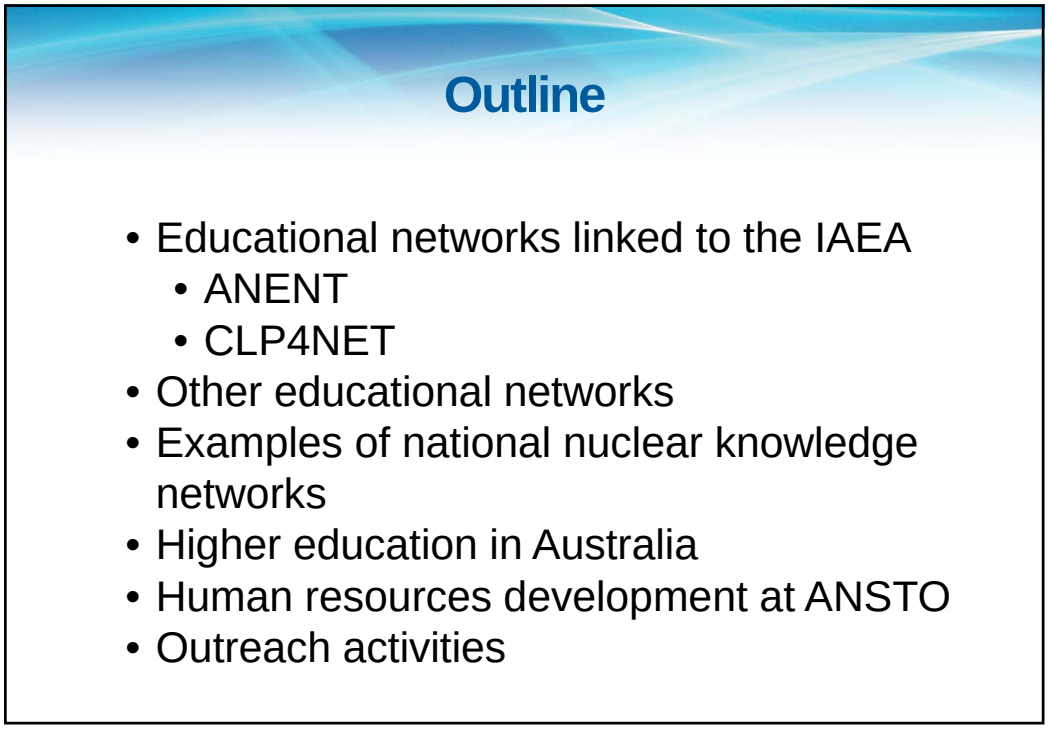
ISSN 1978-0176



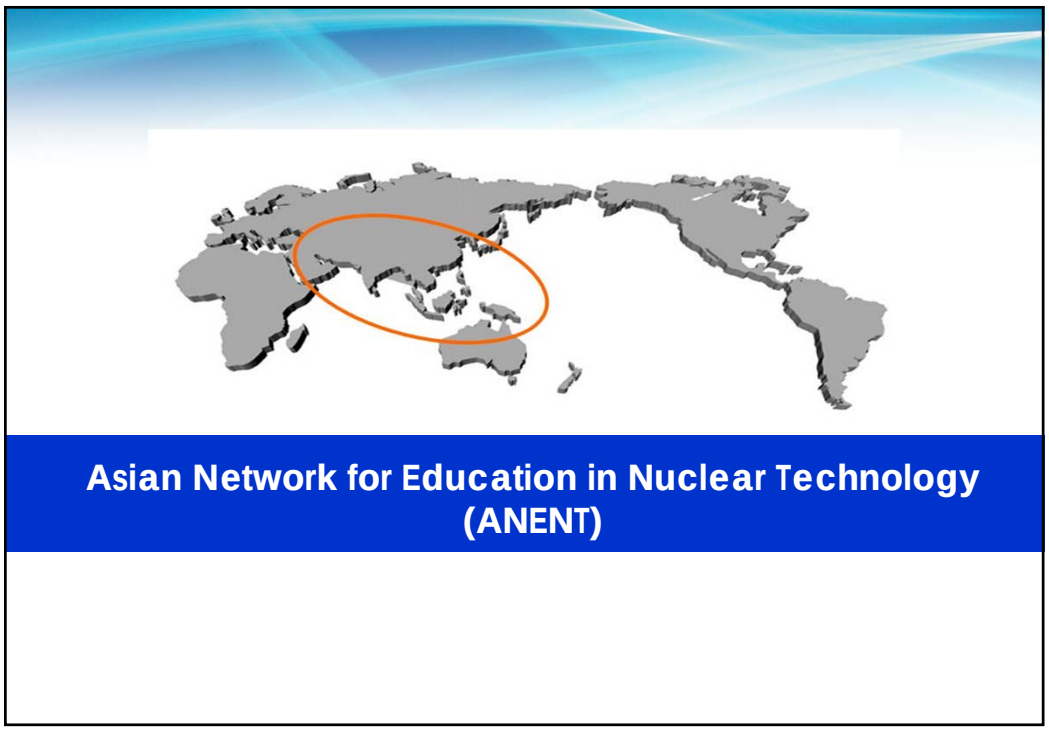
ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176



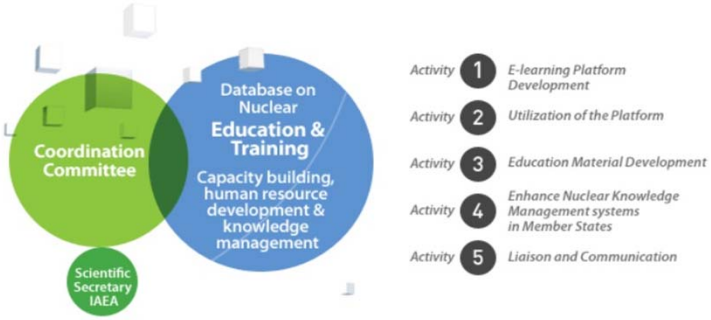


ISSN 1978-0176



ANENT Achievements

- ANENT activities have been carried out focused on cooperation, and sharing of information and knowledge for nuclear capacity building through E&T by utilisation of e-learning platform in Asia and the Pacific region

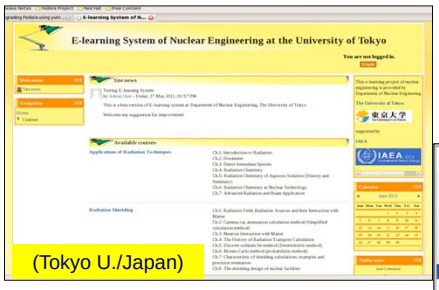


https://www.anent-iaea.org

ISSN 1978-0176

ANENT Achievements

Development of national Learning Management Systems - LMS



(Tokyo U./Japan)



(BATAN/Indonesia)



(KAERI/Korea)

Main Activities in 2014-2015

- Group activities in 2014-2015 agreed in June 2014



- **Web-portal Upgrading and Integrated Database**
- **Utilisation of ANENT Regional LMS**
- **Development of Education Material**
- **Promotion of ANENT**
- **Collaboration with IAEA and other Networks**

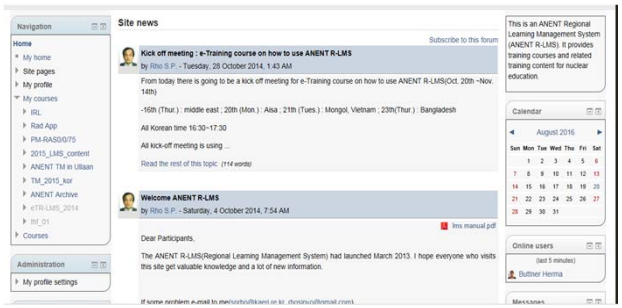
ISSN 1978-0176

The Learning Management System - LMS

LMS hosted at KAERI



E-Training courses on how
- to use the LMS
- to develop nuclear e-learning content



register/ login
https://ilms.kaeri.re.kr

IAEA TC Regional Project RAS/0/075

Outline of the TC Project RAS/0/075

- Title: Networking for nuclear education, training and outreach programme in nuclear science and technology in the framework of ANENT
- Duration: from 1.Jan. 2016 for 4 years
- Budget: €860,000

Main activities of the project

- Utilisation of ANENT regional LMS
- Collaboration and sharing of information for outreach activities
- Internet research reactor laboratory project



Kick-off meeting in May 2016

ISSN 1978-0176

Cyber Learning Platform for Network Education and Training (CLP4NET)

- Contains Integrated Data Base on nuclear education and training
- https://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/CLP/index.html

❖ Centralises information from organisations in regional nuclear education networks from Africa (AFRA-NEST), Latin America (LANENT) and Asia (ANENT)
❖ Organised in main areas of training courses, university degrees, PhD topics, opportunities, educational material, organisations



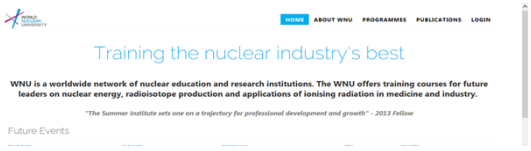
Collaborative networks

- World Nuclear University
- Asia
  - FNCA – Forum for Nuclear Cooperation in Asia
  - AONSA – neutrons only
- Europe
  - ENEN – European Nuclear Education Network
  - Neutrons only: E-learning NMI3
- Australia
  - AINSE – Australian Institute of Nuclear Science and Engineering

ISSN 1978-0176

World Nuclear University

- worldwide network of nuclear education and research institutions
- http://www.world-nuclear-university.org/imis20/wnu/
- Training courses

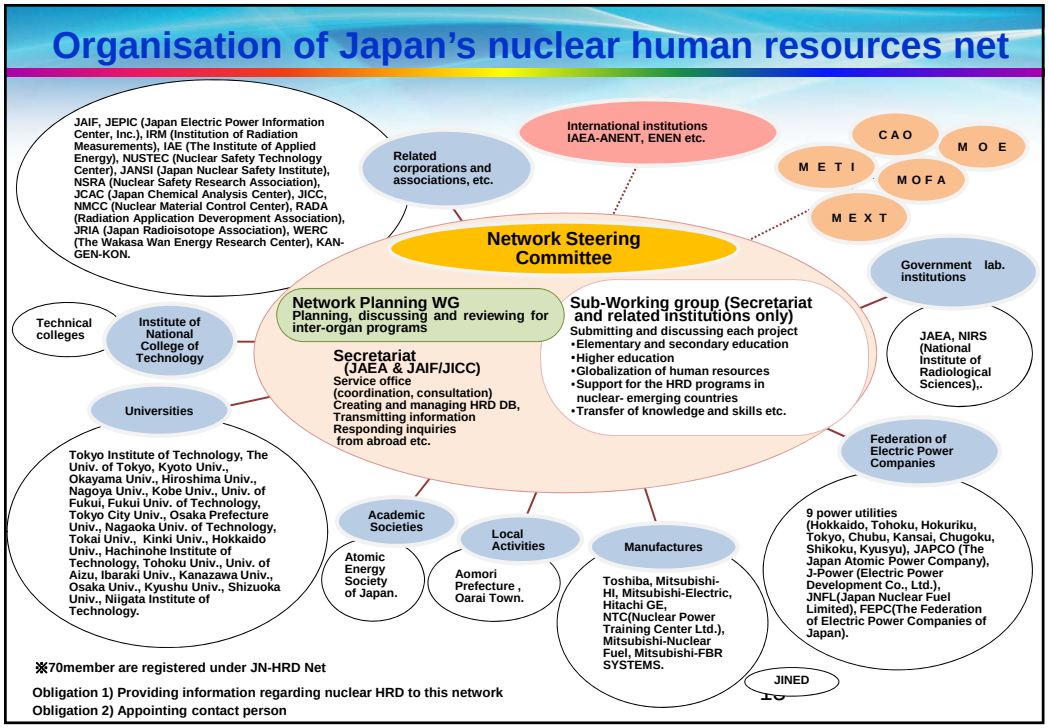


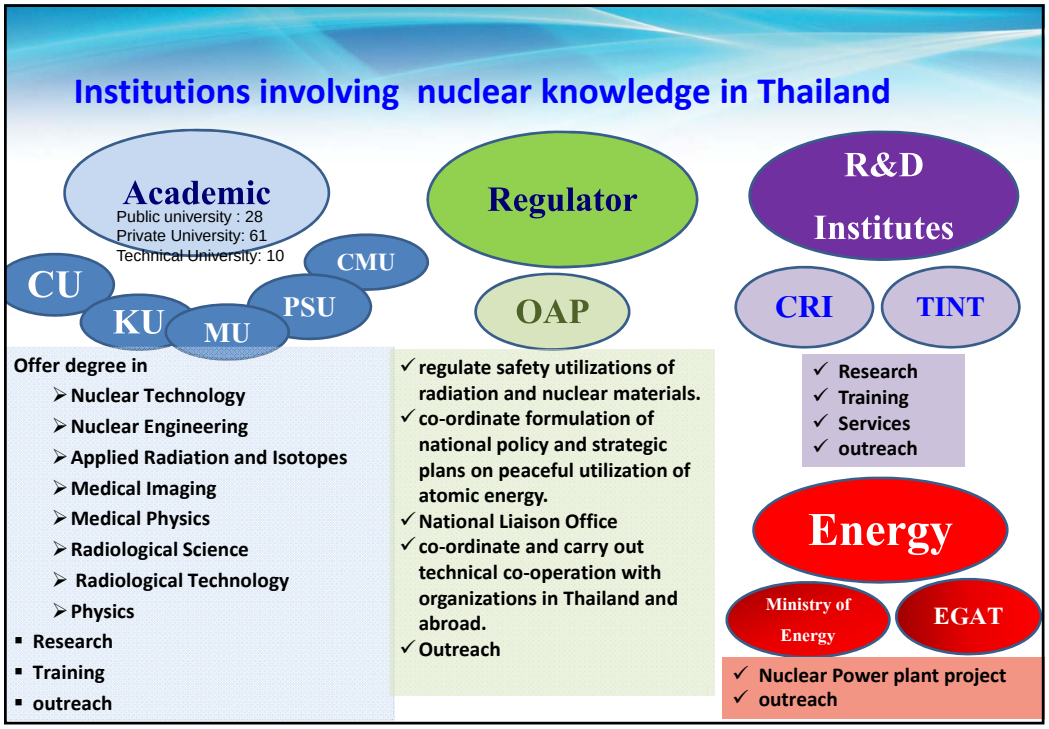
Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA)

- Framework for cooperation towards peaceful use of nuclear technology, Japan-led
- http://www.fnca.mext.go.jp/english/index.html
- Asian Nuclear Training and Education Program - ANTEP
- Nationally coordinated



ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176

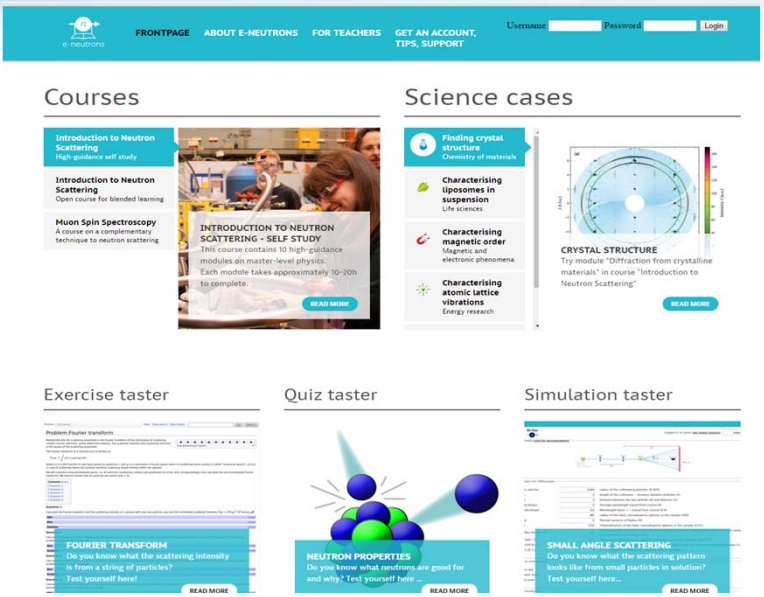
European Nuclear Education Network - ENEN

- International non-profit organisation established on 22 September 2003 under French Law
- http://www.enen-assoc.org/en/
- EMSNE - European Master of Science in Nuclear Engineering





To get an account https://www.e-neutrons.org/



ISSN 1978-0176

The Asia-Oceania Neutron Scattering Association (AONSA)

- Affiliation of neutron scattering societies and committees directly representing users in the Asia-Oceania Region
- http://aonsa.org/about-aonsa/
- Neutron schools
- Fellowships



Studying nuclear science and engineering in Australia

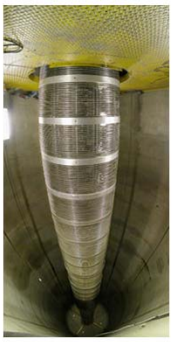
- **Master of Nuclear Science, Australian National University (Canberra)**
  http://programsandcourses.anu.edu.au/program/MNUCL
- **Master in Nuclear Engineering at University of New South Wales, UNSW (Sydney)**
  https://www.engineering.unsw.edu.au/study-with-us/postgraduate-degrees/master-of-engineering-science-nuclear-engineering
- **Australian Institute of Nuclear Science and Engineering – AINSE (consortium of universities)**
  http://www.ainse.edu.au

ISSN 1978-0176

Master of Nuclear Science

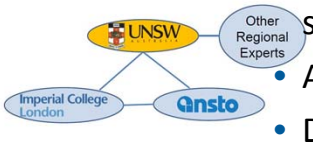
Australian National University

- Since 2007
- 2 year Masters (from 2015)
- Prerequisite: Bachelor degree
- Course work to study the fundamentals and applications of nuclear science, including materials analysis, dating techniques, nuclear medicine, and nuclear energy, including laboratory-based training using advanced equipment.



Nuclear Engineering at University of New South Wales, UNSW (Sydney)

UNSW AUSTRALIA



- Started in 2014
- Masters degree programme, 1-2 years
- Fill gap in UNSW education programme: broad-based, not only power generation
- Core subjects: nuclear engineering reactor physics, fuel and life-cycle management, safety, security&safeguards
- Access from most engineering disciplines
- Develop strategic international collaborations

ISSN 1978-0176

AINSE
Australian Institute of Nuclear Science and Engineering

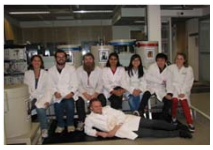


Consortium; AINSE's key areas:

- access to major ANSTO facilities
- scientific outcomes
- networking
- excellence in impact

Research training through:

- scholarships, incl. travel
- postgraduate research awards
- research fellowships (3 year appointment)
- workshops/conferences



AINSE scholarship holders - senior undergraduate students

Australia's strategy of nuclear human resources development

- Australia is not planning to introduce nuclear power.
- If Australia were to take a decision to introduce nuclear power HR needs were outlined in a report prepared for the Australian government in 2006.
- Identification of workforce requirements for radiation training (radiation sources, nuclear medicine, mining), including general radiation safety awareness training.
- Individual nuclear agencies, such as the Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) and the Australian Radiation Protection Agency (ARPANSA), develop HRD plans to meet their specific needs.

ISSN 1978-0176

ANSTO Vocational training: Radiation Safety Courses



- Advanced Radiation Safety Officer
- Industrial Radiation Safety Officer
- General Radiation Safety Officer
- Safe use of X-ray Devices
- Radiation Safety for Laboratory Workers
- Safe use of Fixed Radiation Gauges
- Safe use of Portable Moisture/Density Gauges

Who is ANSTO?

Australian Nuclear Science and Technology Organisation





ANSTO is a Federal Government agency that operates a range of nuclear and non-nuclear facilities and equipment for research and commercial purposes.
It is located in Lucas Heights on a 70 hectare campus
~ 35 km to the south-west of Sydney's centre.

ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176

ANSTO Businesses

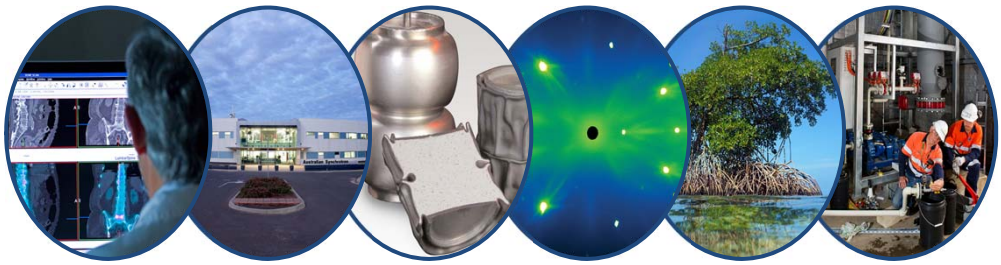
ANSTO Health supplies more than 80% of the annual diagnostic nuclear medicine procedures in Australia.

ANSTO Silicon Irradiation conducts neutron transmutation doping of silicon for European and Asian manufacturers of silicon wafers

ANSTO Minerals has a 20-year track record in providing specialist consultancy services to the mining and minerals processing industries (uranium & rare earth elements)



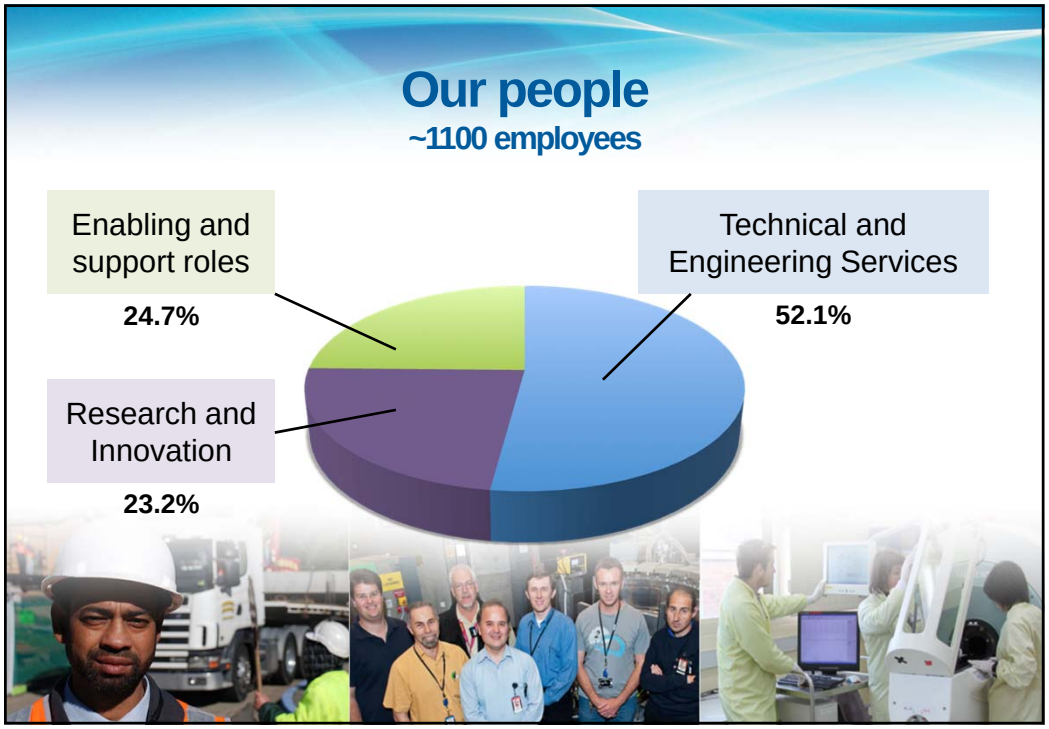
Research



Life Sciences / Health | X-ray scattering | Materials | Neutron scattering | Environment | Minerals

ISSN 1978-0176





ISSN 1978-0176

Careers @ ANSTO

Science Careers @ ANSTO
Physics
Chemistry
Biology
Environment
Earth Sciences
Forensics
Archaeology
Materials Science
Radiochemistry
Climate processes
Hydrology

Engineering Careers @ ANSTO
Mechanical
Electrical
Mechatronic
Asset Management
Chemical / Process
Computer/Software
Civil

ANSTO engages engineering and science professionals from all specialist areas including multi- and interdisciplinary activities.

Talent @ANSTO

Managing @ANSTO

Level 3 Lead Practitioner	Developing Your Commercial Acumen	Strategic Thinking & Planning	Leadership Development Centre				
Level 2 Advanced Practitioner	Advanced Influencing & Negotiation Skills	Advanced Presentation Skills	Mentoring Program (for Mentees)	Giving & Receiving Feedback	The Engaged Leader Program	Managing People	Reasonable Management Action
	Show Leadership in the Workplace Online	Finance for non-finance Managers	Growing Resilience	Manage Quality Customer Service Online	Building High Performing Teams	Effective Conversations	Performance Coaching
	Change in the Workplace Online	Manage Budgets & Financial Plans Online	Facilitate Continuous Improvement Online	Manage Effective Workplace Relationships Online	Lead & Manage Team Effectiveness Online	Develop a Workplace Learning Environment Online	Manage People Performance Online
Level 1 Practitioner	Negotiation & Influencing Skills Foundation	Presentation Skills Foundation	Change Management Fundamentals	Effective Writing Skills	Project Management Fundamentals	ANSTO Toastmasters Program	Personal Planning & Productivity
	Creative Problem Solving Online	Customer Service & Consulting Online	Influencing Persuasion & Negotiation Online	Microsoft Office Online	Time & Stress Management Online	Workplace Communications Online	New Starter Induction Program

Key: Managing @ANSTO, Talent @ANSTO

ISSN 1978-0176

Early career development at ANSTO

- E-learning: Learning Management System
- Graduate programme (maintaining HRD expertise)
- Engage staff in outreach activities: Meet an expert
- Distinguished lectures recorded
- Hosting international fellows





ANSTO's Graduate Development Program

Year 1

- Induction and group professional development (two weeks)
- Nine month rotational placement aligned with graduate degree
- Group professional development (two weeks)
- Four month rotational placement selected to broaden the graduate's knowledge of ANSTO

Year 2

- Customised placements (one or two) aligned with graduate degree
- Individual development plans established aligned to targeted selection and to prepare graduate for their ongoing career at ANSTO

Key Benefits of the Program

Buddy/Mentors
Professional development
Networking events
Work/Life Balance
Cohort system







ISSN 1978-0176

Young Researcher Club

Focus Research – informal

- Postdocs, students (PhD, year in industry) – joint positions
- Self organised
- About 40 members
- Career development: e.g. giving presentations, grant writing
- Discussion with board members
- Social: morning tea, trivia nights, special visits



Academic outreach activities



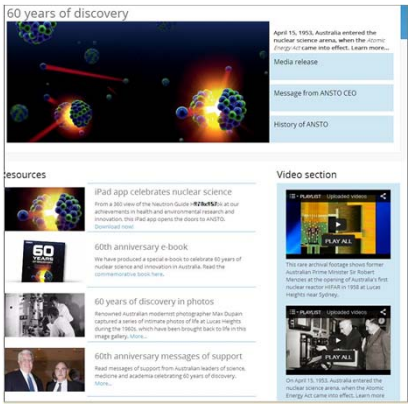
- Higher-education collaborations, e.g. joint positions, PhD and undergraduate students (ANSTO is not degree awarding)
- Australian Collaboration for Accelerator Science
  ACAS: ANU, ANSTO, Australian Synchrotron, Melbourne University
- Internships national and international (e.g. KONICOF)
- Schools, workshops
- Coordination: (IAEA) Fellows, RCA
- Distinguished lecture series
- Science teachers' training



ISSN 1978-0176

Communicating nuclear science

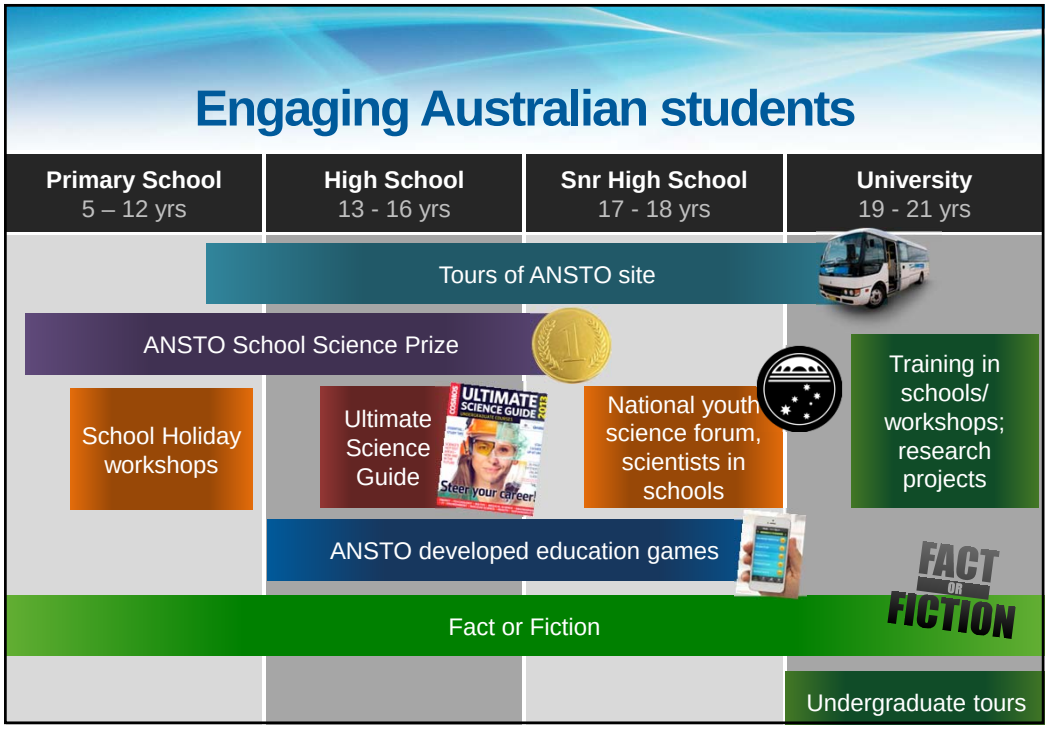
- Material
  - Brochures, books (written)
  - Video
  - Apps, games
- School tours
- Videoconferences with schools
- Teacher training
- Distinguished lecture series (open to public)



The ANSTO Discovery Centre



ISSN 1978-0176



Acknowledgements

- Youngmi Nam, Sipyo Rho, KAERI, S-Korea
- Supitcha Chanyotha, Chulalongkorn University, Thailand
- Kiyonobu Yamashita, JAEA, Japan
- Australia
  - ANU: Andrew Stuchbery
  - UNSW: Edward Obbard, Wendy Timms, John Fletcher
  - ANSTO: Lauren Baldock, Peter McGlinn, Megan Tracey, Rod Dowler, Regan Beckinsale

ISSN 1978-0176



ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

UPAYA PENINGKATAN KOMPETENSI PEGAWAI TU BATAN MELALUI DIKLAT ADMINISTRASI PERKANTORAN

Nata Wijaya [1] dan Rhisa Azaliah [1]

1) Biro Perencanaan (Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, Indonesia 12710)

ABSTRAK

UPAYA PENINGKATAN KOMPETENSI PEGAWAI TU BATAN MELALUI DIKLAT ADMINISTRASI PERKANTORAN. Tuntutan masyarakat terhadap kinerja lembaga pemerintahan semakin lama semakin meningkat tidak terkecuali BATAN yang merupakan Lembaga Pemerintah Non Kementerian (LPNK). BATAN dituntut untuk mampu melaksanakan tata kelola pemerintahan yang baik salah satunya pelaksanaan akuntabilitas dan transparansi yang tinggi. Sumber daya manusia (SDM) pelaksana tugas tersebut adalah bagian administrasi perkantoran atau lebih dikenal sebagai tata usaha (TU). Pegawai TU yang memiliki pekerjaan rutin sudah sepatutnya memiliki kompetensi yang sesuai agar pekerjaan yang menjadi kewajibannya dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai dengan sasaran mutu yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan peningkatan kompetensi pegawai TU BATAN. Peningkatan kompetensi pegawai yang dapat dilaksanakan salah satunya adalah melalui pendidikan dan pelatihan (diklat). Rancangan peraturan pemerintah terkait manajemen Aparatur Sipil Negara (ASN) mengamanatkan agar setiap pegawai negeri sipil (PNS) wajib mengikuti diklat sebanyak 80 jam per orang per tahun, begitu pula dengan pegawai TU. Sejauh ini pelaksanaan diklat di BATAN dinilai masih belum merata antara pegawai teknis dengan pegawai administrasi perkantoran. Hal ini ditunjukkan dengan rasio judul diklat teknis dengan judul diklat yang bersifat administrasi perkantoran di Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat) BATAN yang tidak sebanding, yaitu 55:5. Dengan jumlah pegawai TU BATAN yang sebanyak 544 orang, dibutuhkan setidaknya Rp1,14 milyar pertahun dari total Rp6,0 milyar untuk memenuhi kewajiban diklat untuk tiap pegawai. Kemudian berdasarkan data sebaran usia pegawai TU BATAN, didapatkan sebanyak 47% pegawai berumur lebih dari 51 tahun maka pengembangan kompetensi yang tepat adalah melalui diklat dan kursus.

Kata kunci: SDM, tata usaha, diklat, ASN

ABSTRACT

COMPETENCE IMPROVEMENT EFFORTS OF BATAN ADMINISTRATION EMPLOYEE THROUGH OFFICE ADMINISTRATION TRAINING. *Public demands on the performance of government agencies progressively increasing, also in BATAN, a Non-Ministry Government Institution (LPNK). BATAN have to implement good governance, one of them is high accountability and transparency. Human resources of this task is the administration employee. Administration employee who have regular jobs supposed to have appropriate competence in order to work their tasks properly and in accordance with established quality objectives. Therefore, improving the competence of the administration employees in BATAN is need to be consider. One way of improving employee competence that can be implemented is through education and training. Government regulations related to the State Civil Apparatus (ASN) management mandates that every civil servant (PNS) must follow 80 hours per person per year training, so do the administration employees. So far the implementation of the training program in BATAN is still considered not evenly distributed between the technical employee and the administration employee. This indicated by the ratio number of the training title of technical and administration in Center of Education and Training (Pusdiklat) BATAN were not comparable, which is 55:5. With the number 544 people of administration employees of BATAN, it takes at least Rp1.14 billion per year of the total Rp6.0 billion to comply the training obligations for each employee. Then, based on the age distribution of administration employees in BATAN, we found that 47% of employees aged over 51 years so the proper competence development is through training and courses.*

Key words: HR, administration, training, ASN

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Meningkatnya tuntutan masyarakat kepada pemerintah dalam memberikan layanan publik yang lebih baik dan efisien, mendorong pemerintah memperbaiki kinerjanya. Kementerian negara/lembaga diharapkan mampu melaksanakan tata kelola pemerintahan yang baik (*Good Governance*). Hal ini dituntut pula terhadap BATAN sebagai Lembaga Pemerintah Non Kementerian (LPNK) yang memiliki tugas melaksanakan penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir. Selain menghasilkan produk riset yang berdampak pada peningkatan kesejahteraan masyarakat, BATAN juga dituntut untuk mampu menunjukkan pelaksanaan tata kelola pemerintahan yang baik, dimana salah satu indikatornya adalah tumbuhnya praktik-praktik kepemerintahan yang memiliki akuntabilitas dan transparansi yang tinggi kepada pemangku kepentingannya.

Aspek-aspek akuntabilitas dan transparansi tata laksana pemerintah merupakan bagian dari kinerja administrasi perkantoran. Sumber Daya Manusia (SDM) BATAN yang bekerja pada bidang administrasi perkantoran memiliki peran dan tanggung jawab yang besar terkait keberhasilan suatu lembaga dalam menunjukkan pelaksanaan tata kelola pemerintahan yang baik. SDM BATAN tersebut adalah PNS yang bertugas di bagian Tata Usaha pada unit-unit kerja BATAN. Tugas mereka adalah mengelola dan membuat laporan pembukuan terkait pelaksanaan keuangan dan perbendaharaan, aset perkantoran dan Barang Milik Negara (BMN), hasil-hasil kinerja atau *output* BATAN dan sumber daya yang terlibat di dalamnya, serta urusan adminsitrasi lain yang dibutuhkan dalam menunjang operasional sebuah kementerian/lembaga.

Adminsitrasi perkantoran BATAN akan berjalan dengan baik bila ditangani oleh SDM yang memiliki kapasitas dan kapabilitas yang baik terhadap tugas dan fungsinya. Besarnya peran dan fungsi bagian Tata Usaha dan Administrasi menuntut SDM yang bekerja di dalamnya memiliki kemampuan dan kapabilitas yang memadai untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibebankan kepadanya. Untuk itu dibutuhkan upaya mengembangkan kompetensi dan keahlian para pegawai di bagian Tata Usaha dan Administrasi. Hal ini menjadi urgen dan penting seiring dinamika kebijakan dan peraturan, serta tuntutan kebutuhan organisasi yang berubah dari waktu-ke waktu.

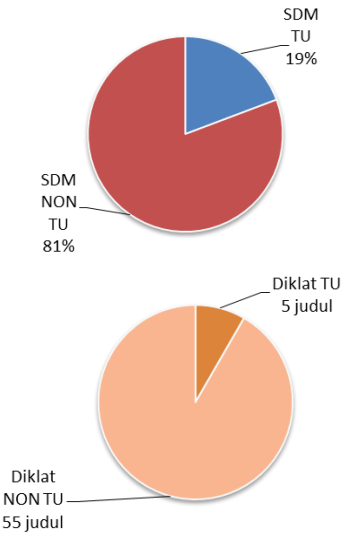
Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara telah menggariskan kebijakan terkait standar kompetensi yang harus dimiliki oleh seorang PNS agar dirinya mampu melaksanakan tugas dan fungsi yang diemban dengan baik dan benar. Salah satu yang dinyatakan adalah kewajiban bagi kementerian negara/lembaga untuk memberikan kesempatan mengembangkan kompetensi bagi PNS di instansinya baik berupa pendidikan dan pelatihan, seminar, kursus, dan penataran, dan ini merupakan hak bagi PNS. Kementerian negara dan lembaga berkewajiban untuk menyusun rencana pengembangan kompetensi tahunan yang tertuang dalam rencana kerja anggaran tahunan kementerian negara/lembaga. Oleh karena itu BATAN harus menyiapkan dan merencanakan pengembangan kompetensi terhadap pegawainya, termasuk mereka yang bekerja di bagian administrasi perkantoran.

PERMASALAHAN

Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat) BATAN memiliki tugas melaksanakan program dan evaluasi pendidikan dan pelatihan, penyelenggaraan pelatihan, dan pengembangan jabatan fungsional yang berada di bawah pembinaan BATAN. Pada tahun 2014, Pusdiklat telah menyelenggarakan dan mengkoordinasikan 39 judul diklat bagi 711 pegawai BATAN dengan total jam diklat sebanyak 63.296 jam. Data pegawai BATAN di akhir tahun 2014 sebanyak 2.821 pegawai, maka rata-rata jam diklat SDM BATAN tahun 2014 adalah 23,4 jam per orang per tahun. Pada tahun 2015, terjadi kenaikan penyelenggaraan diklat oleh Pusdiklat sekitar 60 % baik dari jumlah peserta yang mengikuti diklat maupun total jam diklat. Tahun 2015 terselenggara 60 judul diklat bagi 1.182 pegawai BATAN dengan total jam diklat sebanyak 102.016 jam, sehingga rata-rata jam diklat SDM BATAN tahun 2015 adalah 36,2 jam per orang per tahun. Angka ini masih jauh dari target pada Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Manajemen ASN yang

ISSN 1978-0176

mengamanatkan kementerian negara dan lembaga untuk memberikan peningkatan kapasitas PNS sebanyak minimal 80 jam per pegawai per tahun.



Gambar. 1. Rasio SDM TU dan rasio judul diklat TU

Ditinjau dari tema diklat yang diselenggarakan Pusdiklat BATAN (Gambar.1) maka judul diklat bagi pegawai administrasi perkantoran masih sangat sedikit. Dari 39 jenis diklat yang diselenggarakan Pusdiklat di tahun 2014, tidak ada satupun diklat yang dikhususkan untuk pegawai administrasi perkantoran. Namun, pada tahun 2015, dari 60 judul diklat, terdapat hanya 5 judul diklat atau hanya 8% judul diklat yang diperuntukkan bagi pegawai Tata Usaha. Angka ini tentu tidak sebanding dengan keberadaan pegawai di bagian Tata Usaha di BATAN yang berjumlah 544 orang atau 19 % dari keseluruhan pegawai BATAN yang berjumlah 2821 orang. Oleh karena itu dibutuhkan perencanaan dan strategi manajemen pengelolaan diklat pegawai BATAN, khususnya pengembangan SDM bagi pegawai Tata Usaha di BATAN.

TEORI DASAR

Pengembangan Kompetensi

Kompetensi menurut Kravetz (2004) adalah sesuatu yang seseorang tunjukkan dalam kerja setiap hari. Fokusnya adalah pada perilaku di tempat kerja, bukan sifat-sifat kepribadian atau keterampilan dasar yang ada di luar tempat kerja ataupun di dalam tempat kerja [1]. N. Lyle Spencer dan M. Signe Spencer (1993) menghubungkan kompetensi dengan efektivitas kinerja individu dalam pekerjaannya [2]. Secara umum, kompetensi dapat dipahami sebagai sebuah kombinasi antara ketrampilan (*skill*), atribut personal, dan pengetahuan (*knowledge*) yang tercermin melalui perilaku kinerja (*job behavior*) yang dapat diamati, diukur dan dievaluasi. Kompetensi dibedakan menjadi dua tipe, pertama: *soft competency* yaitu kompetensi yang berkaitan erat dengan kemampuan untuk mengelola proses pekerjaan, hubungan antar manusia serta membangun interaksi dengan orang lain. Contoh *soft competency* adalah: *leadership*, *communication*, *interpersonal relation*, dll. Kompetensi tipe kedua disebut *hard competency* yaitu kompetensi yang berkaitan dengan kemampuan fungsional atau teknis suatu pekerjaan. Dengan kata lain, kompetensi ini berkaitan dengan seluk beluk teknis yang berkaitan dengan pekerjaan yang ditekuni. Contoh *hard competency* adalah: *electrical engineering*, *marketing research*, *financial analysis*, *manpower planning*, dll.

Malayu S.P. Hasibuan (2002) mendefinisikan pengembangan sebagai suatu usaha untuk meningkatkan kemampuan teknis, teoritis, konseptual, moral pegawai sesuai dengan kebutuhan jabatan [3]. Andrew Smith (2000) mengaitkan pengembangan pada kebutuhan jangka panjang suatu organisasi yang meliputi seluruh aspek peningkatan kualitas [4]. Henry Simamora (1997) mengungkapkan bahwa dalam pengembangan pegawai terdapat dua aspek kegiatan penting yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain, yaitu kegiatan pendidikan dan pelatihan, dan kegiatan pengembangan SDM itu sendiri. Kedua kegiatan tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan Pegawai ASN yang profesional, memiliki nilai dasar, etika profesi, bebas dari intervensi politik, bersih dari praktik korupsi, kolusi, dan nepotisme [5]. Undang-Undang Aparatur Sipil Negara menyatakan bahwa pengembangan kompetensi dilakukan antara lain melalui pendidikan dan pelatihan, seminar, kursus, dan penataran.

ISSN 1978-0176

Pendidikan dan Pelatihan Diklat

Diklat adalah proses terencana untuk mengubah sikap/prilaku, pengetahuan dan keterampilan melalui pengalaman belajar untuk mencapai kinerja yang efektif dalam sebuah kegiatan atau sejumlah kegiatan (Smith, 2000). Diklat bagi PNS berdasarkan Inpres Nomor 15 Tahun 1974 tentang Pokok-Pokok Pelaksanaan Pembinaan Diklat, bertujuan untuk meningkatkan kepribadian, pengetahuan dan kemampuannya sesuai dengan tuntutan persyaratan jabatan dan pekerjaannya sebagai PNS serta mengubah kompetensi kerja PNS sehingga ia dapat berprestasi lebih baik dalam jabatannya.

Diklat dilaksanakan dengan 2 metode pendekatan, yaitu *off the job training* dan *on the job training*. *Off the Job Training* merupakan pendekatan pelatihan di luar tempat kerja yang memberikan kesempatan pada pegawai untuk keluar dari rutinitas pekerjaan dan berkonsentrasi dalam mempelajari sesuatu yang berkaitan dengan pekerjaan. Pada umumnya pendekatan ini dilakukan di tempat-tempat pelatihan pegawai seperti Badan/Pusat Diklat atau pusat pengembangan pegawai. Tujuannya adalah perubahan perilaku para pegawai sehingga mampu meningkatkan tujuan–tujuan organisasi atau mempelajari sikap, kemampuan, keahlian, pengetahuan, dan perilaku yang spesifik yang berkaitan dengan pekerjaan (Simamora, 1997). Menurut Cherrington (1995) sebagaimana dikemukakan Sujoko (2012), metode *Off the job training* dibagi menjadi 13 macam [6], antara lain:

1. *Vestibule training*. Pelatihan dimana dilakukan ditempat tersendiri yang dikondisikan seperti tempat aslinya. Pelatihan ini digunakan untuk mengajarkan keahlian kerja yang khusus.
2. *Lecture*. Merupakan pelatihan dimana menyampaikan berbagai macam informasi kepada sejumlah besar orang pada waktu bersamaan.
3. *Independent self-study*. Pelatihan yang mengharapkan peserta untuk melatih diri sendiri misalnya dengan membaca buku, majalah profesional, mengambil kursus pada universitas lokal dan mengikuti pertemuan profesional.
4. *Visual presentations*. Pelatihan dengan mengunakan televisi, film, video, atau persentasi dengan menggunakan slide.
5. *Conferences and Discusion*. Pelatihan ini biasa digunakan untuk pelatihan pengambilan keputusan dimana peserta dapat belajar satu dengan yang Iainnya.
6. *Teleconferencing*. Pelatihan dengan menggunakan satelit, dimana pelatih dan peserta dimungkinkan untuk berada di tempat yang berbeda.
7. *Case studies*. Pelatihan yang digunakan dalam kelas bisnis, dimana peserta dituntut untuk menemukan prinsip-prinsip dasar dengan menganalisa masalah yang ada.
8. *Role play*. Pelatihan dimana peserta dikondisikan pada suatu permasalahan tertentu, peserta harus dapat menyelesaikan permasalahan dimana peserta seolah-olah terlibat langsung.
9. *Simulation*. Pelatihan yang menciptakan kondisi belajar yang sangat sesuai atau mirip dengan kondisi pekerjaan, pelatihan ini digunakan untuk belajar secara teknikal dan motor skill.
10. *Programmed instruction*. Merupakan aplikasi prinsip dalam kondisi operasional, biasanya menggunakan komputer.
11. *Computer-based training*. Merupakan program pelatihan yang diharapkan mempunyai hubungan interaktif antara komputer dan peserta, dimana peserta diminta untuk merespon secara langsung selama proses belajar.
12. *Laboratory training*. Pelatihan ini terdiri dari kelompok-kelompok diskusi yang tidak beraturan dimana peserta diminta untuk mengungkapkan perasaan mereka terhadap satu dengan yang lain. Tujuan pelatihan ini adalah menciptakan kewaspadaan dan meningkatkan sensitivitas terhadap perilaku dan perasaan orang lain maupun dalam kelompok.
13. *Programmed group excercise*. Pelatihan yang melibatkan peserta untuk bekerjaa sama dalam memecahkan suatu permasalahan.

Pendekatan *on the job training* adalah bentuk pelatihan di tempat kerja. Pada pendekatan ini pegawai belajar langsung di tempat kerjanya, menyesuaikan metode kerja, melakukan adaptasi dengan pekerjaan, menggunakan media kerja atau alat kerja secara langsung dan belajar dari yang lain

ISSN 1978-0176

(Smith, 2000). Metode *on the job training* cenderung berfokus pada pengembangan dan pelatihan jangka panjang. Metode *on the job training* dibagi menjadi 6 macam yaitu:

1. Training instruksi pekerjaan (*job instruction training*). Pelatihan ini memerlukan analisa kinerja pekerjaan secara teliti. Pelatihan ini dimulai dengan penjelasan awal tentang tujuan pekerjaan, dan menunjukan langkah-langkah pelaksanaan pekerjaan berdasarkan dari masing-masing tugas dasar pekerjaan.
2. *Apprenticeship*. Adalah suatu cara mengembangkan keterampilan pengrajin atau pertukangan. Pelatihan ini mengarah pada proses penerimaan karyawan baru, yang bekerja sama dan dibawah bimbingan praktisi yang ahli untuk beberapa waktu tertentu.
3. *Internship dan Assistantships*. Pelatihan ini hampir sama dengan pelatihan *apprenticeship* tetapi mengarah pada kekosongan pekerjaan yang menuntut pendidikan formal yang lebih tinggi. Contoh *internship training* adalah magang.
4. *Job rotation dan transfer*. Pelatihan ini adalah proses belajar yang biasanya untuk mengisi kekosongan dalam manajemen dan teknikal. Pelatihan ini terdapat 2 kerugian yaitu peserta pelatihan hanya merasa dipekerjakan sementara dan tidak mempunyai komitmen untuk terlibat dalam pekerjaan dengan sungguh-sungguh, dan banyak waktu yang terbuang untuk memberi orientasi pada perserta terhadap kondisi pekerjaan yang baru. Tetapi pelatihan ini juga mempunyai keuntungan yaitu jika pelatihan ini diberikan oleh manajer yang ahli maka peserta akan memperoleh tambahan pengetahuan mengenai pelaksanaan dan praktek dalam pekerjaan.
5. *Junior boards dan Committee assingments*. Pelatihan dengan memindahkan peserta pelatihan ke dalam komite untuk bertanggungjawab dalam pengambilan keputusan administrasi. Dan juga menempatkan perserta dalam anggota eksekutif agar memperoleh kesempatan dalam berinteraksi dengan eksekutif yang lain.
6. *Couching* dan *Counseling*. Pelatihan dalam bentuk *coaching* dan *counseling* yaitu bimbingan yang diberikan fasilitator atau atasan yang bertindak sebagai *coach* kepada bawahan mengenai berbagai hal yang terkait dengan pekerjaan. Model ini merupakan cara yang paling alamiah untuk belajar. Dalam konteks perilaku, pembimbingan dapat dicapai dengan lebih baik jika melibatkan hubungan yang sehat antara pegawai dengan fasilitator/*coach* selama periode waktu mereka mengerjakan pekerjaan mereka (Firdaus, 2014).

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah studi literatur dan analisis data sekunder. Studi literatur dilakukan terhadap aturan dan perundang-undangan terkait pengembangan kompetensi ASN serta literatur terkait manajemen sumber daya manusia. Aturan yang dijadikan sandaran adalah Undang-Undang Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara, Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Manajemen ASN, dan Inpres Nomor 15 Tahun 1974 tentang Pokok-Pokok Pelaksanaan Pembinaan Diklat. Di samping itu, data sekunder yang dipergunakan adalah data jumlah PNS BATAN, data pegawai Tata Usaha pada Unit Kerja di BATAN dan data penyelenggaraan diklat di Pusdiklat BATAN sepanjang tahun 2014 dan 2015.

PEMBAHASAN

Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Manajemen ASN mengamanatkan BATAN untuk merencanakan kegiatan peningkatan kapasitas pegawainya minimal 80 jam per pegawai per tahun. Data pegawai BATAN tahun 2016 ada 2821 orang, maka dibutuhkan 225.680 jam diklat per tahun. Daya tampung pusdiklat BATAN adalah 200 orang (6 kelas) per hari maka hal ini setara dengan 142 hari (7 bulan) penyelenggaraan diklat dengan kebutuhan biaya Rp. 6,0 milyar (asumsi biaya per orang Rp. 2,1 Juta per 80 jam diklat). Jika dikaitkan dengan jumlah pegawai bagian TU maka diklat yang dibutuhkan adalah 43.520 jam diklat TU per tahun, atau setara dengan 28 hari penyelenggaraan diklat dengan kebutuhan biaya Rp. 1,1 milyar seperti terlihat pada Tabel.1.

ISSN 1978-0176

Tabel. 1. Kebutuhan pemenuhan diklat 80 jam per tahun

Variabel	*Diklat TU*	*Diklat Non TU*
Jumlah Peserta	544 pegawai	2.277 pegawai
Lama Diklat	43.520 jam (28 hari kerja)	182.160 jam (114 hari kerja)
Biaya	Rp1,14 milyar	Rp4,78 milyar

Data di atas membutuhkan strategi perencanaan dan pelaksanaan pada tataran implementasinya diantaranya terkait keterbatasan ketersediaan pengajar, keterbatasan SDM penyelenggara di Pusdiklat, serta tusi menyelenggarakan diklat terkait ketenaganukliran dengan peserta dari luar BATAN.

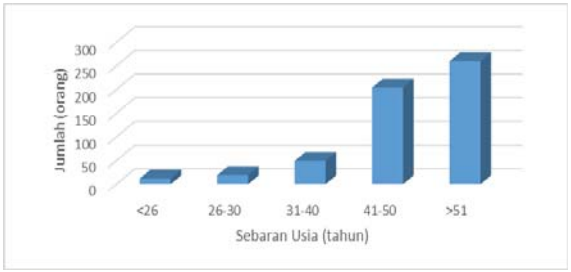
Integrasi Data Pengembangan Kompetensi di BATAN

Langkah pertama yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan integrasi data pengembangan kompetensi yang ada di BATAN. Hal ini dikarenakan 23 Unit Kerja di BATAN masing-masing memiliki kegiatan pengembangan kompetensi yang tidak terkoordinasikan oleh Pusdiklat. Kegiatan tersebut antara lain adalah diklat-diklat teknis dan non teknis serta kursus-kursus. Dokumen Anggaran Unit Kerja tahun 2016 mencatat Rp. 4,3 milyar dianggarkan masing-masing unit kerja untuk kegiatan diklat dan pengembangan SDM. Angka tersebut belum termasuk anggaran seminar dan workshop yang ada di masing-masing Unit Kerja. Bila dijumlah dengan anggaran kegiatan diklat di Pusdiklat maka di tahun 2016 terdapat Rp. 8,8 milyar anggaran BATAN untuk kegiatan pengembangan kompetensi SDM BATAN. Angka ini sudah melebihi dari kebutuhan pemenuhan diklat 80 jam bagi semua pegawai BATAN per tahunnya.

Integrasi data pengembangan SDM yang akurat diharapkan akan mampu mengukur sampai sejauh mana BATAN berkomitmen menerapkan pengembangan kompetensi pegawainya. Selain itu, dapat pula menjadi dasar kebijakan dalam melakukan perencaaan jenis diklat dan sasaran pegawainya. Karena, bila mengacu dokumen anggaran BATAN maka masalah yang paling terlihat adalah soal distribusi tema diklat dan sasaran pegawainya. Porsi diklat untuk bidang administrasi perkantoran bagi pegawai-pegawai TU masih sangat kecil. Dengan integrasi data ini diharapkan ke depannya ada perubahan kebijakan terkait penganggaran untuk diklat bagi pegawai-pegawai TU.

Analisis Pemilihan Jenis Pengembangan Kompetensi

Langkah kedua adalah melakukan analisis pemilihan jenis pengembangan kompetensi. Undang-Undang menyatakan bahwa pengembangan kompetensi dapat dilakukan melalui diklat, seminar, kursus, dan penataran. Hal ini menjadi pilihan yang dikaitkan dengan ketersediaan sumber daya waktu, tenaga pengajar dan tenaga panitia penyelenggara, alat dan bahan, ruang kelas dan biaya. Oleh karena itu menjadi bagian dari manajemen perencanaan untuk melakukan analisis jenis pengembangan kompetensi dikaitkan dengan sumber daya tersebut, termasuk pertimbangan kondisi obyek atau sasaran peserta diklat.



Gambar. 2. Sebaran usia pegawai TU BATAN

Data pegawai TU BATAN (Gambar.2) di tahun 2016 berjumlah 544 orang; hampir 50% pegawai TU berusia di atas 51 tahun, atau lebih dari 85 % pegawai TU berusia di atas 41 tahun. Beban pekerjaan di bagian administrasi perkantoran bersifat rutin, sehingga akivitas dilakukan setiap hari meskipun tidak terlalu padat. Berlatar belakang hal tersebut maka pilihan jenis pengembangan kompetensi yang memungkinkan untuk pegawai TU adalah jenis diklat dan kursus karena dapat dilakukan secara singkat dan tidak terlalu membebani pekerjaan. Pilihan pendekatan diklat dapat secara *on the job training* ataupun *off the job training* tergantung jenis diklat dan tujuan yang hendak dicapai. Untuk diklat bertema *soft competency*, maka dapat dipilih pendekatan *off the job* training dengan memadukan metode-metodenya, baik secara *lecture*, *case studies* dan lain-lain sedangkan diklat bertema *hard competency* maka dapat dilaksanakan baik secara *on the job training* maupun *off the job*

ISSN 1978-0176

training didasarkan pada kesiapan infrastruktur pelaksanaannya. Pilihan *on the job training* dapat dilakukan melalui *coaching*, *mentoring*, pemagangan, dan *apprenticeship program* sepanjang tidak memerlukan laboratorium atau kelas khusus.

Diklat *hard competency* pada pegawai TU dapat difokuskan pada pengembangan keterampilan terkait pekerjaan keseharian pada administrasi perkantoran. Umumnya bagian TU di BATAN dibagi menjadi 3 subbagian (kecuali 6 unit kerja yaitu Biro Umum, Biro Perencanaan, Biro Sumber Daya Manusia, Biro Hukum, Humas, dan Kerjasama, Pusat Standardisasi Mutu Nuklir, dan Inspektorat), yaitu persuratan, kepegawaian, dan dokumentasi ilmiah (PKDI), perlengkapan, dan keuangan. Ketiga subbagian tersebut memiliki tugas dan fungsi yang berbeda dan juga menuntut penguasaan aplikasi serta penyusunan laporan yang berbeda. Pada subbagian PKDI, setiap tahun harus menyusun 3 jenis laporan serta harus menguasai 12 jenis aplikasi, sedangkan pada subbagian keuangan terdapat 3 jenis laporan yang harus disusun dan 10 jenis aplikasi yang harus dikuasai, dan disubbagian perlengkapan setiap tahunnya menyusun 1 laporan serta menggunakan 2 jenis aplikasi dalam pekerjaannya. Jika ditotal maka pegawai TU setiap tahunnya harus menyusun 7 laporan serta dituntut untuk menguasai 24 jenis aplikasi yang berbeda. Hal-hal tersebut menuntut profesionalitas dan tranparansi yang tinggi bagi setiap pelakunya.

Dengan tuntutan jumlah aplikasi yang harus dikuasai dan laporan yang harus disusun setiap tahunnya, pegawai TU membutuhkan penyegaran penguasaan aplikasi dan penyusunan laporan setiap tahunnya mengikuti perkembangan teknologi informasi, tuntutan organisasi serta dinamika kebijakan. Hal ini menguatkan pentingnya pengembangan kompetensi bagi pegawai TU.

SIMPULAN

Pengembangan kompetensi dalam bentuk diklat bagi pegawai TU BATAN sangat diperlukan dalam rangka melaksanakan tugas-tugas di bidang administrasi perkantoran. Diklat bagi pegawai TU bila penyelenggaraannya dikoordinasikan di Pusdiklat, maka memerlukan biaya Rp. 1,14 milyar, dengan jangka waktu pelaksanaan 28 hari kerja sedangkan untuk menyelenggarakan diklat sebanyak 80 jam per pegawai per tahunnya, diperlukan biaya Rp. 6,0 milyar. Target ini bisa dipenuhi bila data pelaksanaan diklat yang ada di unit-unit kerja BATAN dapat dikoordinasikan melalui Pusdiklat.

Manajemen SDM perlu melakukan integrasi data agar dapat memiliki informasi dan acuan kebijakan yang tepat terkait perencanaan pengembangan SDM BATAN, sehingga proses peningkatan kompetensi SDM dapat berjalan secara optimal. Salah satu informasi tersebut adalah terkait jenis diklat dan tema diklat yang tepat untuk pengembangan kompetensi bagi pegawai BATAN, khususnya pengembangan kompetensi bagi pegawai TU.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kravet, *Human Resource Management*: McGraw-Hill, 2004
2. Spencer, N.Lyle and Spencer, M. Signe, *Competence at Work : Models for Superrior Performance*: John Wily & Son,Inc, 1993
3. Malayu S.P. Hasibuan, *Manajemen Sumber Daya Manusia*: PT. Bumi Aksara, 2002
4. Andrew Smith, *Training and Development In Australia*, (2nd Edition): Reed International Books Australia, 2000
5. Henry Simamora, *Manajemen Sumber Daya Manusia*: Bagian Penerbitan STIE YPKN Yogyakarta, 1997
6. Alfaris Sujoko, "Peningkatan Kemampuan Guru Mata Pelajaran melalui In House Training," Jurnal pendidikan Panabur No. 18 tahun ke 11, 2012
7. Firdaus Hafid. (19 Juni 2016) *Pengembangan Kompetensi Pegawai Negeri Sipil Melalui Pendidikan dan Pelatihan*. Available: http://makassar.lan.go.id/index.php/survei/publikasi/artikel/269-pengembangan-kompetensi-pegawai-negeri-sipil-melalui-pendidikan-dan-pelatihan
8. Dewi Irawati. (8 Mei 2010) *Pengembangan SDM Berbasis Kompetensi Sebagai Upaya Meningkatkan Kinerja Organisasi*. Available: ttp://asm.ariyanti.ac.id/download/Karya%20Ilmiah/Nomor%207%20Tahun%20IV/Pengembangan%20SDM%20Berbasis%20Kompetensi%20-%20Dewi%20Irawati.doc

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

ANALISIS PENGGUNAAN MENU SITASI ARTIKEL UNTUK PELAPORAN PUBLIKASI ILMIAH DAN SITASI ARTIKEL DI BATAN

Noer'Aida[1], Susana[2], Harini Wahyuningrum[3]

1) PPIKSN BATAN, Jakarta, Indonesia noerda@batan.go.id
2) PPIKSN BATAN, Jakarta, Indonesia ana@batan.go.id
3) Biro Perencanaan BATAN, Jakarta, Indonesia hningrum@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PENGGUNAAN MENU SITASI ARTIKEL UNTUK PELAPORAN PUBLIKASI ILMIAH DAN SITASI ARTIKEL DI BATAN. Sebelum tahun 2015, capaian kinerja yang telah dilakukan peneliti dan fungsional di BATAN berupa jumlah publikasi ilmiah dan artikel yang mensitasi belum dikelola dengan baik dalam suatu database. Menu Sitasi Artikel dibuat untuk memudahkan dalam melengkapi data dukung pelaporan kegiatan yang telah dilaksanakan, mengunggah judul publikasi ilmiah yang telah diterbitkan, dan publikasi ilmiah yang telah disitasi oleh penulis lain. Tujuan dari kajian ini, untuk menganalisis tingkat keterpakaian menu sitasi artikel dan jumlah capaian publikasi ilmiah yang telah dihasilkan, jumlah artikel yang mensitasi yang terindeks google scholar, scopus atau lainnya. Metode yang digunakan deskriptif kualitatif. Berdasarkan hasil kajian, diperoleh sebanyak 100% Peneliti / Fungsional sudah menggunakan menu sitasi untuk melaporkan publikasi ilmiah, dengan 5 unit kerja urutan tertinggi yang telah menginput yaitu PSTA 370 judul, PKSEN 154, PSTBM 145, PTRR 143, dan PTKRN 130, dan yang mengunggah naskah lengkap adalah PSTA 353 judul, PKSEN 147, PSTBM 84, PSTNT 45 dan PTRR 38. Sebanyak 95% sudah menginput artikel yang mensitasi publikasi ilmiah dengan 5 urutan tertinggi PTKRN 439 judul, PSTBM 100, PAIR 53, PTKMR 51 dan PSTNT 47. Sebanyak 93% melakukan penelusuran melalui google scholar dengan 5 urutan tertinggi PTKRN 382 judul, PAIR 51, PTKMR 40, PSTNT 30 dan PSTBM 22. Sedangkan melalui scopus sebanyak 38% dengan 5 urutan tertinggi PSTBM 82 judul, PTKRN 58, PSTNT 17, PTRR 4 dan PSTA 1, sebanyak 29% melakukan swasitiran. Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, disarankan agar peneliti dan fungsional diberikan sosialisasi ulang termasuk pencarian sitasi artikel melalui scopus.

Kata kunci: analisis sitasi, sitasi artikel, publikasi ilmiah, bibliometrik, indeks sitasi

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE MENU OF ARTICLE CITATION FOR REPORTING AND THE SCIENTIFIC PUBLICATIONS AND ARTICLE CITATION IN BATAN. *Before 2015, the gains of performance that have been conducted by researchers and functional staff in BATAN as a collection of of scientific publications and articles have not managed properly in a database. Article Citation Menu created to facilitate the researchers and functional staff in BATAN to complete supporting data reporting activities carried out, upload titles of scientific publications have been published, and scientific publications that have been cited by other authors. The purpose of the study is to analyze the level of applicated menu and the number of article citations achievements of scientific publications have been produced, the number of articles indexed citate google scholar, Scopus or other. The method used is descriptive qualitative. Based on the study results, obtained as much as 100% of researchers and functional staff in BATAN using menu citation to report on scientific publications, with 5 units of the highest order that has been inputted is PSTA 370 titles, PKSEN 154, PSTBM, PTRR, and PTKRN 130, while the upload is complete manuscript PSTA 353, 147 PKSEN, PSTBM 84, PSTNT 45 and PTRR 38. A total of 95% have to input the article mensitasi scientific publications with 5 units of the highest order PTKRN 439 titles, PSTBM 100, PAIR 53, PTKMR 51, and PSTNT 51. As many as 93% of searches through google scholar with 5 units of the highest order PTKRN 382 titles, PAIR 51, PTKMR 40, 30 and PSTBM PSTNT 22. Meanwhile, through Scopus as much as 38%, with 5 units of the highest order PSTBM 82 titles, PTKRN 58, PSTNT 17 PTRR 4 and PSTA 1, as many as*

29% has been self citation. Based on the research that has been done, it is suggested that researchers and functional staff given re-socialization including article citation search through Scopus

Keywords: analysis citation, citation articles, scientific publications, bibliometric, citation indexes

PENDAHULUAN

Publikasi ilmiah memiliki peran penting dalam mendiseminasikan hasil penelitian kepada masyarakat. Beberapa dapat dimanfaatkan / diterapkan secara langsung, tetapi ada pula yang memerlukan penelitian lebih lanjut. Dampak dari publikasi ilmiah dapat diukur, banyak bidang penelitian menggunakan metode bibliometrik untuk mengeksplorasi dampak dari bidang penelitiannya [1]. Peneliti yang melanjutkan karya peneliti lain harus mensitasi penelitian terkait ataupun yang terdahulu. Penelitian berkelanjutan tidak hanya dilakukan oleh peneliti sendiri tetapi juga peneliti lain, instansi lain, atau negara lain. Penelitian berulang yang dilakukan oleh peneliti berbeda karena saling tidak tahu tentunya tidak diinginkan karena akan menyia-nyiakan sumber daya [2], oleh karena itu adanya sistem/aplikasi yang dapat memuat publikasi ilmiah maupun yang mensitasi menjadi hal yang penting.

Tujuan strategis yang ingin dicapai Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) adalah terwujudnya lembaga unggulan iptek nuklir di tingkat regional [3]. Untuk menuju lembaga unggulan iptek nuklir di tingkat regional, BATAN menetapkan Indikator Kinerja Sasaran Strategis (IKSS) yang tertuang dalam Renstra tahun 2015-2019. Indikator Kinerja Sasaran Strategis tersebut adalah "jumlah publikasi ilmiah yang mengutip atau mensitasi hasil publikasi ilmiah BATAN" sehingga publikasi ilmiah nasional dan internasional hasil litbangyasa iptek nuklir dapat diacu oleh masyarakat ilmiah [4]. Indikator Kinerja Sasaran Strategis diturunkan menjadi Indikator Kinerja Program (IKP) pada tingkat eselon I dan Indikator Kinerja Kegiatan (IKK) pada tingkat unit kerja eselon II. Indikator Kinerja Kegiatan terkait publikasi adalah "Jumlah publikasi ilmiah yang diterbitkan baik dalam lingkup nasional maupun internasional". Artikel yang terpublikasi secara internasional maupun nasional dan disitasi oleh penulis lain mengindikasikan bahwa hasil-hasil penelitian BATAN telah sampai kepada masyarakat [5].

Sebelum tahun 2015 capaian kinerja yang telah berhasil dilakukan dalam bentuk publikasi ilmiah belum terdokumentasikan atau terkelola dalam suatu database dengan baik. Sistem database digunakan sebagai alat untuk merekapitulasi dan melaporkan jumlah hasil publikasi tersebut. Institusi yang penelitiannya di didanai oleh pemerintah baik sebagian atau sepenuhnya, harus menghasilkan laporan berupa publikasi ilmiah sebagai pertanggungjawaban kepada publik agar terekam menjadi artikel ilmiah dan dipublikasikan pada jurnal ilmiah bereputasi baik nasional maupun internasional sehingga dapat disebarluaskan [6].

Dalam 5 tahun terkahir Badan Pemeriksa Keuangan (BPK) memeriksa laporan hasil penelitian yang telah dipublikasikan oleh BATAN karena merupakan Aset Tidak Berwujud (ATB). Aset tidak berwujud adalah aset non-keuangan yang dapat diidentifikasi dan tidak mempunyai wujud fisik serta dimiliki untuk digunakan dalam menghasilkan barang/jasa atau digunakan untuk tujuan lainnya termasuk kekayaan intelektual. Jenis ATB dapat berupa perangkat lunak (*software*) komputer, paten, hak cipta termasuk Karya Tulis Ilmiah (KTI) yang memberikan manfaat jangka panjang [7]. Anggaran Penelitian BATAN tahun 2015 adalah sebesar Rp. 278.558.838.000,00 [8].

Untuk mengelola dan menginventarisir data artikel / publikasi ilmiah yang dihasilkan oleh para Peneliti / Fungsional BATAN sekaligus melihat berapa banyak penulis lain yang menyitir artikel tersebut, Biro Perencanaan (BP) yang mempunyai tugas melaksanakan perencanaan, penyusunan anggaran, dan evaluasi pelaksanaan program penelitian, pengembangan dan perekayasaan, diseminasi serta manajemen kelembagaan, bekerja sama dengan Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN) khususnya bidang Sistem Informasi Manajemen Nuklir (SIMN) mengembangkan menu Sitasi Artikel pada Aplikasi Sistem

ISSN 1978-0176

Perencanaan Litbangyasa 2 (SIPL2). Sejauh ini pengelolaan basis data publikasi ilmiah untuk pelaporan publikasi ilmiah hasil peneliti BATAN belum terintegrasi dengan pelaporan kegiatan di SIPL2, demikian pula dengan data penulis yang menyitir masih belum diketahui. Menu Sitasi Artikel diharapkan dapat mendata publikasi ilmiah Peneliti / Fungsional BATAN secara rapi [9].

Menu Sitasi Artikel dibuat untuk memudahkan Peneliti dan Fungsional di BATAN menggunakan aplikasi SIPL2 dalam melengkapi data dukung pelaporan kegiatan yang telah dilaksanakan kepada Kepala Unit Kerjanya. Menu ini ditujukan bagi penulis untuk mengunggah judul publikasi ilmiah yang telah diterbitkan, dan publikasi ilmiah yang telah disitasi oleh penulis lain baik dalam jurnal internasional, jurnal nasional, prosiding, buku, dan telah terindeks pada Google Scholar, Scopus atau lainnya. Pada akhir tahun anggaran, setiap unit kerja dapat menghitung dan mengupload jumlah publikasi ilmiah yang telah dihasilkan serta jumlah jumlah publikasi ilmiah yang mengutip atau mensitasi hasil publikasi ilmiah BATAN.

Tujuan dari kajian ini adalah untuk menganalisis jumlah publikasi ilmiah unit kerja dari perjanjian dan capaian kinerja yang telah ditetapkan, tingkat keterpakaian menu sitasi jurnal oleh unit kerja, jumlah capaian publikasi ilmiah yang telah dihasilkan, dan jumlah artikel yang mensitasi publikasi ilmiah BATAN yang terindeks oleh lembaga pengindeks seperti google scholar, scopus dan lainnya. Manfaat dari kajian ini adalah sebagai bahan evaluasi sejauh mana menu sitasi artikel ini dipahami dan digunakan oleh para pelaku litbang di BATAN. Hasil dari evaluasi tersebut dapat digunakan sebagai rekomendasi kebijakan Pimpinan dalam meningkatkan jumlah sitasi publikasi ilmiah BATAN.

TINJAUAN PUSTAKA

Bibliometrics adalah analisis statistik publikasi tertulis, seperti buku atau artikel [10]. Metode Bibliometrik sering digunakan dalam bidang ilmu perpustakaan dan informasi, termasuk scientometrics. Misalnya, *bibliometrics* digunakan untuk menyediakan analisis kuantitatif literatur akademik [11] atau untuk mengevaluasi pengeluaran anggaran [12]. Analisis sitasi adalah metode bibliometrik yang umum digunakan untuk melihat dampak dari penelitian. Bibliometrik juga memiliki berbagai aplikasi lain, seperti dalam linguistik deskriptif, pengembangan tesaurus, dan evaluasi penggunaan pembaca. Metode historis bibliometrik telah digunakan untuk melacak hubungan antara kutipan jurnal akademik. Analisis sitasi yang melibatkan pemeriksaan dokumen digunakan dalam mencari bahan dan menganalisis prestasi penulis [13] Sistem informasi pengindeks sitasi seperti *Scientific Information Science* (SIS), memungkinkan pengguna untuk mengetahui publikasi terbaru yang mengutip publikasi sebelumnya.

Istilah bibliometrik diciptakan oleh Alan Pritchard dalam sebuah makalah yang diterbitkan pada tahun 1969 dengan judul "Statistik Bibliografi atau Bibliometrik?" [14]. Analisis sitasi dianggap sebagai cabang bibliometrika dan informetrika yang paling besar. Fokusnya adalah pada kaitan antar publikasi (*publication-publication link*). Lebih tepatnya lagi, kajian sitasi ini mempelajari seberapa banyak atau sering sebuah karya atau seseorang dikutip oleh karya lainnya. Data dari indeks kutipan dapat dianalisis untuk menentukan popularitas dan dampak artikel tertentu, penulis, dan publikasi. Analisis sitasi dapat juga digunakan untuk mengukur kinerja peneliti pada periode tertentu [15].

Analisis sitasi bukanlah hal baru (*Science Citation Index* mulai diterbitkan pada tahun 1961), Sebelum dapat dihitung dengan komputer, perhitungan sitasi dilakukan secara manual dan memakan waktu. Munculnya algoritma otomatis membuat pekerjaan penghitungan sitasi jauh lebih berguna, fleksibel, dan luas. Tema keilmuan publikasi akan menentukan jumlah kutipan. Publikasi dengantema biokimia akan menghasilkan makalah dengan frekuensi kutipan melebihi 400 atau 500 kutipan [16]. Prinsip-prinsip yang harus dipenuhi dalam sitasi adalah sebagai berikut [2]:

1. Keunikan, kutipan harus memuat informasi yang cukup untuk mengidentifikasi materi yang dikutip.
2. Ringkas, untuk menghemat tenaga kerja, waktu, dan bahan, kutipan seharusnya tidak menampilkan informasi yang tidak berguna.
3. Redundansi, jenis redundansi yang diinginkan adalah: (1) bentuk kutipan harus mengandung informasi yang

ISSN 1978-0176

memadai agar bahan yang disitasi dapat diidentifikasi dengan benar meskipun ada kesalahan dalam transkripsi kutipan, (2) jika memungkinkan, kutipan dapat memuat referensi secara paralel dari dua atau lebih sumber yang berbeda untuk bahan yang sama

4. Informatif, kutipan harus berisi informasi yang berguna sehingga memudahkan pembaca untuk memahami dan mengevaluasi pernyataan yang didukung oleh kutipan.
5. Perbedaan bentuk, ketidaksamaan antara bentuk kutipan dari bahan dan konteks yang sama harus seminimal mungkin.
6. Kesamaan dengan aslinya, kutipan harus sedekat mungkin dengan informasi asli dari bahan yang dikutip.
7. Logis, unsur kutipan harus mencerminkan hubungan logis dari atribut bahan yang dikutip.
8. Bersifat permanen, informasi dalam kutipan harus sedapat mungkin bersifat permanen sehingga dapat meminimalisir kemungkinan untuk merevisi kutipan untuk beberapa waktu kedepan.
9. Dapat dibaca / ditranskripkan, kutipan harus dapat dinyatakan pada media yang berbeda: tulisan tangan, ketikan, suara, dan mesin file yang dapat dibaca.
10. Tradisi, penulis harus mengutip seperti cara sebelumnya untuk menghindari banyaknya kebingungan bentuk kutipan.
11. Standardisasi, penulis harus mengikuti sistem keseragaman kutipan.
12. Menyederhanakan sistem, sistem harus meminimasi aturan untuk bentuk dan bahan kutipan yang sama.
13. Bijak, penulis harus mengutip sumber yang benar-benar digunakan.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan rancangan atau desain penelitian deskriptif kualitatif yaitu *mixed* antara kualitatif dan kuantitatif untuk mengetahui tingkat sitasi publikasi ilmiah hasil litbangyasa iptek nuklir. Berdasarkan teknik pengumpulan data dan informasi, dalam penelitian ini menggunakan dua macam data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei [17]. Data sekunder diperoleh dari laporan dan dokumen BATAN. Pada penelitian ini, yang menjadi populasi adalah Peneliti / Fungsional di BATAN yang memiliki publikasi ilmiah. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *non probability sampling*. Teknik non probability yang dipilih adalah *convenience sampling* yaitu pemilihan sample berdasarkan pada pertimbangan kemudahan yaitu anggota-anggota populasi yang kita temui [18], kemudian responden diminta untuk mengisi serangkaian data seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Daftar Pertanyaan Survei

Artikel Batan				Artikel Yang Menyitir				
Judul Artikel	Bibliografi: Tahun Terbit	Penulis	Bibliografi: Jenis Terbitan	Judul Artikel	Bibliografi: Tahun Terbit	Penulis	Pengindex: Swasitiran?	Aksi
					Jenis Terbitan			
					Negara Penerbit			

Untuk memudahkan input data hasil survei dan menjaga validitasnya, responden mengisi data yang diperlukan pada aplikasi SIPL2 (menu sitasi) sehingga dapat langsung ter-database. Periode pengambilan data dilakukan pada bulan Desember 2015 sampai dengan Januari 2016. Pengolahan data dilakukan dengan mengunduh database yang diinput responden kemudian mengolah data dengan Microsoft Excel. Pengolahan data dilakukan dengan menghitung jumlah artikel BATAN berdasarkan tahun dan jenis publikasi, serta jumlah artikel yang mensitasi artikel BATAN berdasarkan tahun, jenis publikasi, dan nama pengindeks. Untuk menjawab tujuan penelitian dilakukan analisis data menggunakan analisis deskriptif, melalui tabulasi data untuk selanjutnya disusun berdasarkan peringkat tertinggi hingga terendah agar mudah diinterpre-tasikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Publikasi ilmiah terbitan BATAN

Jumlah publikasi ilmiah yang dituangkan dalam perjanjian kinerja (PK) pada tahun 2015 dengan indikator jumlah publikasi ilmiah yang diterbitkan dalam publikasi nasional maupun internasional sebanyak 165 publikasi. Bila dibandingkan dengan jumlah peneliti yang ada di BATAN dengan target jumlah publikasi yang yang ditetapkan, maka jumlah yang ditargetkan rata-rata sebanyak 48%. Unit kerja PTKRN misalnya, dengan jumlah peneliti yang ada, memperoleh capaian kinerja tertinggi yaitu sebanyak 477%, diikuti

ISSN 1978-0176

PSTA sebanyak 450%, dan PTKMR 445%. Secara keseluruhan terlihat bahwa rata-rata jumlah capaian kinerja melebihi dari rencana pada PK yang telah ditetapkan yaitu sebesar 261% seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan jumlah penetapan dan capaian kinerja publikasi ilmiah peneliti di BATAN

Unit Kerja	Jumlah Peneliti	Perjanjian Kinerja	%	Capaian Kinerja	%
PTKRN	57	30	53	143	477
PSTNT	29	6	21	27	450
PTKMR	27	11	41	49	445
PTLR	13	11	85	43	391
PSTBM	42	20	48	52	260
PAIR	57	16	28	34	213
PTRR	21	20	95	36	180
PTBBN	30	16	53	27	169
PTBGN	2	6	300	8	133
PRFN	5	11	220	10	91
PSTA	35	10	29	1	10
PKSEN	19	8	42	0	0
Jumlah	338	165	48	430	261

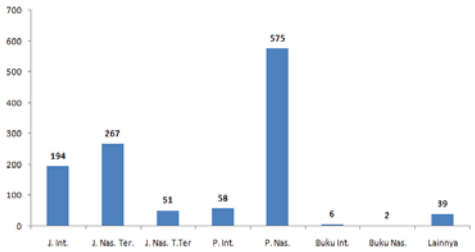
Dalam melakukan pelaporan data jumlah artikel / publikasi ilmiah yang telah dicapai, sejak tahun 2015 data publikasi ilmiah diinvertarisir dan diinput menggunakan menu sitasi artikel yang dapat diakses oleh pejabat fungsional, termasuk data penulis yang mensitasi artikel. Setelah dilakukan penghitungan, diperoleh jumlah artikel yang telah diiput oleh unit-kerja yang ada di BATAN sebanyak 1.192 artikel. Unit kerja PSTA menginput data paling banyak yaitu sebanyak 370 judul, diikuti PKSEN 154 artikel, PSTBM 145 judul, PTRR 143 judul dan PTKRN 130 judul.

Artikel yang diinput adalah yang diterbitkan sejak sebelum tahun 2010 sampai dengan 2016, dan diperoleh sebanyak 182 judul yang diterbitkan pada tahun 2015, 12 judul diterbitkan pada tahun 2016, sehingga capaian kinerja BATAN lebih dari 100% seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Jumlah artikel berdasarkan tahun terbit

Berdasarkan jumlah data yang telah telah terinput, dikelompokkan menurut jenis terbitan yang mempublikasikan artikel. Maka diperoleh sebanyak 575 judul diterbitkan pada prosiding nasional, 267 judul diterbitkan pada jurnal nasional terakreditasi, 194 judul diterbitkan pada jurnal internasional, dan 58 judul diterbitkan pada prosiding internasional seperti ditampilkan pada pada Gambar 2. Dengan demikian kualitas artikel terbitan para pelaku litbangyasa di BATAN cukup berkualitas meskipun masih banyak yang diterbitkan pada prosiding nasional, namun yang diterbitkan di jurnal dan buku internasional sudah melebihi dari jumlah rencana yang telah ditetapkan pada PK.



Gambar 2. Jenis terbitan artikel BATAN

Sebaran jumlah artikel yang diterbitkan pada jurnal internasional dapat dilihat pada Tabel 3, di mana PSTBM merupakan unit kerja tertinggi yaitu sebanyak 55 judul, diikuti PTKRN 51 dan PTRR 24 judul. Unit kerja PSTBM memiliki prestasi paling tinggi yaitu dengan jumlah 42 peneliti, namun capaian publikasi yang diterbitkan di jurnal internasional mencapai 130%. Sedangkan artikel yang diterbitkan pada jurnal nasional terakreditasi, PKSEN menduduki posisi tertinggi yaitu sebanyak 61 judul, diikuti PSTBM dan PSTA sama-sama 53 judul. Artikel yang diterbitkan di prosiding nasional paling banyak unit kerja PSTA yaitu 275 judul, diikuti PKSEN 82 judul dan PTRR 80 judul.

Bila mengacu pada sasaran strategis BATAN yang unggul di tingkat regional, maka target jumlah publikasi yang diterbitkan di prosiding nasional seharusnya dikurangi, dan meningkatkan jumlah publikasi yang diterbitkan pada jurnal internasional. Suatu KTI akan lebih bernilai apabila dimuat dalam jurnal internasional, dan menjadi salah satu nilai jual atau kebanggaan suatu bangsa [19].

Pada menu sitasi artikel terdapat fasilitas untuk mengunggah naskah lengkap. Unit kerja yang mengunggah naskah lengkap terbanyak adalah PSTA 353 judul, diikuti PKSEN 147 judul, dan PSTBM 84 judul. Naskah lengkap ini sangat penting karena sebagai bukti ATB berupa KTI yang diminta oleh BPK [9].

ISSN 1978-0176

Tabel 3. Jenis terbitan artikel di BATAN

Unit Kerja	Jenis Terbitan Artikel								Jumlah
	J. Int.	J. Nas. Ter.	J. Nas. T.Ter	P. Int.	P. Nas.	Buku Int.	Buku Nas.	Lainnya	
PSTA	17	**53**	0	0	**275**	0	2	23	370
PKSEN	1	**61**	3	5	**82**	2	0	0	154
PSTBM	**55**	**53**	0	**21**	15	1	0	0	145
PTRR	**24**	24	12	3	**80**	0	0	0	143
PTKRN	**51**	20	1	17	23	2	0	16	130
PTLR	2	20	0	3	28	0	0	0	53
PRFN	0	4	21	0	24	0	0	0	49
PRSG	0	2	10	2	32	0	0	0	46
PSTNT	19	6	0	5	1	1	0	0	32
PAIR	14	10	0	2	1	0	0	0	27
PTKMR	11	4	2	0	7	0	0	0	24
PTBBN	0	8	2	0	1	0	0	0	11
PTBGN	0	2	0	0	6	0	0	0	8
Jumlah	194	267	51	58	575	6	2	39	1.192

Tahun artikel yang mensitasi publikasi ilmiah terbitan BATAN

Dalam menu sitasi artikel, terdapat fasilitas untuk menginput bibliografi artikel yang mensitasi artikel terbitan BATAN, sehingga dapat diperoleh jumlah artikel yang mensitasi, jenis artikel, merupakan swasitiran atau bukan, terindeks pada lembaga pengindeks seperti Google Scholar, Scopus dan lainnya.

Dari penghitungan yang telah dilakukan berdasarkan tahun terbit artikel, maka diperoleh 803 judul artikel yang mensitasi publikasi terbitan BATAN. Pada tahun 2015 diperoleh 228 judul artikel yang mensitasi, tahun 2014 sebanyak 155 judul dan 12 judul artikel yang mensitasi pada tahun 2016 seperti ditampilkan pada Tabel 4.

PTKRN memiliki jumlah judul artikel yang mensitasi paling tinggi yaitu 439 judul, diikuti PSTBM 100 judul dan PAIR 39 judul. Artinya bidang ilmu keselamatan dan teknologi reaktor, material sains aplikasi bidang isotop dan radiasi paling diminati oleh peneliti lain. Selain itu, PTKRN berada pada posisi tertinggi dengan jumlah artikel yang mensitasi sebanyak 82 judul pada tahun 2015, diikuti PAIR 39 judul dan PSTNT 34 judul. Namun terdapat pula unit kerja yang artikelnya belum ada yang mensitasi. Hal ini disebabkan pada unit kerja tersebut tidak memiliki pejabat fungsional peneliti kecuali fungsional pranata nuklir yang memiliki peraturan yang berbeda.

Tabel 4. Artikel yang mensitasi publikasi BATAN berdasarkan tahun

Unit Kerja	Tahun Artikel yang Mensitasi								Jumlah
	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	<2010	
PTKRN	4	**82**	88	37	35	20	24	149	439
PSTBM	0	18	23	13	2	7	10	27	100
PAIR	1	**39**	8	3	0	1	1	0	53
PTKMR	2	21	12	11	1	2	1	1	51
PSTNT	5	**34**	1	3	2	0	1	1	47
PSTA	0	19	9	11	5	0	0	0	44
PRFN	0	8	6	4	1	2	0	3	24
PTRR	0	1	4	2	0	6	4	0	17
PTBBN	0	3	1	4	4	0	1	3	16
PTLR	0	2	2	1	2	0	1	1	9
PTBGN	0	1	1	0	0	0	0	0	2
PKSEN	0	0	0	0	0	0	1	0	1
PRSG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jumlah	12	228	155	89	52	38	44	185	803

Jenis terbitan artikel yang mensitasi publikasi ilmiah terbitan BATAN

Jenis terbitan artikel yang mensitasi ditampilkan pada tabel 5. Secara umum terlihat bahwa artikel yang mensitasi sebanyak 509 judul dari artikel yang diterbitkan pada jurnal internasional, 102 judul dari artikel yang diterbitkan pada jurnal nasional terakreditasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa publikasi ilmiah terbitan BATAN bukan hanya telah sampai kepada masyarakat ilmiah, tetapi sudah disitasi oleh peneliti lain baik dari dalam maupun luar negeri. Sedangkan sebaran jenis terbitan artikel yang mensitasi diperoleh artikel

ISSN 1978-0176

terbitan PTKRN disitasi oleh 283 judul artikel yang diterbitkan di jurnal internasional, diikuti oleh PSTBM disitasi oleh 87 artikel, dan PAIR oleh 42 artikel. Data tersebut menunjukkan tingkat kualitas artikel dari unit kerja sekaligus pemanfaatan menu sitasi artikel telah optimal.

Artikel yang mensitasi tulisan sendiri / swasitiran

Pada menu sitasi artikel, terdapat menu untuk menunjukkan artikel yang mensitasi merupakan swasitiran atau mensitasi tulisan sendiri atau tidak, karena terlalu banyak kutipan dari tulisan sendiri dinilai kurang baik. Dalam peraturan Kepala LIPI Nomor 04/E/2012 tentang pedoman KTI (LIPI, 2012) membolehkan melakukan swasitiran, namun tidak boleh melebihi 30% dari jumlah total jumlah kutipan (daftar acuan) yang digunakan. Selain itu juga untuk menghindari plagiat terhadap diri sendiri.

Jumlah rata-rata peneliti yang melakukan swasitiran adalah sebanyak 29%. Peneliti yang paling sedikit melakukan swasitiran adalah unit kerja PAIR sebesar 4%, diikuti PSTNT 21%, dan PTKMR 22%. Hasil ini perlu diketahui oleh para pelaku litbang di BATAN agar melakukan swasitiran sesuai dengan peraturan yang ada.

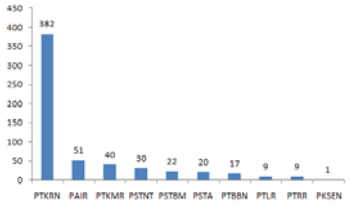
Tabel 5. Jenis terbitan artikel yang mensitasi publikasi BATAN

Unit Kerja	Jenis Terbitan Artikel yang Mensitasi								Jumlah
	J. Int.	J. Nas. Ter.	J. Nas. T.Ter	P. Int.	P. Nas.	Buku Int.	Buku Nas.	Lainnya	
PTKRN	**283**	**55**	0	23	33	**10**	0	35	**439**
PSTBM	**87**	5	2	5	1	0	0	0	100
PAIR	**42**	9	0	1	0	1	0	0	53
PTKMR	38	6	1	0	1	2	0	3	51
PSTNT	32	6	1	5	3	0	0	4	47
PSTA	3	11	0	1	23	0	0	6	44
PRFN	3	0	14	0	6	0	0	1	24
PTRR	13	0	0	0	0	0	0	0	17
PTBBN	3	5	6	0	3	0	0	0	16
PTLR	4	4	0	0	0	0	1	0	9
PTBGN	0	1	0	0	1	0	0	0	2
PKSEN	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	509	102	24	35	71	13	1	49	803

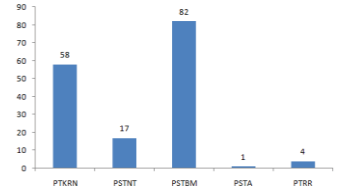
Jumlah artikel yang mensitasi dan terindeks pada Google Scholar dan Scopus

Dampak dari sebuah artikel dapat diukur dengan jumlah kali artikel disitasi. Untuk mengetahui kualitas artikel yang mensitasi dapat dilakukan dengan melakukan penelusuran melalui penyedia jasa sitasi atau lembaga pengindeks seperti google scholar atau scopus. Sehingga dapat menghitung jumlah kali sebuah artikel tertentu telah dikutip. Pada menu sitasi artikel, Terdapat submenu yang menanyakan artikel yang mensitasi terindeks oleh lembaga pengindeks apa saja dengan pilihan google scholar, scopus dan lainnya.

Pada Grafik 3 terlihat bahwa PTKRN memiliki jumlah artikel tertinggi yang disitasi oleh penulis lain dan terindeks oleh google scholar yaitu sebanyak 382 judul, diikuti PAIR 51 judul dan PTKMR 40 judul. Sedangkan unit kerja PSTBM memiliki jumlah artikel tertinggi yang disitasi oleh penulis lain dan terindeks oleh Scopus sebanyak 82 artikel, diikuti oleh PTKRN 58 judul seperti pada Grafik 4. Hal ini menunjukkan bahwa publikasi ilmiah yang diterbitkan oleh para pelaku litbang di BATAN cukup banyak bahkan sudah disitasi oleh peneliti lain dan terindeks pada lembaga pengindeks google scholar dan pengindeks yang bereputasi seperti scopus.



Gambar 3. Jumlah artikel yang mensitasi dan terindeks pada google scholar



Gambar 4. Jumlah artikel yang mensitasi dan terindeks pada scopus

ISSN 1978-0176

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian di atas, dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan jumlah capaian kinerja dalam hal jumlah publikasi ilmiah melebihi dari rencana pada PK yang telah ditetapkan yaitu rata-rata sebanyak 261%. Aplikasi penggunaan menu sitasi artikel telah digunakan 100% untuk menginput publikasi ilmiah yang telah diterbitkan dan mengunggah naskah lengkap artikel. Sebanyak 95% menggunakan untuk menginput artikel yang mengutip atau mensitasi hasil publikasi ilmiah terbitan unit kerja di BATAN. Sebanyak 93% melakukan penelusuran melalui google scholar dan 38% melalui scopus.

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan sosialisasi ulang oleh unit kerja masing-masing agar dapat menggunakan menu sitasi artikel dan pencarian artikel yang disitasi melalui scopus sehingga diperoleh data yang lebih lengkap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang SIMN Bapak Drs. Budi Prasetyo, MT yang telah mengijinkan dan memberikan masukan dalam membuat makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. Pilkington. (25 Mei 2016). Bibliometrics, Royal Holloway University of London. Ver 9.08. 2009. Avalilable: http://personal.rhul.ac.uk/uhtm/001/BibliometricsIndex.html
2. P. Axel-Lute, "Legal Citation Form: Theory and Practice", *Rutgers University Community, Law Library Journal*, volume 75:148, 1982.
3. BATAN, Peraturan Kepala BATAN Nomor 11 Tahun 2014 tentang Penetapan Indikator Kinerja Utama BATAN Tahun 2010-2014. Jakarta, 2014.
4. BATAN, Rencana Strategis BATAN Tahun 2015-2019. BATAN, Jakarta, 2015.
5. BATAN, Laporan Kinerja BATAN. Jakarta, 2015.
6. Himawanto, "Kajian Sitiran Terbitan Berkala pada Kegiatan Riset Minyak dan Gas Bumi yang Terekam Media Terakreditasi", *Jurnal BACA*, vol. 36(2), Desember 2015.
7. Komite Standar Akuntansi Pemerintah, "Akuntansi Aset Tak Berwujud Berbasis Akrual", *Buletin Teknis Standar Akuntansi Pemerintah Nomor 17*, 2014.
8. Biro Perencanaan-BATAN, *Modul Sitasi Jurnal:* Biro Perencanaan, Jakarta, 2015.
9. T.W. Utomo, *Aset Tak Berwujud dan Kemanfaatan Penelitian*: LAN, Jakarta, 2013.
10. OECD. (25 Mei 2016). "*Bibliometrics*", 2013. Avalilable: http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=198
11. N. De Bellis, *Bibliometrics and citation analysis: from the Science citation index to cybermetrics:* Scarecrow Press, p. 417, 2009.
12. D. Coughlin, B.J. Jansen, "A Web Analytics Approach for Appraising Electronic Resources in Academic Libraries", *Journal of the Association for Information Science and Technology*, vol. 67(3), pp. 518-534, 2016.
13. P. Schaer, "Applied Informetrics for Digital Libraries: An Overview of Foundations, Problems and Current Approaches". *Historical Social Research,* vol. 38 (3), pp. 267–281, 2013.
14. A. Pritchard, *Statistical Bibliography or Bibliometrics?, Journal of Documentation, 25(4)*, 348-349, 1969.
15. D. Hoang, J. Kaur, F. Menczer, *"*Crowdsourcing Scholarly Data*", in Proceedings of the WebSci10: Extending the Frontiers of Society On-Line*, April 26-27th, 2010.
16. E. Garfield, "Introducing Citation Classics: the Human Side of Scientific Reports", *Current Contents. No. 1. p. 5-7 (January 3, 1977). Reprinted in Essays of an Information Scientist*, Volume 3. Philadelphia, ISI Press, p. 1-2, 1980.
17. M. Singarimbun, S. Effendi, *Metode Penelitian Survei*: LP3ES, Jakarta, 1989.
18. Hair, et.al, *Essential of Marketing Research:* the McGraw-Hill Companies, 2008.
19. Soeharto (18 Mei 2016), Menilai suatu jurnal melalui citation index dan impact factors, UNNES Semarang, 2013.

ISSN 1978-0176

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Apakah dalam menu ini, pihak lain bisa mengetahui duplikasi dan kemiripan?
2. Apakah menu ini sudah mewakili seperti yang LIPI atau nasional buat?

Jawaban

1. Belum, karena aplikasi ini masih merupakan langkah awal dalam proses mendatabasekan karya tulis ilmiah para peneliti dan fungsional yang tersebar, baik yang diterbitkan pada publikasi terbitan Batan maupun terbitan di luar Batan. Namun kedepan, dapat dikembangkan untuk mengetahui duplikasi atau kemiripan
2. Menu ini sudah sesuai dengan standar umum yang ada dalam pembuatan bibliografi artikel.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

ANALISIS PENILAIAN MANDIRI PELAKSANAAN REFORMASI BIROKRASI DI BATAN

Harini Wahyuningrum[1], Falikul Fikri[2], Tanti Susanti[3]

1) Biro Perencanaan BATAN, Jakarta, Indonesia hningrum@batan.go.id
2) Biro Perencanaan BATAN, Jakarta, Indonesia fikri@batan.go.id
3) Inspektorat BATAN, Jakarta, Indonesia tanti@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PENILAIAN MANDIRI PELAKSANAAN REFORMASI BIROKRASI DI BATAN. Pelaksanaan Reformasi Birokrasi (RB) pemerintah harus mampu mendorong perbaikan dan peningkatan kinerja birokrasi. Sejak tahun 2009 BATAN telah menetapkan program RB sebagai salah satu program prioritas. Dalam Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Nomor 11 Tahun 2015 menargetkan nilai rata-rata indeks RB setiap kementerian atau lembaga pada tahun 2019 adalah 75 dengan skala 1-100. Tujuan penelitian adalah untuk mengukur kapasitas organisasi dan mengukur persepsi korupsi di BATAN serta menganalisis keduanya. Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui gambaran pelaksanaan RB di BATAN dan sebagai bahan masukan/rekomendasi pengambil kebijakan dalam rangka peningkatan kinerja RB.

Hasil pengujian instrumen penelitian untuk indikator kapasitas organisasi dan persepsi korupsi menunjukkan validitas tinggi dan reliabel. Nilai kapasitas organisasi BATAN yang diperoleh adalah 4,17 (pada skala 5). Nilai persepsi korupsi yang diperoleh adalah 3,87 (pada skala 4). Hasil analisis lebih lanjut menunjukkan BATAN telah melakukan beberapa aksi untuk meningkatkan kinerja RB yaitu: 1) Membentuk *agent of* change; 2) Penataan peraturan perundang-undangan; 3) Penataan sistem manajemen SDM; 4) Melibatkan pimpinan dalam menyusun dan menetapkan Renstra, Perjanjian Kinerja, dan Laporan Kinerja; 5) Menetapkan kebijakan penanganan gratifikasi, benturan kepentingan, pengaduan masyarakat dan Whistle Blowing System (WBS); 6) Mencanangkan BATAN sebagai zona integritas yang diikuti dengan penetapan unit kerja menuju Wilayah Bebas Korupsi (WBK) dan Wilayah Birokrasi Bersih dan Melayani (WBBM); dan 7) Melakukan inovasi pelayanan dan menjaga pengelolaan RB secara berkesinambungan.

Kata kunci: Reformasi Birokrasi, kapasitas organisasi, persepsi korupsi

ABSTRACT

***SELF ASSESSMENT ANALYSIS OF BUREAUCRACY REFORM IN BATAN**. Implementation of Bureaucracy Reform (RB) in governments should be encourage improvement and enhancement of bureaucracy performance. Since 2009, RB program in BATAN has set as one of the priority programs. The Ministry of Empowerment of State Apparaturs and Beaurocracy Reform decree No. 11 of 2015 targeting the RB index average value of each minister or agency in 2019 was 75 with a scale of 1-100. The purpose of this research are measuring the capacity of the organization and measuring perceptions of corruption in BATAN and analyze both. The benefits of this research are to overview the implementation of the RB in BATAN and as input / recommendation policy makers in order to improve the performance of RB.*

The test results of the research to indicators of organizational capacity and the perception of corruption showed high validity and reliable. BATAN organizational capacity value obtained 4.17 (on a scale of 5). Corruption perception value obtained 3.87 (on a scale of 4). Further analysis showed BATAN has conducted several actions to improve the performance of RB, those are: 1) Establish agent of change; 2) Structuring the legislation; 3) reform the management of human resources; 4) Involve leaders in developing and establishing strategic Planning, Performance Agreements and Performance Reports; 5) Establish policies for handling gratuities, conflict of interest, public complaints and Whistle Blowing System (WBS); 6) Declares BATAN as the integrity of the zone followed by the determination unit to the Corruption-Free Zone

ISSN 1978-0176

(WBK) and Clean and Serve-Bureaucracy Zone (WBBM); and 7) To innovation management services and maintain sustainable RB.

Keywords: Bureaucracy Reform, capacity of organization, perception of corruption

PENDAHULUAN

Pergeseran paradigma birokrasi dari yang selama ini dikenal lambat, tidak layak, dan tidak dapat memenuhi kepuasan masyarakat menjadi sebuah keniscayaan [1]. Organisasi pemerintah dengan kapasitas tinggi biasanya berhubungan dengan birokrasi yang kompeten, berkomitmen dan koheren, serta sumber daya manusia (SDM) yang memiliki integritas [2].

Pelaksanaan Reformasi Birokrasi (RB) pemerintah harus mampu mendorong perbaikan dan peningkatan kinerja birokrasi. Undang-undang Nomor 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) mengamanatkan bahwa pembangunan aparatur negara dilakukan melalui RB untuk meningkatkan profesionalisme aparatur negara dan untuk mewujudkan tata kelola pemerintahan yang baik [3]. Tindak lanjut dari undang-undang tersebut adalah Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2010 tentang *Grand Design* RB 2010-2025 [4], Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara (Permen PAN) RB Nomor 20 Tahun 2010 tentang Roadmap RB 2010 – 2014 [5], dan Permen PAN RB Nomor 11 Tahun 2015 tentang Roadmap RB 2015 – 2019 [6].

Sejak tahun 2009 BATAN telah menetapkan program RB sebagai salah satu program prioritas. Hasil-hasil yang telah diperoleh dari pelaksanaan RB pada periode 2010 – 2014 menjadi dasar bagi pelaksanaan RB pada tahapan selanjutnya (2015 – 2019). Pelaksanaan RB BATAN tahap pertama yaitu tahap pembangunan sistem telah diselesaikan, dan saat ini berada pada tahap kedua yaitu tahap sosialisasi dan internalisasi, serta sebagian program telah pada tahap pengukuran dampak RB [7]. Dalam Permen PAN RB Nomor 11 Tahun 2015 menargetkan nilai rata-rata indeks RB setiap kementerian atau lembaga pada tahun 2019 adalah 75 dengan skala 1-100. Lampiran 3 dokumen Renstra BATAN 2015-2019 halaman 61 menyebutkan bahwa dokumen Penguatan RB di BATAN sebagai salah satu output BATAN yang ingin dicapai dari fokus bidang kelembagaan [8].

Sesuai Permen PAN RB Nomor 14 Tahun 2014 tentang Pedoman Evaluasi RB Instansi Pemerintah, Penilaian Mandiri Pelaksanaan RB (PMPRB) digunakan sebagai instrumen untuk mengukur kemajuan pelaksanaan RB secara mandiri (*self-assessment*). BATAN telah melakukan PMPRB sejak tahun 2012 dalam rangka meningkatkan kapasitas dan akuntabilitas kinerja, mewujudkan pemerintahan yang bersih dan bebas KKN dan meningkatkan kualitas pelayanan Publik. Kebijakan manajemen SDM dan langkah untuk membangun kapasitas organisasi berfokus pada kinerja, fleksibilitas, dan pemilihan berdasarkan ketepatan dan pemanfaatan yang tepat sesuai bakat [9]. BATAN setiap tahun melakukan pengukuran kapasitas organisasi dan persepsi terhadap korupsi guna memperoleh gambaran secara obyektif mengenai pelaksanaan RB.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana kapasitas organisasi BATAN dan bagaimana persepsi korupsi di seluruh unit kerja di BATAN. Sedangkan tujuan penelitian adalah untuk mengukur kapasitas organisasi dan mengukur persepsi korupsi di BATAN serta menganalisis keduanya. Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui gambaran pelaksanaan RB di BATAN dan sebagai bahan masukan/rekomendasi pengambil kebijakan dalam rangka peningkatan kinerja RB.

TINJAUAN PUSTAKA

Reformasi Birokrasi

Sistem birokrasi yang efektif dalam negara berkembang dapat ditandai dengan: (1) hukum dan peraturan yang tepat, (2) pemerintahan yang mampu memberkan kepastian, (3) sistem seleksi yang mampu menarik SDM yang terbaik dan dapat memanfaatkan bakat yang tepat, (4) kinerja sistem manajemen yang mampu memotivasi, menghargai dan mempertahankan orang-orang berbakat dan

ISSN 1978-0176

yang secara efektif mengelola SDM yang berkinerja rendah, dan (5) sistem disiplin yang adil dan efektif dalam mempertahankan layanan yang koheren dan bebas korupsi [10]. RB pada hakikatnya merupakan upaya untuk melakukan pembaharuan dan perubahan mendasar terhadap sistem penyelenggaraan pemerintahan terutama menyangkut aspek-aspek kelembagaan (organisasi), ketatalaksanaan (*business prosess*) dan sumber daya manusia aparatur, atau dengan kata lain reformasi birokrasi adalah langkah strategis untuk membangun aparatur negara agar lebih berdaya guna dan berhasil guna dalam mengemban tugas umum pemerintahan dan pembangunan nasional [11].

Penilaian terhadap setiap program dalam komponen pengungkit (proses) dan sasaran reformasi birokrasi diukur melalui indikator-indikator yang dipandang mewakili program tersebut. Sehingga dengan menilai indikator tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran pencapaian upaya yang berdampak pada pencapaian sasaran. Evaluasi didasarkan pada penilaian komponen pengungkit (60%) dan komponen hasil (40%). Komponen pengungkit meliputi manajemen perubahan, penataan peraturan perundang-undangan, penataan dan penguatan organisasi, penataan tatalaksana, penataan sistem manajemen SDM, penguatan sistem akuntabilitas, penguatan pengawasan, dan peningkatan kualitas pelayanan publik. Sedangkan yang termasuk komponen hasil adalah kapasitas dan akuntabilitas kinerja organisasi, pemerintah yang bersih dan bebas Korupsi, Kolusi, dan Nepotisme (KKN), dan kualitas pelayanan publik [12].

Indikator kapasitas organisasi

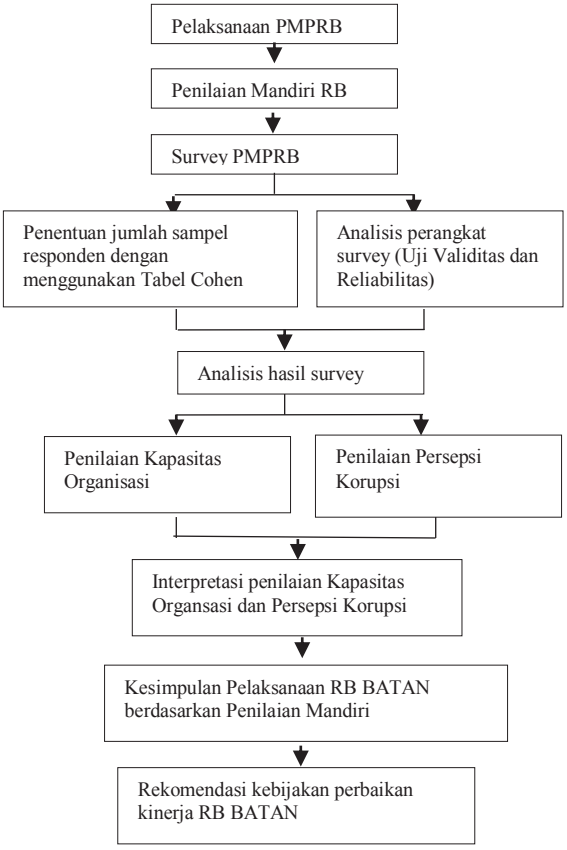
Kapasitas merupakan istilah luas yang digunakan dalam banyak konteks [13]. Menurut Horton et al. [14], kapasitas organisasi mengacu pada potensi organisasi untuk mencapai misi dan tujuannya berdasarkan sejauh mana atribut tertentu yang telah diidentifikasi sebagai hal penting untuk pencapaian tujuan. Lebih lanjut, Eisinger [15] menekankan bahwa atribut kunci dari pengaruh kapasitas organisasi adalah efektivitas organisasi atau pemenuhan misi. Hall et al. [16] menyarankan bahwa ada banyak hubungan antara kapasitas atau multidimensionalitas kapasitas organisasi.

Indikator persepsi korupsi

Laporan *Transparency International* yang diterbitkan pada tahun 2010 menunjukkan bahwa indeks persepsi korupsi (*Coruption Perception Index*) di Indonesia berada pada peringkat 100 dari 182 negara, dengan skor 3,0 dari skala 10 (sangat bersih) ke 0 (Sangat korup) [17]. Integritas nilai sektor publik di Indonesia masih rendah dan tidak terlalu jauh dari standar integritas minimum yang ditetapkan oleh Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK), yang merupakan 6,0 (pada skala 1 sebagai yang terendah untuk 10 sebagai yang tertinggi), dan tidak menyebutkan luas praktek manipulasi dalam akuntabilitas keuangan publik [18].

METODOLOGI

Kerangka pemikiran dalam penelitian dijabarkan pada bagan alir Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir kerangka pemikiran

ISSN 1978-0176

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan secara tepat sifat-sifat suatu individu, kelompok tertentu, atau menentukan frekuensi penyebaran suatu gejala, atau frekuensi adanya pengaruh tertentu antara suatu gejala lain dalam masyarakat [19]. Teknik pengumpulan data dan informasi dalam penelitian ini menggunakan dua macam data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survey [20]. Data sekunder diperoleh dari literatur dan dokumen BATAN.

Pada penelitian ini, yang menjadi populasi adalah seluruh pegawai BATAN. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *probability sampling* karena peneliti memiliki data populasi individu yang ada di BATAN. Teknik *probability* yang dipilih adalah *stratified sampling* [21]. Peneliti pertama-tama membagi populasi ke dalam 23 strata yang menggambarkan 23 unit kerja. Masing-masing strata diambil 15 sampel yang terdiri dari pejabat struktural, fungsional tertentu, dan fungsional umum. Cara menentukan jumlah sampel penelitian dapat menggunakan tabel Cohen ataupun rumus Slovin. Pada penelitian ini, besar sampel ditentukan dengan memperhitungkan taraf keyakinan dan sampling *error* penelitian. Cohen et al. [22] membentuk tabel penentuan jumlah sampel berdasarkan taraf keyakinan dan *sampling error* penelitian seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tabel Cohen

Populasi	Taraf Keyakinan 95%		
	Sampling Error		
	5%	4%	3%
2000	322	462	696
2500	333	484	749
5000	357	536	879

Penentuan jumlah responden mengacu pada tabel Cohen, untuk populasi pegawai BATAN yang mendekati angka 2500, dengan taraf keyakinan 95% dan *sampling error* 5% maka jumlah sampel yang dibutuhkan minimal 333.

Dalam penelitian ini sampel 337 dianggap telah memenuhi tabel Cohen sehingga dapat dikatakan cukup. Pengambilan data dilakukan menggunakan kuesioner dengan tipe data ordinal dan skala likert. Pilihan jawaban untuk survey kapasitas organisasi adalah 1 sampai dengan 5 dimana nilai 1 untuk menyatakan ketidaksetujuan/ketidaksesuaian dan nilai 5 untuk menyatakaan sangat setuju/sesuai. Pilihan jawaban untuk survey persepsi korupsi adalah 1 sampai dengan 3 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak pernah sama sekali, nilai 2 untuk menyatakan kadang-kadang, dan nilai 3 untuk menyatakaan selalu. Periode pengambilan data dilakukan pada bulan Juni 2015. Pengolahan data dilakukan dengan menginput jawaban responden pada aplikasi *Microsoft Office Excel* kemudian mengolah dan menganalisisnya untuk menjawab tujuan penelitian. Metode analisis data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Analisis Instrumen Penelitian (Uji Validitas)

Validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan tingkat kevalidan sesuatu instrumen [23]. Suatu instrumen yang valid atau sahih mempunyai validitas tinggi. Sebaliknya instrumen yang kurang valid berarti memiliki validitas rendah. Sebelum instrumen penelitian ini digunakan pada penelitian sesungguhnya, maka dilakukan terlebih dahulu uji instrumen. Satu cara yang sering digunakan untuk uji instrumen ini adalah uji validitas. Uji validitas ini dilakukan untuk memastikan bahwa instrumen yang dibuat sudah tepat dan sesuai dengan penelitian yang kita lakukan. Perhitungan validitas dari sebuah instrumen dapat menggunakan rumus korelasi produk momen atau dikenal juga dengan rumus validitas Pearson, adapun rumusnya adalah sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\}\{n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \qquad (1)$$

Keterangan:
r_{xy} = Koefisien Korelasi
n = jumlah responden
X = skor tiap item
Y = skor seluruh item responden

Untuk menguji signifikan hasil korelasi digunakan uji t. Adapun kriteria untuk menentukan signifikansi dengan membandingkan nilai t-hitung dan t-tabel. Jika t-hitung > t-tabel, maka dapat disimpulkan bahwa butir item pertanyaan tersebut valid. Rumus mencari t-hitung yang digunakan adalah:

$$t_{hit} = \frac{r_{xy}\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r_{xy}^2)}} \qquad (2)$$

ISSN 1978-0176

Analisis Instrumen Penelitian (Uji Reliabilitas)

Instrumen yang reliabel adalah instrumen yang bila digunakan beberapa kali untuk mengukur obyek yang sama, akan menghasilkan data yang sama [24]. Persyaratan bagi sebuah tes instrumen penelitian yaitu validitas dan reliabilitas. Dalam hal ini validitas lebih penting, dan reliabilitas ini perlu, karena menyokong terbentuknya validitas. Sebuah tes mungkin reliabel tetapi tidak valid. Sebaliknya, sebuah tes yang valid biasanya reliabel. Pengukuran reliabilitas pada penelitian ini menggunakan teknik belah dua (*Split-Half Technique*) yaitu membagi tes menjadi dua bagian yang relatif sama (banyaknya soal sama), sehingga masing-masing tes mempunyai dua macam skor, yaitu skor belahan pertama (awal/soal nomor ganjil) dan skor belahan kedua (akhir/soal nomor genap). Koefisien reliabilitas belahan tes dinotasikan dengan $r_{\frac{11}{11}}$ dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yaitu korelasi angka kasar Pearson. Selanjutnya koefisien reliabilitas keseluruhan tes dihitung menggunakan formula Spearman-Brown, yaitu:

$$r_{11} = \frac{2r_{\frac{11}{22}}}{1 + r_{\frac{11}{22}}} \qquad (3)$$

Kategori koefisien reliabilitas [25] dijelaskan pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Kategori koefisien reliabilitas

Nilai Korelasi	Kategori
$0{,}80 < r_{11} < 1{,}00$	reliabilitas sangat tinggi
$0{,}60 < r_{11} < 0{,}80$	reliabilitas tinggi
$0{,}40 < r_{11} < 0{,}60$	reliabilitas sedang
$0{,}20 < r_{11} < 0{,}40$	reliabilitas rendah
$-1{,}00\ r_{11} < 0{,}20$	reliabilitas sangat rendah (tidak reliabel)

Analisis Penilaian Kapasitas Organisasi dan Persepsi Korupsi

Kapasitas organisasi diukur dengan melakukan survey internal terhadap seluruh unit kerja di BATAN. Teknik penilaian pada dasarnya merupakan cara/alat/metode yang digunakan untuk pengumpulan dan analisis data. Berbagai teknik penilaian dapat dipilih untuk mendukung metode penilaian yang telah ditetapkan, sehingga mampu menjawab tujuan dilakukannya penilaian ini. Pengukuran nilai kapasitas organisasi berdasarkan Permen PAN RB Nomor 14 Tahun 2014 menggunakan skala 5 dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas Organisasi} = \frac{\sum skor\ jawaban}{\sum responden} \qquad (4)$$

Pengukuran nilai indeks persepsi korupsi (IPK) berdasarkan Permen PAN RB Nomor 14 Tahun 2014 menggunakan skala 4 dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks Persepsi Korupsi} = \frac{\sum skor\ jawaban}{\sum responden} \qquad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kementerian PAN RB setiap tahun rutin melakukan penilaian RB di BATAN dalam bentuk Indeks RB yang diukur dari 11 aspek penilaian. Nilai total indeks merupakan penjumlahan dari 11 aspek penilaian yang tercakup dalam komponen pengungkit dan komponen hasil. Seluruh aspek tersebut dituangkan menjadi 30 pertanyaan dalam kuesioner survey kapasitas organisasi dan 6 pertanyaan survei persepsi korupsi.

Model pertanyaan yang digunakan dalam survey pengukuran kapasitas organisasi adalah seperti pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Pertanyaan survey kapasitas organisasi

No	Pertanyaan
1.	Organisasi telah melakukan sosialisasi/internalisasi Road Map RB
2.	Pimpinan tertinggi organisasi terlibat secara aktif dan berkelanjutan dalam pelaksanaan RB
3.	Organisasi telah melakukan analisis dan pemetaan peraturan perundang-undangan
4.	Organisasi telah tepat fungsi dan tepat ukuran
5.	Organisasi telah menerapkan prosedur operasional tetap/SOP yang sesuai dengan tugas dan fungsi organisasi
6.	Organisasi telah menerapkan e-government
7.	Organisasi telah mengembangkan kompetensi pegawai
8.	Organisasi telah melakukan penilaian kinerja pegawai
9.	Organisasi telah melakukan sosialisasi peraturan kepegawaian
10.	Pimpinan organisasi memantau secara langsung pencapaian kinerja organisasi
11.	Organisasi telah menetapkan kebijakan penanganan pengaduan masyarakat
12.	Organisasi telah melakukan sosialisasi Pedoman Sistem Pengendalian Intern Pemerintahan (SPIP)
13.	Organisasi telah mengembangkan Wilayah Bebas

ISSN 1978-0176

	Korupsi (WBK)
14.	Organisasi telah menetapkan standar layanan dalam kegiatan pelayanan publik
15.	Organisasi telah memanfaatkan teknologi informasi untuk mewujudkan pelayanan prima
16.	Saya memahami Road Map RB
17.	Saya merasakan keterlibatan pimpinan tertinggi organisasi dalam pelaksanaan RB
18.	Saya dapat mengakses peraturan perundang-undangan yang berlaku di organisasi
19.	Saya melaksanakan pekerjaan sesuai dengan tugas dan fungsi organisasi
20.	Saya melaksanakan pekerjaan sesuai dengan SOP
21.	Saya memanfaatkan e-government untuk mendukung pelaksanaan pekerjaan
22.	Saya diberi kesempatan untuk mengikuti pengembangan kompetensi
23.	Saya membuat catatan untuk penilaian kinerja pegawai
24.	Saya memahami peraturan kepegawaian
25.	Saya membuat laporan kegiatan secara berkala
26.	Saya mengetahui mekanisme penanganan pengaduan masyarakat
27.	Saya mengetahui kebijakan gratifikasi
28.	Saya merasa organisasi berupaya mencegah korupsi
29.	Saya mengetahui standar layanan dalam pelayanan publik
30.	Saya mengetahui tingkat kepuasan masyarakat terhadap pelayanan publik

Model pertanyaan yang digunakan dalam survey pengukuran persepsi korupsi dalah seperti pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Pertanyaan survey persepsi korupsi

No	Pertanyaan
1.	Praktek percaloan
2.	Memperoleh pelayanan dengan memberikan imbalan
3.	Diminta komisi dalam pengurusan layanan
4.	Memberikan tanda terima kasih atas pelayanan yang diminta
5.	Melihat/mendengar praktek KKN
6.	Terdapat praktek KKN dalam pengurusan layanan

Pengambilan data dilakukan kepada 23 unit kerja dengan total responden 337 untuk survei kapasitas organisasi dan persepsi korupsi.

Hasil Uji Validitas

Untuk mengukur tingkat kevalidan dari pertanyaan kuisioner, peneliti melakukan uji validitas dengan bantuan aplikasi *Microsoft Office Excel*. Uji validitas diujicobakan terhadap 20 sampel sebelum diterapkan pada 337 sampel. Langkah yang dilakukan adalah menginput hasil dari 20 sampel, kemudian menjumlahkan hasil isian kuisioner untuk masing-masing responden. Berikutnya adalah menghitung korelasi Pearson untuk hasil jawaban setiap pertanyaan dengan total skor setiap responden. Hasil perhitungan uji validitas kapasitas organisasi dan persepsi korupsi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji validitas

Penilaian	Nilai Korelasi Pearson	Nilai T Hitung	Kesimpulan
Kapasitas Organisasi	0,44 – 0,83	2,09 – 6,23	Valid
Persepsi Korupsi	0,55 – 0,87	2,75 – 7,33	Valid

Nilai t-hitung instrumen penelitian kapasitas organisasi diperoleh dengan menggunakan Pers. (2) dan nilai t-tabel diperoleh dari $\alpha = 5\%$ dan derajat bebas 18 (dimana nilai derajat bebas diperoleh dari jumlah sampel dikurang 2) adalah 1,73. Jika t-hitung > t-tabel, maka dapat disimpulkan bahwa butir item pertanyaan tersebut valid. Setelah membandingkan t-hitung dan t-tabel, diperoleh kesimpulan yaitu keseluruhan nilai t-hitung (2,09 – 6.23) lebih besar dari 1,73 sehingga dapat disimpulkan keseluruhan pertanyaan adalah valid.

Nilai t-hitung instrumen penelitian persepsi korupsi diperoleh dengan menggunakan Pers. (2) dan nilai t-tabel diperoleh dari $\alpha = 5\%$ dan derajat bebas 18 yaitu 1,73. Jika t-hitung > t-tabel, maka dapat disimpulkan bahwa butir item pertanyaan tersebut valid. Setelah membandingkan t-hitung dan t-tabel, diperoleh kesimpulan yaitu keseluruhan nilai t-hitung (2,75 – 7,33) lebih besar dari 1,73 sehingga dapat disimpulkan keseluruhan pertanyaan adalah valid.

Hasil Uji Reliabilitas

Pengujian realiabilitas kapasitas organisasi dilakukan dengan membagi pertanyaan menjadi 2 kelompok, kelompok 1 adalah pertanyaan 1-15 dan kelompok 2 pertanyaan 16-30. Sedangkan pengujian reliabilitas persepsi korupsi dilakukan dengan membagi pertanyaan menjadi 2 kelompok, kelompok 1 adalah pertanyaan 1-3 dan kelompok 2 pertanyaan 4-6. Masing-masing kelompok dihitung total skor jawaban selanjutnya dihitung korelasinya dengan menggunakan rumus korelasi Pearson Pers. (1). Hasil korelasi Pearson dimasukkan dalam formula Spearman-Brown Pers. (3) untuk mendapatkan nilai reliabilitasnya. Selaras dengan Guilford (1956), instrumen memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi jika nilai koefisien yang diperoleh > 0,60 [26]. Jumlah skor masing-masing kelompok dan hasil

ISSN 1978-0176

korelasinya diuraikan pada Tabel 6 berikut ini.

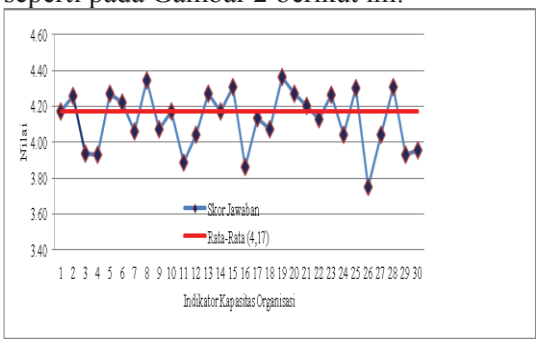
Tabel 6. Nilai reliabilitas Spearman-Brown

Penilaian	Korelasi Pearson	Reliabilitas Spearman-Brown	Kesimpulan
Kapasitas Organisasi	0,86	0,93	Reliabilitas tinggi
Persepsi Korupsi	0,46	0,63	Reliabilitas tinggi

Berdasarkan perhitungan reliabilitas Spearman-Brown diperoleh nilai reliabilitas instrumen pengukuran kapasitas organisasi adalah 0,93 dan persepsi korupsi sebesar 0,63. Sehingga dapat disimpulkan instrumen yang digunakan untuk pengukuran kapasitas organisasi dan persepsi korupsi reliabel.

Hasil Pengukuran Kapasitas Organisasi

Indikator-indikator dalam pengukuran kapasitas organisasi dijabarkan dalam pertanyaan kuisioner yang berjumlah 30 butir. Berdasarkan hasil penelitian terhadap 337 responden dari 23 unit kerja, nilai kapasitas organisasi diperoleh dengan menjumlah seluruh skor jawaban responden kemudian dibagi dengan jumlah responden. Sebaran skor atas 30 indikator kapasitas organisasi seperti pada Gambar 2 berikut ini.

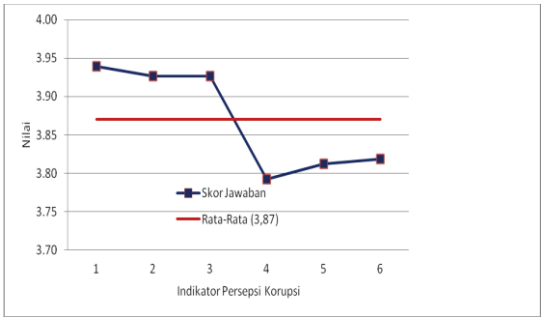


Gambar 2. Distribusi skor kapasitas organisasi

Nilai rata-rata hasil pengukuran kapasitas organisasi adalah 4,17. Terdapat 15 indikator yang berada di atas nilai rata-rata dan 15 indikator berada di bawah nilai rata-rata. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa BATAN perlu meningkatkan 15 indikator yaitu terhadap pertanyaan nomor 3, 4, 7, 9, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 24, 26, 27, 29, dan 30.

Hasil Pengukuran Persepsi Korupsi

Indikator-indikator dalam pengukuran persepsi korupsi dijabarkan dalam pertanyaan kuisioner yang berjumlah 6 butir. Berdasarkan hasil penelitian terhadap 337 responden dari 23 unit kerja, nilai persepsi korupsi diperoleh dengan menjumlah seluruh skor jawaban responden kemudian dibagi dengan jumlah responden. Sebaran jawaban responden atas 6 butir indikator persepsi korupsi seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Distribusi skor Persepsi Korupsi

Nilai rata-rata dari keseluruhan skor pertanyaan persepsi korupsi adalah 3,87. Hasil skor atas pertanyaan 1 (praktek percaloan) adalah 3,94, skor atas pertanyaan 2 (pelayanan dengan memberikan imbalan) adalah 3,93, skor atas pertanyaan 3 (komisi dalam pengurusan layanan) adalah 3,93, skor atas pertanyaan 4 (pemberian tanda terima kasih atas pelayanan yang diminta) adalah 3,79, skor atas pertanyaan 5 (melihat/mendengar praktek KKN) adalah 3,81, dan skor atas pertanyaan 6 (terdapat praktek KKN) adalah 3,82. Terdapat 3 indikator yang berada di atas nilai rata-rata dan 3 indikator berada di bawah nilai rata-rata. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa BATAN perlu meningkatkan 3 indikator yaitu terhadap pertanyaan nomor 4, 5, 6.

Setelah dilakukan analisis lebih lanjut BATAN telah melakukan beberapa upaya untuk meningkatkan kinerja RB. Upaya peningkatan kinerja RB tersebut adalah:

- Membentuk *agent of change* yaitu dengan menyelenggarakan diklat *change management team* (CAMAT) dan menetapkan agen perubahan pada setiap unit kerja dalam bentuk Surat Keputusan kepala unit kerja yang bersangkutan.
- Penataan peraturan perundang-undangan yaitu dengan melakukan identifikasi dan evaluasi peraturan perundang-undangan periode 2010-2014 untuk mengurangi tumpang tindih antara peraturan satu dengan peraturan lainnya/lebih tinggi.

ISSN 1978-0176

- Penataan sistem manajemen SDM yaitu dengan menyusun Standar Operasi Prosedur (SOP) tentang rekrutmen terbuka untuk pejabat eselon I dan II di BATAN
- Melibatkan pimpinan dalam menyusun dan menetapkan Renstra, Perjanjian Kinerja (PK), dan Laporan Kinerja (Lakin), dalam hal ini telah disusun SOP penyusunan kebijakan strategis program/kegiatan sebagai acuan pimpinan dalam menyusun dan menetapkan Renstra, PK, dan Lakin baik di tingkat lembaga maupun unit kerja.
- Menetapkan kebijakan dan sistem penanganan gratifikasi, benturan kepentingan, pengaduan masyarakat dan *Whistle Blowing System* (WBS) dengan melakukan sosialisasi kepada seluruh unit kerja.
- Mencanangkan BATAN sebagai zona integritas yang diikuti dengan penetapan unit kerja menuju Wilayah Bebas Korupsi (WBK) dan Wilayah Birokrasi Bersih dan Melayani (WBBM), dalam hal ini telah ditetapkan seluruh unit kerja di BATAN sebagai WBK berdasarkan Peraturan Kepala (Perka) BATAN Nomor 80 Tahun 2011. BATAN telah merivisi Perka BATAN. Nomor 80 Tahun 2011 menjadi Nomor 13 Tahun 2014 tentang Pedoman Penetapan WBK dan WBBM di BATAN.
- Melakukan inovasi pelayanan dan menjaga pengelolaan RB secara berkesinambungan dengan cara unit penyelenggara pelayanan di BATAN melakukan inovasi pelayanan dan beberapa kali mengikuti kompetisi. Pada tahun 2012 mengikuti kompetisi yang diselenggarakan oleh UKP4/*Open Government Indonesia* (OGI) dan mendapat peringkat 20 besar, sedangkan tahun 2014 dan 2015 mengikuti kompetisi inovasi pelayanan publik yang diselenggarakan oleh Kemen PAN RB.

KESIMPULAN

Hasil pengujian instrumen penelitian terhadap 337 responden dari 23 unit kerja untuk indikator kapasitas organisasi dan persepsi korupsi menunjukkan validitas tinggi dan reliabel. Nilai kapasitas organisasi BATAN yang diperoleh adalah 4,17 (pada skala 5). Nilai persepsi korupsi yang diperoleh adalah 3,87 (pada skala 4). Hasil analisis indikator kapasitas organisasi menunjukkan bahwa terdapat 15 indikator yang berada di atas nilai rata-rata dan 15 indikator berada di bawah nilai rata-rata. Hasil analisis indikator persepsi korupsi menunjukkan bahwa terdapat 3 indikator yang berada diatas nilai rata-rata dan 3 indikator berada di bawah nilai rata-rata.

BATAN telah melakukan beberapa aksi untuk meningkatkan kinerja RB yaitu: 1) Membentuk *agent of* change; 2) Penataan peraturan perundang-undangan; 3) Penataan sistem manajemen SDM; 4) Melibatkan pimpinan dalam menyusun dan menetapkan Renstra, PK, dan Lakin; 5) Menetapkan kebijakan dan sistem penanganan gratifikasi, benturan kepentingan, pengaduan masyarakat dan Whistle Blowing System (WBS); 6) Mencanangkan BATAN sebagai zona integritas yang diikuti dengan penetapan unit kerja menuju wilayah bebas korupsi (WBK) dan wilayah birokrasi bersih dan melayani (WBBM); dan 7) Melakukan inovasi pelayanan dan menjaga pengelolaan RB secara berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. J.P. Olsen, “Maybe It Is Time to Rediscover Bureaucracy”, *Journal of Public Administration Research and Theory*, Vol 16 (1), pp 1-24, January 2006.
2. L. Weiss, *The Myth of the Powerless State*: Cornell University Press, 1998.
3. Undang-undang Nomor 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN).
4. Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2010 tentang Grand Design Reformasi Birokrasi 2010-2025.
5. Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2010 tentang Road Map Reformasi Birokrasi 2010 – 2014.
6. Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2015 tentang Road Map Reformasi Birokrasi 2015-2019.
7. Laporan Akhir Pelaksanaan Reformasi Birokrasi BATAN Tahun 2010 – 2014, BATAN, 2015.
8. Peraturan Kepala BATAN Nomor 5 Tahun 2015 tentang Rencana Strategis BATAN Tahun 2015-2019.

9. P. Morgan, T. Land, H. Baser, "Study on Capacity, Change and Performance", *Discussion Paper European Centre for Development Policy Management (ECDPM)*, Maastricht, NL, 2005.
10. J. P. Burns, "Civil Service Reform in China", *OECD Journal on Budgeting*, vol 7 (1), 2007.
11. Noname. (14 Juni 2016). *Reformasi Birokrasi*. Available: http://www.menpan.go.id/component/content/article?id=134.
12. Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2014 tentang Pedoman Evaluasi Reformasi Birokrasi Instansi Pemerintah.
13. M. E. Hilderbrand and M. S. Grindle, *Building Sustainable Capacity in the Public Sector: What Can be Done?", in Merilee S. Grindle (ed.), Getting Good Government: Capacity Building in the Public Sectors of Developing Countries*: Harvard University Press, Boston, Massachusetts, United States, 1997.
14. D. Horton, A. Alexaki, S Bennett-Lartey, K. Brice, D. Campilan, F. Carden, et al. "Evaluating capacity development: experiences from research and development organizations around the world. The Hague", *International Service for National Agricultural Research*, NL, 2003.
15. P. Eisinger, "Organizational capacity and organizational effectiveness among streetlevel food assistance programs", *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly*, 31, pp 115– 130, 2002.
16. M.H. Hall, A. Andrukow, C. Barr, K. Brock, M. de Wit, D. Embuldeniya, et al., The capacity to serve: A qualitative study of the challenges facing Canada's nonprofit and voluntary organizations, *Canadian Centre for Philanthropy*, Toronto, ON, 2003.
17. Noname. (14 Juni 2016). *The truth about corruption in Indonesia*. Available: http://www. thejakartaglobe.com.
18. Directorate of Research and Development, *Indonesia Public Sector Integrity 2009: Corruption Facts in Public Service:* KPK, 2010.
19. Indriantoro dan Supomo, *Metodologi Penelitian Bisnis Untuk Akuntansi Dan Manajemen Edisi Pertama*: BPFE Yogyakarta, 1999.
20. M. Singarimbun dan S. Effendi, *Metode Penelitian Survei*: Jakarta: LP3ES, 1989.
21. Hair et al., *Essential of Marketing Research*: the McGraw-Hill Companies, 2008.
22. L. Cohen, L. Manion and K. Morrison, *Research Methods in Education*, *5th Edition*: Routledge Falmer, London, 2000.
23. S. Arikunto, *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*: Rineka Cipta, 2006.
24. Sugiyono, *Metode Penelitian Bisnis*: Salemba Empat, Jakarta, 2006.
25. J. P. Guilford, *Fundamental Statistics in Psychology and Education (3rd ed,)*: New York: McGraw-Hill, 1956.
26. I. Ghozali, *Aplikasi Analisis Multivariat dengan Program SPSS*: Badan Penerbit Universitas Dipenogoro, 2002.

HASIL DISKUSI SEMINAR

Pertanyaan:
Bagaimana cara penentuan sampel?

Jawaban:
Penentuan sampel yaitu terhadap 23 unit kerja. Masing-masing unit kerja diambil 15 sampel yang terdiri dari pejabat struktural, fungsional tertentu, dan fungsional umum. Cara menentukan jumlah sampel penelitian menggunakan tabel Cohen ataupun rumus Slovin. Pada penelitian ini, besar sampel ditentukan dengan memperhitungkan taraf keyakinan dan sampling *error* penelitian. Cohen membentuk tabel penentuan jumlah sampel berdasarkan taraf keyakinan dan *sampling error* penelitian. Penentuan jumlah responden mengacu pada tabel Cohen, untuk populasi pegawai BATAN yang mendekati angka 2500, dengan taraf keyakinan 95% dan *sampling error* 5% maka jumlah sampel yang dibutuhkan minimal 333. Dalam penelitian ini sampel 337 dianggap telah memenuhi tabel Cohen sehingga dapat dikatakan cukup.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

ANALISIS KOMPETENSI PEGAWAI BIRO PERENCANAAN DALAM MEMBERIKAN LAYANAN PELANGGAN DI BATAN

Harini Wahyuningrum[1], Budi Santoso[2]

1) Biro Perencanaan BATAN, Jakarta, Indonesia hningrum@batan.go.id
2) Biro Perencanaan BATAN, Jakarta, Indonesia alva3@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KOMPETENSI PEGAWAI BIRO PERENCANAAN DALAM MEMBERIKAN LAYANAN PELANGGAN DI BATAN. Pelayanan publik menjadi salah satu tolok ukur kinerja pemerintah dalam melayani masyarakat. Pelayanan sering dihubungkan dengan pemberi layanan yang berinteraksi dengan pelanggan. Penelitian empiris terbaru tentang kinerja pemerintahan menunjukkan bahwa SDM pemberi layanan merupakan aktor yang berpengaruh terhadap kinerja layanan. Biro Perencanaan (BP) melakukan layanan terhadap unit kerja di BATAN. Hal tersebut mengharuskan BP memiliki SDM yang berkompeten dalam memberikan pelayanan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penilaian 22 unit kerja penerima layanan (pelanggan) BP terhadap kompetensi SDM pemberi layanan dan memformulasikan kompetensi SDM pemberi layanan di BP. Hasil penelitian menunjukan bahwa layanan BP yang mendapat penilaian rendah untuk pelaksana layanan adalah pada kegiatan Pelaksanaan Monev Kegiatan dan Anggaran Unit Kerja, Penyusunan Perjanjian Kinerja, Penyelenggaraan Rapat Kerja BATAN, Penyusunan Laporan Kinerja (LAKIN), Penyusunan Harga Satuan Standar, dan Penyusunan Standar Biaya Keluaran. Layanan BP Penyelenggaraan Majelis Profesor Riset, Penyusunan Rencana Kerja dan Anggaran Kementerian/Lembaga, dan Penyusunan Revisi Anggaran merupakan layanan yang memiliki penilaian baik terkait kompetensi SDM. Formulasi kompetensi SDM pemberi layanan di BP yang diperlukan adalah: (1) komunikasi dengan tamu dilaksanakan secara terbuka, profesional, ramah, dan sopan, (2) menggunakan bahasa dan nada yang cocok, (3) mempertimbangkan efek bahasa tubuh personal, (4) memperlihatkan kepekaan terhadap perbedaan budaya dan sosial, (5) mendengar dan melontarkan pertanyaan secara aktif untuk memastikan komunikasi dua arah yang efektif, (6) mengidentifikasi potensi konflik yang ada dan mencari solusinya, (7) mengidentifikasi kebutuhan dan harapan tamu, (8) berkomunikasi dengan ramah dan sopan selama melayani tamu, (9) memenuhi seluruh kebutuhan dan permintaan pelanggan yang dapat diterima, (10) cepat mengenali kekecewaan pelanggan dan mengambil tindakan untuk mencegah masalah sesuai dengan tingkat tanggung jawab individu dan prosedur BP, (11) keluhan pelanggan ditangani secara positif, sensitif, dan sopan, dan (12) keluhan disampaikan pada orang yang tepat untuk ditindaklanjuti sesuai dengan tingkat tanggung jawab individu.

Kata kunci: pelayanan publik, pelanggan, pelaksana layanan

ABSTRACT

COMPETENCY ANALYSIS OF PLANNING BUREAU EMPLOYEE IN PROVIDING CUSTOMER SERVICES IN BATAN. *Public services become one of benchmarks the government's performance in serving the community. Services are often linked with service provider or attendant who interact with customers. Recent empirical research on the performance of the government shows that service delivery are actors that influence the performance of services. Planning Bureau (BP) perform services on the working unit in BATAN. It requires that BP has competent human resources in providing services. The purpose of this study are to determine the assessment on the competence of BP's employee and formulate employee competencies. BP services results showed low ratings for service delivery: implementation of Monitoring and Evaluating activities, Perjanjian Kinerja Preparation, Implementation Meeting, Performance Report Preparation, Harga Satuan Standar Preparation, and Standar Biaya keluaran Preparation. Majelis Profesor Riset Meeting, Preparation of Rencana Kerja Anggaran Kementerian/Lemmbaga, and the Revised Budget Preparation has good ratings related service delivery competencies. Formulation competence of human resources service providers in BP required are: (1)*

ISSN 1978-0176

communication with guests conducted in an open, professional, friendly, and courteous, (2) use language and tone appropriate, (3) consider the effect of body language personal, (4) demonstrate sensitivity to cultural and social differences, (5) hearing and asking questions actively to ensure two-way communication that is effective, (6) identify potential conflicts that exist and find a solution, (7) identify the needs and expectations of guests, (8) communicate with friendly and polite while serving guests, (9) meet all the needs and demands of customers that can be accepted, (10) quickly recognized the disappointment of customers and take action to prevent the problem in accordance with the level of individual responsibility and procedures BP, (11) customer complaints are handled in a positive, sensitive, and courteous, and (12) the complaint was delivered to the right person to follow up in accordance with the level of individual responsibility.

Keywords: public services, customers, attendant

PENDAHULUAN

Sejalan dengan upaya pemerintah menuju Reformasi Birokrasi (RB), maka pelayanan publik menjadi salah satu tolok ukur kinerja pemerintah dalam melayani masyarakat. Dalam lingkungan yang semakin kompetitif, organisasi harus berorientasi pada pelanggan [1]. Kepuasan pelanggan merupakan pendekatan modern melayani perkembangan budaya dan manajemen yang benar-benar berorientasi pelanggan [2]. Pelayanan publik yang dilakukan oleh aparatur pemerintah saat ini belum memenuhi harapan masyarakat. Hal ini dapat diketahui dari berbagai keluhan masyarakat yang disampaikan melalui media masa dan jaringan sosial, sehingga memberikan dampak buruk terhadap pelayanan pemerintah, yang menimbulkan ketidakpercayaan masyarakat [3]. Seringkali SDM pemberi layanan sektor publik identik dengan kemalasan dan beban kerja rendah [4].

Hurley (1988) mengindikasikan bahwa pelayanan sering dihubungkan dengan pemberi layanan yang berinteraksi dengan pelanggan [5]. Pemberian layanan yang terjadi selama interaksi antara SDM pemberi layanan dan pelanggan, sikap, keterampilan, tingkah laku, kepribadian dari SDM pemberi layanan dapat mempengaruhi persepsi pelanggan atas kualitas layanan, citra institusi, dan loyalitas pelanggan [6].

Literatur akademis manajemen publik telah lama mengabaikan peran dari SDM pemberi layanan. Penelitian empiris tentang kinerja pemerintahan menunjukkan bahwa SDM pemberi layanan merupakan aktor yang berpengaruh terhadap kinerja layanan [7]. Menciptakan sebuah budaya "pelanggan adalah yang utama" membutuhkan investasi besar tidak hanya dalam peningkatan sistem pemberian layanan dan pelatihan staf untuk mengembangkan keterampilan interpersonal yang baik (terutama untuk *frontliner*) tetapi juga perubahan organisasi yang mendasar [8]. Insentif sering dianggap sebagai bentuk motivasi ekstrinsik, karyawan cenderung melakukan pekerjaan mereka dengan baik ketika mendapat insentif seperti gaji dan bonus [9].

Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang Pelayanan Publik menyebutkan bahwa jenis pelayanan publik meliputi pelayanan barang publik, pelayanan jasa publik, dan pelayanan administratif [10]. Turunan dari Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009 adalah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2012 tentang Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009 [11]. Lebih lanjut Kementerian Pemberdayaan Aparatur Negara (PAN) RB mengeluarkan Peraturan Menteri (Permen) PAN RB Nomor 16 Tahun 2014 tentang Pedoman Survei Kepuasan Masyarakat terhadap Penyelenggaraan Pelayanan Publik. Dari ketiga peraturan tersebut menegaskan pentingnya kompetensi SDM pelaksana penyelenggara layanan.

Biro Perencanaan (BP) melakukan layanan terhadap unit kerja di BATAN. Jenis layanan BP diantaranya adalah Penyelenggaraan Rapat Kerja BATAN, Penyusunan Rencana Kerja Anggaran (RKA) unit kerja, Pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi, serta Penyusunan Harga Satuan Standar seluruh unit kerja di BATAN. Hal tersebut mengharuskan BP memiliki SDM yang berkompeten dalam memberikan pelayanan.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana penilaian 22 unit kerja penerima layanan (pelanggan) terhadap kompetensi SDM pemberi layanan di BP dan bagaimana formulasi kompetensi SDM pemberi layanan di BP. Sedangkan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui penilaian 22 unit kerja penerima layanan (pelanggan) BP terhadap

ISSN 1978-0176

kompetensi SDM pemberi layanan dan memformulasikan kompetensi SDM pemberi layanan di BP. Manfaat dari penelitian ini adalah diketahuinya kelemahan atau kekurangan SDM pemberi layanan terhadap unit kerja di BATAN dan sebagai bahan masukan/rekomendasi pengambil kebijakan dalam rangka penyusunan kompetensi SDM pemberi layanan di BP.

TINJAUAN PUSTAKA

Pelayanan publik didefinisikan sebagai layanan yang sepenuhnya didanai dari hasil pajak [8]. Istilah pelayanan publik telah banyak didefinisikan sebagai: (1) orang yang bekerja di administrasi publik, (2) layanan yang didanai pemerintah, dan (3) motivasi orang untuk berkontribusi pada kebaikan bersama masyarakat [12]. Pelayanan publik adalah kegiatan atau rangkaian kegiatan dalam rangka pemenuhan kebutuhan pelayanan sesuai dengan peraturan perundang-undangan bagi setiap warga negara dan penduduk atas barang, jasa, dan/atau pelayanan administratif yang disediakan oleh penyelenggara pelayanan publik [10]. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2012 Tentang Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009 mendefinisikan Standar Pelayanan adalah tolok ukur yang dipergunakan sebagai pedoman penyelenggaraan pelayanan publik dan acuan penilaian kualitas pelayanan sebagai kewajiban dan janji penyelenggara kepada masyarakat dalam rangka pelayanan yang berkualitas, cepat, mudah, terjangkau, dan terukur [11].

Dalam Peraturan Menteri PAN RB Nomor 16 Tahun 2014, yang dimaksud Unit pelayanan publik adalah unit kerja/kantor pelayanan pada instansi pemerintah, yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan pelayanan kepada penerima pelayanan. Dalam peraturan tersebut juga mendefinisikan Kompetensi Pelaksana adalah kemampuan yang harus dimiliki oleh pelaksana meliputi pengetahuan, keahlian, keterampilan, dan pengalaman [3]. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 21 Tahun 2014 tentang Pedoman Penerapan Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia menyebutkan Kompetensi Kerja adalah kemampuan kerja setiap individu yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja yang sesuai dengan standar yang ditetapkan [13].

Kompetensi yang tinggi bukan hanya menyangkut pengetahuan/pendidikan (*knowledge*) dan keterampilan (*skill*) saja tetapi menyangkut banyak kondisi. Menurut Spencer et al. dalam Yuniarsih (2008), karakteristik kompetensi yang harus dimiliki seseorang agar melakukan pekerjaan dengan baik berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, meliputi motif (*motive*), sifat/ciri bawaan (*traits*), konsep diri (self concept), pengetahuan (knowledge) dan keterampilan (*skill*) [14]. Dimensi kualitas pelayanan menurut Parasuraman et. al. (1988) adalah: (1) *Tangibel*, (2) *Reliability*, (3) *Responsiveness*, (4) *Assurance*, dan (5) *Empathy* [15].

Undang Undang Nomor 25 Tahun 2009 menetapkan perilaku pelaksana dalam pelayanan harus memenuhi syarat sebagai berikut: (1) adil dan tidak diskriminatif, (2) cermat, (3) santun dan ramah, (4) tegas, andal, dan tidak memberikan putusan berlarut-larut, (5) profesional, (6) tidak mempersulit, (7) patuh pada perintah atasan yang sah dan wajar, (8) menjunjung tinggi nilai-nilai akuntabilitas dan integritas institusi penyelenggara, (9) tidak membocorkan informasi atau dokumen yang wajib dirahasiakan sesuai dengan peraturan perundang-undangan, (10) terbuka dan mengambil langkah yang tepat untuk menghindari benturan kepentingan, (11) tidak menyalahgunakan sarana dan prasarana serta fasilitas pelayanan publik, (12) tidak memberikan informasi yang salah atau menyesatkan dalam menanggapi permintaan informasi serta proaktif dalam memenuhi kepentingan masyarakat, (13) tidak menyalahgunakan informasi, jabatan, dan/atau kewenangan dimiliki, (14) sesuai dengan kepantasan, dan (15) tidak menyimpang dari prosedur.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan secara tepat sifat-sifat suatu individu, kelompok tertentu, atau menentukan frekuensi penyebaran suatu gejala, atau frekuensi adanya pengaruh tertentu antara suatu gejala lain dalam masyarakat [16].

ISSN 1978-0176

Teknik pengumpulan data dan informasi dalam penelitian ini menggunakan dua macam data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei [17] serta wawancara dan pengamatan. Data sekunder diperoleh dari literatur dan dokumen BATAN. Pada penelitian ini, yang menjadi populasi adalah pengguna layanan BP. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *non probability sampling* karena peneliti tidak memiliki data populasi individu yang akan datang menggunakan layanan. Teknik *non probability* yang dipilih adalah *quota sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan pada pertimbangan kuota yaitu 1 jenis layanan diambil 1 orang dari masing-masing unit kerja. [18]. Dalam penelitian ini menggunakan 189 sampel yang berasal dari 22 unit kerja penerima layanan BP.

Pengambilan data dilakukan menggunakan kuisioner dengan tipe data ordinal dan skala likert. Pertanyaan kuisioner berjumlah 5 yang mencerminkan kompetensi pegawai BP dalam memberikan layanan. Pilihan jawaban adalah 1 sampai dengan 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan ketidaksetujuan/ketidaksesuaian dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat setuju/sesuai. Periode pengambilan data dilakukan pada bulan Januari - Desember 2015. Pengolahan data dilakukan dengan menginput jawaban responden pada aplikasi Microsoft Office Excel kemudian mengolah dan menganalisisnya untuk menjawab tujuan penelitian. Metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode statistik deskriptif, *crosstab*, dan analisis kualitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

BP dalam mengkoordinasikan penyusunan rencana program, penyusunan anggaran, dan pemantauan, evaluasi, dan pelaporan mengharuskan berhubungan dengan seluruh unit kerja di BATAN. Kualitas pelayanan yang diberikan oleh BP ditentukan oleh kualitas lini terdepannya (*frontliner*). Penilaian kualitas layanan pegawai BP dilakukan dengan melakukan survey terhadap 22 unit kerja penerima layanan dengan 9 jenis kegiatan dan 189 responden seperti dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Responden penerima layanan BP

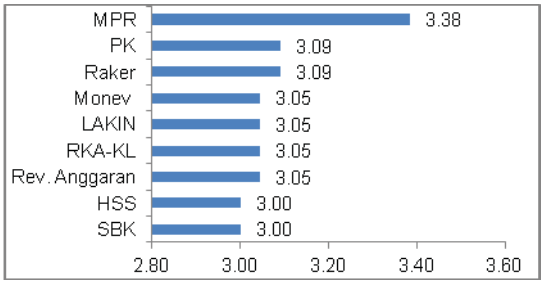
No	Kegiatan BP	Jumlah Responden
1	Penyelenggaraan MPR	13
2	Monitoring dan Evaluasi kegiatan Litbangyasa BATAN	22
3	Penyusunan PK	22
4	Penyelenggaraan Raker	22
5	Penyusunan Laporan Kinerja	22
6	Penyusunan RKA-KL	22
7	Penyusunan HSS	22
8	Revisi Anggaran	22
9	Penyusunan SBK	22
	Total	189

Jumlah responden untuk 1 kegiatan layanan BP dari masing-masing unit kerja diambil 1 orang sehingga total responden untuk 1 layanan BP berjumlah 22 orang. Sedangkan jumlah responden untuk layanan penyelenggaraan Majelis Profesor Riset hanya diambil 13 orang karena jumlah MPR di BATAN tidak banyak dan tidak selalu ada di setiap unit kerja, sehingga jumlah 13 dianggap cukup mewakili dari keseluruhan populasi MPR di BATAN.

Analisis dilakukan dengan mengukur perilaku pelaksana layanan sesuai yang disyaratkan dalam Undang Undang Nomor 25 Tahun 2009: (1) adil dan tidak diskriminatif, (2) santun dan ramah, (3) tegas, andal, dan tidak memberikan putusan berlarut-larut, (4) profesional, dan (5) tidak mempersulit. Syarat-syarat tersebut menjadi dasar penyusunan pertanyaan kuisioner survey. Hasil analisis dari setiap persyaratan tersebut adalah sebagai berikut

Analisis perilaku adil dan tidak diskriminatif

Pelaksana layanan harus memiliki sikap adil dan tidak diskriminatif terhadap seluruh pelanggan yang dilayani. Untuk mengetahui kompetensi pelaksana layanan dalam memberikan keadilan dapat dilihat dari penilaian pelanggan yang disurvey. Hasil penilaian responden terhadap 9 layanan BP dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



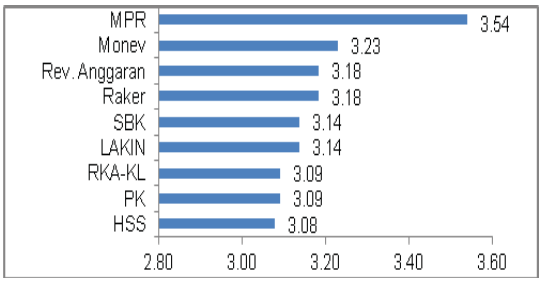
ISSN 1978-0176

Gambar 1. Hasil penilaian sikap adil

Dengan skala 1 – 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak adil dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat adil, hasil survey menunjukkan bahwa layanan Penyusunan SBK memiliki penilaian paling buruk dan layanan Penyelengagraan MPR memiliki penilaian paling baik.

Analisis perilaku santun dan ramah

Pelaksana layanan harus memiliki sikap santun dan ramah terhadap seluruh pelanggan yang dilayani. Untuk mengetahui kompetensi pelaksana layanan dalam bersikap santun dan ramah dapat dilihat dari penilaian pelanggan yang disurvey. Hasil penilaian responden terhadap 9 layanan BP dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.

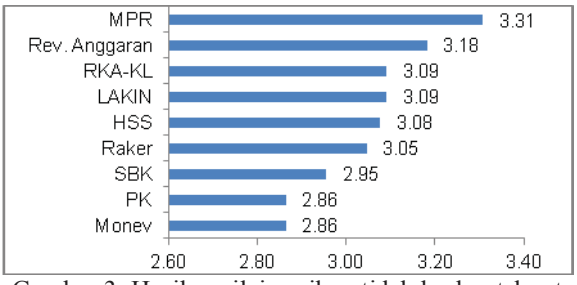


Gambar 2. Hasil penilaian sikap santun

Dengan skala 1 – 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak santun dan ramah dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat santun dan ramah, hasil survey menunjukkan bahwa layanan Penyusunan HSS memiliki penilaian paling buruk dan layanan Penyelenggaraan MPR memiliki penilaian paling baik.

Analisis perilaku tegas, andal, dan tidak memberikan putusan berlarut-larut

Pelaksana layanan harus memiliki sikap tegas, andal, dan tidak memberikan putusan berlarut-larut terhadap seluruh pelanggan yang dilayani. Untuk mengetahui kompetensi pelaksana layanan dalam bersikap tegas, andal, dan tidak memberikan putusan berlarut-larut dapat dilihat dari penilaian pelanggan yang disurvey. Hasil penilaian responden terhadap 9 layanan BP dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.

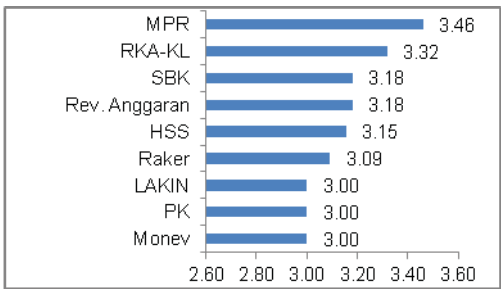


Gambar 3. Hasil penilaian sikap tidak berlarut-larut

Dengan skala 1 – 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak cepat dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat cepat, hasil survey menunjukkan bahwa layanan Pelaksanaan Monev Kegiatan dan Anggaran Unit Kerja memiliki penilaian paling buruk dan layanan Penyelenggaraan MPR memiliki penilaian paling baik.

Analisis perilaku profesional

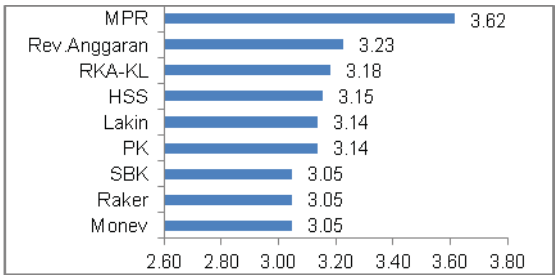
Pelaksana layanan harus memiliki sikap profesional terhadap seluruh pelanggan yang dilayani. Sikap professional tercermin dalam kemampuan dan tanggung jawab yang dimiliki oleh pelaksana layanan. Untuk mengetahui kompetensi pelaksana layanan dalam hal kemampuan dan tanggung jawab dapat dilihat dari penilaian pelanggan yang disurvey. Hasil penilaian responden terkait kemampuan SDM BP dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Hasil penilaian kemampuan SDM

Untuk mengukur kemampuan pegawai BP dalam memberikan layanan menggunakan skala 1 – 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak mampu dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat mampu, hasil survey menunjukkan bahwa layanan Pelaksanaan Monev Kegiatan dan Anggaran Unit Kerja memiliki penilaian paling buruk dan layanan Penyelenggaraan MPR memiliki penilaian paling baik.

ISSN 1978-0176

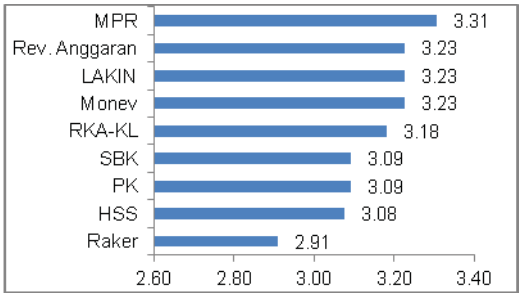


Gambar 5. Hasil penilaian sikap tanggung jawab

Untuk mengukur tanggung jawab pegawai BP dalam memberikan layanan menggunakan skala 1 – 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak bertanggung jawab dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat bertanggung jawab, hasil survey menunjukkan bahwa layanan Pelaksanaan Monev Kegiatan dan Anggaran Unit Kerja memiliki penilaian paling buruk dan layanan Penyelenggaraan MPR memiliki penilaian paling baik. Hasil penilaian responden terkait kemampuan SDM BP dapat dilihat pada Gambar 5.

Analisis perilaku tidak mempersulit

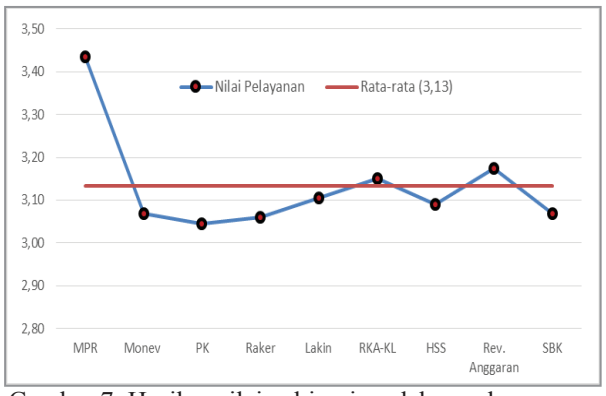
Pelaksana layanan harus memiliki sikap mempermudah/tidak mempersulit terhadap seluruh pelanggan yang dilayani. Untuk mengetahui kompetensi pelaksana layanan dalam bersikap tidak mempersulit dapat dilihat dari penilaian pelanggan yang disurvey. Hasil penilaian responden terhadap 9 layanan BP dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Hasil penilaian sikap tidak mempersulit

Untuk mengukur kemampuan pegawai BP dalam mempermudah/tidak mempersulit menggunakan skala 1 – 4 dimana nilai 1 untuk menyatakan tidak jelas dan nilai 4 untuk menyatakaan sangat jelas, hasil survey menunjukkan bahwa layanan Penyelenggaraan Raker memiliki penilaian paling buruk dan layanan Penyelenggaraan MPR memiliki penilaian paling baik.

Secara agregat, kinerja pelaksana layanan untuk 9 layanan BP dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil penilaian kinerja pelaksana layanan

Berdasarkan grafik diatas tampak bahwa keseluruhan layanan BP mendapatkan nilai diatas 3 pada skala 1 - 4 dan termasuk dalam kategori “Baik”. Untuk lebih mamacu kegiatan yang masih berada dibawah nilai rata-ratanya, kompetensi SDM pelayanan perlu ditingkatkan untuk kegiatan: Pelaksanaan Monev Kegiatan dan Anggaran Unit Kerja, Penyusunan PK, Penyelenggaraan Raker, Penyusunan LAKIN, Penyusunan HSS, dan Penyusunan SBK.

Semua kompetensi yang dibutuhkan merupakan pendekatan dengan mengidentifikasi atau memetakan semua kebutuhan kompetensi di tempat kerja. Dari hasil identifikasi atau pemetaan tersebut, dapat diketahui kompetensi yang harus dimiliki oleh pelaksana layanan dalam melaksanakan proses bisnis di tempat kerja. Setelah mengetahui hasil penilaian pelaksana layanan BP, selanjutnya dapat disusun strategi kebijakan untuk meningkatkan kompetensi pegawai BP yang bertugas pada jenis-jenis layanan yang nilainya masih rendah. Salah satu acuan dalam menentukan strategi peningkatan kompetensi yang dapat dilakukan oleh BP adalah Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 21 Tahun 2014 yang dijabarkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kriteria yang diperlukan untuk SDM pelaksana layanan

Elemen	Kriteria untuk Bekerja
Berkomunikasi di tempat bekerja (*communicate in the workplace*)	• Komunikasi dengan tamu dilaksanakan secara terbuka, profesional, ramah, dan sopan. • Menggunakan bahasa dan nada yang cocok. • Mempertimbangkan efek bahasa tubuh personal. • Memperlihatkan kepekaan terhadap perbedaan budaya dan sosial. • Mendengar dan melontarkan pertanyaan secara aktif untuk

ISSN 1978-0176

	memastikan komunikasi dua arah yang efektif. • Mengidentifikasi potensi konflik yang ada dan mencari solusinya.
Memberikan bantuan untuk tamu internal dan eksternal (*provide assistance to internal and external guests*)	• Mengidentifikasi kebutuhan dan harapan tamu. • Berkomunikasi dengan ramah dan sopan selama melayani tamu. • Memenuhi seluruh kebutuhan dan permintaan pelanggan yang dapat diterima. • Cepat mengenali kekecewaan pelanggan dan mengambil tindakan untuk mencegah masalah sesuai dengan tingkat tanggung jawab individu dan prosedur BP. • Keluhan pelanggan ditangani secara positif, sensitif, dan sopan. • Keluhan disampaikan pada orang yang tepat untuk ditindaklanjuti sesuai dengan tingkat tanggung jawab individu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa keseluruhan layanan BP mendapatkan nilai diatas 3 pada skala 1 - 4 dan termasuk dalam kategori "Baik". Untuk lebih mamacu kegiatan yang masih berada dibawah nilai rata-ratanya, kompetensi SDM pelayanan perlu ditingkatkan untuk kegiatan: Pelaksanaan Monev Kegiatan dan Anggaran Unit Kerja, Penyusunan PK, Penyelenggaraan Raker, Penyusunan LAKIN, Penyusunan HSS, dan Penyusunan SBK.

Formulasi kompetensi SDM pemberi layanan di BP yang diperlukan adalah: (1) komunikasi dengan tamu dilaksanakan secara terbuka, profesional, ramah, dan sopan, (2) menggunakan bahasa dan nada yang cocok, (3) mempertimbangkan efek bahasa tubuh personal, (4) memperlihatkan kepekaan terhadap perbedaan budaya dan sosial, (5) mendengar dan melontarkan pertanyaan secara aktif untuk memastikan komunikasi dua arah yang efektif, (6) mengidentifikasi potensi konflik yang ada dan mencari solusinya, (7) mengidentifikasi kebutuhan dan harapan tamu, (8) berkomunikasi dengan ramah dan sopan selama melayani tamu, (9) memenuhi seluruh kebutuhan dan permintaan pelanggan yang dapat diterima, (10) cepat mengenali kekecewaan pelanggan dan mengambil tindakan untuk mencegah masalah sesuai dengan tingkat tanggung jawab individu dan prosedur BP, (11) keluhan pelanggan ditangani secara positif, sensitif, dan sopan, dan (12) keluhan disampaikan pada orang yang tepat untuk ditindaklanjuti sesuai dengan tingkat tanggung jawab individu.

SARAN

Strategi peningkatan kompetensi SDM pemberi layanan di BP yang dapat dipertimbangkan adalah dengan mengikutsertakan SDM tersebut pada pelatihan penunjang. Pelatihan dapat dilaksanakan secara eksternal maupun internal. Pelatihan eksternal adalah dengan mengikutsertakan pada lembaga pemberi latihan diluar BP, sedangkan Pelatihan Internal adalah dengan memanggil pelatih tamu untuk memberikan pelatihan di lingkup BP.

DAFTAR PUSTAKA

1. P. Kotler, Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation, and Control, 9th ed.; Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997.
2. E. Cengiz, "Measuring Customer Satisfaction: Must Or Not?", Journal of Naval Science and Engineering, Vol. 6 , No.2, pp. 76-88, 2010.
3. Peraturan Menteri PAN RB Nomor 16 Tahun 2014 tentang Pedoman Survei Kepuasan Masyarakat terhadap Penyelenggaraan Pelayanan Publik
4. S. A. Frank and G. B. Lewis, "Government employees: Working hard or hardly working?", The American Review of Public Administration, vol 34 (1) pp 36-51, 2004.
5. R. F. Hurley, "Customer service behaviour in retail settings: a study of the effect of service provider personality", Journal of the Academy of Marketing Science, vol 26(2) pp 115-127, 1988.
6. Y. Ekinci, P. L. Dawes, P. Massey, "Frontline Service Personality, Interaction Quality and Consumer Satisfaction", European Journal of Marketing, vol 42(1), 2008.
7. G.A. Brewer, "Frontline Supervisors and Federal Agency Performance". Journal of Public Administration Research and Theory. vol 15 (4) pp 505–527 Oxford University Press, 2005.
8. P.C. Humphreys, "Improving Public Service Delivery", Committee for Public Management Research Discussion Paper 7,

ISSN 1978-0176

Institute of Public Administration 57-61 Lansdowne Road Dublin 4 Ireland, 1998.
9. L. C. Kaiser, "Job Satisfaction and Public Service Motivation," IZA Discussion Paper No. 7935, Bonn: Institute for the Study of Labour, 2014.
10. Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang Pelayanan Publik.
11. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2012 tentang Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009.
12. S. Horton. "History and Persistence of an Idea and an Ideal," in Motivation in Public Management: The Call of Public Service, James L. Perry and Annie Hondeghem, eds. New York: Oxford University Press, 2008.
13. Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 21 Tahun 2014 tentang Pedoman Penerapan Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia.
14. S. T Yuniarsih, Manajemen Sumber Daya Manusia, Teori, Aplikasi dan Isu Penelitian: Penerbit Alfabeta Bandung, 2008.
15. A. Parasuraman, V.A. Zeithaml and L.L Berry, "Servqual: A Multiple-Item Scale For Measuring Consumer Perceptions Of Service Quality", Journal of Retailing, Vol. 64, Spring, 1988.
16. Indriantoro dan Supomo, Metodologi Penelitian Bisnis Untuk Akuntansi Dan Manajemen Edisi Pertama: BPFE Yogyakarta, 1999.
17. M. Singarimbun dan S. Effendi, Metode Penelitian Survei: Jakarta: LP3ES, 1989.
18. Hair et al., Essential of Marketing Research: the McGraw-Hill Companies, 2008.

HASIL DISKUSI SEMINAR

1. **Pertanyaan (Dani Aditya B - STTN):** Megapa layanan kegiatan yang diukur memiliki karakteristik yang berbeda, hal ini dapat mempengaruhi penilaian responden?
   Tanggapan: peneliti tidak membedakan jenis layanannya karena perangkat survey masih mengacu kepada Peraturan Kepala BATAN No. 186 Tahun 2012 tentang Indeks Kepuasan Masyarakat. Untuk penelitian kedepan pengelompokan layanan berdasarkan jenisnya dapat dlakukan agar diperoleh kesimpulan yang lebih akurat.
2. **Pertanyaan (Ani Syamsi - BP):** Apakah survey dilaksanakan pada saat *on the spot* kegiatan dilaksanakan atau tidak bersamaan dengan kegiatan dilaksanakan?
   Tanggapan: Survey dilaksanakan *on the spot* kegiatan tersebut dilaksanakan. Pada saat pelaksanaan kegiatan, peneliti membagikan kuesioner kepada responden dan responden mengisinya sesuai dengan kondisi layanan yang diterima.

ISSN 1978-0176

UJI STATISTIK KORELASI ANTARA JALUR PENDAFTARAN MAHASISWA ELEKTROMEKANIK TERHADAP INDEKS PRESTASI KUMULATIF TAHUN PERTAMA 2012-2014 STTN BATAN

Oleh : Fatin Yuniarti, Dwi Priyantoro, Praptana

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN Yogyakarta

ABSTRAK

UJI STATISTIK KORELASI ANTARA JALUR PENDAFTARAN MAHASISWA ELEKTROMEKANIK TERHADAP INDEKS PRESTASI KUMULATIF TAHUN PERTAMA 2012-2014 STTN BATAN. Telah diadakan uji statistik menggunakan metode analisis Chi-kuadrat untuk menentukan korelasi antara jalur pendaftaran mahasiswa terhadap indeks prestasi kumulatif tahun pertama, dengan sampel mahasiswa elektromekanik tahun 2012-2014.

Hasil uji statistik menunjukkan tidak ada korelasi antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014.

Kata kunci: Chi-kuadrat, jalur pendaftaran mahasiswa, indeks prestasi kumulatif.

ABSTRACT

STATISTIC TEST FOR THE TRACK STUDENT ENROLLMENT OF ELECTROMECHANIC AT POLYTECHNIC INSTITUTE OF NUCLEAR TECHNOLOGY (STTN) AND GRADE POINT AVERAGE FIRST YEAR 2012-2014*. Statistic test by Chi-square analyze to determine the correlation between track student enrollment at STTN and grade point average first year, with the sample are students of electromechanical years 2012-2014, have been done.*

The result of the statistics test shows there haven't correlation between track student enrollment (test and academic report) with grade point average first year in 2012-2014.

Key words: Chi-square, track student enrollment, grade point average.

PENDAHULUAN

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN)[1] sebagai perguruan tinggi kedinasan di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang berdiri berdasarkan Kepres No.71 tahun 2001 tanggal 8 Juni 2001. STTN [2] memiliki tiga program studi (prodi) yaitu Prodi Teknokimia Nuklir, Prodi Elektronika Instrumentasi Nuklir, dan Prodi Elektro Mekanika Nuklir.

Program studi elektromekanika nuklir[2] memiliki kompetensi yang bersifat multi-disiplin dalam mengintegrasikan bidang mesin, listrik, elektronik dan control serta memiliki keahlian dalam disain, instalasi, pengujian dan kalibrasi, monitor dan merawat berbagai macam produk dan proses engineering. Kompetensi ini banyak diterapkan di berbagai bidang dari sistem yang sederhana/skala kecil seperti pengendalian motor dan generator sampai sistem yang lebih kompleks seperti power plant termasuk pembangkit tenaga nuklir, industri makanan, farmasi dan kesehatan, dan industri manufaktur yang menuju ke penggunaan teknologi otomasi dan robotik.

Visi program studi elektromekanik adalah Unggul/menjadi rujukan utama di tingkat regional dalam keilmuan elektromekanika terapan untuk industri nuklir dan industri terkait dengan nuklir serta energi pada umumnya. Untuk mewujudkan visi

ISSN 1978-0176

tersebut program studi elektromekanik memiliki misi :

1. Menyelenggarakan pendidikan elektromekanika terapan untuk menghasilkan lulusan yang unggul di tingkat regional yang cakap dalam disain, instalasi, operasi dan perawatan sistem elektromekanika nuklir dan terkait dengan nuklir/energy pada umumnya. Seluruh susunan dan tata kelola naskah ini baik itu berupa ukuran kertas, margin, lebar kolom, spasi baris, jenis type sudah disusun secara *built in*. Disetiap bentuk dari elemen naskah disertai keterangan jenis style yang harus diadopsi untuk melakukan pemformatan.
2. Membangun sistem pembelajaran yang berkualitas dengan benchmarking kurikulum dengan program studi sejenis yang telah lebih dulu menerapkan standar kurikulum baik nasional (KKNI) dan international (ABET) agar lulusannya memiliki kecakapan, keahlian dan attitude yang baik dan komitmen dengan long-life learning.
3. Mensinergikan konsep tri darma perguruan tinggi dalam proses pembelajaran dengan melibatkan mahasiswa dalam kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat.

Visi dan misi program studi elektromekanik ini akan menjadi acuan ke depannya. Untuk mewujudkan visi dan misi tersebut, program studi elektromekanik harus memiliki mahasiswa-mahasiswa yang berkualitas. Oleh karena itu, proses penyeleksian calon mahasiswa baru merupakan bagian terpenting untuk memperoleh bibit-bibit mahasiswa yang berkualitas. Jalur pendaftaran dan penyeleksian adalah salah satunya. Di Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir terdapat 2 jalur pendaftaran dan penyeleksian calon mahasiswa baru yaitu :

1. Program unggulan sekolah yaitu penerimaan mahasiswa baru berdasarkan nilai rapot dan sertifikat yang dimiliki.

2. Program tes tulis yaitu penerimaan mahasiswa baru berdasarkan hasil ujian masuk tertulis.

Dalam penelitian ini akan dicari apakah ada hubungan yang signifikan antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014, dan hipotesa yang digunakan adalah :

H1 : Hipotesis alternatif

Ada hubungan yang signifikan antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014.

H0 : Hipotesis nihil

Tidak ada hubungan yang signifikan antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014.

Sebagai sampel digunakan IPK tahun pertama mahasiswa prodi elektromekanik angkatan 2012-2014. Metode penelitian yang digunakan adalah metode statistik analisis Chi-kuadrat seperti pada pembahasan berikut.

DASAR TEORI

Dalam ilmu statistic[3,4,5,6], untuk menunjukkan signifikansi hubungan antara dua variable yang independen dapat digunakan analisis Chi-kuadrat. Dalam penelitian ini akan ditentukan ada atau tidaknya keterkaitan/hubungan antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014.

Dalam analisis Chi-kuadrat, variable pertama dinyatakan sebagai golongan $G_i \ (i = 1, 2, \dots, m)$ sedang variable kedua dinyatakan sebagai atribut $A_j \ (j = 1, 2, \dots, n)$, seperti dinyatakan dalam Tabel 1. Nilai-nilai tiap baris dan kolom dinyatakan dengan e_{ij}, yang mana *i* menunjukkan nomor baris dan *j* menunjukkan nomor kolom, sehingga e_{11}, e_{12}, dan seterusnya, berturut-turut menunjukkan nilai pada baris ke-1 kolom ke-1, baris ke-1 kolom ke-2, dan seterusnya.

ISSN 1978-0176

Selanjutnya dibuat tabel harapan yang bersesuaian dengan tabel pengamatan, seperti tertera pada Tabel 2. Nilai-nilai tiap unsur dalam tabel harapan adalah

$$a_{ij} = \frac{A_j G_i}{N} \quad (1)$$

Ada atau tidaknya hubungan antara variable G_i dan A_j ditunjukkan oleh adanya perbedaan antara Tabel 1. dan Tabel 2. yang selanjutnya dinyatakan dalam nilai Chi-kuadrat [3,4,5] berikut ini,

$$x^2 = \sum \frac{(e_{ij} - a_{ij})^2}{a_{ij}} \quad (2)$$

Hipotesis :

Hipotesis yang digunakan dalam analisis Chi-kuadrat adalah hipotesis alternative *(H_a)* dan hipotesis nihil *(H_0)*. *H_a* menyatakan ada hubungan yang signifikan antara variable G_i dan variabel A_j, yang ditandai dengan $nilai\ x^2\ yang\ besar$, dan *H_0* menyatakan tidak ada hubungan yang signifikan antara variable G_i dan variabel A_j, yang ditandai dengan $nilai\ x^2\ yang\ kecil$.

Konsutasikan ke Tabel Distribusi Chi-kuadrat. Nilai x^2 dalam persamaan (2) dianggap *besar* atau *kecil* perlu dibandingkan dengan nilai dalam tabel distribusi Chi-kuadrat, dengan level signifikansi α tertentu dan derajat kebebasan d_f tertentu. Derajat kebebasan dapat dihitung seperti berikut,

$$d_f = (n-1)(m-1) \quad (3)$$

dengan *n* adalah jumlah baris dan *m* adalah jumlah kolom.

Tabel 1. Daftar Pengamatan

Golongan	Atribut				
	Atribut *ke-1*	Atribut *ke-2*	…	Atribut *ke-n*	Jumlah
Golongan *ke-1*	e_{11}	e_{12}		e_{1n}	$G_1 = \sum_{j=1}^{n} e_{1j}$
Golongan *ke-2*	e_{21}	e_{22}		e_{2n}	$G_2 = \sum_{j=1}^{n} e_{2j}$
…					…
Golongan *ke-m*	e_{m1}	e_{m2}		e_{mn}	$G_m = \sum_{j=1}^{n} e_{mj}$
Jumlah	$A_1 = \sum_{i=1}^{m} e_{i1}$	$A_2 = \sum_{i=1}^{m} e_{i2}$	…	$A_n = \sum_{i=1}^{m} e_{in}$	$N = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} e_{ij}$

Penarikan kesimpulan. Bila nilai Chi-kuadrat hasil perhitungan $(x^2)_p$ lebih besar dari nilai tabel $(x^2)_T$ maka dinyatakan ada hubungan yang signifikan antara variable G_i *dan* A_j atau H_a diterima, yang dapat dituliskan sebagai,

$$(x^2)_p > (x^2)_T ;\ H_a\ diterima \quad (4)$$

Sebaliknya, bila nilai Chi-kuadrat hasil perhitungan lebih kecil dari nilai dalam tabel maka dinyatakan tidak ada hubungan yang signifikan antara variable G_i *dan* A_j atau H_a ditolak dan dengan sendirinya H_0 diterima, yang dapat dituliskan sebagai,

$$(x^2)_p < (x^2)_T ;\ H_a\ ditolak \quad (5)$$

ISSN 1978-0176

Tabel 2. Daftar Harapan

Golongan	Atribut				
	Atribut *ke-1*	Atribut *ke-2*	…	Atribut *ke-n*	Jumlah
Golongan *ke-1*	a_{11}	a_{12}		a_{1n}	$G_1 = \sum_{j=1}^{n} e_{1j}$
Golongan *ke-2*	a_{21}	a_{22}		a_{2n}	$G_2 = \sum_{j=1}^{n} e_{2j}$
…					…
Golongan *ke-m*	a_{m1}	a_{m2}		a_{mn}	$G_m = \sum_{j=1}^{n} e_{mj}$
Jumlah	$A_1 = \sum_{i=1}^{m} e_{i1}$	$A_2 = \sum_{i=1}^{m} e_{i2}$	…	$A_n = \sum_{i=1}^{m} e_{in}$	$N = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} e_{ij}$

DATA DAN PERHITUNGAN

Dalam penelitian ini digunakan data jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis dan IPK tahun pertama mahasiswa prodi elektromekanik angkatan 2012-2014. Data angkatan yang menunjukan IPK tahun pertama mahasiswa prodi elektromekanik dikelompokan menjadi 3 atribut (lihat Tabel 3) yaitu :

- Atribut pertama adalah IPK tahun pertama mahasiswa prodi elektromekanik angkatan 2012
- Atribut kedua adalah IPK tahun pertama mahasiswa prodi elektromekanik angkatan 2013
- Atribut ketiga adalah IPK tahun pertama mahasiswa prodi elektromekanik angkatan 2014

Metode penelitian yang digunakan adalah analisis Chi-kuadrat yang dikerjakan dalam 4 tahap sebagai berikut.

Tahap 1. Pembuatan daftar pengamatan

Data pengamatan ditempatkan dalam tabel pengamatan, seperti tertera pada Tabel 3.

Tahap 2. Perhitungan daftar harapan

Data dari Tabel 3 dengan menggunakan persamaan (1) dapat dibuat tabel harapan, seperti tertera pada Tabel 4.

Tahap 3. Perhitungan nilai x^2

Dengan menggunakan persamaan (2) dapat dihitung nilai Chi-kuadrat, yang hasilnya adalah, $x^2 = 0{,}000954$

Tahap 4. Pembacaan Chi-kuadrat tabel

Derajat kebebasan dihitung sesuai persamaan (3),

$d_f = (n-1)(m-1) = (2-1)(3-1) = 2$

yang selanjutnya dengan menentukan nilai level signifikan alfa (α) tertentu (lihat Tabel. 5) maka dapat ditarik kesimpulan, H_a diterima atau ditolak.

Tabel 3. Tabel Pengamatan

Jalur Masuk	Angkatan			
	2012	2013	2014	Jumlah
Program Unggulan Sekolah	3,43	3,42	3,46	10,31
Program Tes Tulis	3,42	3,23	3,44	10,09
Jumlah	6,85	6,65	6,90	20,4

ISSN 1978-0176

Tabel 4. Tabel harapan

Jalur Masuk	Angkatan			
	2012	2013	2014	Jumlah
Program Unggulan Sekolah	3,46	3,36	3,49	10,31
Program Tes Tulis	3,39	3,29	3,41	10,09
Jumlah	6,85	6,65	6,90	20,4

Tabel 5. Daftar distribusi Chi-kuadrat[6] untuk $d_f = 2$.

d_f	x^2								
	$(x^2)_{90\%}$	$(x^2)_{75\%}$	$(x^2)_{50\%}$	$(x^2)_{25\%}$	$(x^2)_{10\%}$	$(x^2)_{5\%}$	$(x^2)_{2,5\%}$	$(x^2)_{1\%}$	$(x^2)_{0,5\%}$
2	4,61	2,77	1,39	0,575	0,211	0,103	0,0506	0,0201	0,01

Pembahasan

Untuk level sinifikan (α) sebesar 50 % nilai Chi-kuadrat perhitungan lebih kecil dari nilai Chi-kuadrat tabel, bahkan dengan level signifikan (α) sebesar 1% nilai Chi-kuadrat perhitungan masih jauh lebih kecil dari nilai Chi-kuadrat tabel. Level signifikansi yang sangat rendah ini disebabkan oleh IPK yang merata, sehingga hipotesa alternatif ditolak dan hipotesa nihil diterima atau dengan kata lain, tidak ada hubungan yang signifikan antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014.

Kesimpulan

Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara jalur penerimaan mahasiswa baru program unggulan sekolah dan program tes tulis terhadap IPK tahun pertama mahasiswa elektromekanik angkatan 2012-2014.

Saran

Hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk evaluasi, pengembangan, dan penyempurnaan sistem penerimaan mahasiswa baru agar lebih efektif dalam penyeleksian. Contohnya pendaftar yang tidak lolos pada jalur prestasi akademik dapat diprioritaskan pada jalur tes tulis untuk pendaftar dengan riwayat prestasi yang baik dan memenuhi persyaratan, bentuk prioritas yang dimaksud dapat berupa pendaftar otomatis terdaftar sebagai peserta jalur tes tulis tanpa membayar biaya pendaftaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Keppres No.071/2001 tentang Pendirian Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN).
2. STTN, *Pedoman Akademik STTN BATAN*, Yogyakarta: STTN-BATAN, 2015.
3. Spiegel, M. R, *Statistic,* Singapore: Mc Grawhill International Book Company, 1981
4. Steel, R.G.D. & Torrie, J.H, *Prinsip dan Prosedur Statistika (alih bahasa oleh : Bambang Sumantri) Edisi 2*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1995.
5. Kreyszig, E. *Advanced Enggineering Mathematics fifth edition*, New York: John Wiley & Sons, 1983.
6. Spiegel, Murray R. & Larry J. Stephens, *Statistik (alih bahasa oleh : Wiwit Kastawan & Irzam Harmein) Edisi 3*, Jakarta: Erlangga, 1999.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

PENINGKATAN KUALITAS SUMBER DAYA MANUSIA DALAM PENGELOLAAN PENERIMAAN NEGARA BUKAN PAJAK DI BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL (STUDI KASUS PAIR)

Maulida Mitayani, S.Si[1], Ani Syamsi, M.T[2]

1) Subbagian Perencanaan Penerimaan Negara Bukan Pajak, Biro Perencanaan (Badan Tenaga Nuklir Nasional Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, Indonesia 12710)
2) Fungsional Perencana Program, Biro Perencanaan (Badan Tenaga Nuklir Nasional Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, Indonesia 12710)

ABSTRAK

PENINGKATAN KUALITAS SUMBER DAYA MANUSIA DALAM PENGELOLAAN PENERIMAAN NEGARA BUKAN PAJAK DI BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL (STUDI KASUS PAIR). Penerimaan negara bukan pajak (PNBP) merupakan kegiatan yang harus dikelola dengan stategi yang tepat agar dapat melayani masyarakat secara maksimal sehingga akan berdampak positif pada nilai indeks kepuasan masyarakat (IKM) dan juga meningkatkan target penerimaan. Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan studi kasus di PAIR BATAN. Kondisi faktual mengenai sumber daya manusia (SDM) di BATAN khususnya PAIR belum secara maksimal melaksanakan layanan PNBP dikarenakan jumlah SDM yang kurang memadai dengan kompetensi yang dibutuhkan dan adanya kesenjangan kompetensi. Peningkatan kualitas SDM berbasis dengan kompetensi merupakan solusi yang tepat untuk pengelolaan PNBP. Keterbatasan SDM yang dihadapi saat ini menjadi masalah utama sehingga percepatan penguasaan kompetensi dapat dilakukan dengan pendidikan dan pelatihan serta untuk mengukur tingkat kompetensi yang dimiliki maka dilakukan penilaian kompetensi.

Kata kunci: SDM, PNBP, Kompetensi

ABSTRACT

IMPROVING THE QUALITY OF HUMAN RESOURCES IN NON TAX-REVENOUS MANAGEMENT OF NATIONAL NUCLEAR AGENCY (CASE STUDY IN PAIR). *Non-tax revenues is an activity that must be managed with the right strategies in order to serve the community to the maximum so as to increase community satisfaction index (HPI) and also increase the revenue target . The method used is descriptive qualitative case study in PAIR BATAN. Factual conditions regarding human resources (HR) in BATAN especially PAIR not optimally perform the service non-tax revenues due to the unavailability of human resources in accordance with the necessary competence and there are gaps competence. Improving the quality of human recources (HR) based on competency is the right solution for the management of Non-tax revenues. HR limitations faced today is a major problem that acceleration mastery of competencies to do with education and training and to measure the level of competency of the assessment of competence.*

Key words: human recources, non-tax revenous, competency

PENDAHULUAN

Keberadaan Sumber Daya Manusia (SDM) dalam suatu organisasi merupakan aset yang berharga dan perlu dijaga karena SDM merupakan salah satu elemen terpenting dalam sebuah organisasi untuk mencapai tujuannya. Tujuan organisasi akan tercapai apabila memiliki SDM yang berkualitas. Pengelolaan dan pengembangan untuk mencapai SDM yang berkualitas merupakan salah satu usaha dalam rangka meningkatkan kemampuan pegawai

ISSN 1978-0176

dalam mengerjakan pekerjaan secara profesional dan handal [1].

Pengembangan SDM berbasis kompetensi saat ini merupakan wacana yang tengah berkembang. Kompetensi SDM merupakan suatu karakteristik yang mendasari individu atau seseorang mencapai kinerja yang tinggi dalam pekerjaannya. Kompetensi merupakan gabungan dari pengetahuan, keterampilan dan sikap yang dibutuhkan oleh seseorang untuk melakukan pekerjaan tertentu. Pengetahuan merupakan kedalaman dan luasnya informasi yang diserap dan dipahami oleh seseorang yang akan memungkinkan orang tersebut menghadapi situasi yang berbeda dan perubahan yang tak terduga. Keterampilan adalah kemampuan dan keahlian yang ditunjukkan oleh seseorang dalam melakukan tugas dengan standar yang ditentukan sebagaimana dinilai oleh evaluator. Sikap adalah apresiasi dan perilaku yang dipraktekkan seseorang untuk melakukan pekerjaan atau tugas [2].

Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) merupakan salah satu unsur penyumbang Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). Menyadari akan pentingnya PNBP tersebut maka perlu adanya pengelolaan PNBP di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Menurut Peraturan Pemerintan (PP) No. 29 Tahun 2011 tentang Jenis dan Tarif Atas Jenis PNBP yang berlaku pada BATAN menjelaskan bahwa ada 17 jenis layanan PNBP di BATAN dan dikelola oleh 16 Satuan Kerja [3].

Banyaknya jenis layanan dan satuan kerja yang mengelola layanan PNBP maka perlu adanya dukungan dari manajemen sehingga didapatkan pengelolaan SDM yang tepat maka akan dapat berdampak positif pada kepuasan pelanggan. Kepuasan pelanggan dapat dinilai melalui nilai Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM). Menurut Laporan Kinerja BATAN tahun 2015 menghasilkan nilai IKM 3,17 dalam skala 4. Dengan target nilai IKM 3,0, maka capaian kinerja yang diperoleh sebesar 103,93%. Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan mutu pelayanan BATAN mendapat kategori B (2,51 – 3,25). IKM PAIR pada tahun 2015 adalah 3,24. Agar IKM menunjukkan peningkatan tiap tahunnya maka salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan kualitas SDM yang berbasis kompetensi pada Satuan Kerja pengelola layanan PNBP [4].

Nilai IKM yang meningkat diharapkan dapat menaikan target PNBP di BATAN umumnya dan PAIR khususnya. Berdasarkan proposal Target dan Realisasi Penerimaan Negara Bukan Pajak (TRPNBP) PAIR menunjukkan penurunan pada tahun 2015 – 2017

Tabel. 1. Target penerimaan PAIR Tahun 2015-2017

Target Penerimaan		
2015	2016	2017
Rp 3.659.000.000	Rp 3.137.840.300	Rp 2.960.090.300

SDM memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan penyelenggaraan pelayanan PNBP. SDM yang mampu menjalankan tugas dengan baik dalam memberikan pelayanan PNBP kepada masyarakat adalah SDM yang memiliki kompetensi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis bermaksud membuat kajian tentang "Peningkatan Kualitas Sumber Daya Manusia dalam Pengelolaan Penerimaan Negara Bukan Pajak di Badan Tenaga Nuklir Nasional (Studi Kasus PAIR)"

Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada kajian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi faktual SDM pengelola PNBP di PAIR?
2. Bagaimana strategi yang tepat untuk meningkatkan kualitas SDM pengelola layanan PNBP?

Tujuan

Adapun tujuan kajian ini adalah

1. Mengetahui kondisi faktual SDM pengelola PNBP di PAIR
2. Mengetahui strategi yang tepat untuk meningkatkan kualitas SDM

METODOLOGI

Kajian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. Metode kualitatif dapat berfungsi untuk menggambarkan dan memahami makna di balik data-data yang tampak. Sedangkan deskripsi adalah satu kaedah upaya pengolahan data menjadi sesuatu yang dapat diutarakan secara jelas dan tepat dengan tujuan

ISSN 1978-0176

agar dapat dimengerti oleh orang yang tidak langsung mengalaminya sendiri [5]. Pada penelitian kualtitatif jenis deskripsi tidak diperlukan hipotesa oleh karena tidak dimaksudkan untuk membuktikan sesuatu kebenaran [6].

Sumber data yang digunakan merupakan data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diambil melalui kuesioner terbuka yang disebar kepada satuan kerja yang memiliki layanan PNBP. Data sekunder yaitu berupa data pegawai dari Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) BATAN yang didapatkan dari Surat Keputusan Kepala Pusat.

KONDISI FAKTUAL SUMBER DAYA MANUSIA

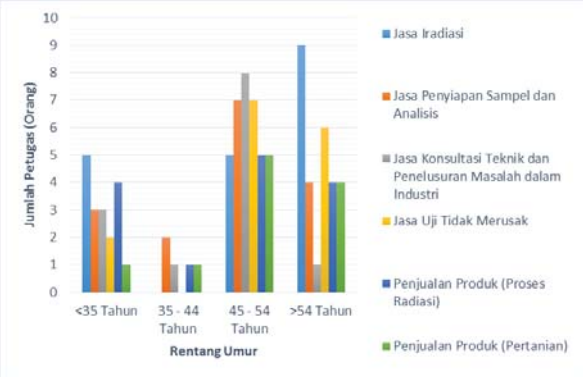
Sumber Daya Manusia (SDM) adalah suatu hal yang sangat penting dalam kegiatan pengelolaan layanan PNBP karena kualitas dari SDM tersebut sangat menentukan kinerja pada saat melaksanakan tugas sebagai pelayan publik.

Tim pengelola layanan PNBP di PAIR dibagi berdasarkan jenis jasa layanan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel.2. Anggota tim tersebut terdiri dari koordinator, sekretariat, pengolah data, pembantu peneliti, dan pembantu lapangan.

Tabel. 2. Jumlah SDM Pengelola Layanan PNBP di PAIR

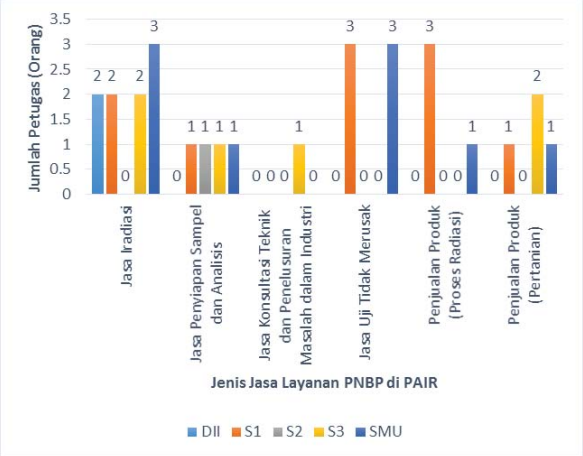
JENIS JASA LAYANAN PNBP	JUMLAH SDM
Jasa Iradiasi	19
Jasa Penyiapan Sampel dan Analisis	16
Jasa Konsultasi Teknik dan Penelusuran Masalah dalam Industri	13
Jasa Uji Tidak Merusak	17
Penjualan Produk (Proses Radiasi)	14
Penjualan Produk (Pertanian)	13

Banyaknya jumlah petugas pengelola PNBP dari tiap jenis layanan dapat diuraikan lagi berdasarkan umur dan pendidikan terakhir. Kajian yang sudah dilakukan menyebutkan bahwa kesenjangan kompetensi SDM menjadi salah satu faktor permasalahan dan ancaman yang dapat menghambat keberhasilan pencapaian BATAN selain faktor penuaan fasilitas dan strategi komunikasi. Sebaran umur pegawai BATAN sebagian besar terletak pada umur 41 tahun ke atas yaitu sekitar 81 persen. Dan jika mengasumsikan bahwa umur pensiun adalah 58 tahun maka BATAN akan kehilangan 17 persen pegawainya dalam dua tahun mendatang dan 35 persen dalam lima tahun mendatang jika kebijakan moratorium masih diterapkan [7].



Gambar 1 Petugas Pengelola Layanan PNBP PAIR Berdasarkan Rentang Umur

Hal tersebut pula yang menjadi permasalahan pada SDM pengelola layanan PNBP di PAIR. Jika dilihat pada Gambar.1. Rentang umur diatas 54 tahun yaitu sebesar 32%. Rentang umur diatas 54 tahun dapat dijabarkan lagi berdasarkan pendidikan terakhir, yang ditunjukkan pada Gambar 2



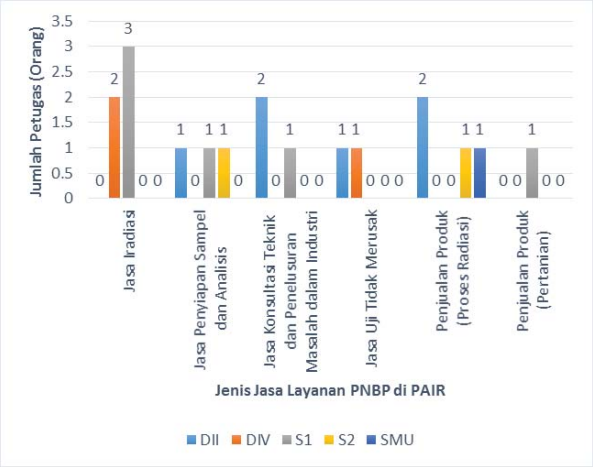
Gambar 2 Petugas Pengelola Layanan PNBP PAIR Rentang Umur diatas 54 Tahun Berdasarkan Pendidikan Terakhir

Berdasarkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 dapat diketahui bahwa 4 sampai 5 tahun ke depan PAIR akan kehilangan SDM yang berkompeten dari masing-masing jenis layanan PNBP. S3 akan kehilangan 6 orang, S2 akan kehilangan 1 orang, S1 akan kehilangan 10 orang, DII akan kehilangan 2 orang, dan juga SMU akan kehilangan 9 orang dimana lulusan

ISSN 1978-0176

SMU tersebut kemungkinan besar memiliki pengalaman secara teknis dalam jangka waktu yang lama pada masing-masing jenis layanan.

Kesenjangan kompetensi berdasarkan pendidikan terakhir akan terlihat apabila petugas dengan umur diatas 54 tahun dibandingkan dengan petugas yang memiliki umur kurang dari 34 tahun.

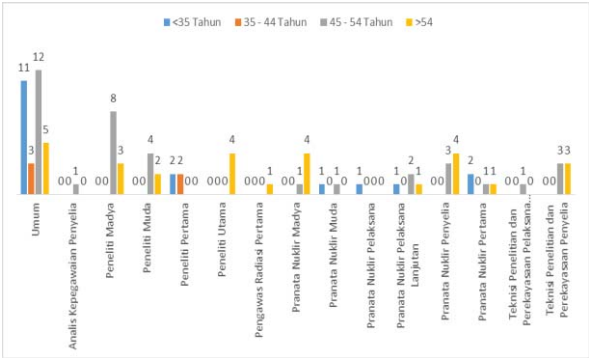


Gambar 3 Petugas Pengelola Layanan PNBP PAIR Rentang Umur dibawah 34 Tahun Berdasarkan Pendidikan Terakhir

Banyaknya petugas pengelola layanan PNBP yang diperkirakan pensiun dalam waktu 4 sampai 5 tahun, maka perlu adanya *transfer knowledge* agar kompetensi yang dimiliki tidak hilang. Pada Gambar 3 terlihat bahwa petugas dengan pendidikan terakhir DII, DIV, dan S1 siap untuk ditingkatkan kompetensinya.

BATAN sebagai badan yang melaksanakan tugas pemerintahan di bidang kajian, pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir memiliki kelompok kompetensi yang tercantum pada Peraturan Kepala BATAN No.16 Tahun 2004. Kelompok kompetensi tersebut dibagi menjadi 6 bidang, yaitu bidang isotop radiasi, bahan bakar nuklir, instalasi dan instrumentasi nuklir, reaktor dan energi nuklir, keselamatan nuklir dan radiasi, dan penunjang [8].

PAIR termasuk dalam kelompok bidang isotop dan radiasi maka dalam pemilihan petugas pengelola layanan PNBP seharusnya dipilih SDM yang memiliki pengetahuan yang luas tentang bidang tersebut, keterampilan yang ditunjukkan dengan pernah mengikuti diklat tertentu, dan perilaku yang dipraktekkan seseorang dalam menjalankan pekerjaan dan memiliki pengalaman bekerja secara teknis dalam waktu yang lama.



Gambar 4 Petugas Pengelola Layanan PNBP PAIR berdasarkan Jabatan Fungsional

Pemilihan petugas pengelola layanan PNBP berdasarkan dengan jabatan fungsional sudah menggambarkan kebutuhan akan petugas yang terampil dan ahli dalam bidang tertentu sesuai dengan kompetensi. Saat ini PAIR sudah melakukan hal tersebut, namun belum secara maksimal. Hal tersebut dikarenakan jumlah SDM yang kurang memadai dengan kompetensi yan diperlukan.

Berdasarkan pada Gambar 4 diketahui hubungan antara rentang umur, jabatan fungsional tertentu dengan jumlah personil pengelola layanan PNBP. Pada jabatan fungsional umum terlihat jumlah personil cukup banyak. Jabatan fungsional umum tersebut terdiri dari lulusan pendidikan DIII/S1 yang belum diklat jabatan fungsional tertentu, SMU yang tidak masuk dalam jabatan fungsional tertentu, dan *outsourcing*.

PAIR sudah memberikan syarat agar pengelola layanan PNBP dapat mengikuti diklat tertentu seperti diklat tata cara pengelolaan PNBP, sertifikasi petugas iradiator, dan sertifikasi petugas radiografi akan tetapi saat ini PAIR menghadapi kondisi bahwa SDM yang mengelola teknis di tiap bidang layanan sudah banyak yang akan menjalani purna bakti, sehingga diperlukan penambahan SDM yang baru. Dalam hal ini PAIR harus mempersiapkan SDM pengganti yang memiliki kompetensi yang dibutuhkan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 65/PMK.02/2015 tentang Standar Biaya Masukan Tahun Anggaran 2016 menyebutkan bahwa honorarium diberikan kepada Pegawai Aparatur Sipil Negara/Anggota Polri/TNI yang diberi tugas

ISSN 1978-0176

oleh pejabat yang berwenang untuk mengelola PNBP fungsional dengan ketentuan sebagai berikut:

a. Jumlah petugas penerima PNBP atau anggota paling banyak 5 (lima) orang;
b. Jumlah alokasi dana untuk honorarium Pengelola PNBP dalam 1 (satu) tahun paling tinggi sebesar 10% (sepuluh persen) dari target pagu penerimaan PNBP fungsional; dan
c. Dalam hal bendahara penerimaan telah menerima tunjangan fungsional bendahara, maka yang bersangkutan tidak diberikan honorarium dimaksud

Honorarium untuk pengelola PNBP dapat digunakan sebagai pemicu semangat petugas pengelola PNBP untuk lebih produktif [9].

Kondisi faktual yang terjadi pada PAIR tidak jauh berbeda dengan kondisi yang dialami oleh Satuan Kerja lain di BATAN, terutama Satuan Kerja yang memiliki jumlah penerimaan yang besar. Pada umumnya keterbatasan SDM menjadi salah satu masalah utama dalam pengelolaan PNBP.

STRATEGI

Berdasarkan target kinerja BATAN tahun 2019 yaitu salah satunya pencapaian IKM 3,2 dan berdasarkan kondisi faktual SDM pengelola layanan PNBP di PAIR, maka strategi yang dapat diambil dalam rangka peningkatan kualitas SDM pengelola PNBP di BATAN adalah sebagai berikut:

1. Manajemen Pengelolaan SDM Berbasis Kompetensi

   Dalam penempatan pengelola teknis layanan PNBP haruslah memiliki perencanaan SDM yang cukup matang. UU No 5 Tahun 2014 menyebutkan bahwa kompetensi teknis dapat diukur dari tingkat dan spesialisasi pendidikan, pelatihan teknis fungsional, dan pengalaman bekerja secara teknis. Manajemen Pengelolaan SDM Berbasis Kompetensi merupakan strategi baru dalam memetakan kinerja SDM yang mengarah pada profesionalisme [10].

   Strategi pengelolaan SDM yang diterapkan seharusnya adalah strategi yang berbasis kompetensi. Strategi tersebut lebih menekankan pada pengetahuan, keterampilan, dan sikap SDM dalam menjalankan tugas. Tidak terpengaruh berapa banyak penerimaan yang didapatkan, pengelola teknis layanan PNBP akan tetap menjalankan pekerjaanya dengan baik. Selain itu, Penetapan standar kompetensi juga merupakan langkah mempertegas dan memperjelas kualifikasi dalam melaksanakan tugas-tugas atau tanggung jawabnya sesuai dengan kompetensi.

   Terdapat 5 (lima) karakteristik kompetensi, yaitu pengetahuan, keterampilan, konsep dan nilai-nilai, karakteristik pribadi, dan motif. Pengetahuan merujuk pada informasi dan hasil pembelajaran yang sudah diketahui. Keterampilan merupakan keahlian yang ditunjukkan dengan kemampuan seseorang dalam melakukan sesuatu. Konsep diri dan nilai-nilai merujuk pada sikap, nilai-nilai dan citra diri seseorang. Karakteristik pribadi merujuk pada karakteristik fisik dan konsistensi tanggapan terhadap situasi dan informasi. Sedangkan motif merujuk pada emosi, hasrat, kebutuhan psikologis atau dorongan-dorongan lain yang memicu tindakan [8].

   Berdasarkan karakteristik kompetensi tersebut, SDM dapat terpetakan dengan dukungan dari para pimpinan dalam melaksanakan manajemen SDM yang tepat. Peran pimpinan adalah mampu merumuskan kompetensi apa saja yang harus dimiliki dan dikembangkan sebagai pengelola PNBP sesuai dengan layanan yang tersedia dan kompetensi yang dibutuhkan. Pemetaan SDM berdasarkan kompetensi yang diperlukan dengan tetap mengacu pada Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 tahun 2004 tentang kelompok kompetensi [11].

   Apabila daya dukung organisasi sudah dapat berjalan secara simultan maka pengembangan SDM berbasis kompetensi akan dapat memberikan dampak baik bagi peningkatan kinerja. Hal ini terjadi karena SDM yang berkembang secara kompeten merupakan suatu kondisi dimana seluruh elemen internal organisasi siap untuk bekerja dengan mengandalkan kualitas diri dan kemampuan yang baik. Pada level tertentu dimana kondisi di atas sudah mampu tercipta dalam suatu organisasi maka kinerja individu menjadi cerminan bagi kinerja organisasi/instansi [8].

ISSN 1978-0176

2. Pendidikan dan Pelatihan Berbasis Kompetensi (PPBK)

Pengembangan kompetensi pengelola teknis layanan PNBP dapat dilakukan dengan pendidikan dan pelatihan. Pendidikan dan pelatihan sangat penting dilakukan agar dapat meningkatkan kualitas SDM. Pendidikan dan Pelatihan Berbasis pada Kompetensi-PPBK merupakan salah satu pendekatan dalam pengembangan SDM yang berfokus pada hasil akhir (*outcome*).

Pendidikan dan pelatihan berbasis kompetensi (PPBK) adalah sistem pendidikan dan pelatihan yang menawarkan upaya peningkatan kinerja SDM dan organisasi melalui kompetensi yang dapat menciptakan karyawan dengan kemampuan yang sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan pekerjaan. PPBK dirancang untuk peningkatan kompetensi yang dapat dimodifikasi dan disesuaikan dengan kebutuhan dan kondidi yang ada agar dapat mencapai hasil seperti yang diharapkan. Adapun langkah-langkah dalam PPBK antara lain: menganalisis kebutuhan, penilaian, dan perencanaan; pengembangan model kompetensi; perencanaan kurikulum; perencanaan dan pengembangan intervensi pembelajaran; dan evaluasi [8].

Studi kasus PAIR membutuhkan beberapa diklat yang dipersyaratkan sebagai petugas pengelola teknis layanan PNBP seperti: diklat petugas iradiator, diklat tata cara pengelolaan PNBP, dan diklat radiografi.

3. Penilaian Kompetensi

Penilaian kompetensi merupakan bagian dari strategi manajemen SDM berbasis kompetensi, sehingga manajemen dapat menjamin perolehan informasi yang akurat dan komprehensif mengenai tingkat kemampuan – kemampuan kritis SDM yang dimiliki unit pelayanan publik. Adapun maksud diadakannya penilaian kompetensi adalah untuk mengetahui atau menganalisis kesenjangan (gap) antara level kompetensi saat ini dan menggunakan hasilnya untuk aplikasi manajemen SDM seperti penempatan pengelola PNBP.

Secara umum pengukuran kompetensi adalah proses menentukan apakah seseorang kompeten atau tidak untuk menduduki jabatan tertentu, dengan cara membandingkan antara level kompetensi saat ini dengan standar yang ditetap atau level kompetensi yang dibutuhkan**.** Ada beberapa aspek-aspek yang harus terpenuhi dalam penilaian kinerja kompetensi sebagai berikut:

1. *Reliability*, yaitu faktor penilaian harus dapat dipercaya. Ukuran kinerja harus konsisten, jika dua penilai mengevaluasi pekerja yang sama mereka perlu menyimpulkan hal serupa menyangkut hasil mutu pekerja.
2. *Relevance*, yaitu ada kesesuaian antara penilaian dengan tujuan sistem penilaian, ukuran kinerja harus dihubungkan dengan output riil dari kegiatan yang secara logika itu mungkin.
3. *Sensitivity*, yaitu beberapa ukuran harus mampu mencerminkan perbedaan antara penampilan tingkat tinggi dan rendah. Penampilan tersebut harus dapat membedakan dengan teliti tentang perbedaan kinerja.
4. *Practicality*, mudah dipahami dan dapat diterapkan secara praktis dan kekurangan data tidak telalu mengganggu.

Kelemahan yang ada dalam penilaian kinerja ini terdapat pada sisi kepraktisannya, mengingat penilaian kinerja ini menggunakan lebih banyak data dan multirater sehingga membutuhkan lebih banyak proses [12].

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian menunjukkan bahwa bahwa pengelola PNBP saat ini memiliki beberapa kendala antara lain keterbatasan SDM dan kesenjangan kompetensi. Oleh karena itu, strategi yang diambil untuk mengatasi kendala tersebut adalah manajemen SDM berdasarkan kompetensi, pendidikan dan pelatihan, dan penilaian kompetensi. Dukungan dari manajemen dalam pengelolaan PNBP sangat berpengaruh terhadap hasil yang diharapkan.

Adapun peningkatan kualitas SDM dapat terlaksana sesuai dengan harapan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, antara lain:

- Peraturan Kepala BATAN No.16 Tahun 2004 tentang Kelompok Kompetensi perlu

diperbaharui karena sudah tidak relevan dengan keadaan saat ini.

- Dalam penilaian kompetensi hendaknya merujuk pada buku dari IAEA pada tahun 2016 yaitu Competency Assessment for Nuclear Industry personnel

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. Setiadi. *"Analisa Deskriptif rekruitmen dan Seleksi Karyawan Pada PT. ISS Indonesia Surabaya"*. 2014. AGORA Vol.2, No. 1.

[2] IAEA. "Training The Staff Of The Regulatory Body For Nuclear Facilities: A Competency Framework". IAEA TECDOC Series, No. 1254, 2001.

[3] Republik Indonesia. 2011. Peraturan Pemerintah No.29 Tahun 2011 tentang Jenis dan Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Tenaga Nuklir Nasional. Sekretariat Negara. Jakarta.

[4] BATAN. 2016. Laporan Kinerja Badan Tenaga Nuklir Nasional 2015. Jakarta: BATAN.

[5] E. A. Limawandoyo dan A. Simanjuntak. *"Pengelolaan dan Pengembangan Sumberdaya Manusia Pada PT. Aneka Sejahtera Engineering"*. 2013. Jurnal Manajemen Bisnis Petra Vol.1 No.2.

[6] Subandi. *Deskripsi Kualitatif Sebagai Satu Metode dalam Penelitian Pertunjukan*. 2011. HARMONIA, Volume 11, No.2.

[7] N. Wijaya dan R. Azaliah. *"Preservasi Pengetahuan Nuklir di BATAN"*. 2015. Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir. ISSN 1978-0176.

[8] Jumawan. *Mengembangkan Sumber Daya Manusia (HRM) yang Strategis untuk Menunjang Data Saing Organisasai: Perspektif. Competency & Talent Management*. 2015. Media Mahardika Vol.13, No.3. hal. 258 – 269.

[9] Republik Indonesia. 2015. Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 65/PMK.02/2015 tentang Standar Biaya Masukan Tahun Anggaran 2016. Kementerian Keuangan. Jakarta.

[10] Republik Indonesia. 2014. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara. Kementerian Sekretariat Negara. Jakarta.

[11] Republik Indonesia. 2004. Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 tahun 2004 tentang Kelompok Kompetensi. BATAN. Jakarta.

[12] I. Mayasari, K. Haryanti, F. Hindiarto. *Penilaian Kinerja Berdasarkan Kompetensi dan KPI (Key Performer Indicator) Perusahaan Daerah Air Minum Kabupaten Semarang*. 2012. Pediksi, Kajian Ilmiah Psikologi. Vol.1, No.2. hal 224-228.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

MANAJEMEN BAHAYA KEBAKARAN DAN LEDAKAN DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Moch Romli

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN, Tangerang Selatan, Indonesia,
mrromli@batan.go.id

ABSTRAK

MANAJEMEN BAHAYA KEBAKARAN DAN LEDAKAN DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR. Kejadian kecelakaan reaktor nuklir di kompleks PLTN Fukushima telah banyak memberikan pelajaran. Desain dan Sistem Dukung fasilitas nuklir memerankan elemen penting dalam proteksi bahaya kebakaran dan ledakan. Kajian ini bertujuan untuk membentuk kerangka kerja dalam Manajemen Bahaya Kebakaran dan Ledakan. Jika mengacu pada *IAEA Safety Guide NS-G-1.7 : Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plant*, minimal ada 11 (sebelas) elemen proteksi kebakaran dan ledakan. Elemen tersebut menjadi penghalang antara api/ sumber ledakan dengan kecelakaan katastropik. Elemen-elemen tersebut terdiri dari Desain & *layout*, *Control of Ignition Source*, *Housekeeping*, *Inherently Safer Design*, Perawatan & Pemeliharaan, Manajemen Perubahan, *Hazard Material*, Surveilan dan Sistem Alarm, Penanggulangan Kedaruratan, Inspeksi, Audit, dan Pelatihan. Upaya pencegahan memegang peranan yang dominan dalam Manajemen Bahaya Kebakaran dan Ledakan. Sedangkan upaya penanggulangan yang tepat secara signifikan dapat mengurangi dampak dari kecelakaan yang terjadi.

Kata kunci: reaktor nuklir, Fukushima, Desain, Sistem Dukung, *NS-G-1.7*, proteksi kebakaran dan ledakan

ABSTRACT

FIRE AND EXPLOSION HAZARD MANAGEMENT IN NUCLEAR POWER PLANT. *Nuclear reactor accident at Fukushima Nuclear Power Plant Complex has been provided many lessons. Design and Support System of nuclear facility to be important element in the fire and explosion protection. This study aims to establish a framework for Fire and Explosion Hazards Management. When referring to the IAEA Safety Guide NS-G-1.7 : Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plant, there are least 11 (eleven) elements of fire and explosion protection. The element becomes a barriers between the fire/ explosion source with catasthropic accident. The elements are design & layout, Control of Ignition Source, Housekeeping, Inherently Safer Design, Maintenance, Management of Change, Hazard Material, Surveillance and Alarm System, Emergency Response, Inspection, Audit, and Training. Prevention action is a dominan role in the Fire & Explosion Hazards Management. While the right countermeasures action can significantly reduce the impact of accidents that occur.*

Key words: nuclear reactor, Fukushima, Design, Support System, NS-G-1.7, fire & explosion protection

PENDAHULUAN

Kecelakaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di komplek Fukushima memberikan pelajaran. Akibat *Loss of Heat Sink Accident*, air pendingin reaktor tidak bisa mengalir sehingga air pendingin itu sendiri terdidihkan hingga menguap oleh panas peluruhan. Penguapan intensif mengakibatkan tinggi permukaan air reaktor terus menyusut dan suatu saat sampai ke titik di mana bahan bakar mulai tidak terendam air pendingin. Pada saat itu suhu reaktor sudah mencapai 800 ^{o}C. Tidak terendamnya batang bahan bakar berimplikasi serius, sebab suhu reaktor melonjak naik hingga mencapai 1000 ^{o}C. Pada titik ini, panas telah mampu melelehkan batang bahan bakar dan isinya, kondisi yang secara teknis disebut *Loss of Coolant Accident*

ISSN 1978-0176

(*LOCA*). Dalam fisika reaktor nuklir, *LOCA* menduduki hirarki tertinggi sebagai kecelakaan terparah yang membuat sebuah reaktor bisa mati untuk selamanya. Zirkonium yang meleleh kemudian bereaksi secara kimiawi dengan uap air panas menghasilkan zirkonium oksida dan gas hidrogen, di mana dalam tiap kilogram zirkonium yang bereaksi diproduksi 500 liter gas hidrogen. Terbentuknya gas hidrogen membuat tekanan di dalam reaktor meningkat hingga mencapai 2 kali lipat di atas normal.

Pada titik tertentu, campuran air, udara, dan gas hidrogen cukup berbahaya karena sanggup menghasilkan detonasi (ledakan) yang ditandai dengan pelepasan gelombang kejut. Setiap reaktor pada dasarnya memiliki perangkat yang mampu mengalirkan gas hidrogen keluar sebelum konsentrasi berbahaya tercapai. Namun ketiadaan aliran listrik mengakibatkan fungsi perangkat ini tidak berjalan. Sebagai akibatnya, ketika konsentrasi berbahaya tercapai, ledakan hidrogen tidak dapat dihindari.

Seperti itulah gambaran kejadian di PLTN Kompleks Fukushima. Gempa mengguncang Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 pukul 2:46 p.m. dengan kekuatan 9 skala *richter*. Tiga puluh menit kemudian tsunami menghantam sepanjang bagian timur laut Jepang. Dinding laut (*sea wall*) setinggi 4 meter yang melindungi Kompleks Fukushima, tidak mampu membendung terjangan tsunami yang diperkirakan mencapai 8,5 meter. Di dalam komplek ini terdapat 6 (enam) buah reaktor nuklir generasi pertama : reaktor tertua (reaktor 1) memiliki daya 460 MWe, sementara reaktor unit 2 hingga 5 memiliki daya 784 MWe, dan reaktor unit 6 memiliki daya terbesar, yakni 1100 MWe. Kompleks ini merupakan salah satu komplek PLTN tertua dan sekaligus terbesar di dunia, yang dibangun sejak dekade 1960-an dan selesai pada 1970-an.

Pada saat terjadi gempa, sistem kendali reaktor secara otomatis mematikan semua reaktor dengan sistem *Safety Control Rod Axe Man (SCRAM)*. Padamnya aliran listrik mengakibatkan katup-katup aliran pendingin digerakkan oleh diesel cadangan, namun ini pun hanya bertahan sekitar 1 jam karena diesel kemudian mati terendam air tsunami. Aliran listrik kemudian diambil alih oleh *accumulator* selama 8 jam. Bantuan *mobile diesel* dan *mobile accumulator* cadangan segera didatangkan dari PLTN terdekat yang tidak mengalami gangguan, namun butuh waktu 13 jam pasca gempa untuk mencapai Fukushima.



Gambar 1. Sesaat setelah ledakan hidrogen di Reaktor 3 Kompleks Fukushima [1]

Bantuan itu pun tidak langsung tersambung dengan Fukushima, karena konektornya berada di ruang basement yang terendam air. Akibatnya reaktor unit 1 hanya mendapatkan pendinginan 9 jam pasca gempa dan setelah itu pendinginan berhenti. Sistem pendingan darurat *ECCS* (*Emergency Core Cooling System*) pun tak bisa diaktifkan akibat listrik padam. Konsekuensinya panas peluruhan tidak bisa dialirkan keluar dan berpotensi mengakibatkan kegagalan yang dikenal dengan *Loss of Heat Sink Accident* (*LOHSA*) atau *Loss of Flow Accident* (*LOFA*).

Ledakan hidrogen pertama kali terjadi di reaktor unit 1 pada 12 Maret 2011 pukul 13:36 yang menyebabkan atap reaktor (lapisan pengukung kedua) berlubang, sedangkan lapisan pengukung pertama masih utuh (berdasarkan inspeksi setelah kecelakaan). Kejadian di reaktor unit 1 ternyata terjadi juga di reaktor unit 3 yang berujung pada ledakan hidrogen dua hari kemudian 14 Maret 2011 pukul 09:15. Ledakan di reaktor unit 3 mengakibatkan puing-puing berhamburan dan mengenai sistem pendingin reaktor unit 2. Akibatnya, *ECCS* reaktor 2 pun tidak dapat berfungsi dan mengakibatkan air dalam reaktor sepenuhnya kosong sehingga pelelahan pun mulai terjadi. Pada akhirnya, ledakan hidrogen di reaktor unit 2 pun terjadi pada 15 Maret 2011 pukul 04:14.

Pada reaktor unit 4, meski telah dimatikan karena dalam masa perawatan

ISSN 1978-0176

sebelum gempa terjadi dan seluruh batang bahan bakar telah dipindah ke kolam bahan bakar bekas di atas reaktor, pendinginan yang tidak mencukupi membuat air dalam kolam bahan bakar bekas memanas dan mendidih hingga kering. Gas hidrogen pun terbentuk dan lama kelamaan mencapai konsentrasi berbahaya sehingga ledakan hidrogen pun terjadi pada 15 Maret 2011 pukul 04:00. Masih tingginya konsentrasi gas hidrogen mengakibatkan kolam bahan bakar bekas terbakar empat jam kemudian. Ledakan telah mengakibatkan dinding lapisan pengukung kedua berlubang. Berlubangnya dinding dan habisnya air dalam kolam bahan bakar menempatkan reaktor unit 4 sebagai reaktor paling berbahaya selama rangkaian kecelakaan nuklir, karena nyaris tidak ada pelidung lagi antara batang bahan bakar nuklir dengan lingkungan luas. [2]

Sejak kejadian tersebut, desain dan pengelolaan sarana pendukung menjadi bagian penting yang harus diperhatikan dalam instalasi nuklir. Di samping itu, elemen pencegahan bahaya kebakaran dan ledakan juga perlu diperhatikan berdasarkan referensi dari beberapa standar, baik standar bagi instalasi nuklir dan standar untuk bangunan baik secara umum ataupun spesifik seperti di industri kimia.

METODOLOGI

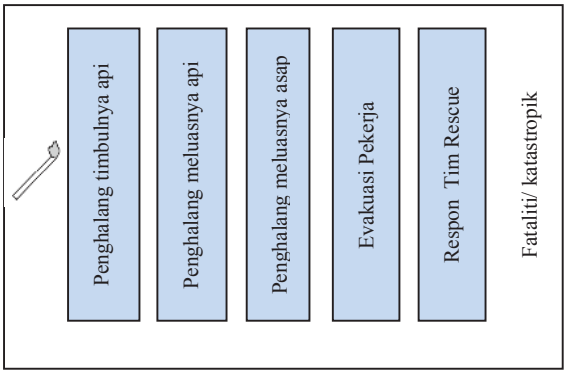
Metode yang digunakan adalah deskriptif dengan studi literatur yang dilengkapi studi kasus untuk investigasi kegagalan manajemen bahaya kebakaran dan ledakan di PLTN Fukushima dilihat dari beberapa acuan yang digunakan.



Gambar 2. Studi Kasus PLTN Fukushima dilihat dari Beberapa Acuan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam manajemen bahaya kebakaran dan ledakan, proteksi menjadi langkah penting dan paling efektif untuk menjadi penghalang terjadinya fataliti ataupun kecelakaan yang bersifat katastropik. Proteksi bahaya kebakaran dan ledakan terdiri atas penghalang-penghalang (*barriers*) antara timbulnya pemicu (*ignition source*) dengan terjadinya fataliti atau kejadian katasropik. [3]



Gambar 3. Lima Penghalang Api Utama antara Api dan Fataliti [3]

Kelima penghalang (*barriers*) tersebut bisa dibagi kembali menjadi 11 (sebelas) elemen proteksi kebakaran dan ledakan. Kesebelas elemen tersebut merupakan persyaratan proteksi kebakaran dan ledakan yang diambil dari *IAEA Safety Guide NS-G-1.7 : Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plant* [4] dan acuan dari *Chemical Process Safety* [5]. Elemen-elemen tersebut menjadi objek investigasi dari studi kasus kecelakaan PLTN Fukushima.

1. Desain dan *layout*

Menurut *NS-G-1.7*, bangunan PLTN harus berdinding tahan api dan didisain dengan menentukan kompartemen api. Selain itu, pengaturan daerah kerja harus mempertimbangkan kemudahan akses dan rute untuk evakuasi. Terkait dengan reaksi yang menghasilkan hidrogen, ruangan di daerah teras reaktor harus didesain agar tidak terjadi akumulasi hidrogen baik dengan atau tanpa ventilasi. Untuk perkabelan yang terkait dengan sistem keselamatan diletakkan pada rute yang terlindungi kompartemen api. Dalam desain juga harus ditentukan *layout* sistem penyuplai air, sistem deteksi, dan pemadaman

ISSN 1978-0176

kebakaran agar mudah dalam penggunaan dan inspeksi/ uji fungsi.

Jika mengacu pada persyaratan *safety guide NS-G-1.7*, ada beberapa ketidaksesuaian disain dari PLTN Fukushima yang berkontribusi menyebabkan kecelakaan. Di antaranya adalah desain yang tidak mampu mencegah akumulasi hidrogen, dan yang menjadi penyebab dasar adalah penempatan koneksi sistem catu daya cadangan di *basement* yang menyulitkan usaha mitigasi.

2. *Control of Ignition Source*

Berdasarkan *NS-G-1.7*, sumber api dan volume gas mudah terbakar/ meledak harus dibatasi keberadaannya di dalam instalasi. Di samping itu perlu dilakukan standar instalasi listrik untuk di lingkungan *explosive atmosphere*. Dan pipa yang berisi material panas, seperti pipa pendingin primer, harus terinsulasi. Secara umum pencegahan terhadap kebakaran perlu dilakukan agar komponen-komponen dalam segitiga api (bahan mudah terbakar, api dan oksigen) tidak bertemu dan bereaksi.

Reaktor di komplek Fukushima telah diproteksi dengan membuat insersi manual batang kendali dan sistem injeksi air asam borak untuk mengatasi kegagalan *SCRAM*, merestorasi sistem pemindahan panas residu dan *spray system* manual, instalasi *venting containment vessel system* untuk mencegah gagal fungsi pemindahan panas, dan *automatic depressurixation system* untuk menurunkan tekanan di tangki reaktor. Di samping itu, terdapat *high & low pressure ECCS*, serta injeksi air alternatif. Ini artinya bahwa reaktor di kompleks Fukushima telah memiliki sistem untuk memitigasi sumber panas dan ledakan, namun kondisi kecelakaan yang beruntun dan di luar prediksi, mengakibatkan manajemen mitigasi kecelakaan tidak berjalan sebagaimana mestinya.

Ledakan hidrogen di reaktor, secara komprehensif ditetapkan menjadi manajemen risiko prioritas tinggi. Tersedianya sistem pemantauan gas hidrogen sangat diperlukan untuk mencegah kecelakaan yang parah. Instrumen dan peralatan deteksi seperti ini harus dihubungkan dengan sumber listrik alternatif. [6]

3. *Housekeeping*

Housekeeping bisa menjadi unsur penting dalam usaha pencegahan kebakaran dan ledakan. Kurangnya perhatian terhadap hal ini dapat berakibat fatal, seperti konsentrasi debu dengan ukuran tertentu dan dalam volume ruang tertentu bisa menyebabkan ledakan.

4. *Inherently Safer Design*

Inherently safer design merupakan sistem pasif yang secara langsung dapat memitigasi dampak dari suatu kegagalan. Reaktor di kompleks Fukushima merupakan tipe *BWR* yang merupakan derivasi langsung dari reaktor kapal selam yang masih membutuhkan pendingin aktif. Kekurangannya adalah pendingin aktif tersebut membutuhkan pasokan listrik untuk menggerakkan pompa dan katup. Sehingga fungsi *inherently safer design* yang diharapkan tidak dapat terpenuhi secara maskimal.

5. Perawatan dan Pemeliharaan

Perawatan secara berkala perlu dilakukan terhadap sistem proteksi kebakaran. Selain proses perawatan itu sendiri, peralatan dan bahan untuk *maintenance* dan perbaikan perlu diperhatikan, termasuk penyimpanan dan penggunaan gas asetilen, propane, dan gas lainnya.

6. Manajemen Perubahan

Kecelakaan dapat terjadi karena tidak dilakukannya perubahan atau adaptasi terhadap perubahan potensi bahaya yang berasal dari internal dan eksternal, perubahan yang salah terhadap perubahan potensi bahaya eksternal dan internal, ataupun *miss-communication* dalam penerapan perubahan.

Organisasi wajib memiliki suatu program tertulis untuk mengelola perubahan (baik terhadap penggunaan bahan, modifikasi peralatan & fasilitas, serta prosedur) sehingga diperoleh kejelasan tentang dasar teknis dari perubahan itu, dampak perubahan terhadap keselamatan, modifikasi terhadap prosedur operasi, periode waktu dari perubahan (permanen atau sementara), dan persyaratan kewenangan untuk melaksanakan perubahan itu. Manajemen juga wajib menginformasikan

ISSN 1978-0176

dan melatih pekerja terkait perubahan yang dilakukan.

Terkait dengan kecelakaan reaktor nuklir di kompleks Fukushima, terdapat indikasi tidak dilakukannya kaji ulang terhadap *layout* fasilitas PLTN seperti penempatan catu daya cadangan, dan desain *seawall* yang tidak ideal.

7. *Hazard Material*

Menurut *NS-G-1.7*, material yang digunakan pada konstruksi bangunan pembangkit listrik tenaga nuklir harus merupakan bahan yang tidak mudah terbakar. Dan untuk penyimpanan dan penggunaan material berbahaya (seperti bahan mudah terbakar atau meledak) harus dikendalikan.

Berdasarkan *chemical process safety*, identifikasi dan pemberian identitas material berbahaya harus dilakukan agar semua pihak mendapatkan informasi yang memadai tentang bahaya material.

8. Surveilan dan Sistem Alarm

Baik menurut *NS-G-1.7* dan *chemical process safety*, surveilan harus dilakukan untuk menjamin sistem alarm (*fire alarm, hydrogen concentration alarm,* dan *pressure alarm*) berfungsi dengan baik.

9. Analisis Bahaya Proses

Secara umum, keseluruhan proses pekerjaan dan penggunaan sistem peralatan harus dilakukan analisis risiko sebelum pekerjaan dilakukan. Menurut *NS-G-1.7*, hasil analisis bahaya menentukan sistem deteksi dan penanggulangan kebakaran. Analisis bahaya yang dilakukan meliputi kejadian kebakaran yang diakibatkan *initial event* seperti gempa bumi atau juga dikarenakan *hot equipment* dan gas mudah terbakar.

Terkait dengan kejadian di kompleks PLTN Fukushima, perlu dilakukan analisis bahaya proses dan penilaian risiko secara berkala terhadap perubahan, baik yang ada di internal fasilitas maupun faktor eksternal yang berpengaruh terhadap keselamatan fasilitas.

10. Penanggulangan Kedaruratan

Selain peralatan dan perlengkapan kedaruratan yang harus dipenuhi, *NS-G-1.7* menuntut kesiapan dan kesigapan dalam penanggulangan kedaruratan merupakan hal yang wajib untuk dilatih.

Belajar dari kejadian kecelakaan PLTN Fukushima, di samping upaya mitigasi yang gagal, komunikasi kedaruratan yang dilakukan pun dinilai gagal meminimalisir masyarakat yang terpapar radiasi. Perkembangan dan estimasi risiko yang timbul pun sangat lamban diberikan oleh pemerintah.

11. Inspeksi, Audit, dan Pelatihan

Inspeksi, audit, dan pelatihan merupakan bagian wajib yang harus dilaksanakan dalam Program Proteksi Kebakaran. Inspeksi dan audit melingkupi manajemen, sumber daya, termasuk sistem proteksi kebakaran dan ledakan. Inspeksi dan audit harus mampu memberikan perbaikan atau penyempurnaan terhadap sistem yang ada. Sedangkan pelatihan diperlukan untuk personil penanggulangan dalam melakukan mitigasi, pemadaman kebakaran, hingga evakuasi korban.

Ancaman tsunami telah dimasukkan dalam regulasi keselamatan nuklir lebih dari sepuluh tahun yang lalu, walaupun baru menekankan pada modus proteksi saja. Menilik kejadian di kompleks PLTN Fukushima, program inspeksi dan audit telah gagal memberikan rekomendasi prosedur operasi kedaruratan dan petunjuk manajemen kecelakaan parah, seperti bagaimana melindungi teras dan pengungkung reaktor jika terjadi tsunami dan dalam kondisi tidak ada pasokan listrik, baik pasokan listrik utama maupun pasokan listrik cadangan.

KESIMPULAN

1. Upaya pencegahan memegang peranan yang dominan dalam Manajemen Bahaya Kebakaran dan Ledakan;
2. Initial event dapat berasal dari internal maupun eksternal instalasi, sehingga memungkinkan adanya perubahan untuk desain dan prosedur terhadap bergesernya nilai risiko;
3. Upaya penanggulangan yang tepat secara signifikan dapat mengurangi dampak dari kecelakaan yang terjadi.

ISSN 1978-0176

DAFTAR PUSTAKA

Website :

1. http://maps4media.com/DG-Japan_Daiichi_Reactor_March2011.pdf diakses pada 16 Juni 2016 Pukul 09.30 WIB.

Buku :

2. Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commision. *The Official Report of The Fukushima Independent Investigation Commision*. The National Diet of Japan, 2012.
3. Yung, David. *Principles of Fire Risk Assessment in Building*. United Kingdom : John Wiley & Sons, Ltd, 2008. 978-0-470-85402-0.
4. IAEA. *Safety Guide NS-G-1.7 : Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plant.* Viena : IAEA, 2004.
5. --.*Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical, and Hydrocarbon Processing Facilities*. Center for Chemical Process Safety, 2003.

Jurnal :

6. Nishimura, Takeshi; Hoshi, Harutaka; Hotta, Akitoshi. *Current Research and Development Activities on Fission Products and Hydrogen Risk After the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station*. Nuclear Engineering and Technology. 2015.

Diskusi Presentasi Oral
Pertanyaan :

1. Tidak nampak adanya penilaian risiko dari presentasi yang ditampilkan ? (Bp. Fikri)
2. Apakah ada perbedaan pelaksanaan Manajemen Bahaya Kebakaran dan Ledakan ini untuk setiap jenis PLTN yang berbeda ? (Bp. Budi)

Jawaban :

1. Kajian ini bertujuan untuk membentuk kerangka berpikir dalam Manajemen Bahaya Kebakaran dan Ledakan. Penilaian risiko merupakan salah satu tahap dalam Manajemen Bahaya Kebakaran & Ledakan pada langkah analisis bahaya. Kecelakaan PLTN di Fukushima digunakan sebagai studi kasus untuk mempermudah deskriptif tiap tahapan dalam kerangka berpikir ini. Tidak diberikan penilaian risiko untuk kasus ini karena kajian ini hanya bertujuan membentuk kerangka berpikir.
2. Setiap tahapan dalam kerangka berpikir Manajemen Bahaya Kebakaran & Ledakan ini dapat digunakan untuk segala jenis reaktor dan PLTN. Hanya saja pasti ada perbedaan dalam beberapa penjelasan seperti pada desain & layout, *hazard material*, analisis bahaya, dan *inherently safer design*.

ISSN 1978-0176

STRATEGI PENINGKATAN KAPASITAS STTN BATAN UNTUK MENDUKUNG PENYELENGGARAAN PENDIDIKAN TINGGI NASIONAL

Ani Syamsi[1], Budi Santoso[1]

1) Biro Perencanaan (Badan Tenaga Nuklir Nasional Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, Indonesia 12710)

ABSTRAK

STRATEGI PENINGKATAN KAPASITAS STTN BATAN UNTUK MENDUKUNG PENYELENGGARAAN PENDIDIKAN TINGGI NASIONAL. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) merupakan sekolah tinggi kedinasan di bawah koordinasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan satu-satunya institusi pendidikan di Indonesia yang mendidik teknisi ahli di bidang teknologi nuklir yang akan terserap ke dalam industri yang menggunakan sumber radiasi. Akan tetapi kedudukan STTN yang cukup penting sebagai bagian dari pendidikan tinggi nasional belum didukung dengan anggaran yang cukup. Sehingga perlu dilihat kekuatan, kelemahan, kesempatan serta tantangan yang dimiliki STTN dari beberapa sudut pandang serta strategi yang dapat ditempuh dalam usaha meningkatkan kapasitas STTN agar lebih berkontribusi dalam pendidikan nasional dengan menggunakan analisis SWOT. Hasil analisis SWOT menunjukkan bahwa **S**TTN sangat strategis untuk ditingkatkan kapasitasnya dengan melihat begitu banyak kekuatan STTN dan keunggulan dari lulusan STTN.

Kata kunci: Strategi, STTN, Pendidikan Tinggi, SWOT

ABSTRACT

STRATEGIES FOR STTN BATAN CAPACITY BUILDING TO SUPPORT NATIONAL HIGHER EDUCATION ENFORCEMENT. *School of Higher Learning in Nuclear Technology (STTN) is an official college under National Nuclear Energy Agency (BATAN) and the only education institution in Indonesia which conducts expertise education in the field of nuclear technology that would be absorbed into industry which using radation sources. However the important position of STTN as a part of national higher education not fully supported by enough budget. So it is important to see the strength, the weakness, the opportunity also the threath that belong to STTN from different point of view and the strategy that can be choosen to increase STTN capacity so that STTN will give more contribution on national education by using SWOT analyis. The SWOT analysis result show that STTN is worth enough to be increased on its capacity by seeing so many STTN strength and excellence of its graduates.*

Key words: Strategy, STTN, Higher Education, SWOT

PENDAHULUAN

Undang-undang Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi menyebutkan bahwa pendidikan tinggi adalah jenjang pendidikan setelah pendidikan menengah yang mencakup program diploma, program sarjana, program magister, program doktor, dan program profesi, serta program spesialis, yang diselenggarakan oleh perguruan tinggi berdasarkan kebudayaan bangsa Indonesia. Sedangkan sekolah tinggi adalah Perguruan Tinggi yang menyelenggarakan pendidikan akademik dan dapat menyelenggarakan pendidikan vokasi dalam satu rumpun Ilmu Pengetahuan dan/atau Teknologi tertentu dan jika memenuhi syarat, sekolah tinggi dapat menyelenggarakan pendidikan profesi [1].

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) merupakan sekolah tinggi kedinasan di bawah koordinasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Sejarah berdirinya STTN

ISSN 1978-0176

seperti tertulis di Rencana Strategi (Renstra) STTN Tahun 2015-2019 [2] dilatarbelakangi oleh adanya suatu gagasan diperlukannya program diploma bagi para teknisi. Pada awal tahun 1983, gagasan ini dikembangkan dengan membentuk Satuan Tugas (Satgas) Persiapan Pendidikan Ahli Teknik Nuklir berdasar Surat Keputusan Direktur Jenderal (Dirjen) BATAN Nomor 08/DJ/07/I/1983. Pada tanggal 3 Agustus 1985 kegiatan Pendidikan Ahli Teknik Nuklir dengan singkatan PATN di Yogyakarta, dibuka dengan resmi oleh Direktur Jendral BATAN, Bapak Ir. Djali Ahimsa. Ijin operasional dari Dirjen Pendidikan Tinggi (Dikti) diperoleh sesuai dengan Surat Keputusan Dirjen Dikti Nomor 1640/D/O/86 tanggal 15 September 1986, PATN menyelenggarakan program DIII.

Peningkatan PATN menjadi Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) menyelenggarakan program Diploma IV, ditujukan dalam rangka mencukupi kebutuhan SDM terdidik yang terampil dengan kemampuan teknis dan akademis yang lebih baik dan memenuhi tuntutan *stakeholder*. STTN BATAN dinyatakan layak didirikan dengan persetujuan Depdiknas tanggal 15 Maret 2001.

Persetujuan pembukaan Jurusan dan Program Studi (prodi) di STTN-BATAN Yogyakarta dilakukan oleh Direktur Jenderal Perguruan Tinggi Nomor 1037/D/T/2001 pada tanggal 20 Maret 2001 dengan 2 Jurusan dan 3 Prodi, yaitu Jurusan Teknokimia Nuklir dengan 1 Prodi Teknokimia Nuklir, dan Jurusan Teknofisika Nuklir dengan 2 Prodi, yaitu Prodi Elektronika Instrumentasi dan Prodi Elektromekanik.

Setelah dilakukan pembahasan antara BATAN dengan Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara (MENPAN), akhirnya pada tanggal 8 Juni 2001 diterbitkan Keputusan Presiden) (KEPPRES) nomor 71 tahun 2001 tentang Pendirian Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Keputusan ini ditindaklanjuti dengan Keputusan Kepala BATAN Nomor 360/KA/VII/2001 tentang Organisasi dan Tata Kerja STTN, dan Keputusan Kepala BATAN Nomor 542/KA/XI/2002 tentang Statuta Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir.

STTN merupakan satu-satunya institusi pendidikan di Indonesia yang mendidik teknisi ahli di bidang teknologi nuklir mempunyai peran yang cukup penting dalam menghasilkan sumber daya manusia yang akan terserap ke dalam industri yang menggunakan sumber radiasi selain BATAN dan BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir). Saat ini STTN baru berhasil menghasilkan lulusan <100 orang per tahunnya, hal ini tentu terkait dengan daya tampung sekolah yang terbatas dan tentunya fasilitas dan infrastruktur pendukung yang juga masih terbatas termasuk didalamnya masalah pendanaan.

Kedudukan yang strategis ini seharusnya bisa dioptimalkan lebih baik lagi dalam mencetak SDM di bidang nuklir lebih banyak lagi karena kebutuhan tenaga ahli nuklir masih cukup besar, sangat dibutuhkan diberbagai tempat, tidak hanya di Indonesia tetapi juga di luar negeri [3].

Berdasarkan Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional telah disebutkan pada pasal 49 ayat 1 bahwa Dana pendidikan selain gaji pendidik dan biaya pendidikan kedinasan dialokasikan minimal 20% dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) pada sektor pendidikan dan minimal 20% dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) [4].

Oleh karena itu mengingat bahwa amanat undang-undang tentang alokasi anggaran pendidikan yang cukup besar dalam APBN sudah sepantasnya perlu dipikirkan kembali apakah STTN mempunyai peluang dalam meningkatkan kapasitasnya dalam menyumbang tenaga ahli nuklir di Indonesia melalui dukungan peningkatan alokasi anggaran. Maka melalui makalah ini akan dilihat kekuatan, kelemahan, kesempatan serta tantangan yang dimiliki STTN dari beberapa sudut pandang serta strategi yang dapat ditempuh dalam usaha meningkatkan kapasitas STTN agar lebih berkontribusi dalam pendidikan nasional dengan menggunakan analisis SWOT. Analisis SWOT merupakan teknik analisis yang dapat dilakukan oleh sebuah organisasi/perusahaan untuk melihat produk, layanan maupun pasar dalam hal memutuskan strategi yang terbaik untuk pengembangan ke depan. Analisis ini berusaha mengidentifikasi *Strength* (kekuatan), *Weakness* (kelemahan), *Opportunity* (kesempatan), dan *Threat* (tantangan) [5].

ISSN 1978-0176

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi dan permasalahan yang dimiliki STTN saat ini telah digambarkan dalam dokumen Renstra STTN Tahun 2015-2019 [2].

Sumber Daya Manusia STTN

Saat ini SDM pendukung STTN terdiri dari 60 pegawai dengan komposisi pendidikan terdiri dari 6 orang lulusan S3, 20 orang lulusan S2, 19 orang lulusan S1/DIV, 10 orang lulusan DIII/DII/I dan 5 orang lulusan SLTA). Pegawai yang menduduki jabatan Dosen sebanyak 27 orang yang terdiri dari 7 orang Lektor Kepala, 12 orang Lektor, 2 orang Asissten Ahli dan 6 orang belum masuk dalam jabatan fungsional dosen. Fungsional Pranata Nuklir 3 orang, 1 orang Peneliti Utama, 1 orang Perekayasa Madya, 2 orang Pustakawan dan 1 orang fungsional pengelola pengadaan barang/jasa muda. Pejabat struktural terdiri dari 9 orang dan sisanya adalah fungsional umum.

Akan tetapi berdasarkan Analisis Beban Kerja (ABK), seharusnya SDM STTN berjumlah 74 orang [6] dan dengan tingkat pendidikan yang lebih tinggi, yaitu dosen minimal S2 dan semua dosen tersertifikasi. Permasalahan ini tidak mudah untuk dipecahkan, karena STTN tidak dapat secara mandiri memenuhi kekurangan jumlah SDM tersebut, masih bergantung dengan BATAN sebagai induknya. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu ada sistem manajemen yang lebih efektif dan efisien. Berdasarkan kondisi riil SDM STTN dan analisis beban kerja maka sebenarnya STTN masih kekurangan SDM sebanyak 14 orang dengan spesifikasi keahlian tertentu.

Fasilitas STTN

Fasilitas STTN sampai saat ini terdiri gedung yang dibangun 4 (empat) lantai dan gedung auditorium yang terdiri dari 2 lantai dengan luas gedung/bangunan kurang lebih 7585 m^2. Sejak berdiri tahun 1985, luas lahan STTN tidak berubah, padahal kebutuhan perluasan laboratorium makin besar dan kebutuhan penambahan ruang kelas maupun perkantoran semakin mendesak. Berikut adalah Tabel 1 yang menjelaskan fasilitas yang dimiliki oleh STTN [7]:

Tabel 1. Sarana Prasarana STTN

No	Sarana	Jumlah	Luas (m^2)
1	Ruang Kuliah	12	600
2	Laboratorium	19	1540
3	Perpustakaan (standar nasional 250 m^2)	1	108
4	Kegiatan Mahasiswa	1	38
5	Ruang Dosen	2	90
6	UPPM	1	38
7	Auditorium	1	1000
8	Ruang Sidang	2	100
9	Ruang Administrasi	8	600
10	Mushola	1	36
11	Kantin	1	50
12	Toilet	9	156

Anggaran STTN

Berdasarkan data didalam dokumen Renstra STTN 2015-2019 disebutkan bahwa tiap tahun anggaran STTN sebesar Rp+/-16 milyar dengan Rp10 milyar peruntukannya adalah untuk gaji, maka anggaran operasional STTN hanya sekitar Rp6 milyar. Anggaran operasional ini digunakan untuk membeli bahan dan alat praktikum, perawatan, kegiatan tim, peningkatan SDM, kegiatan kepanitian, kegiatan administrasi, menerima tamu, melakukan kunjungan dan studi banding, meningkatkan kemampuan SDM, kegiatan kemahasiswaan, kegiatan penelitian, kegiatan pengabdian masyarakat, kegiatan seminar dan sebagainya. Jika dibandingkan dengan anggaran pendidikan nasional tahun 2016 mencapai Rp419,2 trilyun atau 20% dari total belanja negara [8], anggaran operasional STTN ini sangat kecil sekali.

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 45 Tahun 2016 tentang Rencana Kerja Pemerintah (RKP) Tahun 2017 [9], pemerintah telah mengalokasikan anggaran pendidikan untuk STTN sebesar Rp47 Milyar dari sebelumnya Rp16,7 Milyar. Hal ini merupakan sesuatu yang baru dan merupakan hal yang sangat bagus untuk STTN karena secara penganggaran angka ini tidak akan berubah karena terikat dengan anggaran pendidikan nasional sebesar 20%. Anggaran ini peruntukannya memang untuk revitalisasi khususnya untuk pembangunan asrama mahasiswa.

Akan tetapi peningkatan anggaran STTN menyebabkan penurunan anggaran

ISSN 1978-0176

BATAN karena *baseline* yang digunakan dalam pengalokasian anggaran adalah baseline BATAN secara keseluruhan atau masih *unified* bukan *on top.*

Mahasiswa STTN

Sampai dengan tahun 2014, STTN telah meluluskan 773 Sarjana Sains Terapan DIV, 372 Ahli Madya DIII, 31 Ahli Muda DII dan 41 Ahli Muda DI. Sehingga total lulusan PATN dan STTN adalah 1217 orang. Berdasarkan dokumen Renstra STTN 2015-2019, jumlah mahasiswa yang mengikuti program DIV adalah sebanyak 420 orang. Artinya daya tampung mahasiswa baru STTN per tahun masih sangat kecil yaitu +/-100 orang. Hal ini tentu bertolak belakang dengan jumlah peminat yang mendaftar ke STTN pada tahun 2014 sebanyak 1200 orang sedangkan pada tahun 2015 sebanyak 1400 orang pendaftar [10].

Angka ini menunjukkan peningkatan kepercayaan masyarakat yang ingin menyekolahkan putra-putrinya di STTN. Selain itu kepercayaan dari pihak industri terhadap lulusan STTN juga semakin meningkat dengan adanya rekruitmen lulusan STTN dengan ujian masuk diadakan langsung di STTN bahkan ada perusahaan yang memesan lulusan STTN tanpa di tes [2].

Lisensi Surat Izin Bekerja Petugas Proteksi Radiasi (SIB PPR) bagi Lulusan STTN

STTN merupakan satu-satunya sekolah tinggi kedinasan yang menghasilkan tenaga profesional Diploma IV dalam bidang teknologi nuklir. Selain mendapatkan ijazah dengan gelar Sarjana Sains Terapan (SST), mahasiswa dibekali dengan keahlian yang dapat menunjang dalam dunia kerja khususnya yang berhubungan dengan teknologi nuklir. Salah satu pembekalan keahlian yang diberikan STTN kepada mahasiswa adalah melalui penyelenggaraan pelatihan sebagai persiapan mengikuti ujian untuk mendapatkan lisensi Surat Izin Bekerja Petugas Proteksi Radiasi (SIB PPR) bidang industri tingkat 1 yang dikeluarkan oleh BAPETEN. Pelatihan ini diikuti oleh mahasiswa semester VII atau mahasiswa yang telah mencapai SKS setara D-III dengan Indek Prestasi minimal 2,56.

STTN juga merupakan satu-satunya perguruan tinggi yang diberi kesempatan oleh BAPETEN untuk menyelenggarakan pelatihan dan ujian SIB PPR bidang industri tingkat 1. SIB PPR adalah nilai tambah bagi lulusan STTN untuk mendapatkan pekerjaan, karena mahasiswa STTN belajar di tempat teknologi nuklir dan asumsinya juga akan bekerja di daerah medan radiasi [11].

Lulusan STTN diharapkan dapat menjadi juru bicara tentang peranan nuklir di Indonesia sebagai upaya sosialisasi bagi masyarakat untuk tidak perlu takut terhadap nuklir [12].

Petugas Proteksi Radiasi (PPR) merupakan orang yang bertanggung jawab atau pemegang peralatan yang menggunakan sumber radioaktif/radiasi. Penggunaan sumber radioaktif tentu tidak boleh sembarangan, hanya seorang ahli yang diperbolehkan melakukannya. Oleh karena itu, institusi yang tidak memiliki PPR berizin, dilarang melakukan aktivitas yang menggunakan sumber radioaktif. Aturan ini mulai diberlakukan ketat sejak tahun 2012, dan sampai tahun 2013 sudah ada 6 perusahaan yang ditutup karena tidak memiliki karyawan yang mengantongi SIB PPR [12].

Masa berlaku SIP PPR bidang industri tingkat 1 adalah 3 (tiga) tahun dan dapat diperpanjang paling lambat 1 (satu) bulan sebelum SIB berakhir dengan memenuhi persayaratan umum dan harus lulus ujian sertifikasi ulang [13].

SIB PPR diharapkan bisa digunakan sesuai dengan ketentuan dan tidak dipakai untuk membantu perusahaan yang sebenarnya tidak memenuhi syarat dalam memperoleh Izin Pemanfaatan Tenaga Nuklir dari BAPETEN. BAPETEN sendiri akan membantu *center of excellence* seperti STTN, karena proses ini akan memberi *kick back* positif dalam meningkatkan mutu pengawasan oleh BAPETEN [14].

Standar Mutu Lulusan STTN

Dalam dokumen Renstra STTN 2015-2019 disebutkan salah satu indikator kinerja STTN yaitu rata-rata masa tunggu alumni untuk bekerja adalah selama 6 bulan [2]. Hal ini cukup bagus jika mengacu pada standar mutu penilaian Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi (BAN-PT) maka masa

ISSN 1978-0176

tunggu 6 bulan berada pada skor 3,2 atau terkategori baik [15].

Indikator kinerja yang lain yang lain yaitu persentase jumlah lulusan STTN tepat waktu sebesar 90%. Berdasarkan standar mutu penilaian BAN-PT maka indikator ini terkategori sangat baik dengan skor 4 (>50%) [15].

Selain itu indikator kinerja lainnya adalah diharapkan bahwa persentase serapan lulusan STTN di dunia kerja sebesar 80-85% dan memiliki kemampuan aktif berbahasa Inggris dengan standar TOEFL 450. Sedangkan untuk akreditasi program studi baik Teknokimia Nuklir maupun Teknofisika Nuklir dapat mendapatkan Akreditasi A pada tahun 2017 [2].

Jejaring Kerja STTN

Jejaring kerja STTN terdiri dari kalangan akademik dalam rangka mendukung kegiatan belajar mengajar (perguruan tinggi negeri di Yogyakarta), kalangan industri/pemerintah dalam rangka penyediaan tempat kerja praktek atau tugas akhir mahasiswa (PT Radiant Utama, Garuda *Maintenance Facilities*, PT Pembangkit Listrik Tanjung Jati, PT Yokogawa, fasilitas di lingkungan BATAN), kalangan industri/ pemerintah dalam rangka menyerap lulusan STTN (PT Radiant Utama, PT ASTRA, PT UT Quality BATAM, PT Shaib Sejati Kalimantan Timur, PT Surveyor Indonesia Riau, PT Angkasa Pura, PT Semen Bosowa Sulawesi, UD *I Love Emas* Denpasar), kalangan perguruan tinggi kedinasan untuk mendiskusikan aturan-aturan perundangan yang berlaku, serta kalangan industri/PT/Rumah Sakit dalam rangka penelitian bersama. Akan tetapi sayangnya jejaring internasional masih lemah walaupun saat ini sedang dirintis kerjasama dengan Universitas Teknologi Malaysia dalam hal pertukaran pengajar bidang iptek nuklir [2]. Hal ini tentu perlu menjadi perhatian mengingat saat ini sudah memasuki era Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) dimana persaingan tenaga kerja semakin ketat.

Lapangan Pekerjaan Lulusan STTN

Pengguna lulusan STTN tidak hanya Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), tetapi instansi lain, baik pemerintah maupun swasta yang memiliki atau menggunakan sumber radiasi, termasuk rumah sakit yang saat ini jumlahnya sudah hampir mencapai 7.000 instansi [16]. Jenis lapangan pekerjaan untuk lulusan STTN antara lain [2]:

- Aplikasi iptek nuklir di bidang industri dan usaha jasa inspeksi (*Non Destructive Test*).
- Bidang pertambangan dan eksportir emas.
- Bidang pembangkit listrik konvensioal, telekomunikasi dan IT.
- Bidang industri jasa perdagangan alat-alat iptek nuklir.
- Bidang industri otomotif dan alat berat.
- Bidang industri elektronika dan permesinan.

Analisis SWOT

Berdasarkan gambaran potensi dan permasalahan tersebut, maka hasil analisis SWOT dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis SWOT

Strength	1. STTN didukung oleh SDM yang sudah berpengalaman. 2. STTN merupakan lembaga pendidikan yang cukup pengalaman dengan usia >30 tahun. 3. STTN memiliki tanah dan bangunan sendiri. 4. Peningkatan anggaran STTN untuk tahun anggaran 2017 merupakan peluang yang bagus untuk mengembangkan sarana prasana yang diperlukan saat ini. 5. Minat calon mahasiswa baru terhadap STTN cukup besar. 6. Lulusan STTN banyak diminati oleh industri. 7. Lulusan STTN memiliki lisensi SIB PPR bidang industri tingkat 1. 8. Lulusan STTN bisa menjadi juru bicara tentang peranan nuklir di Indonesia. 9. Rata-rata masa tunggu alumni untuk bekerja adalah selama 6 bulan. 10. Persentase jumlah lulusan STTN tepat waktu sebesar 90%. 11. Persentase serapan lulusan STTN di dunia kerja sebesar 80-85%. 12. Standar TOEFL lulusan STTN sebesar 450. 13. STTN memiliki jejaring kerja yang cukup luas. 14. Lapangan pekerjaan lulusan STTN cukup luas.
Weakness	1. Berdasarkan hasil perhitungan ABK, STTN masih kekurangan SDM. 2. STTN belum bisa memenuhi kebutuhan perluasan laboratorium, penambahan ruang kelas maupun perkantoran. 3. Peningkatan anggaran STTN mengakibatkan penurunan anggaran BATAN. 4. Daya tampung STTN sangat kecil. 5. Jejaring kerja internasional STTN masih lemah.

ISSN 1978-0176

Opportunity	1. Kebijakan anggaran pendidikan nasional 20% memberikan peluang bagi STTN untuk mengajukan proposal peningkatan anggaran lebih besar lagi. 2. SIB PPR bagi lulusan STTN memberi nilai postif bagi BAPETEN dalam meningkatkan mutu pengawasan oleh BAPETEN. 3. Nilai standar mutu yang baik dari STTN akan mendukung kegiatan akreditasi program studi STTN yang diharapkan mendapatkan akreditasi A pada tahun 2017. 4. Kebijakan BAPETEN tentang adanya keharusan PPR berizin bagi institusi yang menggunakan sumber radioaktif merupakan peluang yang bagus bagi lulusan STTN.
Threat	1. Era MEA menyebabkan persaingan tenaga kerja semakin ketat. 2. Pengalokasian anggaran STTN yang bersifat *unified* dapat mengganggu besaran alokasi anggaran untuk BATAN secara keseluruhan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Melihat tabel hasil analisis SWOT yang telah diuraikan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa STTN sangat strategis untuk ditingkatkan kapasitasnya dengan melihat begitu banyak kekuatan STTN dan keunggulan dari lulusan STTN. Saat ini indikator kinerja STTN dan target capaiannya telah dimasukkan ke dalam Renstra Terpadu Kementerian Pendidikan dan Budaya, sehingga akan sangat mudah bagi STTN untuk meningkatkan kapasitasnya sebagai bagian dari pendidikan tinggi nasional. Adapun strategi yang dapat ditempuh dalam usaha meningkatkan kapasitas STTN agar lebih berkontribusi dalam pendidikan nasional adalah:

- STTN sebaiknya membuat proposal penambahan anggaran pendidikan untuk mendukung rencana pengembangan fasilitas pendidikan dan perkantoran STTN termasuk daya tampungnya kemudian diajukan ke Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi. Proposal tersebut sebaiknya dibuat dengan menggambarkan keunggulan lulusan STTN dan kedudukannya yang sangat strategis dan krusial sebagai satu-satunya institusi pendidikan di Indonesia yang mendidik teknisi ahli di bidang teknologi nuklir.
- Peningkatan anggaran STTN saat ini dan khususnya untuk kedepan diharapkan agar tidak mengganggu *baseline* anggaran BATAN dengan dilakukan penganggaran secara *on top* dan tidak *unified* seperti yang terjadi saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Undang-undang No. 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi.
[2] Rencana Strategis STTN Tahun 2015-2019.
[3] http://blog.nuklir.org/?p=3269
[4] Undang-undang No. 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional.
[5] Team FME, *SWOT Analysis Strategy Skills*: www.free-management-ebooks.com, 2013.
[6] Peraturan Kepala BATAN No. 7 Tahun 2013 tentang Nama, Syarat, dan Formasi Jabatan pada Unit Kerja BATAN.
[7] Dokumen KAK Revitalisasi STTN Tahun 2016 dan 2017.
[8] http://bisnis.liputan6.com/read/2356557/anggaran-pendidikan-di-apbn-2016-cetak-sejarah
[9] Peraturan Presiden Nomor 45 Tahun 2016 tentang Rencana Kerja Pemerintah (RKP) Tahun 2017
[10] http://www.tribunnews.com/nasional/2015/08/28/batan-terus-bergerak-sdm-teknologi-nuklir-semakin-marak
[11] http://sttn-batan.ac.id/content/view/346/1/
[12] http://nasional.sindonews.com/read/781882/15/sib-ppr-bekal-alumni-sttn-berkarir-di-industri-nuklir-1378893952
[13] Peraturan Kepala BAPETEN No.16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion
[14] http://www.bapeten.go.id/?p=15976
[15] BAN-PT, *Buku VI Matriks Penilaian Instrumen Akreditasi Program Studi Sarjana*, 2008.
[16] http://yogya.antaranews.com/berita/325099/92-persen-lulusan-sttn-terserap-dunia-kerja

ISSN 1978-0176

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Belum ada hubungan antara anggaran dan kualitas lulusan, hal ini agar dapat dikoreksi. Masalah *aging* dari SDM di STTN terutama tenaga pengajar mengapa belum muncul di makalah?
2. Bagaimana prospek ke depan tentang tiga fasilitas BATAN (Loka Jepara, STTN dan Reaktor Kartini) untuk STTN dalam hal mendukung pendidikan di STTN? Aturan tentang pendidikan tinggi saat ini STTN harus berubah menjadi Politeknik, bagaimana pendapat Anda?

Jawaban

1. Dalam makalah hanya menyebutkan bahwa penurunan anggaran dapat mengakibatkan penurunan kualitas dari lulusan STTN, artinya hal ini baru menjadi dugaan dan perlu dibuktikan lebih lanjut, maka poin tersebut akan dihilangkan. Masalah *aging* SDM belum muncul, karena makalah ini memang diharapkan dapat diteruskan oleh SDM STTN karena yang paling mengetahui permasalahan di STTN adalah orang STTN sendiri dan kedepannya makalah tersebut dapat menjadi referensi bagi pihak penganggaran sebagai bahan pertimbangan untuk penambahan anggaran.
2. Penggabungan tiga fasilitas tersebut untuk mendukung proses pendidikan di STTN merupakan hal /ide yang sangat bagus, tentunya dengan mengubah peraturan hal ini bisa dilaksanakan tetapi memang perlu dipersiapkan sebuah makalah dalam bentuk naskah akademik yang menceritakan tentang ide tersebut, kelebihan serta kekurangannya dan memang perlu dikomunikasikan dengan pimpinan. Kemudian tentang rencana perubahan STTN menjadi Politeknik maka STTN harus banyak belajar dari institusi lain yang memang sudah melalui proses tersbut misalnya dengan Politeknik Batam yang baru saja melakukan kerjasama dengan STTN.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI KEPEGAWAIAN BERBASIS WEB PADA PUSAT INOVASI LIPI

Karno
Pusat Inovasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bogor, Indonesia, karno@lipi.go.id

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI KEPEGAWAIAN BERBASIS WEB PADA PUSAT INOVASI LIPI. Peningkatan pelayanan kepegawaian merupakan wujud indikasi perbaikan manajemen dalam rangka pelaksanaan prinsip-prinsip tata kelola pemerintahan yang baik (*good governance*). Mengingat begitu pentingnya pelayanan kepegawaian dilingkungan Pusat Inovasi LIPI dibutuhkan suatu sistem yang memperbaiki kualitas pelayanan kepegawaian. Selama ini masih terdapat beberapa permasalahan dalam kepegawaian anatara lain pemrosesan data yang lama, sistem yang masih manual sehingga kurang efisien dalam penyampaian informasi dan memungkinkan terjadi banyak kesalahan, kualitas informasi yang rendah, validitas informasi yang kurang valid dan ketersediaan informasi yang rendah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dikembangkan sebuah sistem informasi administrasi kepegawaian berbasis web yang memanajemen administrasi pegawai. Dalam pengembangan sistem informasi ini agar sesuai dengan kebutuhan dan permasalahan yang terjadi, pengambilan data dan *requirment* sistem dilakukan dengan metode observasi, wawancara dan studi pustaka. Dalam pengujiannya sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi dan prosedur. Sistem informasi ini juga dapat meningkatkan efisiensi pemrosesan data dan penyampaian informasi. Sehingga sistem informasi administrasi kepegawaian ini dapat meningkatkan kualitas dan validitas informasi tentang administrasi pegawai

Kata kunci: sistem informasi; kepegawaian; layanan, web

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EMPLOYES INFORMATION SYSTEMS ON CENTER FOR INNOVATION LIPI. The Improvement of employes services is an indicator of improving the management quality in order to increasing the implementation of the principles of good governance. Considering the importance of employes services at Center for Innovation LIPI, than it will be needed a system which could increase the quality of employes services. All this time some problem related to employes issues that often occurred is the length of data processing, system still manual so it make less efficient in delivering the information and probably incorrect, low quality of information, the validity of the information that is less valid and less of information. So to resolve those problem a web-based employes information system will be developed. The developing of information system will be conducted as it needed, data retrieval and system requirement conducted with observation method, Interview, and literature studied. In the test of the system it turns out working properly in accordance with the functions and procedures. This Information System could increasing the efficiency of data processing and the efficiency of delivering the information. So this Employees Information System will increase the quality and the validation of employee administration

Key words: information system, employee affairs, service, web

PENDAHULUAN

Peningkatan layanan publik sangat penting dalam rangka mendukung sistem penyelenggaraan pemerintahan di Pusat Inovasi LIPI yang berorientasi sepenuhnya terhadap pelaksanaan prinsip-prinsip tata kelola pemerintahan yang baik (*good governance*). Dengan meningkatkan pelayananan publik khususnya di internal kepegawaian merupakan salah satu wujud indikator implementasi program reformasi birokrasi dan zona integritas dilingkungan Pusat Inovasi LIPI.

ISSN 1978-0176

Mengingat begitu pentingnya peningkatan pelayanan kepegawaian diperlukan suatu alat bantu yang dapat mengakomodasi dan mempermudah pelayanan kepegawaian. Karena selama ini masih terdapat berbagai permasalahan dalam pelayanan kepegawaian di Pusat Inovasi LIPI. Diantaranya adalah penyajian informasi yang belum terkomputerisasi, lama dan belum real-time. Pengajuan pelayanan pegawai yang meliputi cuti, izin, peminjaman kendaraan, peminjaman ruangan, notulensi dan rekap kehadiran pegawai masih dilakukan dalam bentuk manual. Dengan sistem sekarang yang berjalan yang masih dilakukan dengan cara mencatat secara manual memungkinkan terjadinya lebih banyak kesalahan, dan tentunya akan memakan waktu yang lebih lama, membutuhkan ketelitian yang tinggi sehingga sistem yang berjalan kurang efisien dalam pemrosesan data dan penyampaian informasi

Dari permasalahan-permasalahan yang ada, maka Pusat Inovasi LIPI perlu dibangun dan di implementasikan sistem informasi kepegawaian untuk mempermudah administrasi kepegawaian. Sistem informasi ini nanti berbasis web untuk mempermudah dalam penyajian informasi dan sebagai alat untuk pengelolaan data administrasi kepegawaian secara elektronik sehingga pengelolaan data lebih efisien dan meningkatkan kualitas serta ketersediaan informasi kepegawaian.

Dengan dibuatnya sistem informasi administrasi pegawai berbasis web, nantinya dapat dapat meningkatkan efisiensi pelayanan kepegawaian dalam pengelolaan data administrasi pegawai yang dibuktikan dengan kecepatan waktu pemrosesan dan penyajian informasi, ketelitian dan validitas informasi yang disajikan. Sehingga dengan meningkatnya efisiensi pelayanan kepegawaian dapat meningkatkan produktivitas kinerja para pegawai dilingkungan Pusat Inovasi LIPI

.

STUDI PUSTAKA

Peningkatan Pelayanan Publik

Pertama Peningkatan pelayanan publik adalah keseluruhan kebijakan pemerintah yang menerobos sisi lain dari pelayanan guna mempercepat perwujudan pelayanan yang prima dengan membenahi kualitas kinerja aparatur pemerintah melalui pelaksanaan transparansi dan akuntabilitas penyelengaraan pelayanan. Peningkatan pelayanan adalah salah satu titik penting dari keseluruhan reformasi administrasi di Indonesia. Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi yang bertugas memotori reformasi administrasi menetapkan 6 (enam) strategi peningkatan pelayanan publik[8], yaitu:

1. Deregulasi dan debirokratisasi di bidang pelayanan publik
2. Peningkatan profesionalisme pejabat di bidang pelayanan publik
3. Korporatisasi unit pelayanan publik
4. Pengembangan dan pemanfaatan e-government bagi instansi pelayanan publik
5. Peningkatan partisipasi masyarakat di bidang pelayanan publik
6. Pemberian penghargaan dan sanksi kepada unit pelayanan masyarakat.

Sistem Informasi

Sistem informasi adalah kombinasi antara prosedur kerja, informasi, orang dan teknologi informasi yang diorganisasikan untuk mencapai tujuan dalam sebuah organisasi. Sistem informasi berbasis komputer adalah sebuah sistem informasi yang menggunakan komputer dan teknologi telekomunikasi untuk melakukan tugas-tugas yang diinginkan. Teknologi Informasi merupakan komponen tertentu pada sebuah sistem. Teknologi informasi dikombinasikan atau digabungkan ke dalam sistem informasi merupakancara efektif dalam pemanfaatan teknologi informasi[5][12].

Web

Web adalah bagian tertentu dari berbagai dokumen yang saling dihubungkan satu sama lain sehingga terbentuk jejaring web yang saling kait-mengait. Apabila diimplementasikan dalam sebuah jaringan komputer, dokumen yang berada dalam jaringan semacam itu dapat berdiam pada mesin-mesin berbeda membentuk sebuah jaring yang membentuk seluruh jaringan komputer[1][2].

ISSN 1978-0176

METODE

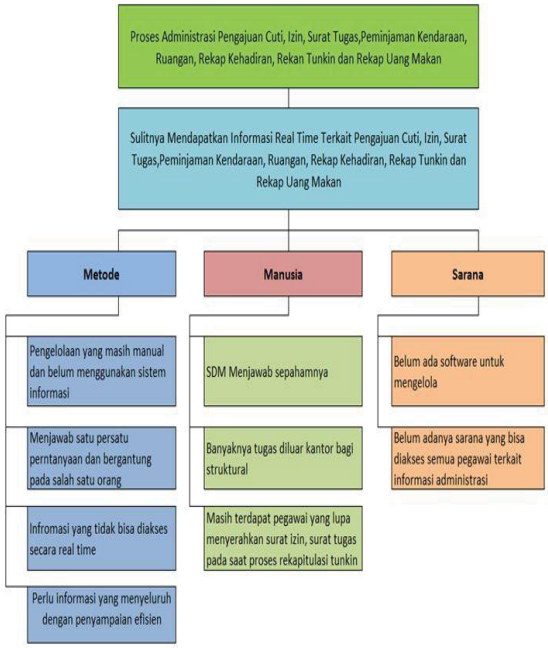
Sebelum Untuk memperoleh data dan informasi dalam pembuatan sistem informasi kepegawaian berbasis web dilakukan dengan beberap meode yaitu observasi, wawancara dan studi pustaka Pada metode observasi dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung mengenai proses dan permasalahan yang terjadi[11] pada administrasi kepegawaian Pada metode wawancara dilakukan dengan berdiskusi langsung kepada pegawai, Kepala Subbagian Kepegawaian dan Umum

Sedangkan untuk pengembangan sistem menggunakan metode *waterfall* yang meliputi analisis kebutuhan, desain, koding, mengujian dan pemeliharaan[13]. Pada tahap analisa kebutuhan sistem ini menggunakan metode-metode pada pengambilan data dan analisa permasalahan, pada tahapan desain adalah persiapan rancang bangun implementasi yang menggambarkan bagaimana suatu sistem dibentuk. Pada tahap koding yaitu menterjemahkan hasil rancngan kedalam sistem. Sedangkan untuk pengujian melalui 2 cara yaitu pengujian software melalui metode blackbox dan pengujian waktu untuk pemrosesan data dan pemyampaian informasi. Pada metode pengujian software yaitu dengan melakukan uji coba ke semua menu atau fungsi software dengan melakukan inputan kedalam sistem. Dan untuk metode pengujian waktu yaitu dengan mencatat dan membandingkan waktu pemrosesan data dan penyampaian informasi pada sistem manual dan sistem yang dikembangkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Permasalahan

Dengan melakukan observasi dan wawancara diperoleh informasi mengenai permasalahan-permasalahan yang terjadi pada proses administrasi kepegawaian. Analisa dilakukan dengan menganalisa dokumen-dokumen ISO terkait administrasi pegawai dan berdiskusi langsung dengan pegawai di lingkungan Pusat Inovasi LIPI. Pada gambar 1 merupakan analisa permasalahan ini menggunakan pohon masalah untuk mengetahui deatil dari masalah di kepegawaian. Adapun pohon permasalahan di proses administrasi kepegawaian di Pusat Inovasi LIPI adalah sebagai berkut :



Gambar 1. Pohon permasalahan

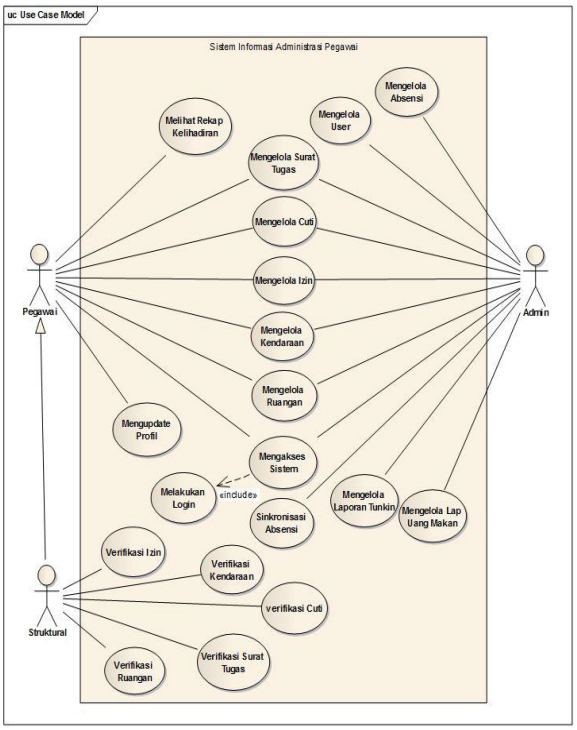
Perncangan Sistem

Pada perancangan sistem ini perlu dilakukan agar sistem yang dirancang atau dibangun sesuai dengan kebutuhan dan dapat memecahkan masalah yang ada pada administrasi kepegawaian. Selain itu perancangan sistem ini menggambarkan alur secara detail mengenai fungsi dan penggunaan sistem. Perancangan sistem ini dimodelkan menggunakan UML (*Unified Modelling Language*) yang terdiri dari *usecase diagrams, sequence diagarams, activity diagrams* dan relasi tabel. Berikut ini perancangan sistem informasi kepegawaian :

1. Use Case Diagram

Use case diagram menggambarkan fungsionalitas yang diharapkan dari sebuah sistem [4] Pada *Use case* diagrams sistem informasi kepegawaian memiliki tiga *actor* yaitu pegawai struktural dan admin. Pada *use case* diagram nanti memiliki pengguna yang berinteraksi dengan sistem yaitu pegawai, admin dan struktural. Pada gambar 2 adalah use case diagrams sistem informasi kepegawaian:

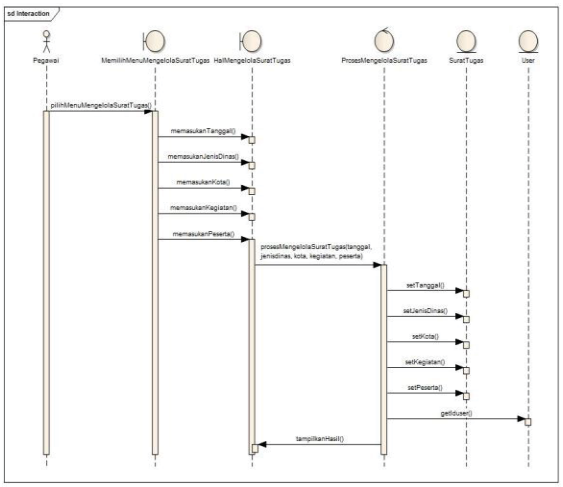
ISSN 1978-0176



Gambar 2. *Use Case* Sistem Informasi Kepegagawain

2. *Sequence Diagram*

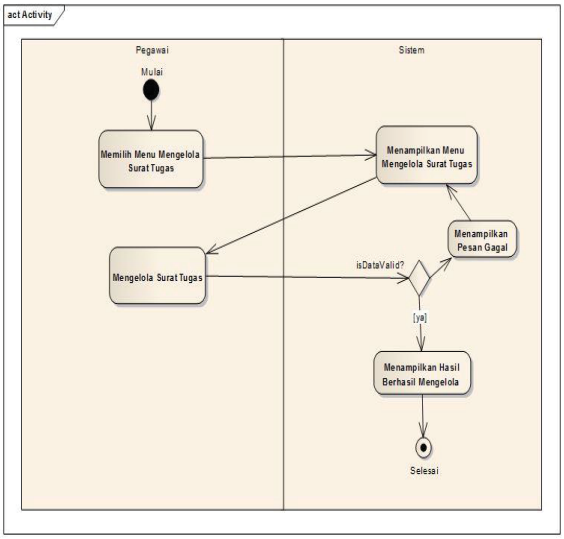
Dalam sequence diagram mengelola tugas ini terdapat dua *boundary*, satu *process* dan dua *entity* yang masing-masing hubungan antara *boundary, proces* dan *entity* ditunjukan dengan *mesaggse* dan *method*. Pada gambar 3 adalah sequence diagram mengelola surat tugas untuk actor pegawai:



Gambar 3. Mengelola Surat Tugas

3. *Activity Diagram*

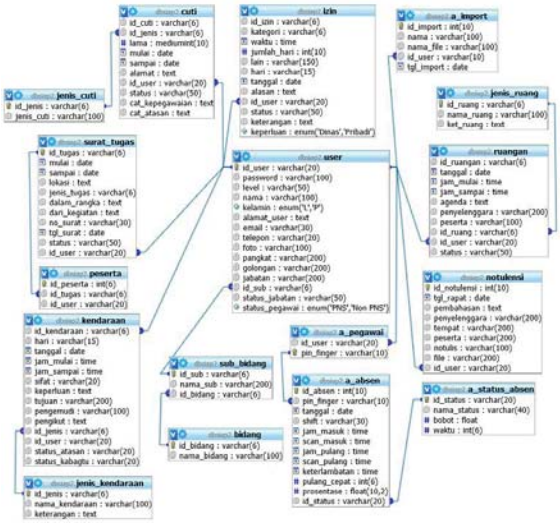
Pada *activity diagrams* mengelola surat tugas ini dimulai dari pegawai memilih menu mengelola surat tugas, kemudian sistem menampilkan menu mengelola surat tugas, kemudian pegawai mengelola surat tugas ketika tidak valid maka akan muncul pesan eror dan ketika valid maka akan muncul pesan berhasil. Pada gambar 4 adalah *activity diagrams* mengelola surat tugas untuk *actor* pegawai:



Gambar 4. Activity Diagram Surat Tugas

4. *Relasi Tabel*

Pada relasi tabel ini menggambarkan hubungan antar tabel yang digunakan dalam sistem informasi administrasi kepegawaian. Adapun relasi tabel sistem informasi administrasi pegawai berbasis web ditunjukan pada gambar 5 adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Relasi Tabel Sistem Informasi Kepegawaian

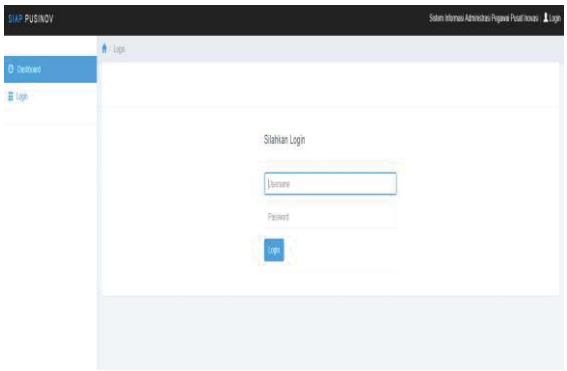
ISSN 1978-0176

Implementasi Sistem

Pada perancangan sistem ini perlu dilakukan agar sistem yang dirancang atau dibangun sesuai dengan kebutuhan dan dapat memecahkan masalah yang ada pada administrasi kepegawaian. Pada implementasi sistem ini menggunakan bahasa pemrograman *PHP* untuk membuat fungsi-fungsi didalamnya, untuk tampilan menggunakan *HTML* dan *Bootsrap,* sedangkan untuk database menggunakan *MySQL*. Penggunaan bootsrap berfungsi untuk mengkonversi tampilan agar responsive sehingga ketika dibuka menggunakan perangkat *smartphone* sistem menyesuaikan tampilan *smartphone*. Berikut ini tampilan implementasi sistem informasi:

1. Tampilan Halaman Login

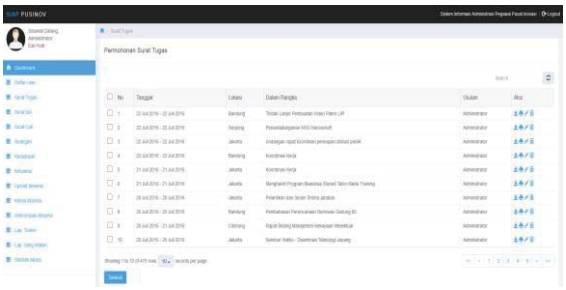
Pada halaman login ini merupakan proses mengakses modul sistem sesuai dengan level *actor* yang terdeteksi oleh halaman login yaitu dengan memasukan username dan password. Pada halaman login menggunakan login multi user yaitu dengan menggunakan satu halaman login akan dideteksi level *actor* sehingga halaman yang ditampilkan sesuai dengan level tersebut. Pada gambar 6 adalah tampilan halaman login :



Gambar 6. Halaman Login

2. Tampilan Halaman Surat Tugas

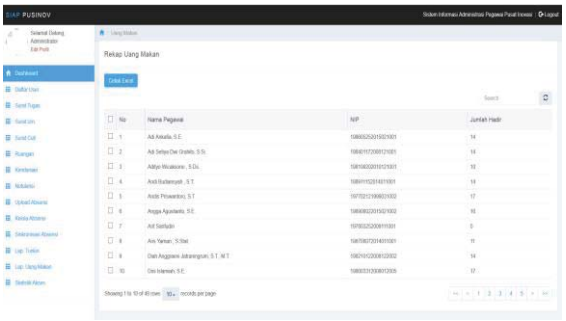
Pada halaman ini berisi fungsi untuk pengelolaan surat tugas antara lain tambah, edit, hapus, download dan cetak surat tugas. Pada halaman rekap surat tugas ini terdapat fasilitas pencarian berdasarkan tanggal, lokasi, dan dalam rangka. Selain itu terdapat fasilitas cetak surat tugas sehingga mempermudah pembuatan surat tugas untuk pegawai. Adapun tampilan halaman mengelola surat tugas ditunjukan gambar 7 adalah sebagai berikut :



Gambar 7. Halaman Surat Tugas

3. Halaman Rekap Uang Makan

Pada halaman berisi fasilitas untuk melakukan rekapitulasi sesuai dengan tanggal yang dipilih dan berisi fasilitas dalam cetak excel.Berikut ini adalah tampilan halaman untuk mengelola rekap uang makan. Pada tampilan ini rekap uang makan bisa dikelola berdasarkan tanggal yang dipilih. Selain itu pada rekap uang makan ini terdapat fasilitas rekap uang makan dalam bentuk file microsoft excel sehingga mempermudah untuk pelaporan. Gambar 8 adalah tampilan halaman rekap uang makan.



Gambar 8. Halaman Rekap Makan

Hasil dan Pengujian Sistem

Pada hasil dan pengujian ini terdapat dua pengujian yaitu pengujian *software* dan pengujian pemrosesan data. Pengujian *software* dalam penelitian ini dilaksanakan dengan menguji setiap fungsi pada sistem. Pengujian pemrosesan data ini dilakukan dengan melakukan inputan data kedalam menu-menu sistem yaitu halaman login, surat tugas, cuti, izin, rekap kehadiran, peminjaman ruangan, peminjaman kendaraan, user, kelola absensi, sinkronisasi, dan laporan tunkin. Pada tabel 1 mengenai pengujian software terbukti bahwa fungsi-fungsi yang ada dalam sistem dapat

ISSN 1978-0176

berjalan dengan baik setelah dilakukan uji coba penginputan data dalam sistem. Adapun hal-hal yang akan diujikan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pengujian *software*

Modul	***Aksi***	***Kesimpulan***
Halaman login	Melakukan login	Berhasil
Halaman surat tugas	Tambah, edit, hapus, dan cetak	Berhasil
Halaman cuti	Tambah, edit, hapus, dan cetak	Berhasil
Halaman izin	Tambah, edit, hapus, dan cetak	Berhasil
Halaman Rekap Kehadiran	Memilih berdasarkan tanggal	Berhasil
Halaman peminjaman ruangan	Tambah, edit, hapus, dan cetak	Berhasil
Halaman peminjaman kendaraan	Tambah, edit, hapus, dan cetak	Berhasil
Halaman daftar user	Tambah, edit, hapus, dan cetak	Berhasil
Kelola absensi	Upload file excel	Berhasil
Sinkronisasi Absensi	Memilih sinkronisasi berdasarkan tanggal	Berhasil
Laporan tunkin	Memilih berdasarkan tanggal	Berhasil

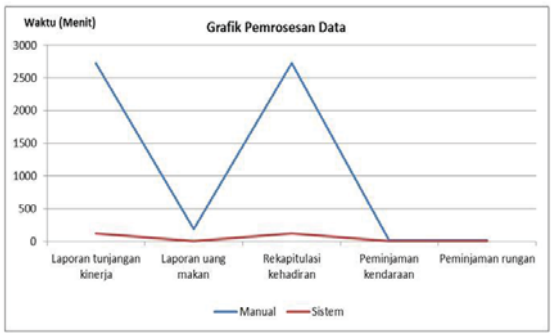
Pada pengujian yang kedua menggunakan pengujian waktu pemrosesan data dan penyampaian informasi ini yaitu dengan membandingkan sistem manual dengan sistem yang dibangun. Nilai-nilai yang dihasilkan dengan pengamatan langsung terhadap sistem yang lama dengan sistem yang baru sehingga diperoleh perkiraan atau rata-rata nilai sebagai berikut:

Tabel 2. Pengujian Waktu Pemrosesan dan Penyampaian Informasi

Modul	**Pemrosesan Data (Menit)**		**Penyampaian Informasi (Menit)**	
	Manual	**Sistem**	**Manual**	**Sistem**
Tunjangan kinerja	2723	121	423	58
Laporan Uang makan	187	3	423	58
Rekapitulasi kehadiran	2723	121	323	32
Peminjaman kendaraan	15	5	62	11
Peminjaman rungan	15	5	62	11

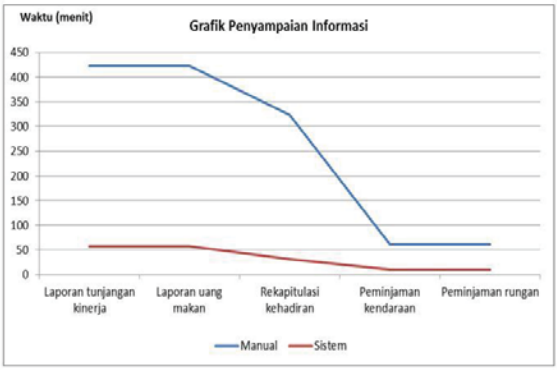
Pada Tabel 2 merupakan hasil pengujian waktu pemrosesan data dan waktu penyampaian informasi dengan membandingkan manual dengan sistem yang dikembangkan. Pada pengujian tabel 2 terdapat 5 fungsi yang diuji yaitu menu laporan kinerja, laporan uang makan, rekapitulasi kehadiran, peminjaman kendaraan dan peminjaman ruangan.

Adapun grafik untuk pemrosesan data ditunjukan gambar 9 dimana membandingkan manual yang ditunjukan warna biru dengan waktu sistem yang ditunjukan dengan warna merah. Pada tabel 9 ini terbukti bahwa waktu pemrosesan data menggunakan sistem jauh lebih baik dibandingkan manual.



Gambar 9. Grafik Pemrosesan Data

Pada gambar 10 yaitu grafik perbandingan antara manual dan sistem dalam hal penyampaian informasi terkait administrasi kepegawaian. Grafik ini menunjukan waktu yang dibutuhkan oleh sistem lebih cepat dibandingkan manual. Sistem yang ditunjukan grafik warna merah mebutuhkan waktu lebih sedikit dibandingkan manual yang ditunjukan grafik warna biru.



Grafik 10. Penyampaian Informasi

KESIMPULAN

Dari pengujian terhadap fungsi software yaitu dengan melakukan uji coba semua fungsi sistem terbukti bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan perancangan sistem.

ISSN 1978-0176

Sedangkan dari pengujian pemrosesan data dan penyampaian informasi terbukti bahwa dengan menggunakan sistem informasi kepegawaian ini proses yang dihasilkan jauh lebih cepat dibandingkan dengan sistem yang berjalan sehingga sistem yang dikembangkan lebih efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

1. H. Alatas, *Proyek Membangun Responsive Web Design dengan Bootstrap 3 dan 4*. Yogyakarta: Lokomedia, 2015.
2. J. G. Brookshear, *Computer Science : an Overview*. Jakarta : Erlangga, 2003.
3. A. Dennis, B. H. Wixcom, and R. M. Roth, *Systems Analysis and Design with UML 3rd Edition.* New York: John Wiley and Sons, 2010.
4. H. Gomaa, *Software Modeling and Design: UML, Use Cases, Patterns, and Software Architectures*, New York : Cambridge University Press, 2011.
5. A. Kadir, *Pengenalan Sistem Informasi*. Yogyakarta: Andi Publisher, 2009.
6. Karno, "Aplikasi Penentuan Beasiswa Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process Pada SMA Negeri 2 Wonogiri". *Skripsi.* Jurusan Teknik Informatika. Surakarta: STMIK Sinar Nusantara, 2011.
7. Lembaga Administrasi Negera, *Modul Pendidikan dan Pelatihan Prajabatan Golongan III Komitmen Mutu.* Lembaga Administrasi Negara. Jakarta, 2015
8. Lembaga Administrasi Negera, *Peraturan Kepala Lembaga Administrasi Negara Nomor 10 Tahun 2011 tentang Pedoman Penyelenggaraan Diklat Pelayanan Publik* .Lembaga Administrasi Negara. Jakarta, 2011
9. T. Ramadhani, "Sistem Informasi Data Kepegawaian Dan Kesiswaan SMA Negeri 1 P. Brandan". *Tugas Akhir,* Fakultas MIPA. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara, 2015.
10. Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang Pelayanan Publik.* Sekretariat Negara. Jakart, 2009.
11. S. Sularsi, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Guru Terbaik Menggunakan Algoritma Topsis Pada SMA Negeri 2 Wonogiri". *Skripsi*. Jurusan Teknik Informatika. Surakarta: STMIK Duta Bangsa Surakarta, 2014.
12. Sutarman, *Pengantar Teknologi Informasi*. Yogyakarta : PT. Bentang Pustaka, 2009.
13. R. S. Pressman. 2009. *Software Engineering: A Practitioner's Approach.* New Yok: McGraw-Hill Science, 2009.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

STRATEGI KOMUNIKASI DALAM SOSIALISASI PENGEMBANGAN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL DAN IRADIATOR PADA MASYARAKAT SEKITAR KAWASAN NUKLIR SERPONG

I.Aeni Muharromah
PDK-BATAN, Jakarta, aeni@batan.go.id

ABSTRAK

Pengembangan Reaktor Daya Eksperimen (RDE) dan Irradiator telah menjadi program nasional BATAN dan salah satu dokumen AMDAL yang diperlukan adalah melakukan sosialisasi terhadap masyarakat sekitarnya. Komunitas yang terdekat dengan RDE adalah Kabupaten Tangerang, Bogor dan kota Tangsel adalah wilayah yang diberikan sosialisasi. Strategi Komunikasi adalah inti dari makalah ini yaitu dengan mengenali dan mengevaluasi sosialisasi yang dilakukan. Menggunakan metode kualitatif dan pendekatan studi kasus untuk mengetahui pemahaman peserta sosialisasi tentang manfaat dari pengembangan RDE dan Irradiator. Menyusun strategi komunikasi adalah suatu seni, makalah ini berfokus pada pembahasan penggabungan tujuan, peserta, pesan, alat dan kegiatan yang digunakan, dan juga evaluasi. Mengidentifikasi alat dan kegiatan yang paling tepat dalam sosialisasi. Kuesioner dilakukan sesaat sebelum acara berakhir dan hasil kuesioner tentang persepsi masyarakat terhadap manfaat dari proyek hasilnya baik (72,66%), kepercayaan mereka terhadap keamanan radiasi nuklir masih rendah (21%), tetapi sebaliknya peserta sosialisasi setuju dan menerima proyek ini sebesar 96.66%. Sebelum sosialisasi, peserta sudah mengenal pengembangan rencana Puspiptek sebesar 40% dan mereka tahu kegiatan nyata Puspiptek adalah 36,66%. Dengan analisis strategi komunikasi didapat bagaimana langkah-langkah mencapai tujuan organisasi, alat yang digunakan, kegiatan dan materi yang disampaikan.

Kata kunci: strategi komunikasi, sosialisasi, dan RDE

Abstract

Development of Eksperimental Power Reactor (RDE) and Irradiator will be the National Program of BATAN and one of AMDAL documents required is conducting the socialization concern this project to the public. The nearest communities of RDE site is Kabupaten Tangerang, Kota Tangsel and Kabupaten Bogor that chosen for given socialization. Communication Strategy is the core of this paper to recognize and to evaluate the socialization for the societies. Using qualitative and case study approach to recognize the participants'comprehension-understanding about the benefit of RDE and Irradiator. Description of The Comunication Strategy that used in those events will portray how to reach the goal of the socialization. Drawing up a communications strategy is an art, this paper focuses on approching the objectives, audiences, messages, tool and also evaluation. Identify the tools and activities that are most appropriate to communicating the key messages to the audiences. Quetioner was given a while before the programm was over and the results about the societies'perception toward the benefit of the project is good (72,66%), their trust of radiation nuclear safety is still low (21%), but on the contrary their participants agree and accept this project is 96.66%. Before the socialization, the participats have already known the development of Puspiptek's plan is 40% and they know the real activities of Puspiptek is 36,66%. By analyzing the communication strategy, obtained what organisational steps to reach its goal, tool, activites and the matery delivered.

Key words: communication strategy, sosialization, rde

PENDAHULUAN

Masyarakat sekitar kawasan nuklir adalah bagian dari *stake holder* BATAN oleh karena itu BATAN memiliki tanggung jawab bahwa nilai manfaat dari Iptek nuklir harus dapat dirasakan oleh masyarat sekitar. Tangungjawab sosial BATAN dalam mensosialisasikan kegiatan iptek nuklir supaya dapat diketahui, dan dirasakan manfaatnya oleh masyarakat sekitar perkantoran BATAN.

Pusat Desiminasi dan Kemitraan (PDK) memiliki tupoksi melakukan desiminasi dan kerjasama berkaitan dengan litbangyasa iptek

ISSN 1978-0176

nuklir dan BATAN sebagai lembaga penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir di Indonesia menghasilkan produk teknologi hasil litbang yang dapat dimanfaatkan masyarakat diberbagai bidang. Aktivitas ini perlu didukung dengan pengembangan infrastruktur fisik dan SDM yang mumpuni, untuk menjamin bahwa proses penelitian dan pengembangan dapat berjalan secara berkelanjutan dan senantiasa mutakhir. Pengembangan infrastruktur untuk mendukung aktivitas litbang BATAN akan berencana membangun RDE serta Fasilitas Penunjang lainnya berupa Irradiator Gamma, Fasilitas Elemen Bakar dan lain-lain di kawasan Puspiptek Serpong.

Sosialisasi merupakan satu bagian pelaksanaan edukasi pada masyarakat terkait Iptek Nuklir dan manfaatnya. Dalam kegiatan pembangunan RDE dan Iradiator telah dilaksanakan sosialisasi pada 3 daerah yaitu Kabupaten Tangerang, Kabupaten Bogor dan Kota Tangerang Selatan yang berbatasan langsung dengan kawasan PUSPIPTEK maka selama tiga hari berlangsung tanggal 28-30 Juli 2015 di auditorium gedung 71 Kawasan Nuklir Serpong.

Kegiatan ini sangat penting terkait dengan masyarakat sekitar yang memiliki latar belakang pendidikan dan karakter yang beragam sehingga perlu dibuatkan suatu strategi komunikasi yang tepat. Disamping itu kegiatan sosialisasi ini juga merupakan keharusan untuk mendapat dokumen Amdal sebagai pendukung pembangunan fasilitas ini. Melalui tulisan ini kami melihat bagaimana strategi komunikasi yang telah dilakukan dalam kegiatan ini.

Tujuan

Tujuan tulisan ini adalah untuk mengetahui strategi komunikasi yang digunakan dalam kegitan sosialisasi pembangunan RDE dan Iradiator di kawasan Nuklir Serpong bagaimana tinjauan dan evaluasinya. Dengan mendiskripsikan strategi komunikasi yang dilakukan dalam sosialisasi ini maka tulisan ini akan dapat memberikan gambaran analisa yang baik untuk kegiatan serupa sehingga dapat memperbaiki strategi komunikasi yang akan digunakan sehingga lebih baik lagi tingkat keberterimaannya.

Disamping itu tulisan ini sebagai ajang pembelajaran dan pengasahaan kegiatan ilmiah berkaitan dengan jabatan fungsional Pranata Humas di BATAN.

Manfaat

Bagi Organisasi manfaat langsung yang dapat dijadikan dokumen adalah langkah-langkah Strategi Komunikasi dan evaluasinya bagi perbaikan kegiatan serupa yang akan dilaksanakan, juga dapat dijadikan masukan bagi pimpinan dalam penyusunan rencana program kegiatan. Dengan mengetahui respon masyarakat sekitar organisasi dapat lebih dekat dan memahami kebutuhan masyarakat dan ekspektasi masyarakat pada keberadaan BATAN.

Bagi personil humas penulisan sederhana ini bisa dijadikan landasan dasar untuk pengembangan penulisan yang lebih mendalam.

Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah diatas, Penulis merumuskan masalah adalah "Bagaimana Stretegi Komunikasi dilakukan dalam mensosialisasikan pembangunan RDE dan Iradiator di Kawasan Nuklir Serpong?"

Metodologi

Metodologi yang digunakan yaitu menggunakan metode deskriftif dan teknik survey dengan penyebaran kuesioner, diambil setelah mengikuti sosialisasi, dan tinjauan pustaka terkait dengan teori strategi komunikasi.

TINJAUAN PUSTAKA

- Penertian Strategi Komunikasi

  Komunikasi adalah proses penyampaian suatu pesan oleh seseorang kepada orang lain untuk memberi tahu atau untuk mengubah sikap, pendapat atau perilaku, baik langsung secara lisan, maupun tidak langsung mlalui media. [1]

  Strategi pada hakekatnya adalah perencanaan (*planning*) dan manajemen (*management*) untuk mencapai tujuan. Untuk mencapai tujuan tersebut, strategi tidak berfungsi sebagai peta jalan yang hanya menunjukkan

ISSN 1978-0176

arah tetapi harus diikuti dengan langkah-langkah atou taktik operasionalnya. [3]
Sejalan dengan pendapat Sofyan bahwa Strategi komunikasi merupakan paduan dari perencanaan komunikasi (*communication planning*) dan manajemen (*management communication*) untuk mencapai suatu tujuan. Untuk mencapai tujuan tersebut strategi komunikasi harus dapat menunjukkan bagaimana operasionalnya secara taktis harus dilakukan, dalam arti kata bahwa pendekatan (*approach*) bisa berbeda sewaktu-waktu, bergantung pada situasi dan kondisi. [3]

- **Fungsi Strategi Komunikasi**

Fungsi Strategi komunikasi baik secara makro (*planned multimedia strategy*) maupun secara mikro (*single communication medium strategy*) mempunyai fungsi [3]

- Menyebarluaskan pesan komunikasi yang bersifat informatif, persuasif, dan instruktif secara sistematis kepada sasaran untuk memperoleh hasil yang optimal.
- Menjembatani "kesenjangan budaya" (cultural gap) akibat kemudahan diperolehnya dan kemudahan dioperasionalkannya media massa yang begitu ampuh, yang jika dibiarkan akan merusak nilai-nilai budaya.

- **Faktor Pendukung Strategi Komunikasi**; ada beberapa faktor strategi komunikasi diantaranya adalah mengenali sasaran komunikasi, pemilihan media komunikasi, pengkajian tujuan pesan komunikasi dan peranan komunikator dalam komunikasi.

- **Pengertian Sosialisasi** menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonsia) [2] adalah sebuah usaha untuk memayarakatkan sesuatu sehingga menjadi dikenal, dipahami, dihayati oleh khalayak umum atau masyarakat luas. Pengertian tersebut mencakup proses memahami dalam dua arah, yaitu: 1) masyarakat memahami Apa itu BATAN dan hasil yang dihasilkannya dan fungsi dan kegunaan fasilitas RDE dan Iradiator bagi BATAN dan masyarakat luas dan 2) BATAN mampu memahami masyarakat. Menurut pengertian pertama, definisi sosialisasi adalah: kegiatan yang dilakukan BATAN untuk memperkenalkan diri dan mendiskusikan manfaat-manfaat yang diperoleh dari RDE dan Iradiotor bagi pengembangan komunitas. Proses sosialisasi dapat dimaknai sebagai membuka pintu gerbang komunitas agar BATAN dan programnya diterima dan mendapat sambutan dengan baik. Hal ini akan menentukan dukungan dan keterlibatan masyarakat. Keadaan demikian menjadi dasar yang kuat bagi terjalinnya hubungan kemitraan dengan masyarakat.

- Pengertian RDE
Pengertian RDE atau reaktor daya eksperimental [4] adalah reaktor nuklir yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik, pembangkit panas dan untuk memproduksi hidrogen. Karena sifatnya yang eksperimental maka pengoperasian reaktor nuklir tersebut lebih banyak untuk tujuan percobaan dalam meningkatkan penguasaan teknologi. Penguasaan teknologi reaktor untuk ketiga hal tersebut sangat penting mengingat Bangsa Indonesia masih kekurangan listrik, pupuk dan banyak industri yang membutuhkan energi panas untuk berbagai proses industri. Produksi hidrogen dari RDE dapat digunakan untuk bahan baku pembuatan pupuk tanaman yang sampai saat ini masih sangat dibutuhkan dalam peningkatan produktivitas pertanian, sedangkan energi panas sisa dari pembangkitan listriknya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan proses industri." (Batan.go.id)

- Pengertian Iradiator
Iradiator merupakan [4] suatu fasilitas untuk melakukan iradiasi berbagai macam sampel atau produk dengan tujuan penelitian, pengembangan, pengawetan, dan sterilisasi. Karena itu, irradiator dapat disebut sebagai fasilitas iradiasi. Berdasarkan jenis radiasi pengion yang digunakan, radiator dikelompokkan menjadi iradiator gamma dan irradiator elektron. Iradiator gamma terbagi lagi menjadi empat kategori yang umumnya menggunakan zat radioaktif Co-60, sedangkan irradiator electron terbagi menjadi dua kategori dan menggunakan filamen, biasanya terbuat dari tungsten, atau plasma sebagai sumber radiasi. (Batan.go.id)

ISSN 1978-0176

HASIL DAN BAHASAN

Kegiatan sosialisasi ini melibatkan pemangku kepentingan di wilayah sekitar kawasan khususnya 6 Kelurahan di wilayah Kota Tangerang Selatan (Kelurahan Bakti Jaya, Buaran, Ciater, Serpong, Rawabuntu, dan Cilenggang), 8 desa di wilayah Kabupaten Tangerang (Desa Dandang, Suradita, Cisauk, Situ Gadung, Samporna, Cibogo, Sukamulya dan Taman Sari), dan 5 desa di wilayah Kabupaten Bogor (Desa Jampang, Cibadung, Cibinong, Padurenan dan Rawakalong), berlangsung dari tanggal 28-30 Juli 2015 bertempat di auditorium Gedung 71 KNS. Dengan menggunkan metode tatap muka langsung dengan pemberian materi dan diskusi dilanjutkan dengan kunjungan ke fasilitas reaktor nuklir dan laboratoria penunjang di KNS dilakukan dalam 3 hari dengan agenda acara dan materi yang sama, menggunakan strategi komunikasi yang sama ternyata hasil prosentasi tidak menunjukan perbedaan yang berarti. Melihat dan mengetahui persepsi kegiatan Iptek nuklir, bagaimana kekhawatiran bahaya radiasi dan menyetujui atau sepakat dengan pembangunan RDE dan Iradiator.

Ulasan Pelaksanaan Sosialisasi

Partisipasi 90% wilayah yang diundang dalam kegiatan sosialisasi adalah 3 wilayah Kabupaten/Kota yang mengirimkan perwakilannya mengikuti kegiatan tersebut. Dari tingkat partisipasi udangan, kegiatan dapat dinyatakan terlaksana dengan baik. Peserta secara keseluruhan berjumlah 167 orang dengan rincian 69 dari Tangsel, 57 Tangerang dan 41 dari kabupaten Bogor yang merupakan perwakilan dari kelurahan/daerah.
Pencapaian Sasaran dalam kegiatan komunikasi publik dapat terlaksana dengan baik, namun upaya pencapaian sasaran berupa peningkatan pemahaman masyarakat terhadap program RDE dan Irradiator belum tercapai sempurna disebabkan materi informasi yang kurang spesifik, terlalu teknis tentang kedua fasilitas yang perlu diperbaiki. Disamping itu materi informasi yang dikemas dalam sosialisasi tersebut merupakan hal baru bagi masyarakat.

Strategi komunikasi dilakukan dengan memperhitungkan faktor-faktor komponen sebagaiberikut:

- Mengenali Sasaran Komunikasi

Sasaran komunikasi yang paling mendasar adalah aparat pemerintahan kelurahan/desa dan tokoh masyarakat setempat. Perencanaan kgiatan sosialisasi yang dituangkan dalam dokumen Kerangka Acuan Kegiatan (KAK) perlu ditentukan, dikaji dan dipelajari untuk menententukan siapa saja yang akan menjadi sasaran komunikasi. Dengan melakukan survey langsung datang ke kelurahan/desa dan mengambil data dan sumber dari Community Development (comdev) yang sudah dilakukan terlebih dahulu oleh PPIKSN. Catatan-catatan data survey lapangan dan identifikasi data comdev ditelaah dan dievaluasi untuk mengenal sasaran komunikan.

Dengan menyampaikan undangan secara langsung dengan pendekatan warga setempat yang juga mempunyai akses ke BATAN dan anggota masyarakat setempat yang bekerja di BATAN diajak turut serta untuk bersilaturahim dan menyampaikan undangan. Undangan disampaikan dengan pendekatan personal dengan melibatkan karyawan BATAN yang memiliki akses dan kedekatan untuk mendapatkan konfirmasi kehadiran dalam acara tersebut. Berkunjung untuk menyelami bagaimana latar belakang pendidikan, strata sosial dan keinginan calon peserta sosialisasi. Dalam teori hal ini merupakan faktor kerangka referensi dan faktor situasi/kondisi. Sehingga didapat gambaran nyata komunikan ketika menerima pesan dalam sosialisasi dan mengetahui keadaan fisik dan psikis komunikan pada saat ia menerima pesan komunikasi tersebut.

- Pemilihan Media Komunikasi

Untuk mencapai sasaran komunikasi kita dapat memilih salah satu atau gabungan dari beberapa media, bergantung pada tujuan yang akan dicapai, pesan yang akan disampaikan, dan teknik yang akan dipergunakna. Sosialisasi adalah media yang dipakai karena melibatkan banyak orang dengan latar belakang yang beragam dilaksanakan dalam waktu singkat dan tertentu untuk mencapai sasaran komunikasi. Disamping itu untuk memaksimalkan proses penyampaian informasi, komunikator atou pembicara mengunakan infografis, video dan gambar-gambar yang mendukung sebagai alat dan data dukung. Hal ini menjadi dasar untuk menentukan sifat komunikasi yang harus

ISSN 1978-0176

dilakukuan yaitu informatif dan persuatif, sehingga informasi dapat diterima dengan mengedepankan aplikasi dan manfaat iptek nuklir

- Pengkajian Tujuan Pesan Komunikasi

Penggunaan tehnik informasi dan tehnik persuasi digabungkan dalam penyampaian sosialisasi, dengan dilengkapi tayangan video, gambar-gambar ilustrasi dan infografis Kajian tujuan sosialisasi yaitu memberikan pemahaman manfaat apliksai iptek nuklir bagi masyarakat, pemahaman iptek nuklir yang benar dan rencana pengembangan RDE dan Iradiator dengan mengedepankan keselamatan dari proses pemanfaan radiasi. Pesan yang diberikan menggunakan tehnik informasi dengan kondisi menggedepankan kegunaan dan azas manfaat yang didapat dari aplikasi Iptek nuklir bagi kemaslahatan masyarakat, pembangunan Iradiotor terkait dengan kondisi alam Indonesia yang terpisah pulau-pulau sehingga manfaat teknologi radiasi terutama dalam tehnik pengawetan makanan sangat dibutuhkan untuk bidang pertanian dan rill kehidupan masyarakat. Kebutuhan listrik nasional yang semakin memprihatinkan. Tehnik persuatif dipakai untuk mengambarkan Kondisi listrik sering mati dan data kebutuhan listrik nasional atoupun daerah dikaitkan dengan urgensi pengembangan PLTN untuk menjawab kebutuhan ini diperlukan terobosan dengan pengembangan RDE sebagai miniatur PLTN yang dapat menghasikan listrik untuk penerangan.

- Peranan Komunikator dalam Komunikasi

Ada beberapa faktor yang penting pada diri komunikator bila ia melancarkan komunikasi, yaitu:

a. Daya tarik sumber (komunikator)
Dengan memperhatikan kondisi psikologis dan sosiologis sebagian besar masyrakat kabupaten Bogor, kota Tangse dan kabupaten Tangerang yang berbahsa daerah sunda maka dipilihlah Ir Ferly Hermana dan Dr. Taswanda yang memiliki kultur dan bahasa ibu yang sama sehingga akan terbangun kedekatan emosi. Sejalan dengan teori strategi komunikasi yaitu apabila pihak komunikan merasa bahwa komunikator ikut serta denganya. Atau komunikan merasa ada kesamaan antara komunikator dengannya sehingga komunikan bersedia taat pada isi pesan yang dilancarkan oleh komunikator.

b. b. Kredibilitas sumber (komunikator)
Ialah kepercayaan komunikan kepada komunikator. Kepercayaan ini banyak bersangkutan dengan profesi atau keahlian yang dimiliki seorang komunikator. Dipilih nara sumber dari tim atau juga bisa didampingi dengan tokoh masyarakat setempat namun memiliki pengetahuan baik dengan iptek nuklir. Pelaksana sebagai komunikator sudah tepat dan kredibel.

c. Materi Informasi Yang Disampaikan
Materi disusun dengan bahasa umum dengan memperhatikan target komunikan, sisi kultural, latar belakang pendisikan, dan usia. Materi disampaikan secara komunikatif dengan mengedepankan budaya dan pendekatan personal dan diselingi dengan humor supaya tidak tegang dan situasi menyenangkan. Komunikator sebanyak menghindari istilah atau prasa yang sangat teknis, dan untuk menyampaikan info teknis dibantu dengan ilustrasi slide dan video kemudian seperti bercerita dan berdialog melibatkan komunikan sehingga interaksi terbangun dan ini sanat baik dalam proses komunikasi.

Untuk melihat gambaran sampainya pesan komunikasi maka dilakukan tehnik kuesioner, makalah ini ingin melihat gambaran kondisi umum komunikan atau peserta sosialisasi. Informasi yang ingin dilihat yaitu rencana pengembangan kawasan Puspiptek, kegiatan didalamnya, bagaimana persepsi komunikan terkait dengan pembangunan RDE/Irasiator, keamanan dan maslahat keuntungan/kerugian. Masukan/saran dan harapan komunikan dengan adanya kegiatan Puspiptek termasuk kegiatan BATAN dapat dijadikan bahan masukan untuk pengembangan kegiatan sosialisasi yang akan dilaksanakan kemudian.

Berikut ini adalah hasil hitungan statistic sederhana untuk beberapa pointer kuestioner sebagai berikut: - Pendidikan komunikan (responden) adalah magister sebanyak 3,33%, sarjana/diploma 16,66%, SLTA 36%, SD/SLTP 44,01%
- Untuk mengetahui apakah komunikan telah mengetahui adanya rencana pengembangan kawasan Puspitek, Kab Bogor, Tangsel dan Tangerang sebanyak 63,33% belum mengetahui.

ISSN 1978-0176



Gambar. 1. Pengetahuan Masyarakat Mengenai Rencana Pengembangan Kawasan Puspitek

Untuk melihat apakah komunikan sudah mengetahui kegiatan dan aktifitas apa saja yang ada di dalam kawasan Puspitek sebanyak 63.33% sudah mengetahui.



Gambar. 2. Pengetahuan Masyarakat Mengenai Kegiatan yang Ada di Puspitek

Bagaimana persepsi pandangan/pendapat komunikan terkait adanya kegiatan BATAN (pengembangan RDE) sebesar 28.66% penyebab ketakutan adalah bahaya radiasi nuklir dan kecelakaan nuklir.

Keyakinan komunikan terhadap keamanan radiasi nuklir nilainya besar dikarenakan proses penyampaian pesan terkait keamanan belum dapat dicerna dengan baik dan keyakinan psikis terhadap kemampuan SDM masih diragukan sehingga ketidakyakinan akan keamanan radiasi nuklir nilanya tinggi. Strategi komunikasi untuk penyampaian pesan keamanan harus lebih ditingkatkan frekwensi dan kualitasnya.



Gambar. 3. Keyakinan Masyarakat Terhadap Keamanan Radiasi Nukir

Berdasarkan pengamatan kualitatif, sikap yang disampaikan oleh perwakilan Desa Cisauk dan Suradita menunjukkan gejala sosial awal penolakan terhadap program RDE. Patut diduga bahwa dua desa yang terletak di daerah klasifikasi sub-urban sekitar Serpong ini sudah mendapatkan informasi negatif sebelumnya perihal rencana program RDE, sehingga diperlukan *treatment* yang berbeda dengan wilayah lain yang mayoritas lebih *rural* dan belum terpapar informasi negatif. Perlu pula diwaspadai wilayah *urban* dan *sub-urban* lainnya di wilayah Kota Tangsel yang pada tahun ini tidak dilaksanakan sosialisasi, ada kemungkinan wilayah tersebut menjadi wilayah yang mudah terpapar informasi negatif dengan pertimbangan akses komunikasi yang jauh lebih baik dibanding wilayah lainnya.

Keberadaan instalasi RDE dan Iradiator memberikan dampak langsung berupa keuntungan dan kerugian.



Gambar. 4. Pendapat Masyarakat Mengenai Keberadaan Rencana Kegiatan Pengembangan Puspiptek

Dengan pemilihan nara sumber yang komunikatif, menyiapkan materi yang sesuai dengan kemampuan target komunikan, strategi komunikasi dalam penyampaian materi secara keseluruhan berhasil hal ini diperlihatkan

ISSN 1978-0176

dengan banyaknya komunikan berpendapat bahwa program nasional batan ini banyak memberikan keuntungan sehingga nilai perolehan komunikan menyatakan setuju dengan pembangunan RDE dan Iradiator.



Gambar 5. Tingkat persetujuan masyarakat mengenai rencana kegiatan BATAN

Nilai persuatif komunikator bisa menentukan dan menciptakan kesan yang baik sehingga prosentasi tingkat persetujuan sangat tinggi yaitu 96.66%. Pertanyaan terbuka mengenai keuntungan dari program ini diantaranya membantu bidng pangan, pertanian, kesehatan, dan membuka lapangan pekerjaan. Untuk kerugiannya adalah sulit mengetahui hasil penelitian, mungkin ada dampak radiasi, khawatir ada kecelakaan nuklir, dan pencemaran lingkungan.

Dengan memfokuskan pada faktor-faktor komponen strategi komunikasi dan hasil kuestioner maka faktor strategi komunikasi yaitu faktor komponen materi dan faktor komponen komunikator yang disampaikan harus mendapat perlakukan khusus yaitu dengan menggunakan perumpamaan dan objek yang dekat dengan komunikan, hindari bahasa teknis yang mungkin tidak dipahami secara dalam pada materi sosialisasi. Buat senyaman mungkin kondisi ketika acara berlangsung dan posisikan komunikan sebagi mitra penting dan utama. Dengan menanyakan *feedback* dengan humor untuk menciptakan komunikasi aktif 2 arah yang baik, juga menjaga kondisi rilek. Terkait dengan komponen materi adalah Faktor komponen komunikator. Tetap memperhatikan dua unsur penting dalam komunikator yaitu daya tarik dan kredibel untuk jenis sosialisasi RDE faktor daya tarik lebih dipertajam dengan menyampaikan materi dengan cara menyenangkan dengan lebih memahami psikis dan latar belakang komunikan. Dengan demikian kesan positif dan materi informasi dapat tersampaikan dengan baik.

SIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan sosialisasi perlu dievaluasi apakah pesan yang disampaikan tercapai sejalan dengan tujuan kegiatan tersebut. Strategi Komunikasi bisa dijadikan alat untuk pengkajian sosialisasi atau kegiatan penyampaian komunikasi lainnya. Daya tarik yang bertugas sebagai penyaji atau komunikator harus menarik dan kredibel. Materi yang disampaikan harus dibuat mudah dipahami, rileks, sederhana dan menarik sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Hasil kuestioner dipakai untuk melihat sejauhmana pemahaman yang didapat komunikan selama kegiatan tersebut. Hasil kuesioner tentang persepsi masyarakat terhadap manfaat dari proyek hasilnya baik (72,66%), kepercayaan mereka terhadap keamanan radiasi nuklir masih rendah (21%), tetapi sebaliknya peserta sosialisasi setuju dan menerima proyek ini sebesar 96.66%. Sebelum sosialisasi, peserta sudah mengenal pengembangan rencana Puspiptek sebesar 40% dan mereka tahu kegiatan nyata Puspiptek adalah 36,66%.

Pendekatan dan komponen strategi komunikasi lain harus lebih dikembangkan lagi sehingga bukan sekedar informasi itu sampai pada komunikan lebih jauh lagi namun harus bisa memberikan dampak positif.

DAFTAR PUSTAKA

Buku:

1. Effendy, Onong Uchan.2003. **Ilmu Komunikasi Teori dan Praktek**. Bandung : PT Remaja Rosdakarya
2. Kamus Besar Bahasa Indonesia

Website:

3. Sofyan, http://pr-komunikasi.blogspot.co.id/2012/05/strategi-komunikasi; 2012
4. www.batan.go.id

Prosiding:

5. Bambang. S Sudibyo, Strategi Sosialisasi dan promosi Unit pelayanan informasi pertanian kabupaten, Deptan; 2008

ISSN 1978-0176

Tanya Jawab :

Pertanyaan:
1. Endang ; Bagaimanakah kegiatan yang mencakup Stategi komunikasi? Apakah cakupan bahasan komunikasi itu terlalu luas?
2. Sukaryono; proses komunikasi seperti apa dan kaitanya dengan kesimpulan bagaimana?

Jawaban :
1. Sejalan dengan definisi beberapa pakar komunikasi bahwa istilah Strategi Komunikasi adalah gabungan antara perencanaan dan siasat dalam komunikasi yang juga mencakup manajemen komunikasi dalam mencapai tujuan yang telah direncanakan. Dengan demikian Strategi komunikasi dapat menunjukan cara dan bagaimana melakukanya operasionalnya proses komunikasi dijalankan dengan pendekatan tujuan yang telah ditentukan.

Kegiatan riil dalam Strategi komunikasi adalah Langkah-langkah strategis yang dilakukan sebagaimana dalam teori (Pengenalan komunika, pemilihan media, dan peranan komunikator) dalam kegiatan sosialisasi RDE pada masyarakat sekitar kawasan nuklir Serpong.
2. Proses komunikasi yang dimaksud adalah Kegiatan Sosialisasi pengembangan RDE dan Iradiator di KNS pada masyarakat sekitar KNS yang berbatasan langsung yaitu kabupaten Tangerang, Kota Tangsel dan Kabupaten Bogor.
Dalam teori proses komunikasi secara ringkas digambarkan dalam ilustrasi

Proses berlangsungnya serangkaian kegiatan: komunikator (sender) atau narasumber dalam kegiatan sosialisasi tersebut menyampaikan pesan kepada komunikan (receiver) atau peserta sosialisasi melalui media presentasi, pemutaran video, slides dan infografis. Dengan menyebarkan kuestioner dilihat tingkat pemahaman peserta (responden) Gabungan dari proses perencanan kegiatan hingga eksekusi kegiatan dan evaluasi itulah cakupan strategi komunikasi.

Saran :

- Hendaknya progress rencana pengembangan segera disampaikan, schedule kapan dibangun komisioning pada pimpinan atau tim dan segera sosialisasikan progress nya.
- STTN sebagai pencetak sarjana terapan nuklir menyatakan siap mendukung SDM pengembangan RDE dan Iradiator.
- Saran; judul sebaiknya dipersempit menjadi “keberterimaan rencana pengembangan RDE pada masyarakat sekitar kawasan nuklir Serpong.

ISSN 1978-0176

PENGUATAN POSISI DAN DAN PERAN PETUGAS PROTEKSI RADIASI DALAM PELAYANAN KESEHATAN

Eri Hiswara

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan
Email: e.hiswara@batan.go.id

ABSTRAK

PENGUATAN POSISI DAN PERAN PETUGAS PROTEKSI RADIASI DALAM PELAYANAN KESEHATAN. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) mensyaratkan adanya Petugas Proteksi Radiasi (PPR) Medik dalam setiap layanan kesehatan yang memanfaatkan radiasi pengion di Indonesia. PPR Medik bertugas antara lain untuk melaksanakan program proteksi dan keselamatan radiasi di instalasi medik. Di lain pihak, Kementerian Kesehatan telah menetapkan tenaga fisika medik sebagai tenaga kesehatan yang harus memiliki kompetensi keselamatan radiasi. Mengingat PPR Medik belum mendapat pengakuan Kementerian Kesehatan sebagai tenaga kesehatan, maka ruang gerak kegiatannya menjadi sangat terbatas, sementara peranan dan tanggung jawabnya juga menjadi tumpang tindih dengan fisikawan medik. Makalah ini mencoba memberikan solusi dari sisi pendidikan, pelatihan dan jabatan fungsional sehingga PPR Medik dan Fisikawan Medik mendapat pengakuan yang sama sebagai tenaga kesehatan dari Kementerian Kesehatan, dan dapat bekerja secara sinergi dalam rangka memberikan pelayanan kesehatan yang aman dan selamat di Indonesia.

Kata kunci: Petugas Proteksi Radiasi Medik, pelayanan kesehatan, pendidikan, pelatihan

ABSTRACT

STRENGTHENING POSITION AND THE ROLE OF RADIATION PROTECTION OFFICER IN HEALTHCARE SERVICES. *Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) requires the presence of Medical Radiation Protection Officer (MRPO) in every healthcare services utilizing ionizing radiation in Indonesia. MRPO has duties, inter alia, to perform the program of radiation protection and safety in medical installations. On the other hand, the Ministry of Health has recognized that medical physicist as health worker that has competences in radiation safety. Since the MRPO has not been officially recognized as health worker by the Ministry of Health, its activities are limited, while its role and responsibilities are also overlapped with those of medical physicist. This paper attempts to seek a way out from the education, training and functional status point of view so that both MRPO and medical physicist are recognized as health worker by the Ministry of Health, and can work sinergetically in providing healthcare services that are safe and secure in Indonesia.*

Key words:, Medical Radiation Protection Officer, healthcare services, education, training

PENDAHULUAN

Berdasar IAEA, Petugas Proteksi Radiasi (PPR) adalah orang yang secara teknis kompeten dalam hal-hal yang berkaitan dengan proteksi radiasi untuk suatu jenis kegiatan tertentu yang ditunjuk oleh pemegang izin untuk mengawasi aplikasi persyaratan keselamatan [1]. Seorang PPR antara lain harus bisa memastikan bahwa kegiatan yang melibatkan radiasi pengion telah mematuhi peraturan perundangan yang berlaku, telah memahami kegiatan yang dilakukan di fasilitasnya, infrastruktur organisasi yang ada, dan prosedur kerja yang berlaku, serta memiliki kewenangan yang cukup untuk melaksanakan fungsinya dengan efektif [2].

Di Indonesia, Petugas Proteksi Radiasi (PPR) didefinisikan sebagai petugas yang

ISSN 1978-0176

ditunjuk oleh Pemegang Izin dan oleh BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) dinyatakan mampu melaksanakan pekerjaan yang berhubungan dengan proteksi dan keselamatan radiasi [3].

Sesuai dengan jenis pekerjaannya, BAPETEN membedakan PPR atas dua kelompok, yaitu PPR Medik dan PPR Industri [4]. Mengingat kedua kelompok memiliki jenis pekerjaan yang cukup bervariasi, maka masing-masing kelompok PPR dibagi lagi atas tiga tingkat. Tingkat 1 adalah PPR yang bekerja pada instalasi dengan risiko radiasi yang cukup tinggi, Tingkat 2 bekerja pada instalasi dengan risiko menengah, sedangkan Tingkat 3 bekerja pada instalasi dengan risiko cukup rendah.

Sementara itu, Kementerian Kesehatan ternyata memiliki ketentuan tersendiri yang terkait dengan pelaksanaan proteksi dan keelamatan radiasi di layanan kesehatan. Kementerian Kesehatan menunjuk Fisikawan Medik sebagai petugas yang melaksanakan tugas-tugas keselamatan, atau proteksi, radiasi dalam pelayanan kesehatan [5]. Kementerian Kesehatan juga secara resmi telah menetapkan tenaga fisika medik sebagai tenaga kesehatan [6].

Berbeda dengan fisikawan medik yang telah mendapat pengakuan sebagai tenaga kesehatan dari Kementerian Kesehatan, PPR Medik belum mendapat pengakuan yang serupa. Oleh karena itu, ruang gerak kegiatan PPR Medik di fasilitas layanan kesehatan menjadi cukp terbatas, demikian pula peranan dan tanggung jawabnya menjadi tumpang tindih dengan fisikawan medik.

Makalah ini akan membahas upaya agar PPR Medik dan fisikawan medik dapat bekerja sama dalam menunjang aplikasi radiasi pengion di bidang medik secara aman dan selamat. Pembahasannya akan difokuskan dari sisi pendidikan, pelatihan, dan jabatan fungsional untuk kedua jenis pekerjaan ini.

METODOLOGI

Pembahasan mengenai PPR Medik pada makalah ini dilakukan dengan metode deskriptif melalui studi literatur legal. Ruang lingkup dibatasi hanya tanggung jawab PPR medik dan tanggung jawab fisikawan medik terkait keselamatan radiasi berdasar peraturan perundang-undangan yang berlaku. Dengan membandingkan kedua peraturan tersebut kemudian diberikan beberapa usulan agar eksistensi PPR medik pada layanan kesehatan dapat diakui oleh Kementerian Kesehatan, tanpa mengurangi peranan dan tanggung jawab fisikawan medik sesuai dengan kompetensinya.

TEORI

Klasifikasi PPR Medik

Berdasar Perka BAPETEN Nomor 16 Tahun 2014 [7], PPR Medik dibedakan atas PPR Medik Tingkat 1, PPR Medik Tingkat 2 dan PPR Medik Tingkat 3.

PPR Medik Tingkat 1 adalah PPR yang bekerja pada instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pengion untuk kegiatan:

a. ekspor zat radioaktif untuk keperluan medik;
b. pengalihan zat radioaktif dan/atau pembangkit radiasi pengion untuk keperluan medik;
c. impor dan pengalihan zat radioaktif dan/atau pembangkit radiasi pengion untuk keperluan medik;
d. produksi radioisotop berupa radiofarmaka; dan
e. penggunaan dan/atau penelitian dan pengembangan dalam radioterapi, kedokteran nuklir diagnostik in vivo, dan kedokteran nuklir terapi.

PPR Medik Tingkat 2 adalah PPR yang bekerja pada instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi untuk kegiatan impor pembang-kit radiasi pengion dan penggunaan dan/atau penelitian dan pengembangan dalam radiologi diagnostik dan intervensional. Sedang PPR Medik Tingkat 3 adalah PPR yang bekerja pada penggunaan dan/atau penelitian dan pengembangan dalam kedokteran nuklir diagnostik in vitro.

Tanggung Jawab PPR

Tanggung jawab PPR secara umum diuraikan pada Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [8]. Pada Pasal 7 dari Perka BAPETEN ini dinyatakan bahwa PPR mempunyai tanggung jawab:

a. mengawasi pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi;

ISSN 1978-0176

b. mengkaji ulang efektivitas penerapan program proteksi dan keselamatan radiasi;
c. memberikan instruksi teknis dan administratif secara lisan atau tertulis kepada pekerja radiasi tentang pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi;
d. mengidentifikasi kebutuhan dan mengorganisasi kegiatan pelatihan;
e. memastikan ketersediaan dan kelayakan perlengkapan proteksi radiasi dan memantau pemakaiannya;
f. membuat dan memelihara rekaman dosis yang diterima oleh pekerja radiasi;
g. melaporkan kepada pemegang izin jika pekerja radiasi menerima dosis melebihi Pembatas Dosis;
h. memberitahukan kepada pekerja radiasi mengenai hasil evaluasi pemantauan dosis;
i. membuat dokumen yang berhubungan dengan proteksi radiasi;
j. melakukan kendali akses di Daerah Pengendalian;
k. melaksanakan latihan penanggulangan dan pencarian fakta dalam hal kedaruratan;
l. memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi di instalasinya.

IAEA, sementara itu, menyatakan bahwa PPR Medik antara lain memiliki tanggung jawab sebagai berikut [2] :
a. semua kegiatan yang terkait dengan keselamatan radiasi;
b. proteksi pekerja dan pasien
c. memastikan kondisi yang layak bagi peralatan yang digunakan
d. melaksanakan kegiatan pengelolaan limbah radioaktif di fasilitas, jika ada limbah tersebut.

Tanggung Jawab Fisikawan Medik Terkait Keselamatan Radiasi

Sebagai jabatan fungsional, fisikawan medik terdiri atas Fisikawan Medik Pertama, Fisikawan Medik Muda, dan Fisikawan Medik Madya. Berbeda dengan beberapa jenis jabatan fungsional lainnya yang bisa mencapai puncak tertinggi Pegawai Negeri Sipil dengan golongan ruang IV/e, atau Pembina Utama, Fisikawan Medik hanya dirancang untuk sampai golongan ruang IV/c, atau Pembina Utama Muda.

Setiap jenjang fisikawan medik memiliki kompetensi masing-masing yang yang diatur pada Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 237/MENKES/SK/IV/2009. Selain kompetensi fisika medik, fngsional fisikawan medik ternyata juga mendapat tambahan beban untuk melaksanakan kegiatan yang terkait dengan keselamatan, atau proteksi, radiasi.

Untuk jenjang fisikawan medik pertama, kompetensi yang terkait dengan keselamatan radiasi adalah sebagai berikut:
a. menyiapkan alat pelayanan fisika medik yang meliputi alat keselamatan kerja terhadap radiasi;
b. menyiapkan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi melalui pengukuran/ kalibrasi film badge;
c. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi melalui pengukuran/kalibrasi thermoluminesensi dosimeter (TLD);
d. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi dengan melakukan perawatan dan pemeliharaan peralatan proteksi;
e. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radiodiagnostik/pencitraan dengan melakukan tindakan emergensi;
f. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan melaksanakan survey;
g. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan melakukan tindakan emergensi;
h. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang kedokteran nuklir dengan membuat rencana kerja survey radiasi;
i. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang kedokteran nuklir dengan melakukan tindakan emergensi; dan
j. melaksanakan pembinaan teknis konsultasi dengan melakukan sosialisasi budaya keselamatan kerja terhadap radiasi.

Untuk jenjang fisikawan medik muda, kompetensi yang terkait dengan keselamatan radiasi adalah sebagai berikut:
a. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi dengan membuat rencana kerja survey radiasi lapangan/kecelakaan radiasi;
b. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi dengan membuat desain limbah radiasi sederhana;

ISSN 1978-0176

c. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi dengan membuat desain limbah radiasi sedang;
d. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi dengan menggunakan alat ukur radiasi;
e. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radiodiagnostik/pencitraan medik dengan membuat rencana kerja survey radiasi;
f. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radiodiagnostik/pencitraan medik dengan melaksanakan survey;
g. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radiodiagnostik/pencitraan medik dengan melakukan tindakan emergensi;
h. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan membuat rencana kerja survey radiasi;
i. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan melaksanakan survey;
j. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan melakukan tindakan emergensi;
k. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang kedokteran nuklir dengan melaksanakan survey;
l. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang kedokteran nuklir dengan melakukan tindakan emergensi;
m. melaksanakan pembinaan teknis konsultasi dengan melakukan sosialisasi budaya keselamatan kerja terhadap radiasi.

Untuk jenjang fisikawan medik madya, kompetensi yang terkait dengan keselamatan radiasi adalah sebagai berikut:

a. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keselamatan radiasi dengan menyusun analisis kebutuhan peralatan pelayanan fisika medik bidang keselamatan kerja;
b. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keelamatan radiasi dengan membuat desain limbah radiasi kompleks;
c. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang keelamatan radiasi dengan membuat penilaian rencana kerja survey radiasi lapangan/kecelakaan radiasi;
d. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radiodiagnostik/pencitraan medik dengan melakukan tindakan emergensi;
e. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan melakukan tindakan emergensi;
f. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang radioterapi dengan melakukan pengelolaan limbah radioterapi;
g. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang kedokteran nuklir dengan melakukan tindakan emergensi;
h. melaksanakan pelayanan fisika medik bidang kedokteran nuklir dengan melakukan pengelolaan limbah radioaktif;
i. melaksanakan pembinaan teknis konsultasi dengan melakukan sosialisasi budaya keselamatan kerja terhadap radiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendidikan

Sesuai dengan Perka BAPETEN Nomor 16 Tahun 2014 [7], PPR termasuk dalam kelompok petugas tertentu yang bekerja di instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pengion dengan memiliki surat izin bekerja. Karena berstatus sebagai petugas tertentu, PPR hanya disyaratkan memiliki ijazah serendah-rendahnya D–III jurusan eksakta.

Hal ini berbeda dengan fisikawan medik yang saat ini telah memiliki kelas reguler hingga S2 di beberapa perguruan tinggi negeri di Indonesia, bahkan sampai program S3 di perguruan tinggi tertentu.

Kemampuan nalar, kecerdasan dan pengambilan keputusan untuk mereka yang memiliki latar pendidikan hanya sampai D-III secara umum berbeda dengan mereka yang telah memperoleh gelar S2. Hal ini tentu menjadi salah satu kendala dalam memberikan pengakuan yang sama kepada PPR Medik seperti yang telah diberikan kepada fisikawan medik.

Untuk mengatasi kendala ini barangkali syarat kepemilikan ijazah pendidikan untuk menjadi PPR Medik bisa ditingkatkan paling tidak menjadi S1. Untuk PPR Medik Tingkat 1 yang tingkat risiko pekerjaannya paling tinggi malah bisa dipertimbangkan hanya boleh diduduki oleh mereka yang telah memiliki ijazah S2.

ISSN 1978-0176

Pelatihan

Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat) BATAN merupakan salah satu institusi tempat diselenggarakannya pelatihan bagi PPR Medik. Sesuai dengan informasi yang tersedia [9], pelatihan PPR Medik Tingkat 1 diselenggarakan selama 12 hari kerja, sementara PPR Medik tingkat 2 dan PPR Medik tingkat 3 diselenggarakan selama 7 hari kerja.

Untuk dapat bekerja sebagai PPR Medik, seseorang harus telah memiliki Surat Izin Bekerja (SIB) yang dikeluarkan oleh BAPETEN. SIB dapat diperoleh setelah mengikuti serta lulus ujian yang diselenggarakan oleh BAPETEN, sementara syarat untuk mengikuti ujian ini adalah telah mengikuti dan lulus pelatihan PPR yang dibuktikan dengan sertifikat.

Dalam hal fisikawan medik, untuk meningkatkan kemampuan tenaga fisikawan medik dalam memberikan pelayanan radiologi yang berkualitas, mereka perlu mengikuti pelatihan fungsional tenaga fisikawan medik. Pelatihan fungsional ini dilakukan selama 60, 92 dan 63 jam pelajaran masing-masing untuk fungsional fisikawan medik pertama, fisikawan medik muda dan fisikawan medik madya [5]. Satu jam pelajaran berlangsung selama 45 menit.

Dengan dasar lama waktu dan banyaknya materi yang diperoleh selama pelatihan yang harus diikuti oleh PPR Medik dan fungsional fisikawan medik ini makin tampak adanya kesenjangan dari segi ilmu dan pengetahuan untuk kedua profesi ini. Hal ini berimbas pada makin sulitnya memberikan pengakuan yang sama kepada PPR Medik dan fisikawan medik.

Salah satu cara untuk mengatasi kesenjangan ini barangkali adalah dengan mewajibkan mereka yang telah lulus ujian SIB BAPETEN untuk mengikuti magang paling tidak satu tahun sebagai PPR Medik di salah satu instalasi medik. Dengan kata lain, SIB baru akan diberikan setelah mereka selesai mengikuti program magang ini. Dengan mengikuti magang diharapkan ketrampilan teknis lapangan mereka telah bertambah sehingga tidak canggung lagi dan bisa langsung beradaptasi saat diberikan tugas dan tanggung jawab penuh sebagai PPR Medik.

Jabatan Fungsional

Salah satu motivasi yang diberikan agar fisikawan medik dapat bekerja dengan tenang adalah kesempatan untuk menjadi tenaga fungsional fisikawan medik. Perangkat hukum untuk jabatan fungsional fisikawan medik saat ini telah cukup lengkap dan operasional [5,10,11], sehingga mereka dapat mengembangkan kariernya hingga mencapai jabatan maksimum Pembina Utama Muda golongan ruang IV/c dalam kerangka Aparatur Sipil Negara (ASN).

PPR Medik, sementara itu, sampai saat ini masih berstatus sebagai petugas yang bekerja di instalasi medik yang memanfaatkan sumber radiasi pengion dan belum dianggap sebagai jabatan fungsional. Karena itu, jaminan pengembangan karier bagi seorang PPR Medik masih tidak atau belum jelas.

Agar PPR Medik dapat setara dengan fisikawan medik, maka sudah selayaknya dapat dibentuk pula jabatan fungsional Petugas Proteksi Radiasi, yang dapat diikuti pula oleh PPR Industri. Sudah tentu, perlu disusun pula peraturan perundangan yang mengatur tentang jabatan fungsional PPR dan angka kreditnya.

Jabatan fungsional yang ada yang jenis pekerjaannya mirip dengan PPR Medik adalah Pengawas Radiasi. Jika pembentukan jabatan fungsional PPR tidak memungkinkan, ketentuan terkait jabatan fungsional Pengawas Radiasi barangkali bisa direvisi untuk dapat mengakomodasi kegiatan yang dilakukan oleh PPR Medik, atau PPR secara umum, sehingga mereka yang bekerja sebagai PPR dapat bergabung dalam jabatan fungsional Pengawas Radiasi ini.

Tugas dan Tanggung Jawab

Seperti telah diuraikan sebelumnya, Kementerian Kesehatan mensyaratkan bahwa fisikawan medik juga harus memiliki kompetensi keselamatan radiasi. Jika PPR Medik bisa bergabung dan menjadi tenaga fungsional pengawas radiasi, maka kompetensi keselamatan radiasi bagi fisikawan medik dapat dihilangkan, dan diberikan kepada PPR Medik. Dengan demikian tidak akan ada lagi tumpang tindih tugas dan tanggung jawab antara PPR Medik dengan fisikawan medik.

Berbagai upaya yang diusulkan di atas harus diperkuat dengan penerbitan keputusan Menteri Kesehatan tentang penetapan tenaga

ISSN 1978-0176

PPR Medik sebagai tenaga kesehatan. Dengan semua perangkat hukum yang lengkap, disertai dengan aturan pendidikan dan pelatihan yang harus diikuti oleh PPR Medik, tenaga PPR Medik yang bekerja pada institusi layanan kesehatan dapat dianggap setara dengan fisikawan medik. Dengan penguatan posisi dan peran tenaga PPR Medik, sinergi yang berlangsung antara tenaga PPR Medik dengan tenaga fisikawan medik diharapkan mampu memberikan pelayanan kesehatan yang prima, aman dan selamat di Indonesia.

KESIMPULAN

Berdasar uraian di atas, penguatan posisi dan peran PPR Medik dapat dicapai dengan melakukan beberapa tindakan sebagai berikut:

a. Menyusun tugas PPR Medik yang spesifik dan tidak saling bersinggungan dengan tugas Fisikawan Medik.
b. Menyelenggarakan kegiatan magang bagi mereka yang lulus ujian SIB BAPETEN sebelum diberi tugas dan tangung jawab penuh sebagai PPR Medik.
c. Merevisi Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 237/MENKES/SK/IV/2009 dengan menghilangkan tugas fisikawan medik yang terkait dengan keselamatan radiasi
d. Meminta Kementerian Kesehatan untuk mengakui keberadaan PPR medik sebagai tenaga kesehatan, seperti yang telah dilakukan untuk tenaga fisikawan medik.
e. Meminta Kementerian PANRB untuk menyusun Peraturan Menteri PANRB tentang jabatan fungsional PPR Medik dan angka kreditnya, atau merevisi Permen PANRB terkait jabatan fungsional pengawas radiasi dengan mengakomodasi kegiatan yang dilakukan oleh PPR medik.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, *Radiation Potection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.* Safety Standards Series No. GSR Part 3. IAEA, Vienna, 2011.

2. IAEA, *Building Competence in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources.* Safety Standards Series No. RS-G-1.4. IAEA, Vienna, 2001.

3. Anonim, Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.

4. ANONIM. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu Yang Bekerja di Instalasi Yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion.

5. Anonim. Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 237/MENKES/SK/IV/2009 tentang Standar Kurikulum Pelatihan Fungsional Fisikawan Medik.

6. Anonim. Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 048/MENKES/SK/I/2007 tentang Penetapan Tenaga Fisika Medik Sebagai Tenaga Kesehatan.

7. Anonim. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu Yang Bekerja di Instalasi Yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion.

8. Anonim. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.

9. http://www.batan.go.id/pusdiklat/j254inter/

10. Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara Nomor PER/12/M.PAN/ 5/2008 tentang Jabatan Fungsional Fisikawan Medis dan Angka Kreditnya.

11. Peraturan Bersama Menteri Kesehatan RI - Kepala Badan Kepegawaian Negara Nomor 1111/Menkes/PB/XII/2008 dan Nomor 29 Tahun 2008 tentang Petunjuk Pelaksanaan Jabatan Fungsional Fisikawan Medis dan Angka Kreditnya.

ISSN 1978-0176

PEMANFAATAN LIMBAH CAIR PABRIK SUSU UNTUK MENINGKATKAN KANDUNGAN PROTEIN DAN ZAT BESI DALAM TUBUH IKAN

Widya Pangestika[1], Sugili Putra[2], Yuda Bondan Suratna[3]

1) (Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta, Indonesia, widya1913@gmail.com)
2) (Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta, Indonesia, sugili@batan.go.id)
3) (PT Sari Husada Unit II, Klaten, Indonesia, yuda.suratna@danone.com)

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH CAIR PABRIK SUSU UNTUK MENINGKATKAN KANDUNGAN PROTEIN DAN ZAT BESI DALAM TUBUH IKAN. Dalam kegiatan produksinya, pabrik susu akan menghasilkan limbah cair. Melalui proses koagulasi-flokulasi, limbah cair pabrik susu diubah menjadi endapan yang masih mengandung protein sebesar 31,93%. Jumlah protein yang tergolong tinggi ini, lebih baik apabila dimanfaatkan menjadi sesuatu yang berguna. Di samping itu, endapan dari limbah cair pabrik susu ini juga mengandung zat besi sebesar 17,03% yang berguna untuk kelangsungan hidup ikan. Zat besi yang tinggi ini diperoleh dari proses koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan $FeCl_3$. Selain limbah pabrik susu, ditambahkan pula bahan pakan lain ke dalam pakan buatan, seperti: tepung rebon, dedak gandum terfermentasi, dan tepung kanji. Dalam penelitian ini, dibuat dua formula pakan ikan, yaitu: pakan berzat besi 0,085% (pakan B) dan pakan berzat besi 1,703% (pakan C), sementara pakan komersial (pakan A) digunakan sebagai pakan pembanding. Untuk menguji kualitas pakan, pakan A dan B diberikan empat kali sehari selama empat minggu kepada ikan nila, sedangkan pakan C diberikan dua hari sekali selama empat minggu. Menurut hasil pengukuran, peningkatan bobot tubuh yang paling besar terdapat pada ikan nila yang diberi pakan A. Pakan berzat besi paling besar (pakan C) mampu memberikan peningkatan kadar zat besi terbesar dalam ikan nila, yaitu sebesar 45,12 mg Fe/kg ikan. Sebaliknya, kandungan protein pada pakan ternyata tidak begitu mempengaruhi kandungan protein dalam ikan nila. Hasil yang telah diperoleh membuktikan bahwa endapan limbah cair pabrik susu layak dimanfaatkan sebagai pakan ikan.

Kata kunci: Endapan limbah cair pabrik susu, Pakan ikan, Zat besi, Protein

ABSTRACT

UTILIZATION OF DAIRY WASTEWATER TO INCREASE PROTEIN AND IRON IN FISH. *During production, dairy will produce wastewater. Through coagulation-flocculation, dairy wastewater is converted into sludge which still contains protein as much as 31,93%. This high protein is better used into something useful. In addition, sludge also containing 17,03% iron which is important for fish survival. This high iron obtained through the coagulation-flocculation using coagulant $FeCl_3$. In addition to sludge of dairy waste, another feed material also added into feed, such as: rebon flour, fermented wheat bran, and tapioca. In this research, two fish feed formulas is made, namely: feed containing 0,085% iron (feed B), and feed containing 1,703% iron (feed C), while commercial feed (feed A) is given as a comparative feed. In order to check the quality of feed, feed A and B is given to tilapia four times a day for four weeks, while feed C is given once in two days for four weeks. As results, the biggest increase of tilapia's weight is occurred by feeding with feed A. Feed which contains the highest iron (feed C) give the biggest iron in the tilapia, which is amounted 45.12 mg Fe / kg fish. On the other hand, the protein in the feed was not really affect the protein in tilapia. Results have been proved that sludge of dairy wastewater can used as fish feed.*

Key words: Sludge of dairy wastewater, Fish feed, Iron, Protein

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Kandungan organik limbah susu terdapat dalam *Suspended Solid* (SS) limbah. Apabila kandungan *suspended solid* limbah susu tinggi, maka *sludge* yang diperoleh sebagai hasil akhir pengolahan limbah juga akan semakin banyak. *Sludge* limbah PT Sari Husada hingga kini baru dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman. *Sludge* yang tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal lama kelamaan akan menumpuk dan mencemari lingkungan. Oleh karena itu, kandungan organik yang terdapat dalam *suspended solid* limbah susu harus dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya.

Selain itu, pengolahan limbah cair pabrik susu menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi makhluk hidup, misalnya pakan ikan, merupakan sebuah terobosan baru yang sangat bermanfaat bagi industri. Sayangnya, jika ingin menerapkan terobosan baru tersebut, tidak diperkenankan untuk menggunakan koagulan lain selain yang ditetapkan oleh Sari Husada. Koagulan resmi yang hanya boleh digunakan di unit WWTP PT Sari Husada adalah Besi (III) Klorida ($FeCl_3$).

Kadar protein dalam endapan dari limbah cair pabrik susu adalah 31,93%. Meskipun kadar protein dalam limbah susu cukup tinggi namun endapan ini tidak dapat dimanfaatkan sepenuhnya sebagai pakan ikan karena zat besi nya yang terlalu tinggi, yaitu sebesar 17,03%. Bahan tambahan lain, seperti: tepung rebon dan dedak gandum diperlukan dalam membuat pakan ikan. Namun, bahan nabati seperti dedak gandum merupakan bahan yang mengandung protein dalam jumlah yang sedikit. Untuk meningkatkan keefektifannya sebagai bahan pakan, protein dalam bahan ini harus ditingkatkan kadarnya melalui proses fermentasi menggunakan *Aspergillus niger*.

TEORI

Koagulasi–Flokulasi Menggunakan Koagulan $FeCl_3$

Limbah umumnya mengandung polutan yang hadir dalam bentuk koloid. Koloid bersifat stabil dalam limbah karena memiliki muatan elektrik. Muatan koloid bisa positif ataupun negatif. Namun, umumnya partikel koloid dalam limbah organik bermuatan negatif [1].

Untuk menghilangkan koloid, partikel-partikel ini harus didestabilisasi terlebih dahulu sehingga akan terbentuk flok yang berukuran lebih besar dan lebih berat yang bisa dihilangkan dengan koagulasi, flokulasi, dan pengendapan [2].

Ketika garam ditambahkan ke dalam larutan. Garam ini akan terdisosiasi menjadi ion-ion. Reaksi disosiasi ini bisa juga disebut reaksi hidrolisis [3]. Ion Fe^{3+} memiliki kecenderungan untuk mempolarisasi air dan mendorong terjadinya hidrolisis. Jenis hidrolisis ini biasa dimiliki oleh Al^{3+} dan Fe^{3+} [4].

Awalnya, spesi akan membentuk molekul terhidrasi (seperti: $Fe(H_2O)_6^{3+}$)[1]. Ion kompleks logam hidrokso yang dihasilkan akan bermuatan positif dan larutan akan bersuasana asam karena terdapat ion H^+. Ion-ion kompleks ini akan membentuk mekanisme bertahap menghasilkan $Fe(OH)_3$ yang netral. Mekanisme pembentukan $Fe(OH)_3$ dapat dilihat pada Persamaan (1), (2), (3) dan (4) [3].

$$Fe(H_2O)_6^{3+} \leftrightarrow Fe(H_2O)_5OH^{2+} + H^+ \quad (1)$$

$$Fe(H_2O)_5OH^{2+} \leftrightarrow Fe(H_2O)_4(OH)_2^{+} + H^+ \quad (2)$$

$$Fe(H_2O)_4(OH)_2^{+} \leftrightarrow Fe(H_2O)_3(OH)_3^{o} + H^+ \quad (3)$$

Reaksi secara keseluruhan dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$Fe(H_2O)_6^{3+} \leftrightarrow Fe(OH_2)_3(OH)_3^{o} + 3H^+ \quad (4)$$

Fermentasi Menggunakan *Aspergillus niger*

Peningkatan kualitas bahan pakan ikan secara biologi dapat dilakukan dengan cara fermentasi menggunakan kapang *Aspergillus niger*. Fungi ini dapat meningkatkan kandungan protein seiring sengan menurunkan serat kasar.

Peningkatan kandungan protein yang terjadi pada ikan nila setelah diberi pakan *sludge* limbah susu hasil fermentasi kapang *Aspergillus niger* telah terbukti [5]. Dari hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa kandungan protein ikan nila meningkat setelah dilakukan pemberian pakan dengan penambahan *sludge* limbah susu terfermentasi *Aspergillus niger*. Peningkatan kandungan protein tertinggi sebesar 18,51%.

ISSN 1978-0176

Aspergillus niger memproduksi enzim kompleks selulosa dengan beberapa komponen penting yang dibutuhkan dalam proses memecah ikatan pada struktur selulosa dalam serat kasar sehingga mampu menghasilkan glukosa [6]. Pemberian serat kasar dalam jumlah berlebihan dapat menyebabkan gangguan pada proses penyerapan pakan di dalam usus halus [7].

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Peralatan gelas kimia, pompa vakum, termometer, oven, cawan porselen, spatula, kertas saring, *furnace*, *mixer*, *hotplate*, ayakan, *laboratory blender*, alat soxhlet lengkap, satu rangkai alat destilasi, AAS *(Atomic Absorption Spectrophotometer)*, wadah plastik, keramba, dan label.

Bahan

Limbah cair pabrik susu yang diambil dan dikoagulasi di hari yang sama, *Aspergillus niger*, dedak gandum, tepung rebon, tepung kanji, empulur batang ubi, vitamin C merk C-San Aquatic, urea, akuades, indikator MM, indikator PP, $FeCl_3$, HCl 3 N, NaOH 30%, H_3BO_3 4%, Na_2SO_4, $CuSO_4.5H_2O$, H_2SO_4 pekat, $AgNO_3$ 0,1 N, HCl 8 M, N-Heksana, etanol 95%, larutan induk Fe, dietil eter, dan ikan nila sebagai spesies uji.

Prosedur

Koagulasi–Flokulasi

Limbah cair pabrik susu sebanyak 250 mL dimasukkan ke dalam gelas beker 1 L, suhu proses diatur pada suhu kamar. Sementara $FeCl_3$ 1% sebanyak 5 mL, 7 mL, 9 mL, 11 mL, 13 mL, dan 15 mL dimasukkan ke dalam masing-masing gelas beker berisi limbah sambil diaduk cepat selama 1 menit. Kecepatan pengaduk diturunkan dan dibiarkan konstan selama 15 menit. Lalu, pengaduk dilepas dari alat, dan larutan dibiarkan mengendap selama 30 menit. Prosedur tersebut diulangi untuk $FeCl_3$ dengan konsentrasi 2% dan 3%.

Fermentasi

Dedak gandum dicampurkan dengan urea sebanyak 5% dari jumlah pakan yang dibuat serta air hangat sampai adonan dapat digenggam. Adonan didiamkan selama beberapa menit sampai suhu maksimal adonan 45^oC. Kemudian *Aspergillus niger* sebanyak 8 g/kg pakan kering dimasukkan ke dalam adonan. Adonan difermentasikan selama 3 hari. Setelah fermentasi selesai, adonan dikeringkan dengan sinar matahari atau oven pada suhu maksimal 60^oC.

Pembuatan Pakan

Endapan limbah cair pabrik susu, tepung rebon, tepung kanji, dan dedak gandum yang telah difermentasi dicampurkan sesuai dengan hasil formulasi pakan yang ada pada Tabel 3 dan kemudian diaduk menggunakan *mixer* hingga merata. Kemudian, vitamin C dan empulur batang ubi dimasukkan ke dalam adonan pakan B dan C secukupnya. Pakan yang telah menjadi adonan dicetak dengan mesin pencetak pelet. Setelah terbentuk menjadi pelet, pakan dikeringkan dalam oven pada suhu 60^oC.

Pemberian Pakan dan Pengukuran Bobot Tubuh Ikan Nila

Ikan nila *(Oreochromis niloticus)* disiapkan sebanyak 17 ekor per keramba dalam tiga keramba yang berbeda dengan massa rata-rata sekitar 94-100 g. Sebelum diberi pakan, ikan pada setiap keramba dipuasakan selama 24 jam. Tiga macam pelet, yaitu: pelet komersial (pakan A), pelet buatan sendiri yang mengandung zat besi 0,085% (pakan B) dan berzat besi 1,703% (pakan C) disiapkan, lalu masing-masing pakan diberikan sebanyak 3% dari total bobot tubuh ikan.

Pakan A dan pakan B diberikan ke ikan nila empat kali sehari selama empat minggu pemeliharaan. Pakan C diberikan dua hari sekali selama empat minggu pemeliharaan. Pemberian pakan variasi ini dikombinasikan dengan pemberian pakan A ke ikan nila. Ikan ditimbang dan dicatat bobot rata-rata pada minggu awal pemeliharaan dan setiap minggu selama empat minggu pemeliharaan.

Pengujian Kadar Protein dalam Ikan Nila

Ikan nila yang akan diuji proteinnya diambil secara acak sebanyak 1 ekor per keramba setiap minggunya. Ikan nila yang telah diketahui bobotnya ini kemudian difillet.

ISSN 1978-0176

Sebanyak 0,51 g sampel fillet ikan dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl 100 mL, kemudian ditambahkan 2 g katalis campuran selen dan 25 mL H_2SO_4 pekat. Campuran dipanaskan di atas pemanas listrik sampai mendidih sehingga larutan menjadi jernih kehijau-hijauan. Larutan dibiarkan dingin, diencerkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, lalu ditandabatakan dengan akuades. Kemudian, larutan sebanyak 5 mL, NaOH 30% dan beberapa tetes indikator PP dimasukkan ke dalam alat penyuling.

Campuran disulingkan selama lebih kurang 10 menit, sebagai penampung digunakan larutan asam borat 2% yang telah dicampur indikator. Larutan campuran dititrasi dengan larutan HCl 0,1 N. Penetapan blanko dikerjakan. Kadar protein diperoleh sesuai dengan rumus pada Persamaan (5).

$$\text{Protein} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 0{,}014 \times f_k \times f_p}{B} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan:
B : Bobot cuplikan sebelum diabukan (g)
V_1 : Volum HCl 0,01 N yang digunakan untuk peniteran sampel (mL)
V_2 : Volum HCl 0,01 N yang digunakan untuk peniteran blanko (mL)
N : Normalitas HCl
fk : Faktor konversi protein dari makanan secara umum (6,25)
fp : Faktor pengenceran

Pengujian Kadar Zat Besi dalam Ikan Nila

Preparasi Cuplikan

Sebanyak 1 g (berat kering) sampel ikan dimasukkan ke dalam furnace dan temperatur ditingkatkan perlahan menjadi 500°C. Pengabuan dilakukan selama 10 jam. Sebanyak 10 mL HCl 1 N ditambahkan ke dalam abu. Pelarutan abu dilakukan dengan pemanasan di atas *hot plate*. Sampel didinginkan dan disaring ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditandabatakan menggunakan akuades.

Preparasi Larutan Standar

Larutan standar Fe 1000 ppm diencerkan menjadi 100 ppm. Larutan standar Fe 100 ppm yang telah dibuat kemudian diencerkan kembali sehingga diperoleh 4 variasi konsentrasi larutan, yaitu: 2 ppm, 5 ppm, 8 ppm, dan 10 ppm. Larutan ini digunakan untuk membuat kurva kalibrasi. Larutan adisi Fe dibuat dengan mengencerkan Fe 100 ppm menjadi 5 ppm, kemudian ditambahkan sampel sebanyak 1 mL, lalu ditandabatakan.

Pengukuran Cuplikan

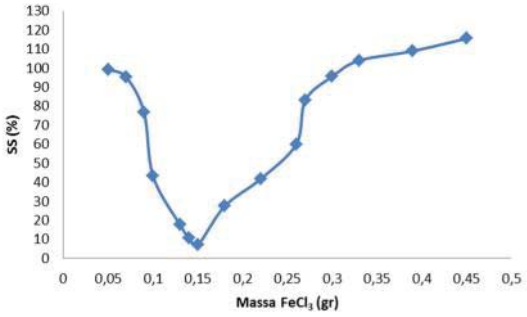
Unit AAS diaktifkan. Pengukuran absorbansi blanko dilakukan dengan 3 kali penyedotan. Pengukuran absorbansi dilakukan untuk 5 variasi larutan standar. Pengukuran absorbansi dilakukan larutan sampel. Kurva kalibrasi dibuat. Larutan adisi sampel diukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Konsentrasi $FeCl_3$ yang Optimal

Setelah melalui proses perhitungan, diketahui massa dari seluruh variasi jumlah $FeCl_3$ yang dimasukkan ke dalam limbah sebagai koagulan. Pengaruh penambahan $FeCl_3$ ke dalam limbah susu dapat dilihat pada Gambar 1. Kadar SS yang paling rendah dapat diperoleh melalui penambahan $FeCl_3$ sebanyak 0,15 g. Secara visual, flok-flok yang terbentuk melalui penambahan $FeCl_3$ sebanyak 0,15 g lebih besar daripada konsentrasi yang lain. Flok-flok ini akan mengumpul dan mengendap di dasar wadah. Hal tersebut menyebabkan larutan yang berada di atas endapan menjadi bening dan membuat SS limbah menurun secara drastis.

Bila $FeCl_3$ yang ditambahkan kurang, maka flok-flok yang terbentuk sangat kecil. Flok yang kecil ini disebabkan oleh kurang mampunya $Fe(OH)_3$ dalam memerangkap partikel koloid. Kemampuan padatan logam hidroksida dalam memerangkap partikel koloid berbanding lurus dengan besarnya flok yang terbentuk [8].



Gambar. 1. Hubungan Massa $FeCl_3$ dengan SS Limbah Susu

ISSN 1978-0176

$FeCl_3$ yang dimasukkan lebih banyak menunjukkan adanya peningkatan kadar SS dalam limbah. Hal ini ditandai dengan semakin kuningnya larutan bila $FeCl_3$ ditambah dengan jumlah yang semakin banyak. Hal ini dapat disebabkan karena kesetimbangan pada Persamaan (3) bergeser ke kiri, menyebabkan kompleks $Fe(OH)_2^+$ menjadi terlarut kembali[9]. Penambahan $FeCl_3$ yang berlebihan dapat menurunkan pH dan menyebabkan semakin bertambahnya jumlah ion H^+, oleh karena itu kesetimbangan bergeser ke kiri.

Fermentasi Dedak Gandum

Fermentasi dilakukan terhadap bahan tambahan pakan ikan yang memiliki kandungan protein cukup rendah, yaitu dedak gandum. Peningkatan kadar protein dan penurunan kadar serat kasar melalui proses fermentasi pada dedak gandum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel. 1. Kandungan Dedak Gandum Sebelum dan Setelah Difermentasi

Kondisi	Kadar Air (%)	Protein Dedak Gandum (%)	Serat Kasar Dedak Gandum (%)
Sebelum	10,20	16,655	7,81
Setelah	14,62	23,779	7,45

Penambahan dedak gandum terfermentasi dengan kandungan protein 23,779% pada saat pembuatan pakan dapat meningkatkan kadar protein dalam pakan B sebanyak 5,78% dan pakan C sebanyak 5,17% apabila dibandingkan dengan dedak gandum biasa.

Formulasi Pakan

Kandungan protein dan zat besi setiap bahan campuran pakan harus diketahui terlebih dulu untuk membuat suatu formulasi pakan yang baik. Pakan yang dibuat dalam penelitian ada dua jenis, yaitu: pakan yang mengandung zat besi 0,085% (pakan B) dan pakan yang mengandung zat besi 1,703% (pakan C), sementara pakan yang digunakan sebagai pakan pembanding adalah pakan komersial (pakan A). Formulasi pakan dibuat melalui aplikasi MatLab. Kandungan nutrisi bahan campuran pakan dapat dilihat pada Tabel 1. Formulasi pakan dibuat melalui aplikasi MatLab menggunakan persamaan linier simultan.

Tabel. 2. Kandungan Protein dan Zat Besi Bahan Campuran Pakan dan Pakan Buatan yang Ingin Diperoleh dalam Keadaan Kering

Bahan Pakan	Pakan B			Pakan C		
	Protein (%)	*Zat Besi (%)*	*Lain (%)*	*Protein (%)*	*Zat Besi (%)*	*Lain (%)*
Limbah Susu	31,93	17,03	51,04	31,93	17,03	51,04
Dedak gandum	18,55	0,015	81,436	18,55	0,015	81,436
Tepung Rebon	62,44	0,014	37,546	62,44	0,014	37,546
Pakan Buatan	31,93	0,085	62,985	31,93	1,703	61,367

Berdasarkan Tabel 1, dapat dibuat Persamaan (6), (7), dan (8) untuk pakan B.

$$31{,}93A + 18{,}55B + 62{,}44C = 31{,}93 \quad (6)$$

$$17{,}03A + 0{,}0145B + 0{,}014C = 0{,}085 \quad (7)$$

$$51{,}04A + 81{,}44B + 37{,}55C = 62{,}985 \quad (8)$$

Persamaan (9), (10), dan (11) untuk pakan C

$$31{,}93D + 18{,}55E + 62{,}44F = 31{,}93 \quad (9)$$

$$17{,}03D + 0{,}0145E + 0{,}014F = 1{,}703 \quad (10)$$

$$51{,}04D + 81{,}44E + 37{,}55F = 61{,}367 \quad (11)$$

Dengan:

A : Persentase limbah susu yang dimasukkan ke dalam pakan B
B : Persentase dedak gandum terfermentasi yang dimasukkan ke dalam pakan B
C : Persentase tepung rebon yang dimasukkan ke dalam pakan B
D : Persentase limbah susu yang dimasukkan ke dalam pakan C
E : Persentase dedak gandum terfermentasi yang dimasukkan ke dalam pakan C
F : Persentase tepung rebon yang dimasukkan ke dalam pakan C

Dengan menggunakan program MatLab, Persamaan (6), (7), (8), (9), (10), dan (11) dapat diselesaikan sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 3,

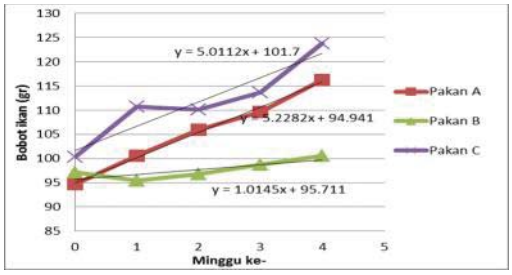
ISSN 1978-0176

Tabel. 3. Hasil Formulasi Pakan Buatan (Pakan B dan Pakan C)

Bahan Pakan	Persentase dalam Pakan (%)	
	Pakan B	*Pakan C*
Limbah Susu	0,42	9,93
Dedak gandum	62,11	55,5
Rebon	32,47	29,57
Tepung Kanji	5	5

Pemberian Pakan Ikan

Bobot ikan nila setelah diberi pakan buatan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar. 2. Hubungan Waktu Pemberian Pakan Terhadap Bobot Ikan Nila

Terdapat peningkatan bobot ikan nila pada masing-masing perlakuan pemberian pakan. Pakan A merupakan pakan yang menghasilkan peningkatan bobot ikan nila yang paling baik diantara semua jenis pakan, sementara pakan C lebih baik untuk meningkatkan bobot ikan dibandingkan pakan B. Ikan yang diberi pakan B sempat mengalami penurunan bobot pada minggu pertama. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh adaptasi ikan terhadap pakan baru.

Selain bobot ikan nila, kadar protein, zat besi dan tingkat kelangsungan hidup ikan juga turut diamati. Hasil pengamatan terhadap protein, zat besi dalam tubuh ikan nila dapat dilihat pada Tabel 4 dan tingkat kelangsungan hidup ikan nila dapat dilihat pada Tabel 5.

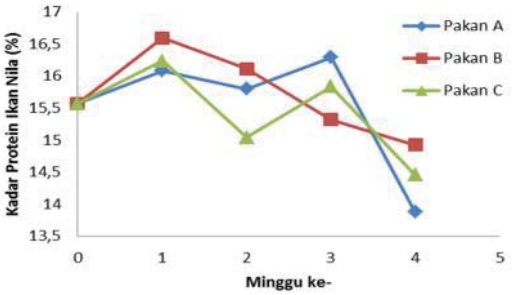
Tabel. 4. Kadar Protein dan Zat Besi Ikan Nila Sebelum dan Setelah Diberi Pakan Komersial dan Pakan Buatan

Minggu ke-	Kadar zat besi dalam ikan (mg Fe/kg ikan)			Kadar protein dalam tubuh ikan (%)		
	A	*B*	*C*	*A*	*B*	*C*
0	4,66	4,66	4,66	15,57	15,57	15,57
1	6,90	10,09	22,42	16,08	16,59	16,24
2	8,49	13,46	27,30	15,80	16,11	15,04
3	9,05	14,61	38,42	16,29	15,32	15,83
4	9,80	15,03	49,78	13,88	14,92	14,46

Tabel. 5. Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan Nila Selama Masa Pemeliharaan

Minggu ke-	Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan Nila (%)		
	A	*B*	*C*
0	100	100	100
1	100	100	100
2	100	100	100
3	100	100	100
4	100	100	100

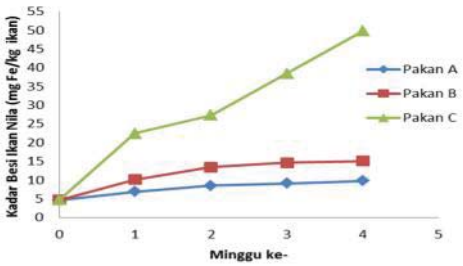
Untuk melihat perkembangan kadar protein ikan secara visual, kadar protein ikan dibuat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 3.



Gambar. 3. Hubungan Waktu Pemberian Pakan Terhadap Kadar Protein dalam Ikan Nila

Grafik pada Gambar 3 tidak menunjukkan perubahan protein yang cukup signifikan terhadap waktu pemberian pakan karena tidak semua nutrisi makanan dimanfaatkan oleh ikan untuk melangsungkan kehidupannya. Menurut teori yang ada, tidak semua protein makanan yang masuk diubah menjadi daging [10]. Selain itu, pembentukan protein daging juga tergantung kemampuan fisiologis ikan.

Selain protein, kadar zat besi dalam ikan nila juga turut dianalisis. Kandungan zat besi ikan nila pada Tabel 4 dapat dibuat menjadi grafik seperti pada Gambar 4.



Gambar. 4. Hubungan Waktu Pemberian Pakan Terhadap Kadar Besi dalam Ikan Nila

ISSN 1978-0176

Peningkatan kadar zat besi paling besar terdapat pada ikan nila yang diberi pakan C. Pemberian pakan C terbukti dapat meningkatkan zat besi dalam tubuh ikan nila sebesar 45,120 mg Fe/kg ikan. Sementara pakan B hanya mampu meningkatkan kadar zat besi dalam tubuh ikan sebesar 10,374 mg Fe/kg ikan.

Pakan komersial (pakan A) ternyata kurang mampu meningkatkan zat besi dalam tubuh ikan bila dibandingkan dengan pakan B dan pakan C. Sejak minggu pertama hingga minggu keempat, kadar zat besi dalam tubuh ikan nila yang diberi pakan A hanya mengalami peningkatan sebesar 5,141 mg Fe/kg ikan. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan AAS, kadar besi di pakan ikan komersial adalah 320 mg/kg pakan. Hal ini menyerupai teori yang menyebutkan bahwa pakan ikan komersial biasanya mengandung zat besi 150-800 mg/kg pakan [11].

Meskipun zat besi pada pakan C sangat tinggi, namun data pada Tabel 5 membuktikan bahwa pemberian pakan buatan sebanyak satu kali dalam 2 hari terbukti mampu menghasilkan tingkat kelangsungan hidup 100% pada ikan nila. Hal ini mungkin disebabkan tidak semua Fe dalam pakan disimpan sepenuhnya dalam tubuh ikan. Pemberian Fe sebanyak satu kali dalam dua hari memberikan waktu untuk tubuh ikan agar dapat mengeluarkan kelebihan Fe dalam tubuhnya. Hal ini menyebabkan akumulasi logam Fe dalam tubuh ikan menjadi tidak terlalu besar, sehingga tidak menyebabkan keracunan bagi ikan karena ikan dapat meregulasi logam esensial [12].

Teori lain menyebutkan bahwa jumlah konsentrasi logam berat yang dimiliki oleh biota air dipengaruhi oleh kemampuan biota air dalam mengabsorbsi dan mengeksresikan logam yang ada di perairan [13].

KESIMPULAN

Kadar protein pada pakan ikan tidak begitu mempengaruhi kadar protein dalam ikan nila. Di lain pihak, kadar zat besi dalam pakan ikan dapat meningkatkan kadar zat besi dalam tubuh ikan nila. Ikan nila yang diberi pakan berkadar besi 1,703% (pakan C) mengalami peningkatan zat besi paling tinggi, yaitu sebesar 45,12 mg Fe/kg ikan. Sementara, ikan yang diberi pakan B dan A mengalami peningkatan kadar zat besi masing-masing sebesar 10,374 mg Fe/kg ikan dan 5,141 mg Fe/kg ikan.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai waktu fermentasi yang optimum untuk dedak gandum dengan kisaran waktu yang lebih sempit. Selain itu, juga perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai kapan pakan menjadi zat yang toksik bagi ikan akibat bioakumulasi dalam tubuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Armenante, P. M. (23 November 2014). *Industrial Waste Control: Physical and Chemical Treatment, Chapter: Coagulation and Flocculation*. Available: http://cpe.njit.edu/dlnotes/che685/cls07-01.pdf
2. Koohestanian, A., Hosseini, M., and Abbasian, Z., "The Separation Method for Removing of Colloidal Particles from Raw Water," *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, vol. 4, pp. 266-273, 2008
3. Rand, G. M. (ed), *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate and Risk 2nd Ed*: Taylor & Francis Group, 2003
4. Essington, M. E., *Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach*: CRC Press, 2004
5. Nazullawaty, R., *Skripsi: Pemanfaatan Sludge Limbah Susu dengan Proses Fermentasi Kapang Aspergillus niger untuk Meningkakan Pertumbuhan dan Kandungan Protein Ikan Nila, Oreochromis niloticus*: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, 2013
6. Yusak, Y., "Pengaruh Suhu dan pH Buffer Asetat Terhadap Hidrolisa CMC Oleh Enzim selulase Dari Ekstrak Aspergillus niger dalam Media Campuran Onggok dan Dedak," *Jurnal Sains Kimia*, vol. 8, hal. 35-37, 2004
7. Afrianto, E. dan Liviawaty, E., *Pakan Ikan dan Perkembangannya*: Penerbit Kanisius, 2005
8. Wulan, P. P. D. K., Dianursanti, G. M., dan Nugroho, W. A., "Optimasi Penggunaan

ISSN 1978-0176

Koagulan pada Pengolahan Air Limbah Batubara," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan',* 2010, hal. 1-6
9. Weiner, E. R., *Applications of Environmental Chemistry: A Practical Guide for Environmental Professionals*: CRC Press LLC, 2000
10. Dani, N. P., Budiharjo, A., Listyawati, S., "Komposisi Pakan Buatan untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Kandungan Protein Ikan Tawes (Puntius javanicus Blkr.)," *Biosmart*, vol. 7, hal. 83-90, 2005
11. Lall, S. P., "Nutrition and Health of Fish," dalam Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R. (eds.), *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, 2000, pp. 13-22
12. Darmono, *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*: Penerbit UI –Press, 1995
13. Supriyanto, C., Zainul, K., dan Samin, B. K., "Evaluasi Kandungan Logam Berat Fe, Cu, Cr, Pb, dan Zn dalam Kerang, Udang, dan Ikan dengan Spektrometri Serapan Atom," *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir (P3TM-BATAN),* 2001

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Apakah peninjauan terhadap sisi ekonomis pakan ikan buatan ini telah dilakukan? (I. Aeni Muharromah)
2. Apakah ketersediaan bahan baku cukup untuk digunakan di beberapa kawasan? (Karno)

Jawaban

1. Peninjauan terhadap sisi ekonomis pakan ikan buatan belum dilakukan.
2. Limbah susu yang digunakan pada penelitian ini berasal dari pabrik susu, untuk kawasan yang lebih kecil, dapat memanfaatkan limbah susu yang berasal dari UKM yang mengolah susu sapi.

ISSN 1978-0176

PERAN BATAN DALAM PENYEDIAAN SDM TAHAP PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN PLTN PERTAMA DI INDONESIA

Moch. Djoko Birmano

PKSEN, BATAN, Jakarta, Indonesia, birmano@batan.go.id

ABSTRAK

PERAN BATAN DALAM PENYEDIAAN SDM TAHAP PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN PLTN PERTAMA DI INDONESIA. Banyak hal yang harus dipersiapkan guna menyongsong pembangunan PLTN pertama di Indonesia, salah satunya adalah aspek penyiapan Sumber Daya Manusia (SDM). Permasalahannya bagaimana peran BATAN dalam penyediaan SDM PLTN tahap O&M, karena secara peraturan perundang-undangan SDM BATAN tidak memungkinkan menjadi operator PLTN. Tujuan makalah adalah menganalisis peran BATAN dalam penyediaan SDM tahap O&M PLTN pertama di Indonesia. Analisis penyediaan SDM PLTN ini merupakan kelanjutan dari analisis sebelumnya yang didasarkan pada hasil kegiatan survei kuesioner oleh PPEN-BATAN pada tahun 2013. Hasil analisis disimpulkan bahwa proyek pembangunan PLTN pertama di Indonesia adalah putar kunci (*turnkey)*, dimana penyediaan SDM pada tahap O&M adalah tanggung jawab pemilik PLTN. Penyiapan dan pengembangan SDM PLTN secara masif dan intensif akan dilakukan oleh pemilik PLTN. Peran BATAN dalam pembangunan PLTN adalah sebagai promotor dan *TSO (Technical Supporting Organization)* bukan pemilik, yang bertugas menyiapkan infrastruktur dasar pembangunan PLTN yang salah satunya adalah penyiapan & pengembangan SDM. Penyiapan dan pengembangan SDM PLTN tahap O&M di BATAN tidak dimaksudkan untuk memenuhi seluruh kebutuhan SDM PLTN tahap O&M, tetapi hanya mengisi pekerjaan ketenaganukliran di daerah nuklir *(nuclear island)*. Peran BATAN saat ini sebagai TSO yang secara peraturan tidak memungkinkan untuk menjadi operator PLTN. Akan tetapi untuk kepentingan bangsa yang lebih besar, nantinya ketika PLTN mulai beroperasi pada tahun 2027 diharapkan akan ada peraturan yang memungkinkan perekrutan SDM PLTN dari pegawai BATAN untuk menjadi operator PLTN.

Kata kunci: SDM, PLTN pertama, tahap pengoperasian dan perawatan

ABSTRACT

THE BATAN's ROLE IN SUPPLYING HUMAN RESOURCES IN OPERATION AND MAINTENANCE PHASE FOR FIRST NPP IN INDONESIA. *Many things have to be prepared to meet the construction of first NPP in Indonesia, which one of them is the aspect of Human Resources (HRs) preparation. The problem is how BATAN's role in supplying NPP's HRs in O & M phase, because in legislation BATAN's HRs are not allowed as the NPP operator. The purpose of this paper is to analyze the role of BATAN in supplying HRs in O&M phase for first NPP Indonesia. The analysis in supplying of NPP's HRs is continuation of previous analysis that based on the results of the questionnaire survey by PPEN - BATAN in 2013. The result of analysis is concluded that the construction of first NPP in Indonesia is a turnkey, where the supplying of HRs in O & M phase is responsibility of the NPP's owner. Preparation and development of HRs for the NPP's operation and maintenance will be performed massively and intensively by the NPP's owner BATAN's role in the NPP's development is as a promotor and TSO (Technical Supporting Organization), not the owner, have duty to prepare the national basic infrastructures of NPP's development that one of them is the preparation and development of HRs. Preparation and development of HRs in O & M phase in BATAN is not intended to meet all of HR's need in O & M phase of first NPP, but only to meet nuclear jobs in the nuclear island. The BATAN's role as TSO today is not allowed to become NPP's operator. But for the larger interest of the nation, eventually when the NPP start operating in 2027is expected will be legislation that allows the recruitment of BATAN's HR to be NPP's operator.*

Key words: human resources, first NPP, operation and maintenance phase

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Program Nuklir di Indonesia merupakan program untuk membangun dan memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, baik di bidang non-energi maupun di bidang energi untuk tujuan damai. Pemanfaatan non-energi di Indonesia sudah berkembang cukup maju, sedangkan dalam bidang energi untuk pembangkitan listrik PLTN hingga saat ini masih berupaya mendapatkan dukungan publik. Salah satu hal yang sering dipertanyakan publik adalah apakah Sumber Daya Manusia (SDM) Indonesia mempunyai kemampuan untuk mengoperasikan PLTN, walaupun sebenarnya kemampuan SDM nuklir di Indonesia saat ini, sudah mampu merencanakan, mengoperasikan dan memelihara reaktor nuklir non daya[1].

Banyak hal yang harus dipersiapkan guna menyongsong pembangunan dan pemanfaatan PLTN pertama di Indonesia. Salah satu yang harus dipersiapkan sejak dini adalah aspek penyiapan Sumber Daya Manusia (SDM), bahkan sejak tahap persiapan proyeknya *(pre-project)* yang sudah harus dimulai beberapa tahun sebelum pembangunan PLTN[2]. Penyiapan SDM adalah suatu pekerjaan awal dalam rangka pembangunan PLTN, apalagi bagi Indonesia yang baru pertama kali akan memiliki PLTN, maka penyiapan SDM harus ditangani dengan sungguh-sungguh[2,3]. Penyiapan SDM yang kompeten merupakan salah satu infrastruktur dasar pembangunan PLTN[4].

Salah satu tahapan terpenting proyek PLTN adalah tahap pengoperasian dan perawatan[2]. Pertanyaan yang sering muncul di masyarakat terkait introduksi PLTN pertama di Indonesia adalah kesiapan SDM dalam mengoperasikan dan merawat PLTN. SDM yang mempunyai kompetensi dan kualifikasi teknis *(technical qualification)* sangat penting dalam pengoperasian dan perawatan PLTN, khususnya untuk keselamatan dan keandalan[5]. Oleh sebab itu, setiap negara yang memulai program tenaga nuklir memiliki tanggung jawab utama untuk merencanakan dan melaksanakan program penyiapan SDM yang berbasis kompetensi, yang harus dimulai pada tahap awal dari program tenaga nuklir tersebut. Untuk itu, pada tahun 2013 Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) - BATAN telah melakukan survei kuesioner di internal BATAN untuk mengetahui kemampuan dan kesiapan SDM PLTN pertama di Indonesia untuk tahap pengoperasian dan perawatan (O&M)[6]. Fokus survei SDM dilakukan di internal BATAN dengan alasan bahwa saat ini penyiapan SDM nuklir terkait PLTN dilaksanakan oleh BATAN, dan institusi diluar BATAN seperti PT. PLN, Kementerian ESDM, Kementerian RISTEK, BAPETEN dan perguruan tinggi hanya menyiapkan dalam porsi yang kecil.

Berdasarkan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran[7], PLTN hanya dapat dibangun dan dioperasikan oleh perusahaan swasta, Badan Usaha Milik Negara (BUMN) atau Koperasi. Sementara itu, tugas BATAN dalam persiapan pembangunan PLTN adalah selain sebagai promotor dapat berfungsi sebagai TSO (*Technical Support Organization*). TSO adalah organisasi yang memberikan bantuan teknis berupa jasa konsultasi, studi kelayakan, persyaratan teknis, rancang bangun dan rekayasa, dan lain-lain terhadap industri, operator/pemilik serta badan regulasi[7,8]. Masalah yang muncul adalah bagaimana peran BATAN sebagai promotor dan TSO dalam penyediaan SDM PLTN tahap O&M, mengingat secara peraturan perundang-undangan SDM BATAN tidak memungkinkan sebagai operator PLTN.

Makalah ini merupakan kelanjutan dari makalah sebelumnya yang didasarkan pada hasil kegiatan survei kuesioner yang dilakukan oleh PPEN – BATAN pada tahun 2013.

Kegiatan ini merupakan salah satu bagian studi yang perlu disiapkan karena merupakan salah satu bagian infrastruktur dasar pembangunan PLTN, yaitu pengembangan SDM sesuai dengan pedoman dalam dokumen IAEA *Nuclear Energy Series* No. NG-T-3.2 tentang "*Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development*".

Tujuan dan Ruang Lingkup

Tujuan kegiatan ini adalah untuk menganalisis peran BATAN dalam penyediaan SDM PLTN pertama di Indonesia untuk tahap pengoperasian dan perawatan PLTN pertama di Indonesia yang didasarkan pada hasil survei kuesioner 2013.

ISSN 1978-0176

Metodologi

Penyediaan SDM PLTN didasarkan pada data hasil survei kuesioner SDM PLTN di internal BATAN pada tahun 2013 yang dilaksanakan oleh PPEN - BATAN.

Analisis penyediaan SDM PLTN ini merupakan kelanjutan dari analisis-analisis sebelumnya yang didasarkan pada hasil kegiatan survei kuesioner yang dilakukan oleh PPEN – BATAN pada tahun 2013.

Pelaksanaan survei kuesioner SDM PLTN tahun 2013 bertujuan untuk mengetahui tingkat kualifikasi teknis personil PLTN untuk tahap pengoperasian dan perawatan, yang terdiri dari 3 kriteria, yaitu: kualifikasi pendidikan, pelatihan bersertifikasi, dan pengalaman khusus[5].

Survei kuesioner tersebut didisain dengan asumsi bahwa dua (2) unit PLTN jenis PWR berkapasitas 1000 MWe akan mulai beroperasi tahun 2027. Analisis kesiapan SDM PLTN tahap pengoperasian dan perawatan di internal BATAN menggunakan Metode Analisis Kesenjangan *(Gap Analysis Methods)*, yaitu membandingkan kualifikasi teknis SDM PLTN saat ini yang diperoleh dari hasil survei kuesioner dengan kualifikasi teknis SDM PLTN yang dipersyaratkan IAEA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Survei Kuesioner

Secara umum hasil survei menunjukkan bahwa SDM BATAN masih perlu ditingkatkan kualifikasi teknisnya, seperti yang dipersyaratkan IAEA. Hal ini untuk menutup celah kesenjangan antara kualifikasi teknis yang dipersyaratkan IAEA dan yang tersedia saat ini[6].

Secara khusus hasil survei menunjukkan realitas bahwa:

a. Jumlah, tingkat dan bidang personil yang dibutuhkan untuk menempati jabatan/posisi pada tahap pengoperasian dan perawatan PLTN masih kurang.

Dari jumlah personil yang dibutuhkan menduduki jabatan di organisasi O&M PLTN sebanyak 80-110 orang, di BATAN hanya tersedia 59 orang yang memenuhi syarat awal, yaitu umur, tingkat dan latar belakang pendidikan.

b. Jumlah dan jenis pelatihan keahlian khusus yang diikuti SDM muda BATAN masih terbatas.

Dari 10 jenis pelatihan keahlian khusus dengan lama pelatihan bervariasi 1-3 tahun, 3-4 tahun dan 4-5 tahun tergantung jenis jabatan, yang dibutuhkan untuk menduduki jabatan di organisasi O&M PLTN, hanya 7 jenis pelatihan yang baru diikuti SDM muda BATAN, itupun lamanya kurang dari 3 bulan.

c. Pengalaman khusus bekerja dan terlibat langsung di lingkup pengoperasian dan perawatan pembangkit yang diikuti SDM muda BATAN masih terbatas.

Dari berbagai pengalaman khusus bekerja di pembangkit, baik di pembangkit konvensional maupun di PLTN, belum ada satupun SDM muda BATAN yang berpengalaman.

PLTN Pertama di Indonesia

Proyek pembangunan PLTN pertama di Indonesia kemungkinan besar merupakan proyek *turnkey*, maka sebagian dari SDM yang terlibat dalam proyek dari tahap pra-proyek sampai tahap konstruksi tersebut akan berasal dari kontraktor negara pembuat PLTN *(vendor)*[9]. Sedangkan untuk sebagian lagi keterlibatan SDM Indonesia masih dimungkinkan, selama dapat memenuhi kualifikasi yang dipersyaratkan[10].

Sementara itu, pada tahap komisioning dan terutama pada saat pengoperasian dan perawatan PLTN menjadi tanggungjawab Pemilik *(owner)* PLTN[11], sehingga SDM Indonesia diharapkan sudah berperan optimal. Untuk tercapainya harapan tersebut maka perlu dipersiapkan SDM Indonesia agar dapat memenuhi kualifikasi teknis yang dipersyaratkan IAEA, yang meliputi aspek pendidikan, pelatihan bersertifikasi, dan pengalaman khusus.

Posisi BATAN Sebagai *TSO* Bukan Pemilik

Berdasarkan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran[7], tugas BATAN dalam persiapan pembangunan PLTN adalah selain sebagai promotor dalam mempromosikan PLTN, juga dapat berfungsi sebagai TSO (*Technical Supporting Organization*). TSO adalah organisasi yang memberikan bantuan teknis berupa jasa konsultasi, studi kelayakan, persyaratan teknis, rancang bangun dan rekayasa, dan lain-lain terhadap industri, operator atau pemilik PLTN, serta badan regulasi[8].

Sebagai promotor dan TSO proyek PLTN, BATAN bertugas menyiapkan infrastruktur

ISSN 1978-0176

dasar pembangunan PLTN yang salah satunya adalah penyiapan & pengembangan SDM[12]. Akan tetapi, karena posisi BATAN dalam proyek pembangunan PLTN adalah sebagai TSO bukan sebagai Pemilik PLTN, maka penyiapan SDM PLTN secara keseluruhan akan dilakukan oleh Pemilik PLTN bukan BATAN. SDM PLTN di BATAN hanya salah satu sumber yang mampu memberikan kontribusi SDM dengan mempertimbangkan jenis tenaga kerja di PLTN[2,10]. Hal ini mengingat BATAN merupakan salah satu institusi di Indonesia yang paling mengetahui dan berpengalaman tentang ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir. Berbeda posisi BATAN dalam pembangunan reaktor daya non komersial seperti RDE (Reaktor Daya Eksperimental), BATAN sebagai pemilik dan badan pelaksana[7,13].

Penyiapan dan pengembangan SDM PLTN tahap O&M di BATAN tidak dimaksudkan untuk memenuhi seluruh kebutuhan SDM PLTN tahap O&M yang berjumlah 80-110 orang. Saat ini posisi BATAN sebagai TSO yang secara peraturan tidak memungkinkan untuk menjadi operator PLTN. Akan tetapi untuk kepentingan bangsa yang lebih besar, nantinya diharapkan akan ada peraturan yang memungkinkan perekrutan SDM PLTN dari BATAN untuk menjadi operator PLTN.

Kesiapan SDM PLTN Pertama di Indonesia[11]

Dari aspek pendidikan, sistem pendidikan di Indonesia sudah dapat mencetak SDM pada jenjang teknisi (sekolah kejuruan dan program diploma) maupun tenaga ahli/profesional (program S_1, S_2 dan S_3) di berbagai bidang yang dibutuhkan pada tahap O&M PLTN, sehingga persyaratan kualifikasi pendidikan nampaknya akan dapat dipenuhi oleh SDM Indonesia, baik untuk mengisi kelompok yang bekerja di daerah nuklir *(nuclear island)* maupun non nuklir *(conventional island)*[11]. Secara umum SDM tahap O&M PLTN hanya memerlukan jenjang pendidikan sampai S_2 dengan jurusan mesin mekanik, elektro/listrik, nuklir, fisika dan kimia[14]. Kebutuhan tersebut akan dapat dipenuhi tanpa kesulitan yang berarti karena hampir semua perguruan tinggi di Indonesia mempunyai fakultas teknik dan MIPA dengan beberapa jurusan yang dibutuhkan oleh SDM PLTN seperti jurusan teknik mesin, sipil, listrik (termasuk elektronika), industri, instrumentasi, kimia dan fisika. Pemenuhan kebutuhan SDM tersebut akan direkrut langsung sesuai tingkatan yang dibutuhkan sehingga tidak memerlukan pendidikan formal lanjutan, dengan demikian usaha pemenuhan kualifikasi dapat langsung difokuskan pada kualifikasi pelatihan dan pengalaman melalui program pelatihan.

Dari aspek pelatihan teknis bidang ketenagalistrikan (daerah non nuklir), SDM Indonesia (di luar BATAN) sudah mapan berjalan lengkap dengan proses sertifikasi personilnya, sedangkan pelatihan bidang ketenaganukliran (daerah nuklir) khusus untuk PLTN masih belum memadai. Sampai saat ini BATAN telah menyelenggarakan berbagai macam pelatihan ketenaganukliran tetapi lebih banyak menyangkut bidang yang bukan PLTN. Pelatihan bidang ketenaganukliran khusus untuk PLTN dapat dibedakan menjadi dua yaitu pelatihan tingkat lanjut *(advanced)*, yaitu pelatihan yang membutuhkan fasilitas dan kepakaran yang belum dimiliki Indonesia dan pelatihan tingkat dasar *(basic),* yaitu pelatihan yang dapat diselenggarakan di dalam negeri, misalnya oleh Pusdiklat BATAN. Selama ini pelatihan ketenaganukliran khusus PLTN tingkat dasar yang diselenggarakan oleh Pusdiklat BATAN baru pada tingkat dasar.

Dari aspek pengalaman kerja khusus bekerja dan terlibat langsung di operasi pembangkit, dapat dibedakan menjadi dua yaitu pengalaman kerja di proyek PLTN dan di proyek pembangkit listrik konvensional (non nuklir). Sudah banyak SDM Indonesia (di luar BATAN) yang mempunyai pengalaman kerja di pembangkit listrik konvensional tetapi belum ada yang mempunyai pengalaman kerja di proyek PLTN, sehingga nampaknya SDM Indonesia belum dapat mengisi posisi yang menuntut persyaratan ini. Indonesia memang belum mempunyai pengalaman dalam pembangunan maupun pengoperasian PLTN, walaupun begitu Indonesia telah mempunyai banyak pengalaman dalam pembangunan dan pengoperasian pembangkit listrik non nuklir seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbahan bakar batubara dengan berbagai macam daya mulai dari 35 MW sampai 600 MW. BATAN telah mempunyai pengalaman dalam pembangunan dan pengoperasian reaktor nuklir riset untuk

ISSN 1978-0176

penelitian yaitu reaktor Kartini di Yogyakarta (100 kW), reaktor Triga di Bandung (2 MW) dan reaktor GA. Siwabessy di Serpong (30 MW).

Penyediaan SDM Tahap O&M PLTN Pertama di Indonesia

Program penyiapan SDM PLTN tahap pengoperasian dan perawatan yang telah dilaksanakan oleh institusi di Indonesia khususnya di BATAN sudah banyak dilakukan, akan tetapi belum memenuhi kualifikasi yang dipersyaratkan IAEA, khususnya untuk aspek pelatihan teknis dan pengalaman kerja khusus bekerja dan terlibat langsung di operasi pembangkit. Hal ini dapat dipahami mengingat tidak mudahnya posisi BATAN sebagai *TSO* bukan Pemilik, untuk menjalin kerjasama dengan calon pemasok *(vendor)* PLTN khususnya dalam program penyiapan dan pengembangan SDM PLTN.

Penyiapan dan pengembangan SDM sesuai persyaratan IAEA secara masif dan intensif akan dilakukan oleh Pemilik PLTN setelah penandatanganan kontrak pembangunan PLTN dengan Pemasok. *Roadmap* penyiapan dan pengembangan SDM PLTN yang berisi diantaranya pengadaan pelatihan keahlian khusus dan pengalaman khusus bekerja dan terlibat langsung di operasi pembangkit dicantumkan dalam kontrak proyek pembangunan PLTN.

Oleh sebab itu, untuk kesiapan SDM PLTN pertama di Indonesia diperlukan keputusan eksekutif *(executive decision)* yang tidak mudah, yaitu:

1. Keputusan Pemerintah yang jelas dan tegas untuk program pembangunan PLTN.

Kesinambungan penyiapan SDM PLTN akan terjadi dengan sepenuhnya jika program pembangunan PLTN secara jelas dan tegas telah diputuskan oleh Pemerintah. Selain itu, sumber daya untuk pengembangan SDM ini akan terfokus dan dapat segera menutup celah kesenjangan kualifikasi teknis yang ada.

2. Pembentukan organisasi pemilik *(owner organization)* PLTN dilakukan sejak awal

Hal ini agar dapat dilakukan penyiapan dan pengembangan SDM PLTN secara masif dan intensif sehingga pada saat PLTN dioperasikan Indonesia telah siap dengan operator dan sekaligus tenaga perawatannya.

Setelah ada keputusan pembangunan PLTN oleh pemerintah, akan segera dibentuk organisasi pemilik untuk PLTN pertama, yang salah satu tugasnya adalah mencari pemasok PLTN yang terbaik sesuai dokumen persyaratan pengguna *(User Requirement Document, URD)*. Penyiapan dan pengembangan SDM PLTN secara masif dan intensif akan dilakukan oleh pemilik PLTN sesuai *roadmap* penyiapan dan pengembangan SDM PLTN melalui kontrak pembangunan PLTN dengan pemasok.

Untuk PLTN pertama di Indonesia, pemilik PLTN dimungkinkan akan merekrut SDM yang berkompeten dari *fresh graduate* perguruan tinggi, BATAN & BAPETEN dan Kementerian ESDM & perusahaan listrik seperti PT. PLN, PT. Indonesia Power, PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB). SDM dari BATAN & BAPETEN telah berpengalaman dalam operasi reaktor penelitian/riset, sementara SDM dari perusahaan listrik telah memiliki pengalaman lebih banyak di bidang pengoperasian dan perawatan pembangkit konvensional seperti PLTU batubara. SDM yang direkrut dari BATAN hasil survei berjumlah 59 orang (53,64% - 73,75%) akan dipekerjakan di daerah nuklir, selebihnya yang berjumlah 21-51 orang direkrut dari perusahaan listrik dan *fresh graduate* perguruan tinggi. Semua SDM yang direkrut ini masih harus ditingkatkan dan dikembangkan kompetensi dan kualifikasinya untuk memenuhi persyaratan IAEA melalui pelatihan khusus dan pengalaman khusus bekerja di PLTN dan pembangkit listrik.

Penjadwalan program penyiapan dan pengembangan SDM PLTN hanya dapat dilakukan setelah beberapa hal berikut ditetapkan, yaitu meliputi:

- Program pembangunan PLTN pertama
- Jadwal kegiatan proyek PLTN pertama
- Jadwal dan lingkup program partisipasi nasional
- Persyaratan SDM proyek, dan
- Pelatihan dan pengalaman yang dibutuhkan untuk memenuhi kualifikasi personil

Mengingat proses penyiapan dan pengembangan SDM PLTN tahap O&M membutuhkan waktu yang sangat panjang maka proses perekrutan personil juga harus dimulai beberapa tahun sebelum pengoperasian PLTN. Dalam menyesuaikan jadwal penyiapan dan pengembangan SDM PLTN dengan jadwal

ISSN 1978-0176

program dan proyek PLTN, diperlukan ketepatan waktu untuk menghasilkan SDM yang berkualitas. Beberapa personil yang dipersiapkan untuk menduduki posisi kunci pada tahap O&M PLTN harus mengikuti pelatihan tertentu beberapa tahun sebelum pengoperasian PLTN agar pada saat dibutuhkan mereka sudah mempunyai kompetensi dan kualifikasi seperti yang dipersyaratkan IAEA

KESIMPULAN

Dari hasil analisis disimpulkan bahwa:

1. Proyek pembangunan PLTN pertama di Indonesia adalah *turnkey*, dimana penyediaan SDM pada tahap O&M adalah tanggung jawab pemilik PLTN.
2. Penyiapan dan pengembangan SDM PLTN secara masif dan intensif akan dilakukan oleh pemilik PLTN sesuai *roadmap* penyiapan dan pengembangan SDM PLTN melalui kontrak pembangunan PLTN dengan pemasok
3. Untuk kesiapan SDM PLTN pertama di Indonesia diperlukan Keputusan Pemerintah yang jelas dan tegas untuk program pembangunan PLTN, dan Pembentukan organisasi pemilik PLTN sejak awal
4. Peran BATAN dalam pembangunan PLTN adalah sebagai promotor dan TSO bukan pemilik, yang bertugas menyiapkan infrastruktur dasar pembangunan PLTN yang salah satunya adalah penyiapan & pengembangan SDM.
5. Penyiapan dan pengembangan SDM PLTN tahap O&M di BATAN tidak dimaksudkan untuk memenuhi seluruh kebutuhan SDM PLTN tahap O&M, tetapi hanya mengisi pekerjaan ketenaganukliran di daerah nuklir.
6. Peran BATAN saat ini sebagai TSO yang secara peraturan tidak memungkinkan untuk menjadi operator PLTN. Akan tetapi untuk kepentingan bangsa yang lebih besar, nantinya diharapkan akan ada peraturan yang memungkinkan perekrutan SDM PLTN dari BATAN untuk menjadi operator PLTN

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Ahmad, M., "Penyiapan SDM Iptek nuklir Untuk Menuju Kemandirian Bangsa", Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII, ISSN 1978-0176, Yogyakarta, 2011.

[2]. _____, Konsep Pengembangan SDM Pengoperasian dan Pemeliharaan Bidang Pembangkitan PLTN, PUSDIKLAT-BATAN, Jakarta, 2010.

[3]. Bagiyono dan Basuki, F., "Penyiapan SDM Untuk PLTN di Indonesia: PENYUSUNAN Standar Kompetensi Personil", Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, ISSN 1978-0176, Yogyakarta, 2010.

[4]. IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.2., "Evaluation of The Status of National Nuclear Infrastructure Development", IAEA, Vienna, 2008.

[5]. IAEA Technical Reports Series No. 200, "Manpower Development for Nuclear Power, A Guide Book", IAEA. Vienna, 1980.

[6]. Birmano, M.D., dkk., "Laporan Teknis: Pemetaan SDM PLTN dan Kesiapannya ke Depan", PPEN-BATAN, Jakarta, 2013.

[7]. Republik Indonesia, Undang-Undang (UU) Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Jakarta, 1997

[8]. TJAHYANI, D. T. S., "*Kesiapan SDM Sebagai TSO Dalam Analisis Keselamatan Deterministik Pada PLTN Pertama di Indonesia*", Jurnal Forum Nuklir, ISSN 1978-8738, Vol. 4 No. 1 Tahun 2010,Yogyakarta, 2010.

[9]. PT. PLN Udiklat, Hasil Diklat Manajemen Proyek Konstruksi Pembangkit Listrik, Bogor, 2016

[10]. Pusdiklat-BATAN, "Naskah Akademis Pengembangan SDM PLTN di Indonesia 2012 – 2025", Jakarta, 2010

[11]. Birmano, M.D. dan Anggoro, Y.D., "Analisis Kesiapan SDM PLTN Pertama Tahap Pengoperasian dan Perawatan di Indonesia", Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2014, ISSN 2355-7524, Jakarta, 2014.

[12]. Birmano, MD. dan Anggoro, YD., "Pemetaan dan Penyiapan SDM Tahap Pengoperasian dan Perawatan PLTN di Indonesia", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Volume 15, Nomor 2, Desember 2013, Jakarta, 2013

ISSN 1978-0176

[13]. Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 2/2014 tentang Perizinan Reaktor Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Jakarta, 2014

[14]. IAEA Technical Reports Series No. 200, "Manpower Development for Nuclear Power, A Guide Book", iAEA, Vienna, 1980

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

KOMPETENSI UNTUK PENINGKATAN PROFESIONALISME SDM BATAN

Endang Kristuti, Tyn Isprianto

BSDMO, BATAN, Jakarta, Indonesia,
Email: kristuti@batan.go.id; tyn_is@batan.go.id

ABSTRAK

KOMPETENSI UNTUK PENINGKATAN PROFESIONALISME SDM BATAN. Pengembangan SDM pada intinya diarahkan untuk meningkatkan kualitas manusia profesionalitas. Berbicara masalah SDM profesional tentu tidak bisa terlepas dengan masalah kompetensi, sehingga membicarakan masalah kompetensi berarti berbicara dalam rangka meningkatkan SDM profesional. Undang-Undang RI Nomor 5 Tahun 2014 menentukan bahwa semua pegawai yang diangkat dalam suatu jabatan didasarkan atas kompetensinya, yang berarti bahwa pegawai tersebut memiliki kompetensi yang dibutuhkan dalam jabatan tersebut. Dengan memastikan bahwa setiap orang dalam organisasi mempunyai pengetahuan dan keahlian/keterampilan serta sikap perilaku yang diperoleh melalui proses perencanaan pendidikan dan pelatihan, dimana hal tersebut digunakan dalam mencapai tingkat kemampuan yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan mereka secara efektif, maka harapan terhadap SDM professional akan dapat dipenuhi. Sejalan dengan profesionalitas SDM, BATAN telah berupaya untuk memenuhi profesionalitas tersebut melalui kegiatan-kegiatan yang sejalan dengan pelaksanaan reformasi birokrasi, bahkan sebelum reformasi birokrasi dicanangkan oleh pemerintah. Sejak tahun 2006 BATAN telah mulai melaksanakan profesionalitas tersebut melalui penyusunan dan pengkajian kompetensi baik jabatan struktural maupun jabatan fungsional. Selanjutnya beberapa hal dilaksanakan juga oleh BATAN guna meningkatkan SDM profesionalisme menuju SDM unggul terkait kompetensi. Hal ini dilaksanakan meliputi penetapan standar komptensi jabatan, peningkatan kemampuan PNS berbasis komptensi, diklat PNS berbasis kompetensi, penegakan etika dan disiplin pegawai negeri, sertifikasi kompetensi profesi, mutasi dan rotasi sesuai komptensi secara periodik, pengukuran kinerja individu, dan berupa penguatan jabatan fungsional

Kata kunci: Kompetensi, SDM

ABSTRACT

COMPETENCE FOR PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF HUMAN RESOURCES BATAN. BATAN.
Human resources (HR) development is essentially directed to improve the quality of human professionalism. Talking about HR professionals certainly can not be separated with the issue of competence, so that to discuss the issue of competence means to speak in order to improve HR professionals. The law No. 5 of 2014 specifies that all employees who are appointed to at any position are based on competence, which means that the employee has the competence required by the job. By ensuring that everyone in the organization has the knowledge and expertise / skills as well as behavioral attitudes acquired through education and training planning processes, in which to be used to achieve the level of skills needed to carry out their work effectively, then the hope for the HR professional will be fulfilled. In line with the professionalism of human resources, BATAN has sought to meet the professionalism through activities that are in line with the implementation of the reform of the bureaucracy, even before the bureaucratic reform announced by the government, BATAN since 2006 has started to implement them through the preparation and assessment of competence both structural position and functional, and then a couple of things to be undertaken to improve the HR professionalism towards superior human resources-related competencies include covering standard-setting komptensi positions, increase the ability of civil servants based on competency, training civil servants based on competency, ethics enforcement and discipline of civil servants, certification of professional competence, transfer and rotation in accordance komptensi basis periodically, the measurement of individual performance, and strengthening functional form.

ISSN 1978-0176

In line with the professionalism of human resources, BATAN has attempted to fulfill the professionalism through activities that are in line with the implementation of the bureaucracy reform, even before the bureaucracy reforms it has been announced by the government. Since 2006 BATAN has begun to implement such a professionalism through the preparation and assessment of the competence of both structural and functional positions. Furthermore, several things have been done by BATAN in order to improve the professionalism of human resources related to the superior human resources competency. These things are implemented include setting standards competency positions, competency based on capacity building of civil servants, civil servants competency-based on training, enforcement of ethics and discipline of civil servants, certification of professional competence, transfer and rotation periodically in accordance to the competency, measuring individual performance, and strengthening functional ocupation.

.

Key words: competence, human resources

PENDAHULUAN

Sumber Daya Manusia (SDM) merupakan faktor yang sangat menentukan dalam upaya menciptakan pembangunan yang lebih mantap dan maju. Tanpa sumber daya manusia yang baik tidak mungkin suatu bangsa bisa berkembang dan mampu bersaing di tengah-tengah percaturan ekonomi dunia internasional.

Globalisasi membawa perubahan dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat dunia, termasuk didalamnya lingkungan berbagai organisasi ataupun bisnis yang menjadikannya sangat bergolak, penuh perubahan, dan persaingan yang semakin tajam, bahkan harus mampu bersaing di pasar global.

Untuk memenangkan suatu persaingan maka organisasi/perusahaan harus memiliki SDM yang unggul sehingga sumber daya akan menghasilkan keunggulan bersaing dalam jangka panjang. Hal tersebut dapat terwujud apabila SDM nya berkompeten dan dengan adanya peran manajemen sumber daya manusia sangat dalam meningkatkan profesional SDM yang kompeten tersebut.

Pengembangan SDM intinya diarahkan untuk meningkatkan kualitas manusia profesionalitas dan produktivitas, dan kualitas SDM merupakan faktor penentu produktivitas. Agar kualitas SDM meningkat maka organisasi memberikan dan membekali kompetensi kepada SDM sesuai dengan jabatan yang diembannya. Dalam melaksanakan tugas keprofesionalan, maka setiap pegawai berhak memperoleh kesempatan untuk meningkatkan kompetensi, memperoleh pelatihan dan pengembangan profesi sesuai bidangnya.

Dalam Undang-undang RI Nomor 5 Tahun 2015 tentang Aparatur Sipil Negara (ASN) tercantum bahwa pengembangan karier PNS dapat dilakukan berdasarkan kualifikasi, kompetensi, penilaian kinerja, dan kebutuhan Instansi Pemerintah. Setiap Pegawai ASN memiliki hak dan kesempatan untuk mengembangkan kompetensinya. Kompetensi ini meliputi 3 (tiga) yaitu:

a. kompetensi teknis yang diukur dari tingkat dan spesialisasi pendidikan, pelatihan teknis fungsional, dan pengalaman bekerja secara teknis.
b. Komptensi manajerial yang diukur dari tingkat pendidikan, pelatihan struktural atau manajemen, dan pengalaman kepemimpinan, dan
c. Kompetensi sosio kultural yang diukur dari pengalaman kerja berkaitan dengan masyarakat majemuk dalam hal agama, suku, dan budaya sehingga memiliki wawasan kebangsaan.

Sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2, BATAN menyelenggarakan fungsi :

1. pengkajian dan penyusunan kebijakan nasional di bidang penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir;
2. koordinasi kegiatan fungsional dalam pelaksanaan tugas BATAN;
3. pelaksanaan penelitian, pengembangan, dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir;

ISSN 1978-0176

4. fasilitasi dan pembinaan terhadap kegiatan instansi pemerintah dan lembaga lain di
   bidang penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir;
5. pelaksanaan pembinaan dan pemberian dukungan administrasi kepada seluruh unit
   organisasi di lingkungan BATAN;
6. pelaksanaan pengelolaan standardisasi dan jaminan mutu nuklir;

Untuk memperlancar tugas BATAN maka BATAN menyusun Renstra yang didalamnya terdapat visi dan misi BATAN. BATAN sebagai lembaga pemerintah yang diberi amanat untuk melaksanakan penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, turut bertanggung jawab untuk menciptakan keunggulan iptek tersebut, terutama di tingkat regional. Oleh karena itu, visi BATAN pada tahun 2015-2019 adalah sebagai berikut:
"BATAN Unggul di Tingkat Regional,
Berperan dalam Percepatan Kesejahteraan
Menuju Kemandirian Bangsa"

Untuk mendukung visi BATAN tersebut maka perlu penguatan SDM yang kompeten sehingga SDM profesional terwujud dan secara otomatis membawa BATAN menjadi unggul. BATAN telah melaksanakan beberapa kegiatan yang mendukung kompetensi pegawai dalam rangka peningkatan profesional SDM BATAN agar unggul, apalagi semenjak melaksanakan Reformasi Birokrasi Tahun 2011 telah beberapa upaya yang dilakukan.

Oleh karena itu makalah dengan judul : "Kompetensi untuk Peningkatkan SDM Profesional di BATAN" akan membahas apa saja yang sudah dilakukan BATAN dalam penataan SDM untuk meningkatkan profesional SDM nya. Ruang lingkup dalam makalah ini meliputi:
BAB I Pendahuluan
BAB II Pembahasan
BAB III Penutup

PEMBAHASAN

Sebelum memulai pembahasan terlebih dahulu perlu dibahas mengenai pengertian Profesional, pengertian kompetensi, dan kaitannya antara profesional dan kompetensi.

A.PENGERTIAN PROFESIONAL

Berbicara masalah profesional maka perlu dijelaskan dahulu apa yang dimaksud profesi, profesional, profesionalisme, dan profesionalitas.

Schein, E.H (1962) mengatakan bahwa profesi adalah suatu kumpulan atau set pekerjaan yang membangun suatu set norma yang sangat khusus yang berasal dari perannya yang khusus di masyarakat. Sedangkan Kamus Besar Bahasa Indonesia mengatakan bahwa profesi adalah bidang pekerjaan yang dilandasi pendidikan keahlian (keterampilan, kejuruan, dan sebagainya) tertentu.
Menurut Hadari Nawawi (2006) profesi adalah pekerjaan/jabatan yang memerlukan keahlian khusus yang berbeda satu dengan yang lain. Misalkan dokter adalah profesi yang memerlukan keahlian khusus yang berbeda, juga pengacara, guru, dan lain-lain.
Kamus Besar Bahasa Indonesia mengatakan bahwa Profesional bersangkutan dengan profesi yang memerlukan kepandaian khusus untuk menjalankannya.

Tanri Abeng(2002) mengatakan bahwa seorang profesional harus mampu menguasai ilmu pengetahuannya secara mendalam, mampu melakukan kerativitas dan inovasi atas bidang yang digelutinya serta harus selalu berfikir positif dengan menjunjung tinggi etika dan integritas profesi.

Pengertian Profesional adalah orang yang memiliki profesi atau pekerjaan yang dilakukan dengan memiliki kemampuan yang tinggi dan berpegang teguh kepada nilai moral yang mengarahkan serta mendasari perbuatan. Dengan kata lain profesional yaitu orang yang menjalankan profesi sesuai dengan keahliannya.

Untuk mencapai sukses dalam bekerja, seseorang harus mampu bersikap profesional. Profesional tidak hanya berarti ahli saja, namun selain memiliki keahlian juga harus bekerja pada bidang yang sesuai dengan keahlian yang dimilikinya tersebut. Seorang profesional tidak akan pernah berhenti menekuni bidang keahlian yang dimiliki. Selain itu, seorang profesional juga harus selalu melakukan inovasi serta mengembangkan kemampuan yang dimiliki

ISSN 1978-0176

supaya mampu bersaing untuk tetap menjadi yang terbaik di bidangnya. Menurut Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi (2013), profesional adalah menyelesaikan tugas dengan baik, tuntas, sesuai dengan kompetensinya (keahliannya).

Sedangkan bicara tentang profesionalisme, Kiki Syahnarki (Andrean Perdana,2013). berpendapat bahwa profesionalisme merupakan "roh" yang menggerakkan, mendorong, mendinamisasi dan membentengi TNO dari tendensi penyimpangan serta penyalahgunaannya baik secara internal maupun eksternal. Jadi profesionalisme merupakan komitmen para anggota suatu profesi untuk meningkatkan kemampuannya secara terus menerus. "Profesionalisme" adalah sebutan yang mengacu kepada sikap mental dalam bentuk komitmen dari para anggota suatu profesi untuk senantiasa mewujudkan dan meningkatkan kualitas profesionalnya.

Lain lagi dengan profesionalitas yang merupakan sikap para anggota profesi benar-benar menguasai, sungguh-sungguh kepada profesinya. "Profesionalitas" adalah sutu sebutan terhadap kualitas sikap para anggota suatu profesi terhadap profesinya serta derajat pengetahuan dan keahlian yang mereka miliki untuk dapat melakukan tugas-tugasnya (Andrean Perdana, 2013).

Menarik garis benang beberapa pengertian tersebut, maka profesi merupakan suatu jabatan atau pekerjaan yang menuntut keahlian atau keterampilan tertentu dari pemangku jabatan. Namun tidak semua pekerjaan atau jabatan dapat disebut profesi karena profesi menuntut keahlian para pemangku jabatan. Hal ini mengandung arti bahwa suatu pekerjaan atau jabatan yang disebut profesi tidak dapat dipegang oleh sembarang orang, akan tetapi memerlukan suatu persiapan melalui pendidikan dan pelatihan yang dikembangkan khusus untuk itu. Sofyan S. Willis (2013) mengatakan bahwa ada 4 (empat) aspek yang terkandung dalam profesi yaitu dedikasi, keahlian, sikap mental, dan sambutan masyarakat.

Sora N., 2015 menyatakan bahwa untuk disebut menjadi profesional tentunya harus memiliki keahlian yang didapat melalui suatu pendidikan, dan dalam menjalankan tugas profesi harus dapat bertindak objektif, yang artinya bebas dari rasa sentimen, benci, malu maupun rasa malas dan enggan bertindak serta mengambil keputusan.

B. PENGERTIAN KOMPETENSI

Spencer & Spencer (1993) menyatakan bahwa kompetensi adalah pengetahuan, keterampilan, sikap, nilai, perilaku & karakteristik yang dibutuhkan individu agar berhasil menyelesaikan tugasnya.

Dalam Peraturan Kepala Badan Kepegawaian Negara (2008), Kompetensi adalah kemampuan dan karakteristik yang dimiliki oleh seorang Pegawai Negeri Sipil (PNS) berupa pengetahuan, keterampilan, dan sikap perilaku yang diperlukan dalam pelaksanaan tugas jabatannya, sehingga PNS tersebut dapat melaksanakan tugasnya secara profesional, efektif, dan efisien.

Berbicara masalah kompetensi maka banyak para ahli mendefinisikan kompetensi. Beberapa definisi kompetensi (dalam bukunya Hadari Nawawi, 2006) sbb:

1. Kompetensi adalah kemampuan yang harus dimiliki seorang atau setiap individu untuk dapat melakukan suatu pekerjaan secara sukses (efektif,efisien, produktif dan berkualitas) sesuai dengan visi dan misi organisasi.
2. Kompetensi adalah seperangkat pengetahuan, keterampilan/keahlian, dan sikap yang harus dikuasai oleh seorang individu melalui kegiatan pembelajaran mengenai bidang kerjanya/jabatannya.
3. Kompetensi adalah kepemilikan dan penguasaan keterampilan/keahlian atau kemampuan yang dituntut oleh pekerjaan/jabatan masing-masing.

Dari uraian-uraian tersebut di atas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kompetensi membutuhkan kualifikasi pekerjaan/jabatan dalam bekerja, jadi bukan sekedar unjuk kerja
2. Kompetensi bukan sifat (pembawaan) atau karakteristik kepribadian saja
3. Kompetensi adalah kemampuan melaksanakan pekerjaan, yang diantaranya memiliki hubungan yang erat dengan beberapa sifat/karakteristik kepribadian, seperti percaya diri, loyalitas, kejujuran, kreativitas, inovatif, orientasi pada hasil, pemecahan masalah, keterbukaan, dll

ISSN 1978-0176

4. Kompetensi bukan potensi atau kapasitas dalam bekerja atau bukan kemampuan kerja di masa depan.

Dengan demikian setiap pekerjaan/jabatan memiliki tuntutan penguasaan kompetensi tertentu yang berbeda satu dengan yang lainnya, agar dilaksanakan secara sukses. Kesuksesan sesorang individu ditentukan oleh penguasaan kompetensi di bidang kerja/jabatan masing-masing. Sehingga diperlukan evaluasi (penilaian) berbasis kompetensi, yang berbeda antara pekerjaan/jabatan yang satu dengan yang lain, yang disebut assessmen. Selanjutnya berdasar uraian di atas maka kompetensi berkaitan erat dengan profesional.

C.KAITAN PROFESIONALISME DAN KOMPETENSI

Menurut Hadari Nawawi (2006) profesionalitas dalam suatu pekerjaan/jabatan harus memenuhi tiga faktor, sbb:

1. Menguasai seperangkat keahlian yang dipersiapkan melalui program pendidikan atau pelatihan keahlian sebagai spesialisasi;
2. Memiliki kemampuan untuk memperbaiki/meningkatkan keterampilan dan/atau keahlian khusus yang dikuasai sesuai perkembangan dan kemajuan ilmu dan teknologi di bidangnya, sehingga keahlian atau spesialisasinya selalu terkini;
3. Dihargai dengan penghasilan yang memadai sebagai imbalan profesi berdasarkan keahlian khusus yang dikuasai;

Seseorang dikatakan profesional apabila memiliki tiga hal pokok yang ada dalam dirinya (Sora N., 2013), yaitu:

1. Skill, harus benar-benar ahli dibidangnya
2. Knowledge, harus dapat menguasai, minimalnya berwawasan mengenai ilmu lain yang berkaitan dengan bidangnya
3. Attitude, bukan hanya pintar akan tetapi harus memiliki etika yang diterapkan didalam bidangnya

Menurut Sora N.(20013) Ciri-ciri orang yang profesional sbb:

a. kemampuan dan pengetahuan yang tinggi
b. Kode etik
c. Tanggung jawab profesi serta integritas tinggi
d. Jiwa pengabdian kepada masyarakat
e. Kemampuan yang baik dalam perencanaan program kerja

Dari beberapa uraian tersebut di atas maka terlihat jelas bahwa seorang yang profesional membutuhkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang baik. Sedangkan pengetahuan, keterampilan dan sikap merupakan unsur dari kompetensi. Artinya adalah bahwa dalam meningkatkan kualitas SDM yang profesional dibutuhkan kompetensi dari masing-masing pemangku jabatan.

Lebih jelasnya bahwa profesionalisme berkaitan erat dengan kompetensi, dalam arti seorang individu yang profesional adalah individu yang kompeten di bidang kerjanya. Seorang profesional di bidangnya memerlukan kompetensi khusus berupa kemampuan intelektual tinggi berdasarkan penguasaan pengetahuan yang diperoleh dari lembaga pendidikan dan/atau pelatihan tertentu. Dengan kata lain profesionalitas menggambarkan kompetensi dalam bekerja yang didukung oleh pengetahuan, keahlian, dan sikap sehingga dapat melaksanakan pekerjaannya/profesinya secara efisien dan efektif. Dapat dikatakan pula seorang yang profesional merupakan pribadi yang berkarakter dan menguasai pengetahuan dan keahlian dan komitmen yang kuat terhadap kariernya. Pekerjaan/jabatan profesional menuntut kinerja yang optimal, dalam arti setiap pekerjaan/jabatan sebagai profesi memiliki tuntutan kompetensi yang berbeda-beda. Perbedaan ini mengharuskan individu untuk mengikuti pelatihan dan/atau pendidikan khusus agar menguasai kompetensi dalam profesinya masing-masing.

Undang-undang RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara (ASN) menegaskan bahwa kompetensi memegang peranan penting dalam penempatan jabatan seseorang. Dalam beberapa pasal di Undang-undang ASN tercantum jelas bahwa setiap jabatan harus berdasarkan kompetensi. Pada pasal 62 ayat (1) tentang seleksi pengadaan PNS disebutkan "Penyelenggaraan seleksi pengadaan PNS oleh instansi pemerintah melalui penilaian secara objektif berdasarkan kompetensi, kualifikasi, dan persyaratan lainnya yang dibutuhkan oleh jabatan". Kemudian pasal 68 menyatakan bahwa "PNS diangkat dalam pangkat dan jabatan tertentu pada Instansi Pemerintah berdasarkan perbandingan objektif antara kompetensi, kualifikasi., dst. Selanjutnya pasal 69 juga menyatakan bahwa "Pengembangan karier PNS dilakukan berdasarkan kualifikasi,

ISSN 1978-0176

kompetensi, penilaian kinerja, dan kebutuhan Instansi Pemerintah. Kompetensi yang dimaksud adalah kompetensi teknis, kompetensi manajerial dan kompetensi sosial kultural.

Sementara dalam kegiatan Reformasi Birokrasi (RB) terdapat 9 (sembilan) program percepatan **RB,** salah satunya adalah Peningkatan Profesionalisme PNS.

C.YANG DILAKUKAN BATAN

Sudah sangat jelas bagaimana caranya meningkatkan profesional SDM untuk menuju SDM unggul dibutuhkan SDM yang profesional yaitu dengan kompetensi.
Berdasarkan pengertian kompetensi, profesional, dan kaitan antara kompetensi dan profesional, BATAN telah melaksanakan beberapa hal guna meningkatkan SDM profesionalisme menuju SDM unggul terkait kompetensi. Menurut Kemenpan&RB (2013) kompetensi dalam peningkatan profesionalisme PNS meliputi:

1. Penetapan standar komptensi jabatan
2. Peningkatan kemampuan PNS berbasis komptensi
3. Diklat PNS berbasis kompetensi
4. Penegakan etika dan disiplin pegawai negeri
5. Sertifikasi kompetensi profesi
6. Mutasi dan rotasi sesuai komptensi secara periodik
7. Pengukuran kinerja individu
8. Penguatan jabatan fungsional

Untuk selanjutnya kami akan membahas berdasarkan 8 (delapan) unsur di atas terkait yang telah dilakukan BATAN

C.1. Penetapan standar kompetensi jabatan

Jauh sebelum ada pencanangan reformasi birokrasi oleh Pemerintah, sesungguhnya BATAN telah mulai menyusun kompetensi jabatan fungsional menuju standar kompetensi meski belum sempurna. Tujuan dari penetapan standar kompetensi adalah untuk mendapatkan profil kompetensi jabatan. Berdasarkan profil kompetensi jabatan ini kemudian dilakukan asssessmen terhadap para pejabat fungsional, yang hasilnya dianalisis apakah ada gap antara profil jabatan dengan profil individu.

Sejak tahun 2006 Biro Sumber Daya Manusia melakukan pengkajian kompetensi, yang pertama berupa pengkajian kompetensi jabatan fungsional Peneliti. Tahun berikutnya adalah jabatan fungsional Pranata Nuklir, dilanjutkan Teknisi Litkayasa, Perekayasa, Pustakawan, dan tahun 2013 adalah Arsiparis. Mulai tahun 2014 dilanjutkan dengan pengkajian kompetensi jabatan Analis kepegawaian dan Pranata Humas. Tahun 2015 terhadap jabatan fungsional Perancang Peraturan Perundang-undangan dan Perencana. Sedang tahun 2016 dilanjutkan dengan pengkajian jabatan fungsional Penyelidik Bumi dan Dosen. Meski belum sempurna menuju Standar Kompetensi namun BATAN akhirnya memiliki data hasil kajian kompetensi tersebut. Disamping itu selain pengkajian jabatan fungsional, BATAN juga telah melakukan kajian standar kompetensi jabatan Struktural dan jabatan Fungsional Umum. Hasil pengkajian itu dijadikan acuan dalam merekrut CPNS dan ujian penyesuaian ijasah. Dari 26 jabatan fungsional yang ada di BATAN 50% jabatan fungsional sudah dilakukan pengkajian kompetensi jabatan fungsional.

Ditahun 2015, BATAN selaku instansi Pembina jabatan fungsional Pranata Nuklir mulai menyusun Standar Kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir. Hasil penyusunan standar kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir tersebut telah ditetapkan dengan Peraturan Kepala BATAN Nomor 9 Tahun 2016 tentang Standar Kompetensi Jabatan Fungsional Pranata Nuklir. Terhitung mulai tanggal 22 Juli 2016 BATAN mulai melakukan Uji Kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir.

Pada tahun 2015 BATAN juga telah menyusun standar Kompetensi Manajerial Jabatan Pimpinan Tinggi Pratama (JPT Pratama) dan telah digunakan untuk seleksi terbuka Jabatan Pimpinan Tinggi Pratama (Kepala Pusdiklat).

C.2. Peningkatan kemampuan PNS berbasis komptensi

Dalam rangka meningkatkan kemampuan pegawai, BATAN setiap tahunnya menugaskan pegawai di Dalam Negeri maupun di Luar Negeri, dengan biaya dari BATAN maupun beasiswa dari luar BATAN dengan didahului seleksi TOEFL dan Tes Potensi

ISSN 1978-0176

Akademik. BATAN yang selama ini lebih memprioritaskan pegawai Teknis sejak tahun 2011 mulai membuka diri bahwa pegawai non teknis pun membutuhkan wawasan yang luas untuk mendukung tugas-tugas teknis.

Mengacu hasil assessmen yang menunjukkan ada kesenjangan antara profil jabatan dengan profil individu maka pimpinan BATAN menindaklanjuti dengan pelaksanaan diklat kepemimpinan, diklat coaching dan mentoring, dan diklat Komunikasi. Diklat soft kompetensi ini akhirnya menjadi agenda utama Pusdiklat BATAN setiap tahunnya. Selain itu, BATAN sejak tahun 2006 juga telah melakukan assessment untuk identifikasi calon pegawai yang akan menduduki jabatan struktural eselon IV.

Melalui Pusdiklat, BATAN telah melakukan analisis kebutuhan diklat untuk merencanakan jenis diklat teknis yang dibutuhkan oleh pegawai BATAN setiap tahunnya. Selain itu juga BATAN mengirimkan para pejabat fungsional untuk mengikuti diklat fungsional. Pengiriman pejabat mengikuti diklat dilakukan dengan evaluasi sesuai persyaratan jabatan yang dibutuhkan untuk mendapatkan pegawai yang benar-benar memiliki kompetensi yang sesuai nantinya. Pengiriman pejabat Struktural untuk mengikuti diklat PIM juga dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan analisis berdasarkan usia, dan karena keterbatasan alokasi dana.

C.3. Diklat PNS berbasis kompetensi

Sesuai dengan Undang-undang ASN RI Nomor 5 Tahun 2014 bahwa setiap pegawai harus memiliki kompetensi sehingga para pegawai harus didiklatkan. Pusdiklat menangkap amanat UU ASN RI tersebut sehingga setiap tahun Pusdiklat melakukan analisis kebutuhan diklat, jenis diklat apa saja yang sangat dibutuhkan oleh pegawai BATAN. Analisis kebutukan diklat dilakukan berdasarkan adanya kesenjangan antara standar kompetensi jabatan dan kompetensi pemangku jabatan. Adanya kesengajangan kompeteni ini harus dikurangi atau bahkan dihilangkan melalui pengembangan kompetensi SDM. Hampir setiap Unit Kerja melaksanakan pelatihan selingkung untuk membantu Pusdiklat dalam rangka meningkatkan kompetensi pegawai BATAN.

C.4. Penegakan etika dan disiplin pegawai negeri

BATAN menyusun peraturan terkait disiplin pegawai, kode etik perilaku, tunjangan kinerja dalam rangka penegakan etika dan disiplin pegawai. Meski belum sempurna sistem reward dan punishment sudah mulai dilaksanakan. Reward tidak harus berbentuk materi, namun penghargaan pegawai teladan yang diumumkan di setiap unit kerja.

Punishment sudah dilaksanakan bagi pegawai yang melanggar disiplin. Pegawai yang tidak masuk dan/datang terlambat juga mengalami pengurangan tunjangan kinerja untuk menegakkan disiplin pegawai sehingga pegawai yang benar-benar bekerjalah yang mendapatkan tunjangan kinerja. Selanjutnya Reward dan Punishment diberlakukan sesuai dengan capaian kinerja setiap pegawai sesuai dengan kompetensinya masing-masing.

C.5. Sertifikasi kompetensi profesi

Meskipun BATAN belum melakukan sertifikasi kepada seluruh pegawai, namun beberapa jabatan menuntut pegawai memiliki Surat Ijin Bekerja (SIB) antara lain: Petugas Proteksi Radiasi (PPR), Ahli Radiografi (AR), Operator Radiografi (OR), dan lain sebagainya. Selain itu, pejabat fungsional yang belum mengikuti diklat sesuai kompetensi jabatannya dikirim untuk mengikuti diklat fungsional dengan tujuan agar para pegawai memiliki kompetensi dibidangnya. BATAN seyogyanya melakukan sertifikasi kompetensi melalui uji kompetensi, khususnya kompetensi yang sangat khas BATAN. BATAN melalui PSMN harus melangkah maju untuk menginisiasi uji kompetensi SDM BATAN melalui kerjasama dengan Badan Nasional Sertifikasi Personel (BNSP).

C.6. Mutasi dan rotasi sesuai komptensi secara periodik

BATAN melakukan mutasi dan rotasi pegawai pada jabatan sesuai dengan kompetensinya secara periodik. Dalam penyusunan Informasi jabatan melalui analisis jabatan, maka terdapat persyaratan jabatan dan persyaratan-persyaratan lainnya yang harus dipenuhi sebagai dasar seorang pegawai dilakukan rotasi/mutasi., Mutasi pegawai dilakukan terhadap beberapa pegawai BATAN dalam rangka memenuhi formasi J1 dan J2

ISSN 1978-0176

berdasarkan syarat jabatan yang ditentukan. Mutasi pegawai atau alih tugas pegawai di dalam instansi dari satu unit kerja ke unit kerja lainnya telah dilakukan dengan "uji kompetensi".

C.7. Pengukuran kinerja individu

Dengan dilaksanakan penilaian kinerja melalui Sasaran Kerja Pegawai, sudah selayaknya dilakukan pengukuran kinerja pegawai/individu agar target kinerja yang dibuat pada awal tahun dapat dicapai pada akhir tahun dan sesuai dengan tujuan organisasi, sehingga dari sisi pegawai target yang dibuat akan tercapai secara maksimal dan dari sisi organisasi capaian target tersebut juga merupakan tujuan dari organisasi melalui pelaksanaan tugas dan fungsinya. Seluruh pegawai sudah melaksanakan penyusunan SKP 100%

C.8. Penguatan jabatan fungsional

Sejalan dengan pola karier pegawai khususnya pegawai yang berkarier di jalur jabatan fungsional, perlu adanya pola rekrutmen pejabat fungsional dengan benar dimulai dari formasi jabatan yang lowong dan didasarkan adanya kebutuhan organisasi, adanya standar kompetensi jabatan fungsional, pelaksanaan assesmen bagi yang akan duduk dalam jabatan dimaksud, pelatihan fungsional, dan adanya reward and punishment yang dikaitkan dengan capaian kinerja yang bersangkutan. Penguatan jabatan fungsional dapat dilakukan dengan menyusun standar kompetensi jabatan fungsional. BATAN, sebagai Pembina Jabatan Fungsional Pranata Nuklir, telah menyusun standar kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir. Standar kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir dapat digunakan sebagai salah satu instrumen untuk penguatan jabatan pranata nuklir di BATAN.

Selain 8 (delapan) hal tersebut di atas, permasalahan SDM Aparatur berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan oleh Tim RB BATAN adalah manajemen SDM belum berbasis kompetensi sehingga belum menunjukkan kinerja maksimal, belum menunjukkan profesionalisme, dan belum berkontribusi dalam meningkatkan kinerja organisasi.

Oleh karena itu sejak tahun 2011, BATAN mulai membenahi diri dengan melakukan Reformasi Birokrasi. Ada beberapa kegiatan yang dilakukan BATAN sejak melakukan Reformasi Birokrasi, antara lain:

1. **Organisasi.**
   Tahun 2014, BATAN melalui Biro Sumber Daya Manusia (BSDM) yang kemudian berubah menjadi Biro Sumber Daya Manusia dan Organisasi (BSDMO) telah melakukan penyempurnaan organisasi agar tepat fungsi dan ukuran melalui penataan tugas dan fungsi unit kerja. Penataan struktur organisasi ini berdampak pada pengurangan jumlah eselon I, II, III, dan IV. Selain itu juga menempatkan para pejabat fungsional Madya dan Utama dibawah eselon II, menempatkan pejabat fungsional Muda dibawah eselon III, dan menempatkan pejabat fungsional Pertama dan Keterampilan dibawah eselon IV.

2. Perencanaan SDM
   Dalam rangka meningkatkan kualitas SDM yang profesional, kompeten, dan berkinerja tinggi maka BATAN melalui BSDMO melakukan penyempurnaan penataan SDM. BATAN melakukan promosi, rotasi, dan mutasi agar komposisi SDM BATAN menuju perbandingan S3:S2:S1 adalah 1:3:9 untuk memenuhi janji RB dengan jumlah optimum kurang lebih 2700 pegawai.

3. Analisis Jabatan
   Dalam rangka melaksanakan penataan dan penyempurnaan kelembagaan, ketatalaksanaan dan sumber daya manusia aparatur, BATAN melalui BSDMO selama kurang lebih 1.5 tahun melalukan analisis beban kerja (ABK). Hasil ABK didapatkan nama-nama jabatan dan jumlah formasi pegawai.
   Selain melaksanakan ABK, BSDMO juga secara paralel melaksanakan analisis jabatan untuk mendapatkan Informasi Jabatan (IJ).
   Dalam menyusun IJ ini juga BSDMO mulai mengevaluasi persyaratan jabatan

4. Rekruitmen pegawai
   BATAN dalam melaksanakan seleksi pengadaan pegawai berbasis kompetensi di mana pelamar mengajukan lamaran pada jabatan, dan tidak lagi melamar sebagai staf.

ISSN 1978-0176

Proses seleksi secara objektif dengan melalui Seleksi Administarsi, Tes Kompetensi Dasar dan Tes Kompetensi Bidang. Tes Kompetensi Bidang selain TOEFL, dan wawancara, juga dilakukan Psikotes untuk menggali Soft Kompetensi calon pelamar. Wawancara yang dilakukan oleh Tim BATAN meliputi wawancara Hard kompetensi dengan melibatkan Unit Kerja Pengguna dan Soft Kompetensi.

5. Pegawai Tugas Belajar
   Untuk meningkatkan pengetahuan para pegawainya, BATAN setiap tahun melakukan seleksi pegawai tugas belajar. Untuk mendapatkan pegawai yang memang benar-benar ingin meningkatkan pendidikan dan didasarkan pada formasi J1 dan J2, serta yang sesuai dengan persyaratan jabatan. Proses seleksi dengan menggunakan seleksi Administrasi, TOEFL, dan ujian Substansi. BSDMO berperan dalam memeriksa dan menganalisis Formulir Rekomendasi Tugas Belajar sehingga apabila Form Rekomendasi Tugas Belajar tidak disarankan karena arah pendidikan tidak sesuai dengan kebutuhan kompetensi maka pegawai tidak dapat disetujui untuk tugas belajar.
6. Penyesuaian ijasah
   Setiap pegawai yang memiliki pendidikan setingkat lebih tinggi dan ingin menyesuaikan pendidikannya maka pegawai tersebut harus mengikuti ujian penyesuaian ijasah. Tujuannya adalah agar BATAN benar-benar mendapatkan pegawai yang kompeten dan sesuai dengan persyaratan jabatan yang diinginkan BATAN.
7. Assessmen individu berbasis kompetensi
   Dalam rangka mendapatkan pegawai yang berkompeten maka BATAN berusaha penempatan pegawai sesuai dengan kualifikasi dan persyaratan jabatan dengan melakukan assessmen. Sesungguhnya assessmen sudah dimulai sejak tahun 2006, jauh sebelum dicetuskan reformasi birokrasi yaitu dengan melakukan assessmen untuk identifikasi jabatan eselon IV. Kemudian tahun 2011 dimulai assessmen untuk pejabat fungsional Pranata Nuklir dan dilanjutkan dengan assessmen kepada pejabat fungsional Perekayasa.
   Tahun berikutnya berlanjut dengan assessmen terhadap calon pejabat eselon IV, III, dan II sampai saat ini.
8. Sasaran Kerja Pegawai (SKP)
   BATAN mulai memberlakukan penilaian kinerja dengan model baru yaitu setiap pegawai wajib menyusun SKP setiap awal tahun. Dengan menerapkan sistem penilaian kinerja pegawai maka setiap pegawai dituntut untuk membuat target kinerja. Penilaian prestasi kerja PNS terdiri atas unsur SKP dan Perilaku Kerja
9. Pengajuan Angka Kredit (PAK) dan SK Mutasi jabatan fungsional berbasis SIM SDM sehingga mempermudah pegawai BSDMO sebagai pemroses maupun pejabat fungsional itu sendiri, dan dengan demikian proses kenaikan pangkat dan jabatan lebih cepat dan tepat waktu. Meski belum semua jabatan fungsional berbasis kompetensi.
10. Tunjangan Kinerja
    BATAN telah menerapkan tunjangan berbasis kinerja sesuai dengan kelas jabatan pegawai. Kelas Jabatan diperoleh melalui penilaian setiap jabatan berdasarkan metode Informasi Faktor jabatan (IFJ).
11. Nuclear Knowledge Management (NKM)
    Untuk mencegah dan mengurangi terjadinya kehilangan pengetahuan terkait pengetahuan nuklir maka BATAN mulai melakukan manajemen pengetahuan iptek nuklir (NKM) yang salah kegiatannya adalah sharing knowledge
12. SIM SDM dan Penyempurnaan sistem informasi pegawai berbasis Web
    BATAN mengembangkan sistem informasi manajemen SDM untuk mempermudah akses, meningkatkan pelayanan, menjamin kebenaran dan keakuratan data, serta mengikuti tuntutan perkembangan dunia global. Disamping itu BATAN juga menyempurnakan informasi berbasis Web, antara lain Sistem Informasi Tata Persuratan (SITP), Sistem Informasi Kinerja Pegawai (SIKAP), Sistem Informasi Pelatihan (SILAT), Sistem Informasi Pengelolaan Litbangyasa (SIPL2) dan sebagainya yang semuanya bertujuan untuk mempermudah akses sesuai kepentingan masing-masing.
13. Penyusunan SOP
    BATAN menyederhanakan sistem proses dan prosedur kerja untuk mempermudah pegawai melaksanakan kegiatan

ISSN 1978-0176

14. Reward dan punishment
    Penerapan reward dan punishment tidak hanya pada disiplin pegawai saja namun nantinya diutamakan juga dalam capaian kinerja yang diperoleh berdasarkan penilaian kinerja, sehingga besaran tunjangan kinerja didasarkan pada kinerja yang dicapai berdasarkan target selama satu tahun.
15. Uji Kompetensi
    Mulai tahun ini BATAN mulai memberlakukan Uji kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir bagi para pejabat yang akan naik jabatan atau jenjang yang lebih tinggi. Diharapkan dengan pelaksanaan uji kompetensi ini maka formasi jabatan yang lowong hanya dapat diisi oleh pejabat yang benar-benar sesuai dengan kompetensinya, sehingga capaian kinerja organisasi diharapkan dapat terpenuhi.
16. Manajemen perubahan
    BATAN berusaha melakukan manajemen perubahan, hampir disetiap Unit Kerja BATAN digerakkan untuk bekerja sesuai SOP, sementara SOP yang belum ada harus segera disusun. Budaya keselamatan kerja diaktifkan, dan bersamaan dengan budaya keamanan nuklir disosialisasikan secara terus menerus.

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Untuk meningkatkan SDM yang profesional, saat ini BATAN telah menyelenggarakan pendidikan formal maupun informal berupa diklat, pelatihan teknis, pelatihan fungsional, dan lebih menggalakkan pelatihan soft kompetensi. BATAN juga telah menyusun Standar kompetensi jabatan fungsional Pranata Nuklir, dan mengkaji kompetensi jabatan baik Struktural maupun Fungsional. Hasil kajian ini ditindaklanjuti dengan pelaksanaan assessmen dengan maksud untuk mengetahui kesenjangan kompetensi pegawai dengan profil jabatan. Disamping itu pegawai yang akan melanjutkan pendidikan ke jenjang lebih tinggi dianalisis agar sesuai dengan persyaratan jabatan, demikian pula yang akan mengikuti diklat fungsional.

Selain itu BATAN telah melakukan perekrutan CPNS dengan seleksi menggunakan metode Computer Assisted Test (CAT) sehingga disamping mempermudah pelaksanaannya maka keakuratan hasil lebih terjamin.

Ada beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu:

1. Analisis terhadap kebutuhan diklat belum dilakukan secara komprehensif sehingga diklat belum sepenuhnya mengenai sasaran. Menjadi tugas BSDMO untuk melakukan assessmen terkait kesenjangan antara kompetensi jabatan dengan kompetensi yang dimiliki pegawai. Selain diklat teknis maka BATAN perlu meningkatkan diklat soft kompetensi, sehingga hard kompetensi dan soft kompetensi bagi pegawai berjalan seimbang. Pendidikan dan pelatihan untuk para pegawai Non Teknis (snon eksak) juga perlu diadakan agar pegawai non teknis yang berfungsi sebagai pendukung tugas pokok dapat duduk sejajar dengan para pegawai teknis.
2. Adanya gap/kesenjangan antara pegawai senior dan yunior baik dari sisi usia maupun ilmu pengetahuan/kompetensinya, dikarenakan adanya kebijakan *Zero growth* dan moratorium PNS beberapa tahun yang lalu bahkan berlanjut sampai saat ini.
3. Kurangnya komunikasi antara pejabat struktural dan fungsional, dan antara senior dan yunior.
4. Beberapa jabatan belum memiliki standar kompetensi sehingga belum semua pegawai dapat dilakukan assessmen untuk mengetahui kompetensi yang dimiliki setiap pegawai, sehingga berakibat kesulitan dalam menemukan gap antara kompetensi jabatan dengan kompetensi individu.

B. SARAN

Saran yang dapat penulis berikan adalah

1. Agar program diklat dan pelatihan mengena ke sasaran maka sebaiknya

ISSN 1978-0176

semua pegawai BATAN yang akan mengikuti diklat atau pelatihan perlu diseleksi melalui Biro Sumber Daya Manusia dan Organisasi (BSDMO). Tugas BSDMO untuk melakukan assessmen terkait kesenjangan antara kompetensi jabatan dengan kompetensi yang dimiliki pegawai;

2. Selain diklat teknis maka BATAN perlu meningkatkan diklat soft kompetensi. Pendidikan dan pelatihan untuk pegawai Non Teknis (non eksak) juga perlu diadakan agar pegawai non teknis yang berfungsi sebagai pendukung dapat duduk sejajar dengan para pegawai teknis dan secara optimal dapat mendukung kinerja BATAN;
3. Perlu *transfer knowledge* secara terus menerus untuk menjembatani adanya kebijakan *Zero growth* dan moratorium PNS yang menyebabkan jarak/gap yang cukup jauh antara pegawai senior dan yunior baik dari sisi usia maupun ilmu pengetahuan/kompetensinya, *Transfer knowledge dan skill* melalui program NKM perlu lebih digiatkan di unit kerja BATAN
4. Perlu dibangun komunikasi yang lebih efektif antara pejabat Struktural dan fungsional, antara senior dan yunior, antara lain dengan sering diadakannya pertemuan, pertukaran ilmu, ataupun pelibatan kegiatan pegawai yunior dalam teamwork;
5. Perlu disusun dan dilengkapi seluruh kompetensi jabatan, baik struktural, fungsional, maupun fungsional umum;
6. Perlu melakukan assessmen terhadap seluruh pegawai. Agar setiap PNS dapat ditempatkan sesuai dengan kompetensi yang dimiliki;
7. Perlu dibuatkan proses pemeriksaan Pengajuan Angka Kredit (PAK) dan SK Mutasi terhadap semua jabatan fungsional yang berbasis aplikasi (Sistem Informasi Manajemen) sehingga mempermudah pegawai BSDMO sebagai pemroses maupun pejabat fungsional itu sendiri, dan dengan demikian proses kenaikan pangkat dan jabatan lebih cepat dan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mila Badriyah, Manajemen Sumber Daya Manusia,. CV. Pustaka Setia, Bandung. 2015
2. Hadari Nawawi, Evaluasi dan Manajemen Kinerja di Lingkungan Perusahaan dan Industri. Gadjah Mada University Press.Yogyakarta.2006
3. Sedarmayanti, Manajemen Sumber Daya Manusia. Refika Aditama. 2007
4. Veithzal Rivai, Manajemen Sumber Daya Manusia untuk Perusahaan. Dari Teori ke Praktik. PT Rajagrafindo Persada. Jakarta. 2005
5. Andrean Perdana, Pengertian Profesi, Profesional, Profesionalisme, Profesionalitas,Profesionalisasi,http://www.andreanperdana.com/2013/03/pengertian-profesi-profesional.html
6. Fahmi I Fuad, (17 Oktober 2008), Ciri-ciri Manajemen Sumer Daya Manusia Profesional,. https://alhidayahku.wordpress.com/2008/10/17/ciri-ciri-manajemen-sumer-daya-manusia-profesional/.2008
7. M. Sobry Sutikno, Mewujudkan SDM yang unggul, (19 Juli 2016) http://www.sobrycenter.com/sobry/article.php?catid=artikel&subid=10&docid=9, . 2016
8. Sora N., (Mei 2015). Pengertian Profesional Dan Ciri-Cirinya Lengkap, http://www.pengertianku.net/2015/05/pengertian-profesional-dan-ciri-cirinya-lengkap.html
9. Aparatur Sipil Negara, Undang-undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.
10. Peraturan Kepala BKN Nomor 12 Tahun 2008, Pedoman Penyelenggaraan Assessment Center Pegawai Negeri Sipil. 2008
11. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Dokumen Usulan Reformasi Birokrasi 2010-2014. 2011

ISSN 1978-0176

12. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 5 Tahun 2015 tentang Rencana Strategis BATAN Tahun 2015-2019. 2015.
13. Badan Kepegawaian Negara (BKN). Pengantar Pengembangan Kompetensi, Direktorat Standardisasi dan kompetensi Jabatan BKN. 2013
14. Noname. (9 Mei 2012). Kompetensi, sebuah dasar SDM yang unggul, https://inspiringrahmat.wordpress.com/2012/05/09/kompetensi-sebuah-dasar-sdm-yang-unggul/
15. Noname,Membangun SDM yang unggul, http://trainerlaris.com/profiles/blogs/membangun-sdm-yang-unggul
16. Noname, Urgensi Penerapan Standar Kompetensi jabatan fungsional Arsiparis, Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi, Jakarta**.** 2013.

ISSN 1978-0176

POSISI ALUMNI STTN DALAM MENYONGSONG KEHADIRAN PLTN DI ERA PRESIDEN JOKOWI

Supriyono
Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta.
Email : masprie_sttn@yahoo.com

ABSTRAK

Posisi *alumni STTN dalam menyongsong kehadiran PLTN di Era Presiden Jokowi.* Telah dilakukan kajian tentang dimana posisi alumni STTN saat dan bagaimana menyiapkan mereka dalam menyongsong era PLTN di era Presiden Jokowi. Tujuan dilakukan kajian ini adalah untuk memberi penguatan informasi dalam menyiapkan SDM PLTN di Indonesia khususnya sumber SDM yang berasal dari alumni STTN. Dalam melakukan kajian ini metode yang digumakan pertama-tama adalah mencari sumber-sumber pustaka baik dari media sosial, karya tulis ilmiah serta komunikasi pribadi dengan pihak yang terkait. Dari sumber informasi tersebut di analisis kaitan antar informasi dan selanjutnya dirangkum menjadi kesimpulan. Hasil kajian menunjukkan bahwa posisi alumni STTN saat ini sangat menyebar bidang kerjanya dan sangat sedikit yang bekerjanya bersinggungan dengan PLTN. Untuk meningkatkan jumlah SDM yang siap bekerja di PLTN perlu dari sekarang ada lembaga yg mengurusi mereka, baik lembaga itu berasal dari instansi pemerintah/BUMN maupun swasta. Kesimpulan berikutnya adalah STTN sebagai lembaga yng meluluskan alumni wajib untuk selalu melakukan tracer study dan pemantauan secara kontinyu pada alumninya.

KATA KUNCI : Posisi Alumni STTN, Pengelola SDM PLTN, *tracer study*, industri nasional, era Jokowi.

ABSTRACT

POSITION alumni of STTN hearts to welcome the presence of the NPP in the Era of President Jokowi. Studies have been done where POSITION ON alumni of STTN When And how to prepare their hearts to welcome the era of nuclear power plants in the era of President Jokowi. The purpose of study is to review Singer Gives information Strengthening human hearts set up nuclear power plants in Indonesia, especially the alumni Source HR Stemming From STTN. In conducting the study Singers Methods digumakan First is for source-source library Good From social media, papers Scientific And Personal communication Yang Subscription WITH parties. Sources of the information in the analysis of linkages between information and then summarized Being CONCLUSION. Study results showed that the alumni POSITION STTN When singer Very spread his field and Very Little Yang workings intersect WITH NPP. To improve Term review of human resources Its Ready WORK on NPP Need Of Now THERE Institutions that take care of them, both derived from ITU Institute of Government Agencies / State Enterprises and Private. CONCLUSION Next is STTN as the Institute of alumni graduated yng required to review Always conduct a tracer study and Monitoring Operates continuously ON alumni.

*Keywords: Alumni STTN position, business HR NPP, tracer studies, national industry, Jokowi era***I.**

PENDAHULUAN

Menurut Kepala BATAN (29 Juni 2016) mengatakan bahwa hasil sidang paripurna ke 3 Dewan Energi Nasional (DEN) tanggal 22 Juni 2016 yang dipimpin oleh Bp. Presiden RI, khusus terkait nuklir Presiden menekankan supaya opsi pengembangan nuklir dibuatkan peta jalan (roadmap). Opsi “nuklir sebagai pilihan terakhir” dalam Kebijakan Energi Nasional, diterjemahkan dalam RUEN mencakup langkah-langkah sebagai berikut :

a. Membangun reaktor daya riset dan laboratorium reaktor sebagai tempat untuk ahli nuklir berekspresi, berinteraksi, dan berkarya, serta memberikan dukungan untuk dilaksanakannya riset-riset terkait nuklir supaya apa yang sudah dikuasai tidak hilang dan dapat dipertahankan.
b. Mendorong kerja sama internasional agar selalu termutakhirkan dengan kemajuan teknologi.

Hal yang sama telah disampaikan pula oeh Menteri ESDM (28 Juni 2016) yang intinya

ISSN 1978-0176

adalah pemerintah mulai menjajagi nuklir sebagai energi alternatif. Program PLTN ini juga diperkuat oleh anggota Komisi Energi DPR RI Dr. Kurtubi (2 Juli 2016) mengatakan bahwa ekonomi Indonesia hampir tidak pernah tumbuh di atas 7%. Dalam sejarah republik ini hanya sekali Indonesia mengalami pertumbuhan di atas 7 %, yaitu di jaman presiden Suharto. Selebihnya maksimal 6 %., maka kita akan semakin tertinggal jika kita tidak merubah kebijakan energi nasional kita yang mentabukan dan mengharamkan PLTN. Kita harus membuka peluang PLTN untuk bisa dibangun di Negeri besar ini.

Pada tataran pimpinan di tingkat menteri dan DPR ke atas nampaknya serius untuk menyamakan persepsi perlunya segera dibangun PLTN di Indonesia, tetapi pada tataran tingkat pelaksana kadang-kadang masih muncul pro kontra pembanguna PLTN seperti yang disampaiakan oleh Kepala BATAN (25 Juli 2016) pada saat Kepala BATAN mengikuti pertemuan tentang ketahanan energi, menurut Kepala BATAN bahwa pada pertemuan tersebut muncul pro dan kontra nuklir, bukan melihat pada seberapa kekuatan sumber daya yg kita punya dg mempertimbangkan pertumbuhan ekonomi dan penduduk. Dalam pertemuan tersebut terkesan hanya memuaskan ego saja.

Informasi di atas menunjukkan bahwa pembicaraan tentang opsi PLTN mulai muncul lagi dipermukaan, lepas dengan kondisi bangsa yang beragam dengan pro dan kontranya. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) – BATAN Yogyakarta sebagai perguruan tinggi di bawah BATAN yang berdiri pada tahun 1985 dengan program Diploma III, dan pada tahun 2001 telah ditingkatkan menjadi program Diploma IV dengan Jurusan Teknofisika Nuklir dengan Program studi Elektronika Instrumentasi dan Program Studi Elektromekanik dan Jurusan Teknokimia Nuklir, menghasilkan Sarjana Sains Terapan dalam bidang teknologi nuklir. Sebagai perguruan tinggi dalam bidang iptek nuklir satu satunya di Indonesia wajib hukumnya untuk mendukung dan berperan dalam program PLTN dan selalu harus *up date* dengan informasi-informasi terkini tentang PLTN.

Dari latar belakang di atas muncul beberapa permasalahan, yaitu :

a. Dimana posisi alumni STTN saat ini agar bila sewaktu-waktu dibutuhkan untuk program PLTN selalu siap?
b. Siapa yang menyiapkan SDM PLTN dan berapa kebutuhannya?
c. Bagaimana peran STTN sebagai lembaga pendidikan yang mendidiknya.

Untuk menjawab ke 3 permasalah tersebut di atas maka perlu dilakukan suatu kajian tentang posisi alumni STTN saat ini apakah siap bila sewaktu-waktu dibutuhkan untuk program PLTN serta siapa yang bertanggung jawab untuk menyiapkan SDM PLTN beserta perhitungan jumlah kebutuhannya. Apa peran STTN untuk mensikapi fenomena di atas. Dengan kajian ini dapat menjadi gambaran *stake holder* untuk penyiapan SDM yang lebih baik dan lebih siap.

Alumni sebagai produk STTN telah disiapkan secara maksimal baik dari sisi kurikulum, fasilitas laboratorium, profesionalitas pengajar, kemampuan bahasa Inggris dan bekal softskill yang memadai. Dengan kurikulum yang sesuai dengan aturan dikti sebagai sekolah vokasi ditunjang dengan laboratorium yang memadai dalam bidang iptek nuklir serta diasuh oleh dosen-dosen yang berpengalaman, berpendidikan S2/S3 dan sebagian dosen telah tersertifikasi ditambah dengan persyaratan lulusan STTN harus mempunyai TOEFL 450 dan dibekali dengan *softskill* serta SIB PPR, maka diharapkan lulusan STTN dapat secara mandiri bekerja dalam bidang iptek nuklir baik untuk energi maupun non energi.

Dari *tracer study* yang telah dilakukan selama 5 tahun, terbukti bahwa lulusan STTN telah tersebar di seluruh Indonesia sebagai profesional bidang iptek nuklir. Ada yang bekerja di kantor untuk mengurus perijinan penggunaan zat radioaktif ada yang menangani langsung peralatan iptek nuklir ada pula yang menangani keselamatnnya sebagai HSE. Selain berkecimpung langsung dalam proses aplikasi iptek nuklir, ada juga yang menjadi distributor peralatan iptek nuklir serta ada yang berprofesi sebagai pengajar/peneliti bidang iptek nuklir. Tentunya ada juga alumni yang berkiprah di bidang industri non-nuklir sesuai dengan kompetensi program studi dan beberapa ada yang berwira usaha [4]

Dari informasi tersebut di atas nampak benar bahwa STTN secara konsisten tetap sebagai penyedia SDM iptek nuklir di Indonesia dan sekaligus sebagai penyedia SDM bidang Elektronika Instrumentasi, Elektromekanik dan Teknokimia dalam mendukung industri nasional.

II .POSISI ALUMNI STTN SAAT INI

Hasil penelusuran alumni yang dilakukan oleh penulis dan dibantu oleh Tim

ISSN 1978-0176

Tracer Study STTN selama bertahun-tahun telah dihasilkan suatu gambaran posisi alumni STTN saat ini yang dituangkan dalam Renstra STTN 2015 – 2019, yaitu [4] :

1) **Aplikasi Iptek Nuklir Di Bidang Industri dan Usaha Jasa Inspeksi (NDT)**
PT. Graha Cemerlang Paper Utama (GPCU) Karawang, PT. Pura Barutama pabrik kertas di Kudus, PT. UT Quality Batam, PT Samudra Oceaneering Batam, PT. Bixindo Utama Batam, PT. Hitek Indo Mulia Batam, PT. Surveyor Indonesia Jakarta, Riau, dan PT. Sucofindo Palembang, PT. Radiant Utama Interinsco. Sejenis dengan PT. Radiant Utama Interinsco, perusahaan lainnya misalnya PT. Bonne Indo Teknik, PT. Shaib Sejati, PT. Spektra Megah Semesta. Alumni STTN juga berkiprah di dunia industri penerbangan, yaitu sebagai tenaga *maintenance* pesawat sinar-X di bandara, yaitu yang bekerja di PT. Scientek Komputindo Jakarta serta yang bekerja di industri perhotelan yang menggunakan iptek nuklir (Sinar-X di hotel), yaitu di Hotel Mandarin Jakarta dan Hotel Hyatt Jakarta. Selain itu, ada juga lulusan STTN yang bekerja pada perusahaan swasta satu-satunya yang memiliki iradiator yaitu PT. Rel Ion Bekasi.

2) **Bidang Pertambangan dan Exportir Emas**
Lulusan STTN yang telah bekerja di bidang pertambangan batubara antara lain PT. Pama Persada Nusantara (sebuah perusahaan pertambangan batubara di bawah konglomerasi Astra Group), PT Sapta Indra Sejati Kalimantan (salah satu anak perusahaan Adaro Group di Kalimantan), yang bekerja di pertambangan minyak, yaitu di PT. Dowell Anadrill Schlumberger dan di PT Hariburton. Tentunya tidak hanya di tambang batubara dan minyak, tetapi ada pula yang di tambang Emas, yaitu di PT. ANTAM (Persero) Tbk Bogor, dan di pertambangan nikel, yaitu di PT. Global Mining Service Sulawesi. Ada pula yang menjadi konsultan di PT. Global Handitech, sebagai Supervisi Pemeliharaan *Metering System* di Pertamina RU IV- Cilacap dan yang membanggakan bahwa alumni STTN saat ini bekerja sbg NDT Inspector Abu Dhabi Gas Industries Limited. Dalam perdagangan emas di UD I Love Emas Denpasar yang menggunakan XRF.

3) **Bidang Pembangkit Listrik Konvensional, Telekomunikasi dan IT**
Di bidang pembangkit listrik konvensional, alumni STTN juga telah berkiprah didalamnya. Misalnya ada yang menjadi profesional di KPJB PLTU Tanjung Jati B Unit III-IV dan PT TS3 PLTU Tanjung Jati B, ada pula yang berkarier di PLN Jakarta dan di Indonesia Power Jawa Tengah. Kiprah alumni STTN tidak saja dibidang pembangkit listrik, tetapi ada yang berkarier dibidang telekomunikasi, yaitu PT. Telkom Sigma dan di PT. Multipolar sebuah perusahaan telekomunikasi dan IT di bawah Lippo Group. Yang paling membanggakan yaitu adanya alumni STTN yang bekerja di Scada PLC Automation Engineers, dimana penugasannya di Wina Austria.

4) **Bidang Industri Jasa Perdagangan Alat-Alat Iptek Nuklir.**
Lulusan STTN yang bekerja di bidang jasa perdagangan juga tidak kalah penting, sehingga alumni STTN tersebut ada yang berkiprah di jasa perdagangan, baik berprofesi sebagai tenaga penjual maupun sebagai teknisi pemasangan dan perawatan peralatan iptek nuklir. Misalnya yang berkarier di PT. Pacifik Aman Garda, PT. Wisu Varia Analitika, PT. Indotech Scientific. Yang paling membanggakan adalah adanya lulusan STTN yang saat ini telah menjadi owner perusahaan distributor peralatan iptek nuklir yang berasal dari negara-negara : Ukraina, Amerika, Jerman, Italia, Slovakia, Australia, dan sebagainya, yaitu PT. Gamma Mitra Lestari.

5) **Bidang Industri Otomotif dan Alat Berat**
Lulusan STTN yang bekerja di industri otomotif dan alat-alat berat, misalnya di PT. Mitsubishi Krama Yudha Motor and Manufacturing (penghasil spare part mobil milik Tiga Berlian Group yang lokasinya di Jakarta), PT. Akebono Brake Astra Indonesia (penghasil spare part mobil milik Astra Group yang lokasinya di Jakarta), PT. Honda Prospect Motor (asembly mobil milik Honda yang lokasinya di Cikarang), PT Astra Daihatsu Motor (*asembly* mobil milik Astra Group di Sunter Jakarta), di PT. Denso Corp (anak perusahaan Astra Group

ISSN 1978-0176

yang memproduksi *spare part* mobil, seperti AC, karburator, busi, dsb yang lokasinya di Cibitung Bekasi), serta di PT. Astra Indonesia dan PT. Toyota Nasmoco Jawa Tengah. Di bidang alat berat di PT. United Tractor (anak perusahaan Astra Group) serta di PT. Kobexindo Tractors Tbk. Ada juga yang bekerja di Suzuki Grup, yaitu di PT. Indonesia Thai Summit Karawang.

6) **Bidang Industri Makanan dan Minuman serta Kosmetika**
Di industri makanan dan minuman, misalnya di : PT Indofood CBP Sukses Makmur (Kelompok Salim Group), PT Torbika Eka Semesta, PT Ultra Prima Plast (Kelompok Ultra Jaya Group), PT Sugiura (Orang Tua Group), PT Sariwangi AEA, PT. Triteguh Manunggal Sejati (Garudafood Group), PT. Kino Jakarta, UBPN Maluku Utara (industri pengolahan hasil laut), PT. Pandu Rasa Jakarta, dsb. Selain bekerja di industri makanan dan minuman ada juga yang bekerja di industri kosmetika, misalnya di PT. Procter and Gambler Operations Indonesia, PT. Ferron for Pharmaceutcal, PT. Nippon Shokubai Indonesia, dsb. Ada juga yang bekerja di PT. Sido Muncul Semarang dan di PT. SGM Yogyakarta.

7) **Bidang Industri Pakaian, Sepatu dan Keramik**
Selain itu ada juga yang bekerja di industri pakaian dan sepatu, yaitu di PT. Indorama Synthetic di Purwakarta (suatu perusahaan polyester terbesar di Indonesia), PT Adis Dimension Footwear (NIKE) Tangerang dan di industri keramik di PT. Satya Raya Keramindo Indah.

8) **Bidang Industri Elektronika dan Permesinan**
Di bidang industri elektronika dan permesinan pun alumni STTN banyak yang menjadi profesional di bidangnya, baik ada yang menekuni bidang R&D, ada pula yang di bagian produksi, misalnya : di PT. Polytron Kudus, PT. Panasonic Electronic Devices di Batam, PT. Yamaha Music Manufacturring Asia di Jakarta, PT. Yokogawa Manufacturing di Batam. Selain di produk-produk elektronika, sebagian juga di industri baja dan produk mesin, seperti yang bekerja di PT. Meratus Jaya Iron & Steel di Batulicin Kalsel (suatu perusahaan industri baja anak perusahaan Krakatau steel) dan di PT KGEO Elektronik Cikarang.

9) **Bidang Perbankan, Jasa Keuangan dan Asuransi**
Di bidang industri perbankan dan keuangan ada lulusan STTN yang bekerja disana, misalnya di Bank BCA Jakarta, Bank BCA Bengkulu, Bank NOBU Solo, Bank Danamon Serpong, Bank BRI Kebumen, Bank BRI Gunung Kidul, Bank Mandiri Yogyakarta, Bank BJB Banten, Bank Muamalat Surakarta, Bank BPD Sleman, Bank BNI Medan, Bank BTN Jakarta dan lembaga pembiayaan WOM Finance, Kredit Pembiayaan ADIRA Finance Jakarta, yang lebih istimewa ada yang menjadi analis/pialang saham di Bursa Effek Jakarta (BEJ). Sedangkan untuk jasa asuransi ada Allianz Life Jakarta.

10) **Instansi Pemerintah/ABRI/BUMN/PEMDA**
Di pemerintahan sudah banyak yang di BATAN baik di Jakarta, Bandung maupun di Yogyakarta. Selanjutnya juga banyak yang di BAPETEN Jakarta. Ada yang jadi tentara yaitu Lettu chb Ilham Wahyu Nugroho, SST sebagai Komandan Kompi Perhubungan Kesatuan Brigade Infanteri 15 Kujang II Jabar. Ada juga yang menjadi PNS di Kementerian Lingkungan Hidup Jakarta, Kementerian BUMN, LEMHANAS dan BUMN, yaitu di PT PERTAMINA, PT Angkasa Pura Jakarta dan di Bea Cukai Tanjung Priok. Di Pemda atau perusahaan daerah antara lain di PDAM Tirtarandi Musi Banyu asin Sumsel.

11) **Pengajar**
Lulusan STTN yang saat ini menjadi seorang pendidik, baik sebagai dosen antara lain di STTN, di Universitas Muhammadiyah Jakarta, Universitas Andalas Padang, Politeknik Manufaktur Ceper, Poiteknik Aceh, Politeknik Makasar atau ada yang menjadi Guru SMA di Kalimantan dan Guru SMP di SMP IT Insan Cendikia Serpong bahkan ada yang berprofesi sebagai guru Bimbel di Bimbel Citra Putra Nusa Serpong.

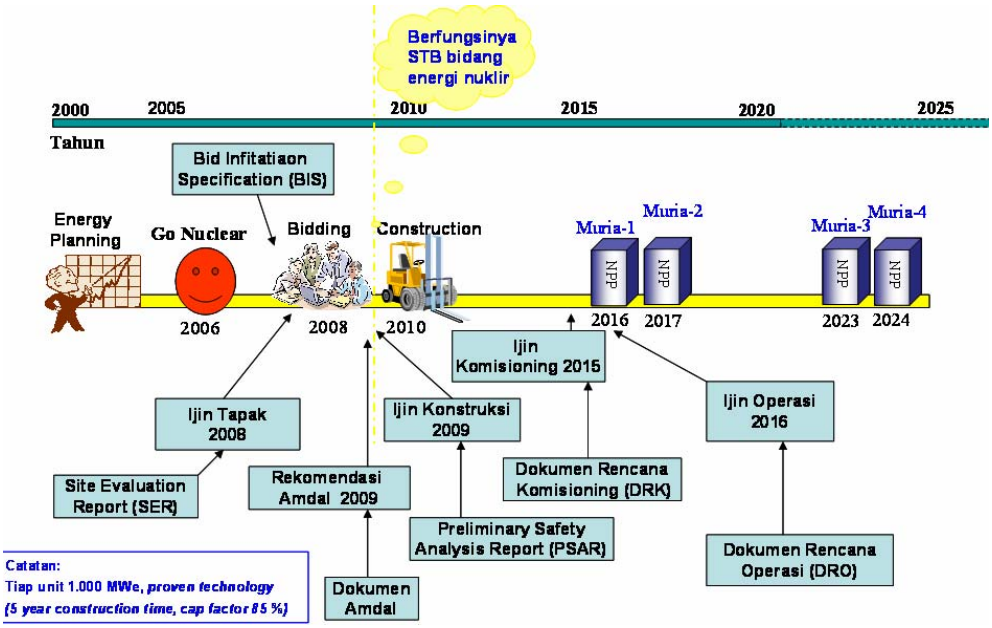
12) **Studi Lanjut**
Lulusan STTN ternyata bisa juga kalau mau studi lanjut, terbukti saat ini beberapa lulusan STTN sudah dan sedang

ISSN 1978-0176

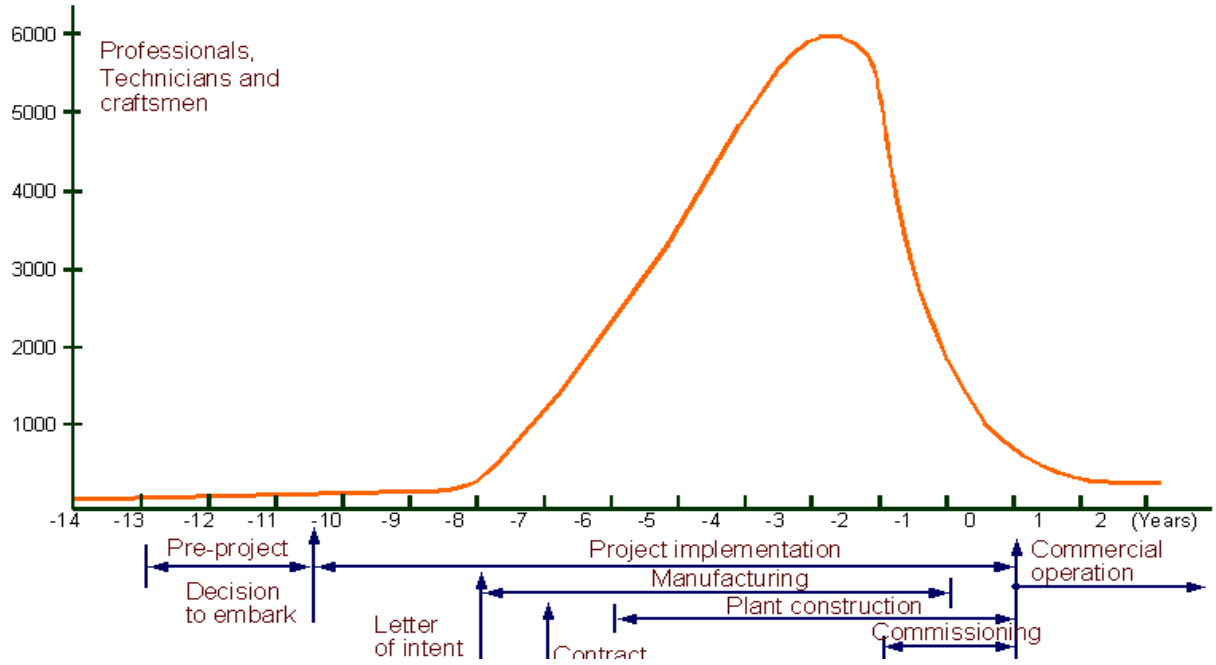
menyelesaikan S3 baik di dalam negeri atau di luar negeri, yaitu di Jurusan Teknik Nuklir Universitas Waseda, Jepang, Jurusan Teknik Elektro UGM, Jurusan Teknik Kimia UGM, Jurusan Fisika Nuklir ITB, Department of Engineering and System Science, College Nuclear Science National Tsing Hua Univ , No. 101, Section 2, Kuang Fu road Hsinchu, Taiwan 30013 ROC, Univ Selangor Malaysia, Univ. Chulalangkorn, Thailand, Jurusan Kimia ITS, Jurusan Fisika UI.

III. PENANGGUNG JAWAB PENYEDIA SDM PLTN DI INDONESIA

Dengan bekal informasi tentang Rencana pembangunan PLTN di Semenanjung Muria dapat dilihat pada Gambar 1 (Subki, 2006), maka diskusi tentang PLTN di Indonesia dimulai.



Gambar 1. Rencana Pembangunan PLTN di Semenanjung Muria



Gambar 2. Kebutuhan SDM untuk PLTN

ISSN 1978-0176

Menurut TRS 200 (IAEA, 1980), kebutuhan SDM untuk PLTN dapat dikelompokkan menjadi *Professional, Technicians, and Craftmans*, dari pre-proyek sampai operasional dapat digambarkan dengan Gambar 1.
Kebutuhan SDM yang terdistribusi seperti pada gambar 3 di atas, secara rinci dapat diuraikan seperti yang disampaikan oleh [Wardhana, W.A.,2006] dan [Soentono, 2005] yang menyatakan bahwa untuk membangun sebuah PLTN, diperkirakan diperlukan tenaga kerja langsung sebagai berikut (lihat Tabel 1) :

Tabel 1. : Perkiraan Tenaga Kerja untuk pembangunan PLTN

Jenis Kegiatan	Profesional	Teknisi	Tukang Ahli	Jumlah
Pre Project	24 – 38	1 – 2	-	25 – 40
Project Management				
- Utility	48 – 63	8 – 11	-	56 – 74
- Main Contractor	27 – 36	3 – 4	-	30 – 40
Project Engineering	180 - 240	130 - 190	-	310 - 430
Procurement	17 - 28	8 -12	-	25 - 40
AQ / QC Activity	30 - 50	50 - 70	-	80 – 120
Plant Construction	70 – 100	280 - 400	2000 – 2700	2350 - 3200
Commisioning	38 - 50	40 - 60	80 - 120	158 - 230
O & M	40 - 55	110 - 180	20 - 35	170 270
Licensing & Regulating	45 - 65	-	-	

Sumber : [Soentono, 2005]

Dengan perkiraan kebutuhan seperti pada Table 1. di atas, maka dapat lebih dirinci nama jabatan sesuai dengan jenis kegiatan beserta persyaratan dan kualifikasi SDM yang diperlukan. Secara garis besar untuk semua jenis kegiatan dapat diperkirakan bahwa kebutuhan SDM professional adalah 529 – 725 SDM orang, teknisi 630 – 981 orang, dan tukang ahli 2100 – 2855 orang (belum termasuk buruh harian). Dengan adanya kajian ini, diharapkan dapat dihasilkan nama jabatan untuk masing-masing jenis kegiatan, baik untuk tingkat professional, teknisi, maupun tukang ahli beserta persyaratan dan kualifikasinya.

IV. PERAN STTN DALAM MENYONGSONG ERA PLTN

Menurut [4] bahwa berdirinya Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir dilatarbelakangi atas adanya suatu gagasan diperlukannya program diploma bagi para teknisi. Pada awal tahun 1983, gagasan ini dikembangkan dengan membentuk Satuan Tugas (Satgas) Persiapan Pendidikan Ahli Teknik Nuklir berdasar Surat Keputusan Direktur Jenderal (Dirjen) BATAN Nomor 08/DJ/07/I/1983. Mengingat proses untuk melaksanakan tugas tersebut memerlukan waktu, tugas Satgas diperpanjang dengan Surat Keputusan Dirjen BATAN Nomor 81/DJ/V/1984, diikuti kemudian dengan pembentukan Satuan Tugas Pengelola Pendidikan Ahli Teknik Nuklir dengan Surat Keputusan Dirjen BATAN Nomor 53/DJ/IV/1985. Baru pada tanggal 3 Agustus 1985 kegiatan Pendidikan Ahli Teknik Nuklir dengan singkatan PATN di Yogyakarta, dibuka dengan resmi oleh Direktur Jendral BATAN, Bapak Ir. Djali Ahimsa. Ijin operasional dari Dirjen Pendidikan Tinggi (Dikti) diperoleh sesuai dengan Surat Keputusan Dirjen Dikti Nomor 1640/D/O/86 tanggal 15 September 1986, PATN menyelenggarakan program DIII.

Peningkatan PATN menjadi Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) menyelenggarakan program Diploma IV, ditujukan dalam rangka mencukupi kebutuhan SDM terdidik yang terampil dengan kemampuan teknis dan akademis yang lebih baik dan memenuhi tuntutan *stakeholders*. Pada bulan Agustus 1999 diadakan pertemuan antara

ISSN 1978-0176

BATAN dengan Departemen Pendidikan Nasional (Depdiknas) yang membahas rencana pendirian STTN. Selanjutnya, pada tanggal 31 Agustus 1999, BATAN mengajukan permohonan pendirian STTN-BATAN ke Depdiknas. STTN-BATAN dinyatakan layak didirikan dengan persetujuan Depdiknas tanggal 15 Maret 2001.

Persetujuan pembukaan Jurusan dan Program Studi (prodi) di STTN-BATAN Yogyakarta dilakukan oleh Direktur Jenderal Perguruan Tinggi Nomor 1037/D/T/2001 pada tanggal 20 Maret 2001 dengan 2 Jurusan dan 3 Program Studi (prodi), yaitu Jurusan Teknokimia Nuklir dengan 1 Prodi Teknokimia Nuklir, dan Jurusan Teknofisika Nuklir dengan 2 Prodi, yaitu Prodi Elektronika Instrumentasi dan Prodi Elektromekanik.

Setelah dilakukan pembahasan antara BATAN dengan Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara (MENPAN), akhirnya pada tanggal 8 Juni 2001 diterbitkan Keputusan Presiden) (KEPPRES) nomor 71 tahun 2001 tentang Pendirian Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Keputusan ini ditindaklanjuti dengan Keputusan Kepala BATAN Nomor 360/KA/VII/2001 tentang Organisasi dan Tata Kerja STTN, dan Keputusan Kepala BATAN Nomor 542/KA/XI/2002 tentang Statuta Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir.

Peningkatan mutu STTN dilakukan secara berkelanjutan dimulai tahun 2006 dengan menerapkan sistem mutu berdasar standar Depdikbud dan standar BATAN, STTN telah mendapat sertifikasi sistem manajemen mutu SB 001-SNI-9001:2012 tentang Peyelenggaraan pendidikan program diploma IV bidang nuklir dan mengajukan akreditasi ke Badan Akreditasi Nasional (BAN)-PT, pada tangal 9 November 2007 tiga program studi (Program Diploma IV: Teknokimia Nuklir, Elektonika Instrumentasi, dan Elektromekanika) yang diselenggarakan oleh STTN telah memperoleh Sertifikat Akreditasi BAN-PT masing-masing dengan peringkat B yang berlaku selama 5 tahun. Pada tahun 2012 telah melakukan re-akreditasi dengan hasil ketiga program studi dapat mempertahankan nilai peringkat B untuk 5 tahun kedepan (berdasarkan SK BAN PT Nomor 14/BAN-PT/Ak-IX/Dpl-IV/XII/2012 untuk prodi Elektronika dan Instrumentasi, dan prodi Elektromekanik, dan Nomor : 043/SK/BAN-PT/Ak-IX/Dpl-IV/II/2013 untuk prodi Teknokimia Nuklir) . Direncanakan pada tahun 2017 STTN diharapkan dapat mencapai peringkat A dari BAN-PT. Pada tahun 2008, STTN ditunjuk oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai lembaga penyelenggara kursus Proteksi Radiasi dan pada tanggal 4 Desember 2009 memperoleh sertifikat penerapan Sistem Manajemen Mutu dengan standar SB-77-0001-80:2005/ SNI 19-9001/ SNI 19-9001-2001 dari Badan Tenaga Nuklir Nasional yang berlaku 3 tahun serta telah mendapatkan akreditasi laboratorium radiografi dari PSJMN-BATAN.

STTN adalah perguruan tinggi yang diselenggarakan oleh BATAN mengemban tugas untuk menghasilkan sumber daya manusia (SDM) profesional yang dapat mengantisipasi segala tantangan, hambatan, dan perubahan internal maupun eksternal di bidang iptek nuklir. STTN melaksanakan kegiatan Tri Dharma perguruan tinggi yaitu kegiatan pendidikan dan pengajaran, penelitian, serta pengabdian kepada masyarakat. Hasil utama/*output* kegiatan STTN adalah SDM profesional/Sarjana Sains Terapan bidang iptek nuklir yaitu lulusan Program Diploma IV Teknokimia Nuklir, Elektronika Instrumentasi, dan Elektromekanik. Hasil lain STTN adalah penelitian terapan bidang iptek terutama iptek nuklir dan menyebarluaskan hasil penelitian tersebut, sedangkan dalam bidang pengabdian kepada masyarakat, STTN melakukan sosialisasi ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir kepada masyarakat, serta meningkatkan keterkaitan program STTN dengan kebutuhan masyarakat.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan judul di atas, kajian ini setting waktunya tidak begitu panjang, yaitu hanya 3 tahun. Karena berakhirnya jabatan presiden Jokowi-JK adalah tahun 2019. Dari latar belakang di atas nampaknya pada era jokowi belum ada keputusan politik yang besar tentang PLTN. Keputusannya masih diminta untuk melakukan kajian, pembuatan roadmap dan berlatih dengan reaktor daya yang lebih kecil, yaitu lathan dengan RDE.

Situasi dengan time frame yang pendekpun tentunya alumni STTN tetap mempunyai peranan yang strategis dalam penyiapan PLTN di Indonesia, walaupun alumni STTN saat ini telah tersebar pada 12 bidang pekerjaan. Peranan yang paling mungkin dilakukan oleh alumni STTN adalah :

1. Senantiasa belajar iptek nuklir yang diajarkan di STTN agar bila sewaktu-waktu dibutuhkan mengisi SDM PLTN siap untuk

ISSN 1978-0176

training dan bekerja di PLTN, agar selalu kompetensi nuklirnya tetap terjaga selain perlu juga meningkatkan kapasitas diri untuk mendukung pekerjaan/profesi saat ini.
2. Senantiasa mengikuti perkembangan berita dan informasi tentang iptek nuklir khususnya PLTN baik melalui media cetak dan media lainnya agar tidak ketinggalan info terkini tentang PLTN di Indonesia, sehingga kecintaan terhadap PLTN masih tetap membara.
3. Siap bila sewaktu-waktu tenaganya dibutuhkan mengikuti diklat atau traning bidang iptek nuklir baik di dalam negeri atau luar negeri termasuk siap juga bila sewaktu-waktu ada penerimaan karyawan untuk mengisi SDM PLTN.
4. Senantiasa menjaga komunikasi dengan pihak STTN dengan memberikan alamat kontak yang benar dan mudah untuk dihubungi, agar bila sewaktu-waktu dibutuhkan siap berangkat. Hal ini ibarat prajurit yang selalu siap untuk maju di medan laga.

Tentunya kesiapan alumni STTN tidak banyak manfaatnya untuk waktu yang pendek ini bila tidak ada lembaga atau badan baik pemerintah, BUMN maupun swasta yang ditunjuk oleh pemerintah sebagai badan pelaksana atau badan otorita yang menyiapkan SDM PLTN, karena menurut data pada gambar 1 di atas untuk kesiapan SDM PLTN sebelum operasi adalah 5 tahun. Semoga dalam era presiden periode mendatang sudah ada keputusan politik tentang pembangunan PLTN sekaligus ada badan otorita pelaksana khususnya yang menyiapkan SDM PLTN. Jika Badan otorita tersebut sudah terbentuk maka hal-hal yang perlu dilaksanakan adalah :

1. Menentukan jumlah SDM dan kualifikasi pendidikan serta kualifikasi standar kompetensinya.
2. Mempetakan SDM potensial yang akan mengisi masing2 nama jabatan. Saat ini mereka ada dimana-mana karena sudah menjadi alumni dengan berkerjasama dengan pihak perguruan tinggi.
3. Melakukan perekrutan SDM yang diperlukan.
4. Melatih dan mendidik calon SDM yang sesuai kebutuhan.
5. Mengelola dan mempertahankan eksistensi mereka agar tetap pada jalur yang benar. Pengalaman penyiapan SDM PLTN di era tahun 1980 an bisa menjadi bahan pelajaran. Dimana saat itu banyak SDM yang disiapkan, tetapi tidak terkoordinir dengan baik tersebar kemana-mana serta tidak focus, sehingga sulit untuk selalu siap bila sewaktu-waktu dibutuhkan.

STTN sebagai lembaga pendidikan mempunyai fungsi sebagai jembatan yang menghubungkan antara alumni dan industri, khususnya industri PLTN. Sehingga dalam hal ini tugas STTN ada di 2 kaki, di satu sisi selalu harus mengikuti kompetensi dan memelihara kontak person alumni dan satu sisi lainnya adalah mensosialisasi dan mempromosikan kepada badan otorita penyiapan SDM PLTN tentang STTN itu sendiri dan alumninya. Untuk tugas-tugas ini yang dapat dilakukan STTN adalah :

1. Rutin melakukan tracer study kepada alumninya paling tidak setahun sekali.
2. Medokumentasikan data alumni dengan baik dan mudah diakses.
3. Menginformasikan *current status* PLTN terbaru dan kontinyu kepada alumni, baik dengan media sosial maupun dengan kontak langsung secara berkala.
4. Selalu meng update info perkembangan PLTN baik dari BATAN, Kementerian ESDM, PLN maupun BAPPENAS.
5. Menjaga silakhturakhmi dengan perguruan tinggi lain yang mempunyai kompetensi nuklir untuk memelihara standar kompetensi dosen dan kurikulum.
6. Mengirimkan dosen-dosen untuk mengikuti seminar/pertemuan ilmiah tentang PLTN agar kompetensi dosen tentang PLTN adalah ilmu-ilmu yang terbaru.

Ketiga pilar Alumni STTN, Badan otoritas PLTN dan STTN merupakan pilar yang strategis di tataran penyiapan SDM PLTN. Dengan koordinasi yang bagus dan kontinyu diantara 3 pilar itu maka akan dihasilkan SDM PLTN yang lebih siap. Dengan SDM yang lebih siap dan dokumen kesiapan ini termasuk bagian yang terdokumentasi dengan baik, maka dapat menjadi salah satu daya dorong kepada Presiden dalam mengambil keputusan go PLTN.

Agar ketiga pilar ini dapat bersinergi dengan baik, maka peran instansi lain juga diperlukan. Antara lain BATAN, Kementerian ESDM, PLN, BAPETEN dan BAPPENAS. BATAN dapat mendorong STTN agar senantiasa meningkatkan kualitas dosen dan mahasiswanya serta meningkatkan akreditasinya, baik akreditasi program studi, akreditasi institusi dan akreditasi laboratorium, agar tingkat

kepercayaan masyarakat kepada alumni STTN semakin meningkat. BATAN sebagai lembaga yang ditunjuk oleh pemerintah dalam mengkaji tentang teknologi PLTN juga perlu senantiasa memberikan info yang *up to date* kepada STTN dan alumni STTN agar STTN sebagai lembaga dan alumni sebagai kelompok potensial bidang iptek nuklir selalu siap bila sewaktu-waktu go nuklir dicangkan. Kemudian Kementerian ESDM, PLN, BAPETEN dan BAPPENAS sebagi badan regulasi, perencana dan mungkin pelaksana PLTN juga harus bisa saling sinergi untuk melakukan hal yang sama seperti BATAN.

VI. KESIMPULAN

1. Posisi alumni STTN saat ini ada di 12 bidang lapangan pekerjaan dan sangat sedikit yang bidang kerjanya bersinggungan dengan PLTN, walaupun demikian bila perhatian dan support selalu diberikan oleh STTN maupun BATAN dan pihak-pihak terkait lainnya sangat besar dan kontinyu, alumni STTN siap untuk menjadi SDM PLTN yang handal dan militan.
2. Pemerintah perlu segera membentuk badan otorita pelaksana PLTN yang salah satu tugasnya adalah menyiapkan SDM PLTN.
3. STTN wajib untuk senantiasa melakukan tracer study untuk senantiasa menjaga komunikasi dengan alumninya.
4. Lembaga-lembaga lain yang kemungkinan keterlibatan dalam era PLTN ini sangat besar, seperti Kementerian ESDM, PLN, BAPETEN, BAPPENAS, dll untuk senantiasa berkomunikasi dengan pihak STTN serta memberikan info PLTN terbaru kepada alumni STTN, sesuai dengan bidang tugas masing-masing lembaga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Tracer Study STTN atas hasil laporan Tracer study, sehingga laporan-laporan yang ada dapat digunakan sebagai bahan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wisnubroto, D, 2016, Status Face Book, 29 Juni 2016.
2. Said, S, finance.detik.com, 28 Juni 2016.
3. Kurtubi, petroenergi/article, 2 Juli 2016.
4. Supriyono, DKK, Renstra STTN 2015-2019, Yogyakarta 2016.
5. Subki, M., H., “Evolusi Teknologi PLTN dan Sistem Keselamatannya”, “Bahan Pidato” Di Depan Civitas Akademika STTN - BATAN, Yogyakarta, 2006.
6. Soetrisnanto,A.J., “Dampak Pembangunan PLTN Terhadap Lingkungan dan Masyarakat Sekitar Tapak”, Seminar Sosialisasi Peningkatan Pemahaman Masyarakat Terhadap PLTN Sebagai Pembangkit Listrik yang Aman Bagi Masyarakat, Yogyakarta, 2006.
7. Soentono, S., “Bahan Pidato” Di Depan Civitas Akademika STTN - BATAN, Yogyakarta, 2005.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

PENENTUAN KETEBALAN OPTIMUM KOLIMATOR DAN BODI KOLIMATOR RENOGRAF DENGAN MCNP6

Kasmudin, Sanda

Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, BATAN, Tangerang Selatan, Indonesia
Email: kasmudin@batan.go.id, sanda@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN KETEBALAN OPTIMUM KOLIMATOR DAN BODI KOLIMATOR RENOGRAF DENGAN MCNP6. Kolimator dan bodi kolimator renograf buatan PRPN terlalu berat sehingga merepotkan operator. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk menentukan ketebalan optimum kolimator dan bodi kolimator renograf tersebut dengan simulasi *code* MCNP6 sehingga menjadi seringan mungkin tetapi masih memenuhi fungsinya, yaitu sebagai pengarah (pemfokus) radiasi dari sumber radiasi dalam ginjal ke detektor dan sebagai perisai (*shielding*) bagi detektor dari sumber radiasi dalam ginjal sebelahnya. Untuk melakukan simulasi dengan *code* MCNP6 tersebut dibutuhkan input berupa model geometri dari kolimator dan bodi kolimator renograf, model sumber radiasi, dan model dosimetri. Model sumber radiasi yang digunakan adalah sumber sinar gamma radioisotop I-131 dengan aktivitas 20 µCi berbentuk titik yang ditempatkan di dalam ginjal. Simulasi dilakukan dengan menghitung dosis radiasi sinar gamma dari radioisotop I-131 yang dipancarkan dari dalam ginjal dan di serap oleh detektor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari ketebalan optimum dari kolimator dan bodi kolimator renograf sehingga radiasi sinar gamma dari sumber dalam ginjal kiri hanya dideteksi oleh detektor kiri dan mencegah radiasi dari sumber dalam ginjal kanan masuk ke detektor kiri, dan demikian juga sebaliknya radiasi sinar gamma dari sumber dalam ginjal kanan hanya dideteksi oleh detektor kanan dan mencegah radiasi dari sumber dalam ginjal kiri masuk ke detektor kanan. Setelah disimulasi dengan *code* MCNP6, detektor kiri menghasilkan rasio dosis serap terhadap sumber dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total (sumber dari ginjal kanan dan kiri) berurut-turut untuk detektor dengan tebal: kolimator 14 mm dan bodi kolimator 16 mm (K14mm B16mm) adalah 1,14107 %, K11mm B16mm 1,17364 %, K9mm B16mm 1,19755 %, K8mm B16mm 1,21457 %, K7mm B16mm 1,22967 %, K8mm B13mm 1,28167 %, K8mm B11mm 1,37644 %, K8mm B9mm 1,54530 %, K8mm B8mm 1,69134 %, K7mm B7mm 1,91627 %, dan K6mm B6mm 2,25958 %. Dengan toleransi detektor kiri terhadap rasio dosis serap dari sumber dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total maksimum 2 %, didapat ketebalan optimum kolimator 7 mm dan bodi kolimator 7 mm, yang berarti ketebalan kolimator berkurang 50% dan ketebalan bodi kolimator berkurang 56,25 % dari ketebalan kolimator dan bodi kolimator semula yang telah dibuat oleh PRPN.

Kata kunci: ketebalan optimum, kolimator, bodi kolimator, renograf, dosis serap, mcnp6

ABSTRACT

A DETERMINATION OF OPTIMUM THICKNESS OF COLLIMATOR AND COLLIMATOR BODY OF A RENOGRAF USING MCNP6. *The collimator and its body of the renograph developed by PRPN is too heavy so that it makes trouble to the operator who used it. Therefore, it is necessary to do a research to determine the optimum thickness of the collimator and its body for the renograph by using the MCNP6 code simulation, so that the collimator and its body become as light as possible but still fulfill its requirement function, namely to focus the radiation from the radiation source in kidney to the detector and as a shielding for the detector from the radiation source from the other kidney. To perform a simulation using the MCNP6 code, it is required inputs in the form of the geometry model of the collimator and its body for renograph, the radiation source model, and the model of dosimetry. The radiation source model used is a source of gamma rays I-131radioisotope with the activity 20 µCi and point shaped which is placed in the kidney. Simulations have been carried out by calculating the dose of gamma radiation of I-131 radioisotope emitted from the kidneys and absorbed by the detector. The purpose of this research is to find out the optimum thickness of the collimator and its body of the renograph so that the gamma ray radiation from a source in the left kidney is only detected by the left detector and to prevent radiation from sources in the right kidney interfering the left detector, and vice versa which is gamma-ray radiation from the source in the right*

ISSN 1978-0176

kidney is only detected by the detector right and to prevent radiation from a source in the left kidney interfering to the right detector. After simulated by MCNP6 code, the left detector yields ratio of an absorbed dose of the right kidney source to total absorbed dose (the source of the right and left kidney) are respectively for detectors with thickness: 14 mm collimator and its body 16 mm (K14mm B16mm) 1.14107%, K11mm B16mm 1.17364%, K9mm B16mm 1.19755%, K8 mm B16 mm 1.21457%, K7mm B16mm 1.22967%, K8mm B13mm 1.28167%, K8mm B11mm 1.37644%, K8mm B9mm 1.54530%, K8mm B8mm 1.69134%, K7mm B7 mm 1.91627%, and K6mm B6mm 2.25958%. With the left detector tolerance against absorbed dose ratio of the source of the right kidney to the total absorbed dose maximum of 2%, it is obtained that the optimum thickness of collimator is 7 mm and collimator body is 7 mm, which means the thickness of the collimator reduced by 50% and the thickness of the collimator body reduced by 56.25% of the thickness of the collimator and its body originally made by PRPN.

Keywords: optimum thickness, collimator, collimator body, renograph, absorbed dose, mcnp6

PENDAHULUAN

Di Indonesia, jumlah penderita kelainan fungsi ginjal menunjukkan peningkatan dalam dua dasa warsa terakhir ini, yaitu 20.000 pasien baru per tahun terdeteksi di rumah sakit pemerintah, dan terdapat peningkatan pasien melakukan terapi cuci darah [1]. Untuk mendiagnosa adanya kelainan fungsi ginjal pada manusia dapat dilakukan dengan menggunakan renograf atau kamera gamma, dimana biaya pengoperasian renograf lebih murah bila dibandingkan dengan menggunakan kamera gamma [2]. Renograf sebagai salah satu alat yang dipergunakan dalam kedokteran nuklir bisa digunakan untuk membuat grafik fungsi ginjal (*renal*) manusia dalam pemeriksaan dari luar tubuh [3]. Dengan menggunakan perunut zat radioaktif (radiofarmaka), renograf dapat menunjukkan proses kinetika dalam ginjal sebagai fungsi waktu [4,5]. Renograf juga mudah dioperasikan dan mampu berperan sebagai pemantau dan pencacah aktivitas dari perunut radiofarmaka yang datang, ditangkap, dan dikeluarkan oleh ginjal. Kemudian renograf aman karena radiofarmaka I-131 yang dipergunakan tidak bersifat racun, mempunyai umur paruh pendek yaitu 8,06 hari [6], dosis yang dipergunakan sekitar 20 – 50 μCi, waktu pemeriksaan berlangsung antara 15 – 25 menit, dan selesai pemeriksaan hasil pemeriksaan dapat langsung dianalisis.

PRFN sedang merekayasa ulang renograf tyroid uptake terpadu yang dapat digunakan untuk mengukur aktivitas radiofarmaka I-131 OIH atau Tc-99m [7,8]. Salah satu bagian dari renograf tersebut yang masih perlu diperbaiki dan disempurnakan adalah kolimator. Kolimator adalah tempat kedudukan detektor yang mempunyai bentuk melebar di muka dan menyempit ke belakang untuk memfokuskan sinar yang akan dideteksi dengan detektor di belakang kolimator. Selain itu, kolimator juga berfungsi sebagai perisai (*shielding*) bagi detektor dari sumber radiasi dalam ginjal sebelahnya.

Untuk mendiagnosa adanya kelainan fungsi ginjal dengan renograf digunakan radioisotop I-131 dengan aktivitas sebesar 20 μCi – 50 μCi atau radioisotop Tc-99m dengan aktivitas sebesar 100 mCi – 200 mCi [9] yang disuntikkan ke dalam tubuh pasien dan akan mengikuti peredaran darah kemudian masuk ke dalam ginjal sehingga ginjal dianggap sebagai sumber radiasi sinar gamma yang akan dideteksi dengan detektor NaI(Tl) pada jarak sekitar 10 cm dari ginjal. Radioisotop I-131 memancarkan sinar gamma dengan energi sebesar 0,364 MeV (sebanyak 85%) dan 0,638 MeV (sebanyak 15%) [10]. Sedangkan radioisotop Tc-99m memancarkan sinar gamma dengan energi sebesar 0,1405 MeV dan waktu paruhnya pendek 6 jam [11]. Hasil deteksi oleh detektor NaI(Tl) diproses oleh unit spektrometri gamma dan disajikan dalam bentuk grafik antara cacah persatuan waktu dengan lama pengamatan. Grafik ini disebut renogram [12]. Berdasarkan renogram akan didapat informasi tentang keadaan fungsi ginjal meliputi respon vasculer, kapasitas uptake, dan kemampuan mengeluarkan perunut. Ada beberapa pola bentuk renogram yang berkaitan dengan kelainan fungsi ginjal yang dipergunakan sebagai acuan dalam diagnosa.

Kolimator detektor renograf yang sudah dibuat oleh PRPN dipandang masih terlalu

ISSN 1978-0176

berat (sekitar 21 kg untuk satu buah kolimator) sehingga cukup merepotkan operator dalam mengoperasikan renograf untuk mendiagnosa ginjal pasien. Oleh karena itu akan dianalisis ketebalan kolimator tersebut dengan bantuan *code* MCNP6 untuk mendapatkan ketebalan yang optimal, dalam artian beratnya menjadi lebih ringan tetapi tidak mengurangi fungsinya, yaitu sebagai pengarah (pemfokus) radiasi dari sumber radiasi dalam ginjal ke detektor dan sebagai perisai (*shielding*) bagi detektor dari sumber radiasi dalam ginjal sebelahnya.

MCNP (Monte Carlo N-Particle) adalah *software* berbasis monte carlo yang dibuat oleh tim monte carlo dari Laboratorium Nasional Los Alamos, USA dan diaplikasikan untuk menyimulasikan perjalanan partikel neutron, foton, dan elektron dalam material tiga dimensi mulai dari partikel atau foton itu "lahir" kemudian berinteraksi dengan material hingga berakhir di daerah "mati" [13]. *Software* ini sangat baik digunakan untuk analisis dosimetri. Metode monte carlo merupakan metode numerik statistik dengan menyimulasikan bilangan acak untuk penyelesaian masalah yang tidak mungkin diselesaikan secara analitik.

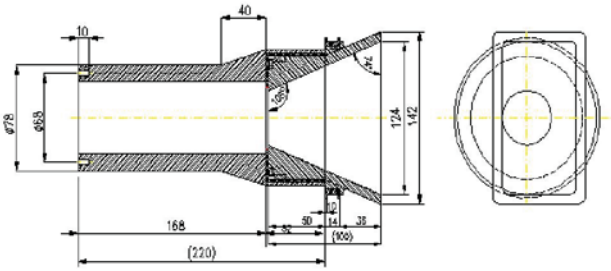
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari ketebalan optimum dari kolimator dan bodi kolimator renograf sehingga radiasi sinar gamma dari sumber dalam ginjal kiri hanya dideteksi oleh detektor kiri dan mencegah radiasi dari sumber dalam ginjal kanan masuk ke detektor kiri, dan demikian juga sebaliknya radiasi sinar gamma dari sumber dalam ginjal kanan hanya dideteksi oleh detektor kanan dan mencegah radiasi dari sumber dalam ginjal kiri masuk ke detektor kanan.

TATA KERJA

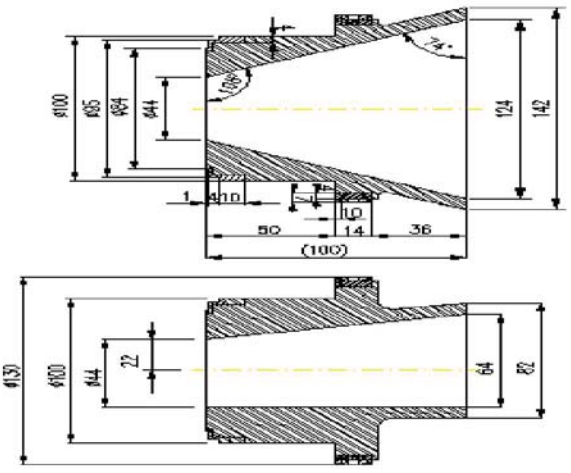
Langkah-langkah dalam melakukan simulasi menentukan ketebalan optimum dari kolimator dan bodi kolimator renograf dengan *code* MCNP6 ada tiga tahap, yaitu membuat input, *running*, dan interpretasi output [14]. Membuat input MCNP6 dilakukan dengan mengisikan "kartu", yaitu kartu sel, kartu permukaan, dan kartu data. Kartu sel dan kartu permukaan merupakan inputan geometri dari objek yang akan disimulasikan, sementara kartu data merupakan informasi mengenai material objek simulasi, definisi sumber radiasi, dan *tally* atau besaran fisis yang akan dihitung.

Pemodelan kolimator dan bodi kolimator

Pemodelan geometri adalah hal yang paling penting dalam membuat simulasi dengan *code* MCNP6, karena ketepatan hasil analisis dengan *code* MCNP6 sangat ditentukan oleh kesesuaian antara model geometri yang dibuat dengan keadaan geometri objek yang sebenarnya [15]. Oleh karena itu, pemodelan geometri dalam simulasi ini dibuat sesuai dengan keadaan sebenarnya, baik bentuk, ukuran, maupun komposisi unsur penyusunnya yaitu kolimator terdiri dari pengarah yang terbuat dari timbal (Pb), dudukan pengarah yang terbuat dari kuningan, bodi kolimator yang terbuat dari timbal (Pb), kemudian udara yang mengisi ruang (pengarah, bodi kolimator, dan celah antara kolimator dan tubuh pasien), dan tubuh pasien yang di dalamnya terdapat organ ginjal yang dijadikan sebagai sumber radiasi I-131. Gambar geometri kolimator yang akan dimodelkan dalam simulasi ini ditunjukkan oleh Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.

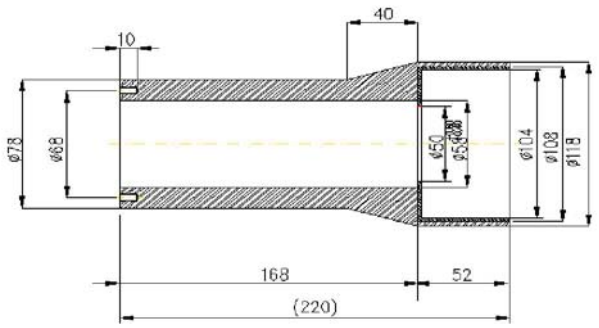


Gambar 1. Gambar teknik kolimator lengkap dengan dimensinya



Gambar 2. Gambar teknik pengarah kolimator kiri dengan dimensinya: atas pandangan samping, bawah pandangan atas

ISSN 1978-0176



Gambar 3. Gambar teknik dudukan pengarah dan bodi kolimator dengan dimensinya

Untuk memperhitungkan interaksi antara sinar gamma dan atom-atom dari tubuh manusia, udara, dan bahan kolimator, diperlukan data berupa komposisi unsur-unsur penyusun material-material tersebut sebagai inputan *code* MCNP6. Adapun komposisi unsur-unsur penyusun material kolimator, dudukan pengarah, bodi kolimator, udara, dan tubuh manusia ditunjukkan dalam Tabel 1. Komposisi dari unsur-unsur ini adalah sesuai dengan keadaan yang sebenarnya sehingga diharapkan hasil simulasinya juga sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Tabel 1.
Komposisi unsur-unsur penyusun material berdasarkan fraksi beratnya [16,17]

Unsur	ID MCNP6	Jaringan tubuh 1.04 g/cm^3 [18]	Udara 0.0012 g/cm^3
Hidrogen (H)	1000	0.10454	
Karbon (C)	6000	0.22663	0.000150
Nitrogen (N)	7000	0.02490	0.784431
Oksigen (O)	8000	0.63525	0.210748
Natrium (Na)	11000	0.00112	
Magnesium (Mg)	12000	0.00013	
Silikon (Si)	14000	0.00030	
Phosfor(P)	15000	0.00134	
Belerang (S)	16000	0.00204	
Khlor (Cl)	17000	0.00133	
Argon	18000		0.004671
Kalium (K)	19000	0.00208	
Kalsium (Ca)	20000	0.00024	
Besi (Fe)	26000	5e-005	
Tembaga (Cu)	29000		
Seng (Zn)	30000	3e-005	
Rubidium (Rb)	37000	1e-005	
Zirkonium (Zr)	40000	1e-005	
Timbal (Pb)	82000	fraksi berat 1.00; ρ = 11.35 g/cm^3	
Kuningan	fraksi berat Cu 0.70 + Zn 0.30; ρ = 8.60 g/cm^3		

Simulasi pertama dimulai dengan objek kolimator buatan PRPN dengan tebal kolimator (pengarah) 14 mm dan tebal bodi kolimator 16 mm. Jalannya proses simulasi bisa dijelaskan sebagai berikut. Mula-mula sumber radioaktif I-131 dengan aktivitas 20 μCi yang berada di dalam ginjal kiri diaktifkan dan dideteksi dengan detektor kiri, sedangkan sumber radioaktif di dalam ginjal kanan dimatikan. Setelah *running* selesai, kemudian sumber radioaktif yang berada di dalam ginjal kanan diaktifkan dan dideteksi dengan detektor kiri, sedangkan sumber radioaktif di dalam ginjal kiri dimatikan. Demikian proses yang sama diulang untuk kolimator dan bodi kolimator dengan ketebalan yang dibuat semakin tipis seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Setiap simulasi dilakukan dengan nps (*number of photon per secon*) = 10^8 dan dihitung dosis radiasi sinar gamma yang diserap oleh detektor.

Tabel 2. Tebal kolimator dan bodi kolimator yang disimulasi dengan MCNP6

Urutan Simulasi	Tebal Kolimator	Tebal Bodi Kolimator
Simulasi ke-1	14 mm	16 mm
Simulasi ke-2	11 mm	16 mm
Simulasi ke-3	9 mm	16 mm
Simulasi ke-4	8 mm	16 mm
Simulasi ke-5	7 mm	16 mm
Simulasi ke-6	7 mm	13 mm
Simulasi ke-7	7 mm	11 mm
Simulasi ke-8	7 mm	9 mm
Simulasi ke-9	7 mm	8 mm
Simulasi ke-10	7 mm	7 mm
Simulasi ke-11	6 mm	6 mm

Pemodelan sumber radiasi

Untuk bisa menghitung besar energi radiasi yang diserap oleh detektor diperlukan model sumber radiasi atau definisi sumber. Definisi sumber yang diperlukan sebagai inputan *code* MCNP6 adalah jenis partikel yang dipancarkan, energi dan kelimpahan partikel, arah berkas partikel, dan geometri sumber yang berupa posisi dan bentuk sumber radioaktif. Model sumber radiasi yang digunakan sebagai data inputan dalam simulasi *code* MCNP6 ditunjukkan dalam Tabel 3.

ISSN 1978-0176

Tabel 3.
Data model sumber untuk input *code* MCNP6

Sumber	Keterangan
Nuklida	I-131
Aktivitas	20 μ Ci
Bentuk	Titik
Posisi	Di dalam ginjal
Energi	0,364 MeV (85%) 0,638 MeV (15%)
Jenis radiasi	Foton
Arah berkas	Isotropik

Pemodelan dosimetri

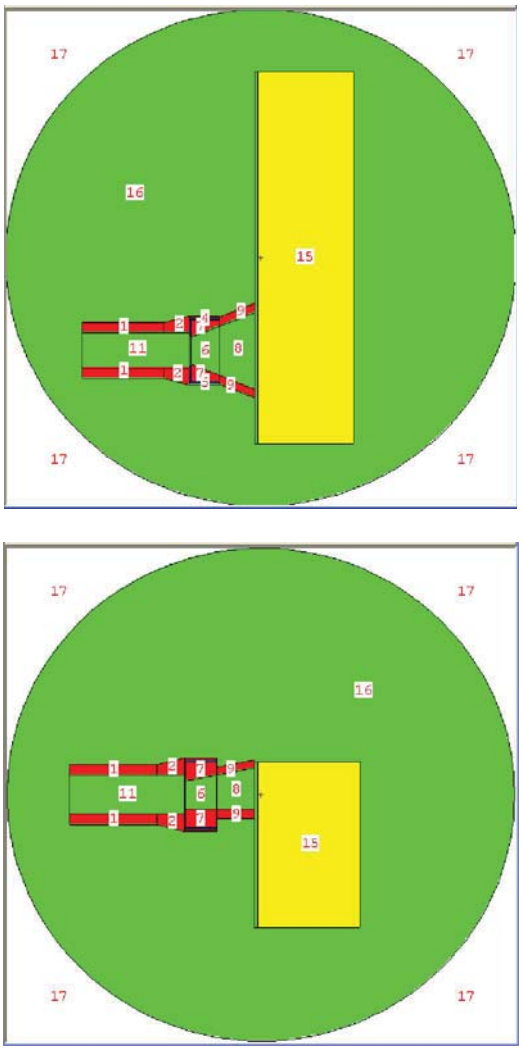
Setelah model geometri dibuat dan definisi sumber ditentukan, langkah selanjutnya adalah pemilihan *tally* untuk menentukan jenis output (besaran fisika) yang diinginkan. Dalam simulasi ini dipilih *tally* F6 yang akan menghitung deposisi energi atau besar energi radiasi yang diserap oleh detektor dengan satuan MeV/g [19]. Hasil output MCNP adalah nilai dari simulasi satu buah partikel atau satu foton. Untuk mendapatkan dosis yang sebenarnya masih harus dikalikan dengan jumlah partikel atau jumlah foton dan lamanya penyinaran [20]. Karena satuan dosis serap adalah gray atau J/kg dan satuan laju dosis adalah gray/s, maka hasil *tally* F6 yang bersatuan MeV/g perlu dikalikan dengan suatu faktor yang disebut faktor multiplikasi (FM) sehingga hasilnya menjadi gray/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

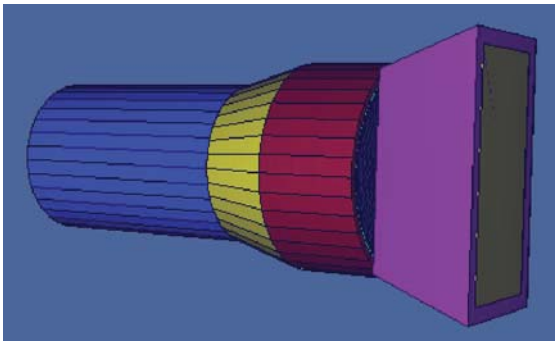
Setelah *code* MCNP6 diberi input model geometri, model sumber radiasi, dan model dosimetri (*tally* F6), selanjutnya *code* MCNP6 dijalankan (di*running*) menggunakan komputer PC dengan spesifikasi Processor Intel (R) Core (TM) i7 CPU 960 @ 3.20 GHz 3.19 GHz, RAM 6.00 GHz (4.00 GHz usable), dan sistem operasi Windows 7 Ultimate.

Gambar model geometri hasil vised MCNP6

Gambar model dua dimensi geometri kolimator dan bodi kolimator renograf hasil visual editor (vised) MCNP6 ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan gambar model tiga dimensinya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Model dua dimensi geometri kolimator dan bodi kolimator renograf hasil vised MCNP6: atas pandangan samping, bawah pandangan atas



Gambar 5. Model tiga dimensi geometri kolimator dan bodi kolimator renograf hasil vised MCNP6

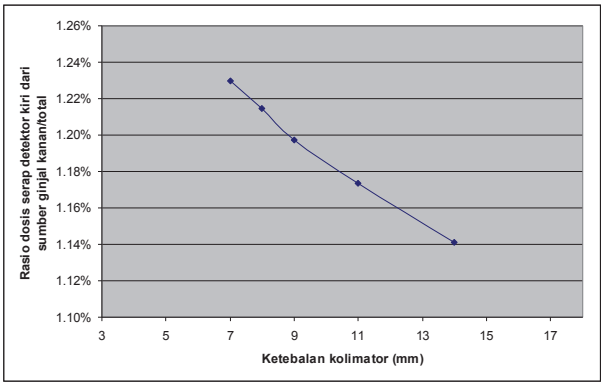
ISSN 1978-0176

Output hasil *running* MCNP6

Hasil simulasi *code* MCNP6 dengan *tally* F6 dan nps 10^8 memberikan data dosis serap detektor kiri terhadap sumber radiasi sinar gamma I-131 20 μCi dari dalam ginjal kiri dan ginjal kanan. Hasil simulasi tersebut selengkapnya ditunjukkan dalam Tabel 4. Dari Tabel 4 tersebut bisa diamati bahwa untuk ketebalan kolimator 14 mm dan ketebalan bodi kolimator 16 mm yang merupakan ketebalan kolimator dan bodi kolimator renograf yang telah dibuat oleh PRPN, dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kiri saja sebesar 1,09913 MeV/gram, dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan saja sebesar 0,0126866 MeV/gram, dan rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total sebesar 1,14107 %. Kemudian dengan mempertahankan ketebalan bodi kolimator tetap 16 mm, sedangkan ketebalan kolimator dikurangi berturut-turut 3 mm, 5 mm, 6 mm, dan 7 mm dari ketebalan semula 14 mm, didapat hasil dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kiri saja tetap sebesar 1,09913 MeV/gram. Sedangkan dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan saja mengalami kenaikan berturut-turut menjadi 0,0130530 MeV/gram, 0,0133222 MeV/gram, 0,0135138 MeV/gram, dan 0,0136839 MeV/gram, dan rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total juga mengalami kenaikan berturut-turut menjadi 1,17364 %, 1,19755 %, 1,21457 %, dan 1,22967 %. Untuk lebih jelasnya, tren kenaikan rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total untuk renograf dengan ketebalan bodi kolimator tetap 16 mm dan ketebalan kolimator semula 14 mm dan kemudian dikurangi berturut-turut menjadi 11 mm, 9 mm, 8 mm, dan 7 mm bisa dilihat pada Gambar 6. Simulasi dengan ketebalan bodi kolimator tetap 16 mm dan ketebalan kolimator dikurangi berhenti sampai 7 mm atau 50 % dari ketebalan kolimator semula 14 mm.

Tabel 4 Dosis serap detektor kiri terhadap sumber ginjal kiri dan kanan (MeV/gram)

Tebal kolimator & bodikolimator	Dosis serap dari sumber kiri	Dosis serap dari sumber kanan	Rasio dosis kanan : total
K14mm B16mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0126866 (*error* 0,50 %)	1,14107 %
K11mm B16mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0130530 (*error* 0,47 %)	1,17364 %
K9mm B16mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0133222 (*error* 0,44 %)	1,19755 %
K8mm B16mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0135138 (*error* 0,42 %)	1,21457 %
K7mm B16mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0136839 (*error* 0,40 %)	1,22967 %
K7mm B13mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0144402 (*error* 0,40 %)	1,29675 %
K7mm B11mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0155101 (*error* 0,40 %)	1,39149 %
K7mm B9mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0174215 (*error* 0,40 %)	1,56030 %
K7mm B8mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0190800 (*error* 0,40 %)	1,70630 %
K7mm B7mm	**1,09913 (*error* 0,08 %)**	**0,0214738 (*error* 0,40 %)**	**1,91627 %**
K6mm B6mm	1,09913 (*error* 0,08 %)	0,0254099 (*error* 0,37 %)	2,25958 %

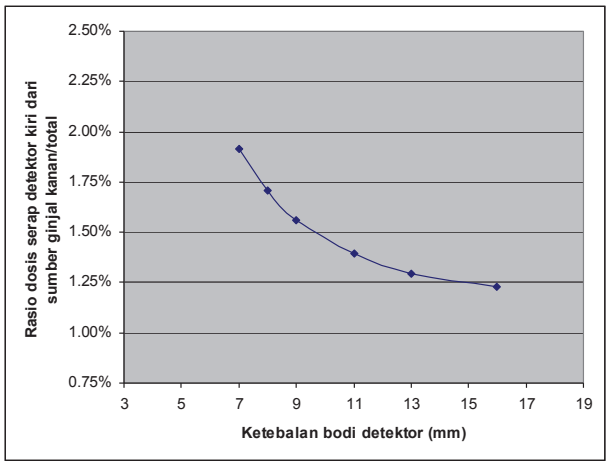


Gambar 6. Grafik rasio dosis serap detektor kiri dari sumber ginjal kanan terhadap dosis serap total terhadap ketebalan kolimator untuk ketebalan bodi kolimator tetap 16 mm.

Kemudian simulasi dilanjutkan dengan mempertahankan ketebalan kolimator tetap 7 mm, tetapi ketebalan bodi kolimator dikurangi berturut-turut 3 mm, 5 mm, 7 mm, 8 mm, dan 9 mm dari ketebalan semula 16 mm. Dari Tabel 4 diperoleh data bahwa untuk detektor kiri dengan ketebalan kolimator tetap 7 mm dan ketebalan bodi kolimator berturut-turut 13 mm, 11 mm, 9 mm, 8 mm, dan 7 mm, dosis serap detektor tersebut terhadap sumber dari dalam ginjal kiri saja tetap sebesar 1,09913 MeV/gram. Sedangkan dosis serap detektor tersebut terhadap

ISSN 1978-0176

sumber dari dalam ginjal kanan saja naik berturut-turut menjadi 0,0144402 MeV/gram, 0,0155101 MeV/gram, 0,0174215 MeV/gram, 0,0190800 MeV/gram, dan 0,0214738 MeV/gram, dan rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total juga mengalami kenaikan berturut-turut menjadi 1,29675 %, 1,39149 %, 1,56030 %, 1,70630 %, dan 1,91627 %,. Untuk lebih jelasnya, tren kenaikan rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total untuk renograf dengan ketebalan kolimator tetap 7 mm dan ketebalan bodi kolimator semula 16 mm dan kemudian dikurangi berturut-turut menjadi 13 mm, 11 mm, 9 mm, 8 mm, dan 7 mm bisa dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik rasio dosis serap detektor kiri dari sumber ginjal kanan terhadap dosis serap total terhadap ketebalan bodi detektor untuk ketebalan kolimator tetap 7 mm.

Baik dari Gambar 6 maupun Gambar 7, keduanya memberikan hasil bahwa semakin tipis kolimator dan/atau bodi kolimator, rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total semakin besar. Hal ini disebabkan oleh adanya proses interaksi radiasi gamma dengan materi kolimator dan/atau bodi kolimator, sehingga terjadi peristiwa pelemahan intensitas radiasi gamma karena adanya penyerapan intensitas radiasi gamma oleh materi tersebut. Jadi, semakin tipis kolimator dan/atau bodi kolimator, maka interaksi radiasi gamma dengan materi kolimator dan/atau bodi kolimator tersebut semakin berkurang sehingga penyerapan intensitas radiasi gamma oleh bahan tersebut juga semakin berkurang dan akibatnya radiasi gamma yang sampai dan diserap detektor semakin bertambah sehingga rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total menjadi semakin besar.

Di sini penulis mengambil batas toleransi detektor kiri terhadap rasio dosis serap dari sumber ginjal kanan terhadap dosis serap total maksimum 2 %, karena dengan nilai toleransi sebesar 2 % ini pengaruhnya sangat kecil terhadap hasil pengukuran detektor renograf yang kemudian diolah menjadi renogram. Toleransi 2 % ini dianggap tidak akan berpengaruh terhadap pola bentuk renogram yang berkaitan dengan kelainan fungsi ginjal yang dipergunakan sebagai acuan dalam mendiagnosa fungsi ginjal. Dengan toleransi maksimum 2 % tersebut, didapat ketebalan optimum kolimator 7 mm dan bodi kolimator 7 mm, yang berarti ketebalan kolimator berkurang 50% dari ketebalan semula 14 mm dan ketebalan bodi kolimator berkurang 56,25 % dari ketebalan semula 16 mm. Pada ketebalan optimum tersebut, rasio dosis serap detektor kiri dengan sumber di ginjal kanan terhadap dosis serap total adalah 1,91627 %. Jika ketebalan kolimator dan bodi kolimator dikurangi lebih tipis lagi dari ketebalan optimum, maka rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total menjadi lebih besar dari 2 %, seperti ditunjukkan dalam Tabel 4. Dari Tabel 4 didapat hasil simulasi dengan ketebalan kolimator 6 mm dan ketebalan bodi kolimator 6 mm menghasilkan rasio dosis serap detektor kiri terhadap sumber dari dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total lebih besar dari 2 %, tepatnya sebesar 2,25958 %.

Hasil penelitian lain dengan objek sama yang dilakukan oleh Sanda, dkk. [21] berdasarkan perhitungan dengan persamaan dan grafik pengurangan laju dosis radiasi diperoleh ketebalan optimum kolimator 9 mm dan kemudian berdasarkan hasil perhitungan dengan *software Rad Pro Calculator* diperoleh ketebalan optimum kolimator 13 mm. Adanya perbedaan ketebalan optimum kolimator berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan dan grafik kemudian perhitungan dengan *software Rad Pro Calculator* tersebut

ISSN 1978-0176

dibandingkan dengan hasil analisis dari simulasi MCNP6 disebabkan karena dalam simulasi dengan MCNP6 interaksi antara foton gamma dengan materi benar-benar dilakukan sesuai dengan keadaan sebenarnya, sedangkan pada hasil perhitungan dengan persamaan dan grafik serta perhitungan dengan *software Rad Pro Calculator* dilakukan dengan penyederhanaan. Jadi, hasil ketebalan optimum kolimator dan bodi kolimator yang diperoleh dari simulasi dengan MCNP6 lebih akurat dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan persamaan dan grafik maupun hasil perhitungan dengan *software Rad Pro Calculator*. Perbedaan ketebalan optimum kolimator berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan dan grafik sebesar 9 mm serta berdasarkan perhitungan *software Rad Pro Calculator* sebesar 13 mm dibandingkan dengan ketebalan optimum kolimator berdasarkan hasil simulasi dengan MCNP6 sebesar 7 mm berturut-turut besarnya adalah 28,57% serta 85,71%.

KESIMPULAN

Dari uraian hasil dan pembahasan di atas bisa diambil kesimpulan bahwa *code* MCNP6 bisa digunakan untuk pemodelan dan simulasi dosis radiasi sinar gamma yang dipancarkan oleh sumber radiasi sinar gamma di dalam ginjal dan dideteksi dengan detektor renograf. Telah dilakukan simulasi dosis serap oleh detektor renograf dengan ketebalan kolimator dan bodi kolimator yang berbeda-beda (semakin tipis) untuk mencari ketebalan optimum dari kolimator dan bodi kolimator. Hasil simulasi detektor kiri renograf dengan toleransi rasio dosis serap terhadap sumber radiasi dalam ginjal kanan dibanding dosis serap total maksimum sebesar 2 %, didapat ketebalan optimum kolimator 7 mm dan bodi kolimator 7 mm, yang berarti ketebalan kolimator berkurang 50 % dari ketebalan kolimator semula 14 mm dan ketebalan bodi kolimator berkurang 56,25 % dari ketebalan bodi kolimator semula 16 mm. Jadi, dengan hasil simulasi ini, berarti berat kolimator dan bodi kolimator bisa dikurangi sekitar 50 %-nya dan masih bisa berfungsi sebagaimana mestinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas selesainya penulisan makalah ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Mekanik, Struktur, dan Proses PRFN-BATAN, Dr. Ir. M. Dhandhang P. atas waktu dan ilmunya. Juga kepada rekan-rekan PRFN yang lain yang memperlancar penulisan makalah ini. Semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala berlipat ganda. Amin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rill Isaris, Joko Sumanto, Suharni, Bagaswoto P., dan Eli Purwanti, ”Aplikasi Klinik Renograf IR-03 untuk Rumah Sakit; Teknologi dan Analisis Biaya”, J. Iptek Nuklir Ganendra Vol. 14 No. 2, Juli 2011: 81 – 94, ISSN 1410-6987.
2. Joko Sumanto dan Joko Triyanto, ”Studi Pendeteksian Fungsi Ginjal dengan Menggunakan Renograf dan Kamera Gamma”, Majalah Prima Vol. 7 No. 13, Juni 2010, 457 – 464, ISSN: 1411-0296, PRPN-BATAN, Puspiptek – Tangerang.
3. Bambang Supardiyono, ”Pembuatan Alat Uji Fungsi Ginjal”, Fakultas Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1992.
4. Setyadi WS, dkk., “Detektor CsI(Tl)-PIN PHOTODIODE untuk Renograf Jinjing”, Prosiding Temu Ilmiah Dua Tahunan Perhimpunan Kedokteran & Biologi Nuklir Indonesia, Semarang, 12 Desember 1998.
5. Sorensen, J., Michael, E.P., Physics in Nuclear Medicine, Grune and Stratton Inc., New York, USA, 1989.
6. R.G. Jaeger, E.P. Blizard, Th.A. Jaeger, and H.H. Eisenlohr, Engineering Compendium on Radiation Shielding, Volume I Shielding Fundamentals and Methods, Spring – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1968.
7. Joko Sumanto, Abdul Jalil, dan Romadhon, “Desain Perangkat Pengukur Dosis pada Renograf”, Jurnal Perangkat Nuklir Vol. 07 No. 02, Nopember 2013, 71 – 80, ISSN No. 1978-3515, PRPN-BATAN, Puspiptek – Serpong.
8. Joko Sumanto dan Abdul Jalil, “Perekayasaan Perangkat Dose Calibrator untuk Mengukur Dosis Radioisotop pada Pemeriksaan Renograf”, Jurnal Perangkat

Nuklir Vol. 08 No. 02, Nopember 2014, 57 – 66, ISSN No. 1978-3515, PRPN-BATAN, Puspiptek – Serpong.
9. Kristiyanti, Wiranto Budi Santoso, dan Istofa, "Analisis Dosis yang Diterima Pasien pada Pemeriksaan Renograf", Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, STTN-BATAN, Yogyakarta, 5 November 2009, 529 – 533, ISSN 1978-0176.
10. Wisnu Arya Wardhana, Teknologi Nuklir: Proteksi Radiasi dan Aplaikasinya, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2007.
11. Rohadi Awaludin, "Radioisotop Teknesium-99m dan kegunaannya", Buletin Alara, Vol. 13 No. 2, Desember 2011, 61 – 65, PRR-BATAN, Puspiptek – Serpong.
12. Gogot Suyitno, Peranan Renografi Dual Detektor Dalam Penanganan Penderita Penyakit Ginjal, Simposium Ginjal RSUP Dr. Sarjito / Fakultas Kedokteran Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 21 Desember 1996.
13. Rasito, Pengenalan MCNP untuk Pengkajian Dosis, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, BATAN, Jakarta, 2013.
14. Kasmudin, Simulasi Dosis Serap Radial Sumber Iridium-192 untuk Brakiterapi dengan Menggunakan MCNP, Prosiding Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir, STTN-BATAN, Yogyakarta, 15 September 2015, 36 – 43, ISSN 1978-0176
15. Rasito, dkk., "Pemetaan Dosis Radiasi Gamma di Fasilitas Kalibrasi PTNBR untuk Sumber ^{60}Co 400 GBq dengan MCNP5", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir IV, Jakarta, 15 Desember 2009.
16. X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume 1: Overview and Theory, LA-UR-03-1987, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 2003.
17. X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume II: User's Guide, LA-UR-03-1987, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 2003.
18. Lazarine, A. D., Medical Physics Calculation With MCNP: A Primer. Thesis Master of Science. Texas: A&M University, 2006.
19. Shultis, J.K. and Faw, R.E., "An MCNP Primer", Department of Mechanical and Nuclear Engineering, Kansas State University, Manhattan, 2011.
20. Kristiyanti dan Edy Karyanta, "Analisis Dosis Radiasi pada Kolam Iradiator Gamma 2 MCi Menggunakan MCNP", Majalah Prima, Vol. 11 No. 2, November 2014, 11 – 17, PRPN-BATAN, Puspiptek – Tangerang, 2014.
21. Sanda, Tri Harjanto, dan Kristiyanti, "Optimasi Ketebalan Kolimator Detektor Sinar Gamma pada Perangkat Renograf Thyroid Uptake Terpadu", Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan IX, ISSN 1412-2499, PTKMR-BATAN, Jakarta, Juni 2014.

Tanya Jawab:

Pertanyaan 1 (Kiswanto, PRSG-BATAN):
Mengapa penelitian penentuan ketebalan optimum kolimator dan bodi kolimator berhenti pada pengujian ke-11 dengan ketebalan kolimator dan bodi kolimator 6 mm?

Jawaban 1:
Penelitian berhenti pada pengujian ke-11 dengan ketebalan kolimator 6 mm dan bodi kolimator 6 mm karena di sini ditentukan batas toleransi maksimum rasio dosis serap dari detektor kiri terhadap sumber radiasi dari ginjal kanan dibanding dosis serap total (dari sumber radiasi di ginjal kiri dan kanan) sebesar 2%. Pada langkah pengujian ke-10, rasio dosis serap dari detektor kiri terhadap sumber radiasi dari ginjal kanan dibanding dosis serap total sebesar 1,91627% yang berarti masih di bawah batas toleransi maksimum 2%. Sedangkan pada langkah ke-11 rasio dosis serap dari detektor kiri terhadap sumber radiasi dari ginjal kanan dibanding dosis serap total sebesar 2,25958% yang berarti sudah melewati batas toleransi maksimum 2%, sehingga pengujian berhenti pada langkah ke-11 ini karena sudah melewati batas toleransi maksimum tersebut.

ISSN 1978-0176

Pertanyaan 2 (Elisabeth Ratnawati, PRSG-BATAN):
Renograf dengan kolimator yang sebelumnya memiliki ketebalan 14 mm dan bodi kolimator 16 mm sehingga dirasa berat dan merepotkan operator, apakah ini hasil dari desain sendiri atau sudah dari pabrikan?

Jawaban 2:
Renograf dengan ketebalan kolimator 14 mm dan bodi kolimator 16 mm adalah hasil desain PRPN-BATAN sendiri. Hanya waktu itu dalam mendesain renograf belum diuji dengan simulasi code MCNP, karena di PRPN-BATAN belum tersedia code MCNP.

Pertanyaan 3 (Sutrisno, PRSG-BATAN):
Apakah program MCNP6 sudah divalidasi?

Jawaban 3:
Sampai saat ini belum divalidasi, tetapi di dalam pembahasan di bandingkan dengan hasil penelitian lain dengan objek sama yang dilakukan oleh Sanda, dkk. [21].

ISSN 1978-0176

ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR SUMBER COBALT60 200 kCi DI ATAS KOLAM IRADIATOR GAMMA MENGGUNAKAN KODE KOMPUTER FLUENT

Sanda

Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, BATAN,
Tangerang Selatan, Indonesia.
Email : sanda@batan.go.id.

ABSTRAK

ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR SUMBER COBALT60 200 kCi DI ATAS KOLAM *IRADIATOR* GAMMA MENGGUNAKAN KODE KOMPUTER FLUENT. Sejak tahun 2014 PRFN telah melakukan penelitian iradiator gamma dengan membuat desain konstruksi iradiator gamma berkapasitas 200 kCi. Salah satu bagian utama iradiator gamma adalah kolam iradiator yang digunakan untuk menyimpan sumber Cobalt 60 dengan kapasitas maksimal 2 MCi. Tujuan utama analisis ini adalah untuk mendapatkan nilai distribusi temperatur dari sumber radiasi ke udara lingkungan dengan menggunakan program Fluent. Fluent merupakan salah satu program Computational fluid dynamic (CFD). CFD merupakan program yang digunakan untuk mengetahui distribusi temperatur dan aliran pada suatu sistem. Program Fluent menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap dan dapat menyelesaikan kasus aliran fluida. Adanya distribusi temperatur di atas kolam iradiator gamma merupakan salah satu parameter penting dalam keselamatan instalasi *iradiator* gamma, karena berhubungan dengan kemampuan pendinginan temperatur selama sumber radiasi *Cobalt* 60 berada diatas kolam. Sumber radiasi Cobalt 60 yang berada di atas kolam mempunyai energi sebesar 7564,151 Watt dengan fluks yang dipancarkan sebesar 6311,11W/m^2. Pada makalah ini akan dibahas penggunaan *Fluent* untuk mengetahui distribusi temperatur yang terjadi di atas kolam *iradiator*. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui temperatur sumber radiasi dan udara di atas kolam. Hasil perhitungan, diperoleh temperatur udara sebesar 48^oC dan temperatur pada sumber radiasi sebesar 160,5^oC dan heat flux yang terjadi pad udara sebesar 335 W/m^2, dari kedua data hasil perhitungan menunjukkan bahwa temperatur yang terjadi pada udara sekeliling di ruang iradiasi sangat rendah, sehingga temperatur yang timbul pada periode waktu berikutnya tidak akan meningkat, dengan demikian keberadaan sumber Cobalt 60 di atas kolam iradiator gamma dapat dianggap aman.

Kata kunci : Analisis, Distribusi suhu, Iradiator gamma, Fluent, Cobalt 60, kolam iradiator.

ABSTRACT

ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN 200 kCi COBALT60 SOURCE ABOVE THE GAMMA IRRADIATOR POOL USING FLUENT CODE. Since 2014 PRFN gamma irradiator has been conducting research with gamma irradiators making construction design capacity of 200 KCI. One of the main parts of gamma irradiators is an irradiator used to store Cobalt 60 source with a maximum capacity of 2 MCi. The main purpose of this analysis is to get the value of the temperature distribution of the radiation source to the environmental air by using Fluent program. Fluent is one program Computational fluid dynamic (CFD). CFD is a program used to determine the temperature distribution and flow in a system. Fluent program provides a complete mesh flexibility and be able to resolve the case of the fluid flow. Their temperature distribution over gamma irradiators pool is one of the important parameters in the gamma irradiators plant safety, because it deals with the temperature during the cooling capability Cobalt 60 radiation source is above the pool. Cobalt 60 radiation source located above an energy have amounted to 7564.151 Watt flux emitted by 6311,11W / m2. In this paper will discuss the use of Fluent to determine the temperature distribution occurs on an irradiators. The calculation is done to determine the temperature of the radiation source and the air above the pond. Calculations, the air temperature of 48oC and the temperature of the radiation source for 160,5oC and heat flux that occur in the air at 335 W / m2, of both the data the calculation results show that the temperature that occur in the ambient air in the irradiation chamber is very low, so temperatures that arise in the next time period will not be increased, thus the presence of a source of Cobalt 60 gamma irradiators over the pool can be considered safe.

Keywords : Analysis, Temperature distribution, Gamma irradiator, The Fluent, Cobalt 60, Irradiator pool.

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Energi panas yang ke luar dari Cobalt dengan intensitas 2 MCi harus bisa didinginkan oleh udara di atas kolam. Bila pendinginan yang dilakukan oleh udara tidak tercapai, maka akan menyebabkan temperatur udara di dalam ruang iradisi dan material akan meningkat secara terus menerus. Energi panas yang ke luar dari Cobalt 60, suhunya semakin lama semakin tinggi atau suhunya naik setiap hari. Kemampuan pendingin dalam memindahkan temperatur yang terjadi di atas dasar kolam iradiator gamma harus menjadi pertimbangan utama dalam desain.Temperatur udara di atas kolam merupakan parameter yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya distribusi temperatur agar naiknya temperatur dapat terkontrol. Bila distribusi temperatur yang terjadi tanpa kontrol, maka akan sangat berbahaya bagi instalasi iradiator gamma dan lingkungan sekitarnya, oleh karena itu peristiwa yang terjadi di atas kolam iradiator harus dihitung agar asfek keselematan bisa terjamin. Ruang iradiasi material di atas kolam iradiator gamma dengan geometri ketinggian 4 meter, lebar 5,8 meter dan panjang 6,9 meter, aktivitas sumber radiasi Cobalt 60 dengan intensitas sebesar 200 kCi[1,2,3,15)].

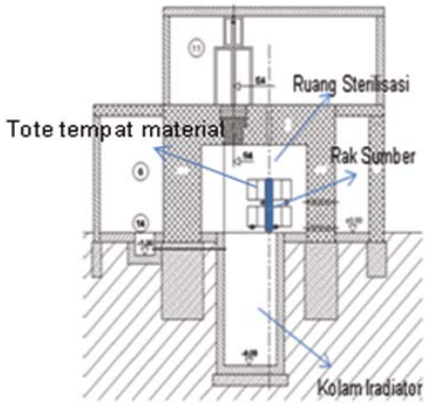
Untuk menghitung distribusi temperatur di atas kolam iradiator gamma dapat digunakan paket program *Fluent* yang merupakan salah satu *analytical tool* yang dapat memprediksi parameter distribusi temperatur di atas kolam dengan akurasi yang mampu membuat model dua dimensi atau tiga dimensi dari kolam.

Penelitian dalam makalah ini menyajikan data sumber radiasi Cobalt 60, ruangan iradiasi di atas kolam dan program *Fluent* untuk menghitung distribusi temperatur yang terjadi di atas kolam Iradiator gamma. Hasil yang diharapkan adalah temperatur yang terdistribusi di atas kolam dapat terjadi secara merata dengan kenaikan temperatur yang relatif kecil, sehingga instalasi iradiator gamma dapat dianggap aman dari kenaikan temperatur yang ditimbulkan oleh sumber radiasi Cobalt 60.

METODOLOGI

Iradiator gamma aktivitas 200 kCi berada di atas kolam (ruang iradiasi) dengan sumber radioaktif Co60 memancarkan foton gamma dengan energi 1,173 MeV (100%) dan 1,332 MeV (100%)[4,5,6)]. Sumber Co-60 berbentuk batang pensil[6)] (d = 1,11 cm, h = 45,1 cm) disusun menjadi modul dan modul-modul disusun menjadi rak sumber yang disimpan dalam kolam air. 1 modul = 20 batang, 1 rak = 4 modul.

Ruang iradiasi yang berada di atas Kolam berkuran 4x5,6x6,9 m berfungsi sebagai ruang iradiasi dan pendingin dari *gamma heating.* Dengan adanya *gamma heating*, suhu udara di atas kolam akan naik. Dengan program *Fluent* akan dianalisis seberapa besar kenaikan temperatur udara di atas kolam dan distribusinya akibat adanya *gamma heating* tersebut. Sebagai gambaran kolam iradiator ditunjukkan pada Gambar 1.[7,8,9)]

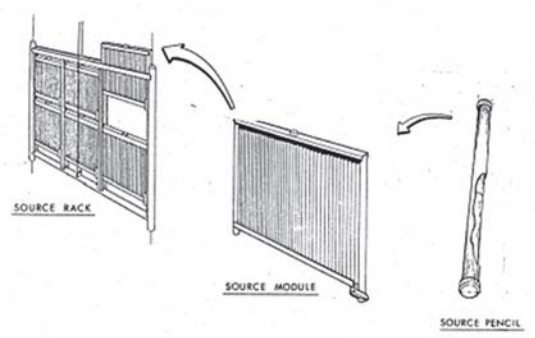


Gambar 1.Ruang Iradiasi Iradiator Gamma di atas kolam.

Pada Gambar 1 ditunjukkan ruang iradiasi di atas kolam dan posisi rak sumber radiasi

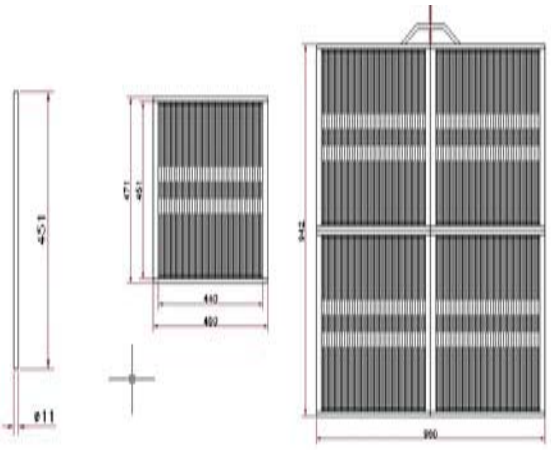
ISSN 1978-0176

yang sedang iradiasi tote. Untuk rak sumber, modul dan pensil ditunjukkan pada Gambar 2.[11,12,13)]



Gambar 2. Rak sumber, modul dan pensil sumber radiasi gamma.

Adapun dimensi rak sumber, modul dan pensil ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi rak sumber, modul dan pensil

Data masukan (input) sebagai berikut :

1. Ruang iradiasi di atas kolam sebagai udara lingkungan dengan deskripsi :
- panjang 690 cm, diambil 230 cm bagian tengah, karena adanya sifat simetri pada dinding kiri dan kanan
- lebar 560 cm, dibuat penuh dengan batas dinding depan dan belakang terbuat dari struktur bangunan.
- ketinggian 400 cm, juga dibuat penuh, dengan batas bagian atas dan bawah adalah udara.

2. Sumber Cobalt 60 pemancar sinar gamma dengan deskripsi :
- dibuat sesuai dengan ukuran aslinya, yaitu diameter 1,11 cm dengan panjang 45,1 cm. Dalam analisis ini aktivitas sumber Cobalt 60 kapasitas maksimum 200 kCi, yang dimodelkan sepertiganya, menjadi satu rak sumber.

Adapun energi gamma yang dipancarkan oleh Cobalt 60 dari aktivitas sumber pensil dapat dihitung menggunakan persamaan[14)] :

$$P = A.E_\gamma \qquad 1)$$

Dengan :
P : Besar daya Cobalt 60, (Watt)
A : Aktivitas sumber, (Ci)
E_γ : besar energi Gamma yang dipancarkan, (eV).

Adanya perbedaan temperatur yang terjadi antara sumber radiasi dan udara lingkungan dihitung untuk memperoleh besarnya energi panas yang terjadi di ruang iradiasi sebagai berikut :

Adanya pembentukan lapisan batas laminar, pada suatu kondisi kritis karena sifat-sifat fluida, gangguan-gangguan kecil pada aliran itu membesar, maka mulailah terjadi aliran transisi hingga aliran turbulen. Untuk aliran melintas dapat ditentukan bilangan Reynolds sebagai berikut[16)] :

$$R_e = \frac{u_\infty L}{\upsilon} \qquad 2)$$

Dengan :
u_∞ : kecepatan aliran bebas (m/s)
L : jarak dari tepi depan pelat (m)
υ : viskositas kinematika fluida

(m^2/s).

Untuk menghitung koefisien perpindahan kalor, sifat-sifat fluida dievaluasi pada suhu film (T_f), yaitu rata-rata aritmatk antara suhu dinding dan suhu aliran bebas, $T_f = (T_w + T_\infty)/2$, maka koefisien perpindahan kalor ($\bar{h}$) sepanjang pelat mulai x = 0 sampai dengan x = L, jadi :

$$\bar{h} = \frac{1}{L}\int_0^L h(x)dx = 2h(x)I_{x=L} \quad 3)$$

Dan bilangan Nusselt rata-rata untuk aliran laminar sepanjang pelat ($\overline{Nu}$) adalah :

$$\overline{Nu} = 0,664 Pr^{1/3}.Re^{1/2} \quad 4)$$

Sehingga besar perpindahan kalor total (Q), sebagai berikut :

$$Q = -kA\frac{\partial T}{\partial y}I_{y=0} = \bar{h}.A(T_w - T_\infty) \quad 5)$$

PEMODELAN CFD

Langkah yang dilakukan dalam simulasi ini adalah pemodelan CFD[7,8,9)] dengan menggunakan *CAD (Computer Aided Design).* Adapun definisi ruang iradiasi di atas kolam dan cobalt ditentukan sebagai berikut :

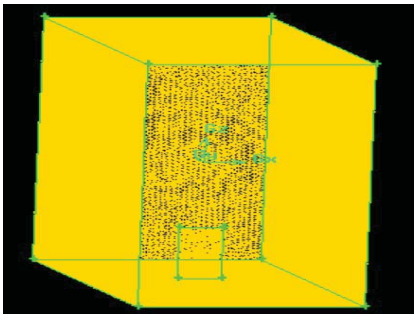
Ruang iradiasi di atas kolam berupa media udara dan berfungsi sebagai *coolant* (udara lingkungan).

1. Sumber cobalt 60 berbentuk pensil atau lingkaran diubah bentuknya menjadi persegi didefinisikan sebagai *fuel* (sumber radiasi).
2. Proses *subtract* dilakukan terhadap *coolant*, setelah itu terhadap fuel permukaannya sebagai *wall*
3. Batas kiri dan kanan coolant sebagai simetri
4. Batas depan dan belakang sebagai wall (udara)
5. Batas bawah sebagai wall (udara)
6. Batas atas sebagai *wall* (udara)

Selanjutnya dibuat langkah-langkah untuk pemodelan dan analisis distribusi temperatur di atas kolam irradiator sebagai berikut :

1. Preprocessing

Merupakan langkah dalam membangun dan menganalisa sebuah model *CFD*. Tekniknya adalah membuat model dan *operation mesh* yang sesuai dengan menggunakan paket progam *Gambit*. Pembuatan model dan *mesh* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model ruang iradiasi sebagai *Coolant* dan sumber *Cobalt* 60 sebagai *fuel* yang di-*meshing* dengan elemen *Tet/Hybrid* dengan jumlah *mesh* volume sebanyak 1507844 buah.

Setelah model di-*meshing*, langkah selanjutnya dilakukan adalah File. msh yang di-*export Gambit* untuk dibaca oleh *Fluent*.

2. *Solving*

Solvers (program inti pencari solusi) *CFD* untuk menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. kemudian dilakukan langkah sesuai unitnya, penentuan model penyelesaiannya (persamaannya), kemudian penentuan jenis material yang sesuai, penentuan kondisi operasi dan

ISSN 1978-0176

penentuan kondisi batas. Setelah itu diinisialisasi dan terakhir diiterasi.

3. *Post processing*

Post processing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal ini dilakukan pada langkah mengorganisasi dan interpretasi data hasil simulasi CFD dengan hasil yang berupa gambar, kurva atau grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dengan program *Fluent* untuk mendapatkan distribusi yang terjadi di atas kolam ruang iradiasi.[14)] Energi gamma yang dipancarkan oleh pensil dihitung sebagai berikut :

$P = 8110Cix1000x3,7.10^{10}dpsx$
$2,505.10^{6}eVx1,6.10\text{-}19J/s$
$P = 120,27\ W$

Fluks yang dipancarkan oleh sumber radiasi pensil berbentuk lingkaran adalah

$I = P/A$
$I = (120,27\ W)/(1,59.10^{-2}m2$
$I = 7564,151\ W/m^2$

Sedangkan dalam analisis pensil tersebut dibuat berbentuk persegi, sehingga dihasilkan fluks sebesar :

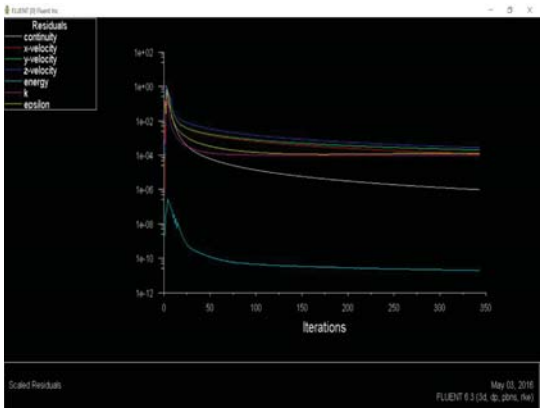
$I = (1,59.10^{-2}m2/1,9.10^{-2}m2).7564,151$
$I = 6311,11\ W/m^2$

Analisis dengan program *Fluent* ini diawali dengan langkah iterasi dengan indikasi terdapat pernyataan konvergensi dan grafik untuk menunjukkan bahwa program Fluent residual errornya rendah. Hasil running ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.[7,10)]



Gambar 5. Hasil *running Fluent* yang menunjukkan konvergensi.

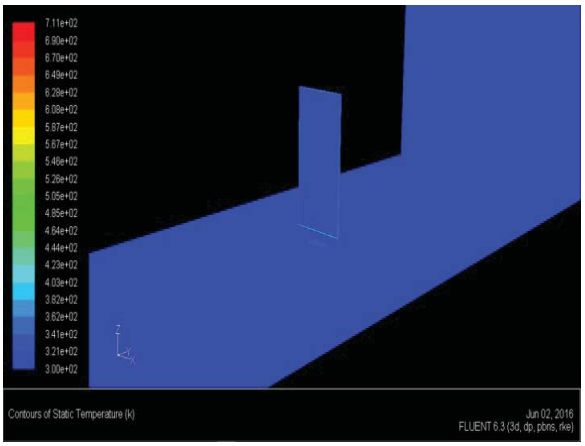
Pada Gambar 5 diperoleh konvergensi pada iterasi ke 343, sedangkan untuk grafik konvergensinya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik konvergensi

Dari Gambar 6 diperoleh Grafik iterasi numerik yang menunjukkan bahwa program *Fluent* dapat bekerja secara benar dengan indikasi *residual errornya* semakin kecil, yaitu arah grafik yang menurun.

Hasil perhitungan distribusi temperatur di atas kolam ruang iradiasi ditunjukkan pada Gambar 7.

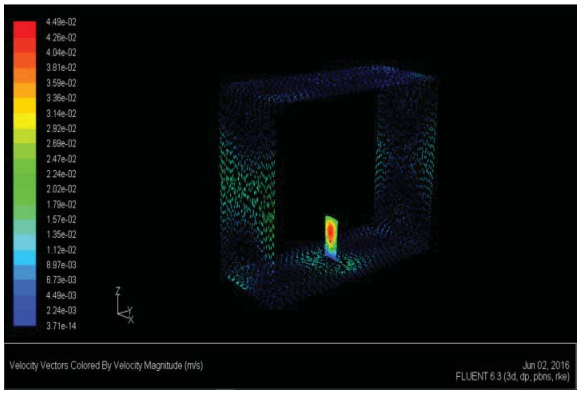


Gambar 7. Temperatur yang terjadi pada udara lingkungan dan sumber radiasi .

Pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa pada udara lingkungan temperatur terjadi sebesar $48^{o}C$ dan pada sumber radiasi

temperatur terjadi sebesar 160,5^{o}C. Kondisi temperature yang terjadi di ruang iradiasi sebesar 48°C, ini merupakan kondisi temperatur yang relatif rendah, karena temperatur terdistribusi secara homogen pada dimensi ruangan iradiasi yang besar.

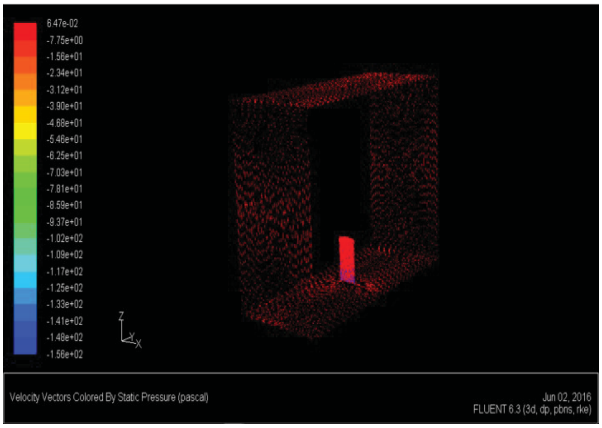
Hasil perhitungan *velocity magnitude* yang terjadi pada udara lingkungan dan pada sumber radiasi, ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. *Velocity vectors by velocity Magnitude.*

Hasil perhitungan *velocity vectors by velocity magnitude* sebagai laju kecepatan temperatur panas yang terjadi di ruang iradiasi. Pada udara lingkungan terjadi dengan kecepatan sebesar 0,015 m/detik dan pada sumber radiasi terjadi kecepatan sebesar 0,03 m/detik. Besar laju kecepatan temperatur panas dari sumber radiasi ke udara lingkungan sebesar 0,03 m/detik menurun menjadi sebesar 0,015 m/detik. Memang laju aliran vector temperatur terjadi tidak secara homogen, namun dengan adanya pembebanan turbulen pada saat *input model viscous k-epsilon*, maka laju aliran vektor menjadi turbulen.

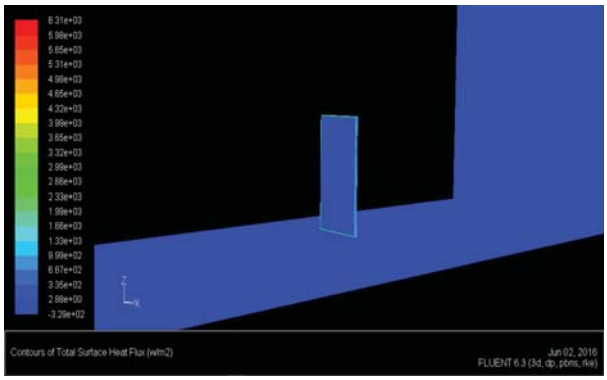
Sedangkan untuk tekanan yang terjadi pada udara lingkungan dan sumber radiasi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Tekanan yang terjadi pada udara lingkungan dan sumber radiasi.

Tekanan pada udara lingkungan dan sumber radiasi terjadi secara homogen dengan nilai yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,0647 Pa, harga tersebut jauh dari harga tekanan atmosfir, harga tekanan ini sangat bagus untuk daerah kerja ruang iradiasi material, karena temperatur ruang iradiasi tidak akan keluar lingkungan.

Untuk *total surface heat flux* yang terjadi pada udara lingkungan dan sumber radiasi ditunjukkan pada Gambar 10.



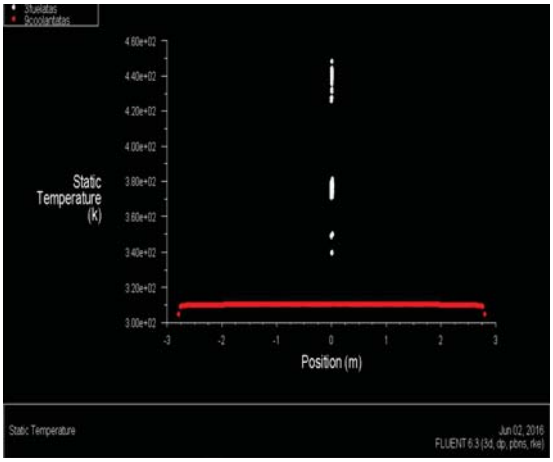
Gambar 10. *Total surface heat flux* pada udara lingkungan dan sumber radiasi.

Total surface heat flux pada udara lingkungan sebesar 335 W/m2 dan pada sumber radiasi sebesar 3320 W/m2. *Total*

ISSN 1978-0176

surface heat flux yang terjadi pada udara lingkungan sepuluh kali lebih kecil dari pada yang terjadi pada sumber radiasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa panas yang terjadi pada udara lingkungan terjadi secara homogen, sehingga tidak akan menimbulkan temperatur panas pada tahap iradiasi selanjutnya.

Sedangkan grafik temperatur yang terjadi di ruang iradiasi ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik temperatur dengan posisi sumber Cobalt 60.

Dari grafik diatas, temperatur yang terjadi pada udara lingkungan sebesar 42°C dan pada sumber radiasi sebesar 167°C. Nilai temperatur dari grafik diatas mengindikasikan bahwa nilai tersebut mendekati nilai perhitungan dari Gambar 7, memang ada perbedaan pada udara lingkungan antara 42°C dan 48°C dan pada sumber radiasi antara 167°C dan 160,5^{o}C, namun harga tersebut masih berada dalam fluktuasi, sehingga kedekatan harga yang terjadi pada udara lingkungan dan sumber radiasi memiliki kesamaan harga.

KESIMPULAN

Telah dilakukan analisis distribusi temperatur Cobalt 60 yang berada di atas kolam iradiator gamma menggunakan paket program *Fluent*. Hasil analisis menunjukkan terjadinya perpindahan temperatur dari sumber radiasi ke udara lingkungan sebesar 160,5^{o}C dan 48°C, yang pada udara lingkungan terjadi secara homogen dengan indikasi warna biru merata pada gambar simulasi, untuk harga heat flux yang terjadi pada udara lingkungan sangat rendah hanya sebesar 335 W/m2, tentunya dengan harga *heat flux* tersebut temperature yang akan timbul tidak akan meningkat pada periode iradiasi berikutnya. Sedangkan untuk nilai kecepatan sebesar 0,015 m/detik dan nilai tekanan sebesar 0,0647 Pascal yang terjadi pada udara lingkungan semakin mengindikasikan bahwa nilai tersebut tidak mempengaruhi distribusi temperatur yang terjadi di atas kolam iradiator gamma, sehingga keberadaan sumber radiasi Cobalt 60 di atas kolam ruang iradiasi dapat dianggap aman.

DAFTAR PUSTAKA

1. Program manual, Desain rinci irradiator kapasitas 200 kCi, PRFN BATAN, Tangerang, 2014
2. Kristiyanti, Edy Karyanta, “Analisis dosis radiasi pada kolam air irradiator gamma 2 MCi menggunakan MCNP”, Majalah Prima, Vol 11, No. 2, Nop. 2014, PRFN, Tangerang.
3. Budi Santoso, “Penyiapan desain rinci irradiator 200 kCi”, *Usulan kegiatan PRFN BATAN*, Serpong, 2014.
4. Anonim, “*IAEA safety standard series No. SSG-8, Radiation safety of Gamma, Electron, and X Ray Irradiation Facilities,* specific safety Guide, Vienna, 2010.
5. Wisnu Arya Wardhana, *Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*, CV. Andi Offset, Yogyakarta, 2006
6. Anonim, *Technical Specification Multipurpose Continous and Batch Gamma Irradiator*, PT. Gamma Mitra Lestari, Jakarta, 2014.

7. Software Fluent 5/6, Fluent Inc, Copyright 2006.
8. Suroso dan M. Darwis Isnaini, "Penggunaan fluent untuk simulasi distribusi suhu dan kecepatan pada alat penukar panas", *Prosiding Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir,* PTRKN BATAN, Jakarta, Oktober 2010.
9. Tuhika, Firman, *Dasar-dasar CFD menggunakan Fluent*, Informatika, Bandung, 2008.
10. H. Farajollahi, A. Ghasemizad and B. Khanbabaei, "CFD -Calculation of flow in a pressurized water reactor", *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 19(3): 273-281*, ISSN 1016-1104, University of Tehran, 2008.
11. Pudjiyanto MS., "Aplikasi Pensil Baris 1.2 untuk Desain Keselamatan Iradiator Gamma Batan 500 K, Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, ISSN 1411-240X, Vol. 13 No. 1 Februari 2011, Hal 34-48, Nomor : 266/AUI/P2MBI/05/2010, PTRKN-BATAN.
12. Ari Satmoko, Sutomo Budihardjo, Tri Harjanto dan Sanda, "Perhitungan dan Oenentuan Spesifikasi Komponen-komponen Utama Sistem Pengangkat Sumber Gamma pada Iradiator Gamma Batan 2x250 KCI, Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII, Yogyakarta, 16 Nopember 2011, ISSN 1978-0176, STTN BATAN.
13. Sanda, Ari Satmoko, "Perancangan Sistem Transmisi Rak Sumber Radiasi Iradiator Gamma untuk Iradiasi Bahan Pangan, Seminar Nasional X SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 10 September 2014, ISSN 1978-0176, STTN BATAN.
14. Sanda, Kasmudin, "Simulasi Distribusi Suhu Kolam Iradiator Gamma 2 MCi Menggunakan Fluent", Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 15 September 2015, ISSN 1978-0176, STTN BATAN.
15. Achmad Suntoro, "Analisis Pola Gerak Obyek yang akan diiradiasi pada Desain Iradiator Gamma IZOTOPTM untuk PRFN, Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 15 September 2015, ISSN 1978-0176, STTN BATAN.
16. Raldi Artono Koestoer, Dr. Ir., Perpindahan Kalor, Salemba Teknika, Jakarta, 2002.

A. Pertanyaan Sutrisno :

1. Gamma heating diakibatkan oleh apa dan apakah gamma heating = temperatur udara ?.
2. Apakah ada batasan sinar radiasi gamma untuk buah-buahan dan makanan ?.

Jawab Sanda :

1.Inti Cobalt 60 sifatnya tidak stabil, menuju stabil dia akan memancarkan sinar gamma, sinar gamma yang memancar mengenai atom Cobalt/foton Cobalt, sehingga menimbulkan panas. Adapun foton gamma pada atom luar berinteraksi dengan medium, seperti udara, air dan logam, kemudian panas dari foton tersebut akan diserap oleh medium, sehingga medium tersebut menjadi panas.

2. Iradiasi gamma untuk buah-buahan dan makanan memang berbeda dan besar intensitasnya dibatasi, karena jaringan buah-buahan dan makanan berbeda, bahkan bukan hanya intensitas iradiasi yang berbeda, tapi juga waktu iradiasinya pun tidak sama.

B. Pertanyaan Sri Inang Sunaryati :

Saran saya agar dipelajari/dianalisis lagi dimana untuk irradiator yang dimanfaatkan untuk sterilisasi adalah radiasi bukan panas yang dihasilkan untuk radiasi tersebut.

Jawab Sanda :

Benar untuk sterilisasi adalah menggunakan radiasi bukan dari panas yang dihasilkan oleh proses iradiasi tersebut. Hanya ketika terjadi proses

ISSN 1978-0176

iradiasi terhadap buah-buahan, makanan atau ikan terdapat gelombang elektromagnetik yang berinteraksi dengan media, sehingga menimbulkan panas pada media tersebut.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

STABILITAS LUARAN BERKAS RADIASI COBALT-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION

Assef Firnando Firmansyah[1], C. Tuti Budiantari[2], Gatot Wurdiyanto[3], Nurman Rajagukguk[4]

1. PTKMR-BATAN, Jakarta, firnando3154@gmail.com
2. PTKMR-BATAN, Jakarta, tuti@batan.go.id
3. PTKMR-BATAN, Jakarta, gatot_w@batan.go.id
4. PTKMR-BATAN, Jakarta, nurman55@yahoo.com

ABSTRAK

STABILITAS LUARAN BERKAS RADIASI COBALT-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION. Makalah ini menguraikan pengukuran stabilitas luaran berkas radiasi Co-60 untuk kolimator 16 mm dari Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion**.** Pengukuran dilakukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,125 cc Semiflex TM 31010 no. seri 004507 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos T 10001 no. seri 11814. Detektor diletakkan di dalam fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* berdiameter 160 mm dan disinari selama 1 menit. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 buah. Dilakukan juga pengukuran menggunakan fantom *ELEKTA solid water spherical phantom*. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya stabilitas luaran Pesawat Pisau Gamma Leksell yang cukup baik sebesar lebih kecil daripada 2,0 %**.** Hasil pengukuran menggunakan fantom air padat menunjukkan adanya perbedaan yang kecil sebesar 1,9 % terhadap fantom plastik.

Kata kunci : Pisau Gamma Leksell Perfexion, dosis serap air, *ELEKTA* ABS *spherical phantom* dan *ELEKTA solid water spherical phantom*

ABSTRACT

THE OUTPUT STABILITY OF COBALT-60 BEAM FROM THE LEKSELL GAMMA KNIFE PERFEXION. This paper describe the measurement of the output stability for a 16 mm collimator of the Leksell Gamma Knife Perfexion. Measurement has been carried out by using a 0.125 cc ionization chamber Semiflex type of TM 31010 serial number 004507 connected with a PTW Unidos electrometer type of T 10001 serial number 11814. The chamber inserted into an *ELEKTA ABS spherical phantom* with 160 mm in diameter and irradiated for 1 minute. Five data were acquired for each measurement. The determination of the absorbed dose to water using *ELEKTA solid water spherical phantom* were also described. The results obtained showed that the output stability of the Leksell Gamma Knife Perfexion was good enough with deviation less than 2.0 %. The measurement using *ELEKTA solid water spherical phantom* obtained a good agreement of 1.9 % against *ELEKTA ABS spherical phantom*

Key words : Leksell Gamma Knife Perfexion, absorbed dose to water, *ELEKTA ABS spherical phantom* and *ELEKTA solid water spherical phantom*

PENDAHULUAN

Pada tahun 2012 Rumah Sakit Siloam Karawaci mengoperasikan pesawat Pisau Gamma Leksell (Leksell Gamma Knife) model Perfexion no. seri 6121 dan ini merupakan pesawat pisau Gamma yang pertama di Indonesia [1]. Pesawat Pisau Gamma Leksell ini dikembangkan oleh Prof. Leksell dari Swedia pada tahun 1968. Penggunaan pisau gamma ini khusus untuk tumor yang berada di otak. Sampai dengan bulan Oktober 2015 Pesawat Pisau Gamma Leksell ini telah digunakan untuk penyinaran kepada 350 orang pasien [2].

Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion ini adalah model terakhir dan merupakan pengembangan teknologi dari Pisau Gamma generasi sebelumnya yaitu model 4 C dan model Perfexion ini baru dioperasikan pertama kali pada tahun 2006 di Timone University Hospital of Marseille, Perancis. Perubahan yang signifikan pada model Perfexion ini adalah pada sistem kolimatornya[3]. Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dapat dilihat pada Gambar 1.

Ketika selesai dipasang pada tanggal 14 Mei 2012, maka dilakukan pengukuran

ISSN 1978-0176

luaran dari pesawat pisau gamma tersebut oleh pihak fabrikan menggunakan alat ukur yang dimilikinya untuk keperluan komisioning dan bersamaan dengan itu dilakukan juga pengukuran oleh personil Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN untuk persyaratan pengajuan izin penggunaan zat radioaktiv [4]. Kedua pengukuran tersebut dilakukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,125 cc Semiflex TM 31010 di dalam fantom yang sama yaitu fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* terbuat dari polisterin. Hasil yang diperoleh menunjukkan pengukuran yang dilakukan fabrikan mendapatkan laju dosis serap air dari pesawat tersebut adalah 3,394 Gy/menit, sedangkan Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN mendapatkan 3,400 Gy/menit. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian antara kedua pengukuran tersebut sebesar 0,2 %.

Pada tanggal 23 September 2015 pesawat ini dikalibrasi ulang menggunakan peralatan yang sama. Dari hasil kalibrasi ulang ini akan diperoleh kestabilan luaran jangka panjang dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion ini. Disamping itu dilakukan juga penentuan laju dosis serap air menggunakan detektor ionisasi yang volumenya jauh lebih kecil yaitu 0,016 cc.

Selain fantom *ELEKTA ABS spherical phantom*, dilakukan juga pengukuran di dalam fantom *ELEKTA solid water spherical phantom.* Fantom ini merupakan model baru sebagai pengembangan dari fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* yang terbuat dari bahan dengan karakteristik hamburan dan penyerapan terhadap radiasi yang sama dengan air. Dari pengukuran menggunakan kedua detektor dan fantom ini akan diperoleh data yang dapat dijadikan acuan dalam melaksanakan kegiatan kendali mutu.

Makalah ini menguraikan pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air dari Pesawat Pisau Gamma Perfexion menggunakan beberapa detektor dan fantom padat yang dilakukan di Rumah Sakit Siloam Karawaci, Tanggerang.



Gambar 1. Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6121

DASAR TEORI

Kesalahan Penunjukan Waktu Pesawat Pisau Gamma

Untuk pesawat terapi Co-60 konvensional, kesalahan penunjukan waktu (timer) pesawat adalah koreksi dari penunjuk waktu pesawat (timer) yang disebabkan adanya pergerakan sumber radiasi dari posisi penyimpanan ke posisi penyinaran. Kesalahan penunjukan waktu pesawat dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut [5].

$$\tau = \frac{M_B\, t_A - M_A\, t_B}{n\, t_A - M_B} \qquad (1)$$

dengan

M_A : jumlah bacaan pengukuran selama waktu t_A

M_B : jumlah bacaan pengukuran dalam penyinaran pendek sebanyak n selama waktu t_B / n

t_A : waktu pengukuran selama 60 detik

t_B : waktu pengukuran selama 60 detik

n : 4 atau ($2 \leq n \geq 5$)

Penentuan Dosis Transit Untuk Kolimator 16 mm

Sumber sumber radiasi Co-60 di dalam pesawat pisau gamma bergerak ke posisi penyinaran pada awal dan di antara penyinaran. Jadi untuk mencapai posisi kolimator 16 mm, sumber radiasi tersebut harus melewati kolimator 4 mm, dengan demikian memberikan apa yang disebut " Dosis Transit ".

Satu cara untuk mengukur " Dosis Transit " kolimator 16 mm adalah dengan memberikan dosis yang dibutuhkan dengan dua perlakuan di isosenter fantom. Pertama

ISSN 1978-0176

detektor disinari menggunakan waktu penyinaran tunggal. Selanjutnya detektor disinari dengan dosis yang sama untuk empat kali penyinaran. Dosis Transit dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini [6]:

$$\text{Dosis Transit} = \pi \frac{D_4 - D_1}{3} \quad (2)$$

$D_4 - D_1$: selisih dosis terukur di antara dua penyinaran Gy
3 : perbedaan jumlah penyinaran

Pada prinsipnya Persamaan.1 yang digunakan untuk menentukan kesalahan penunjukan waktu dan Persamaan. 3 yang digunakan untuk menentukan dosis transit adalah sama yaitu untuk mendapatkan koreksi dari luaran yang disebabkan adanya pergerakan sumber radiasi Co-60 dari dan kembali tempat penyimpanan sumber.

Penentuan Laju Dosis Serap Air Pesawat Pisau Gamma Leksell

Belum ada protokol khusus untuk menentukan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 dari Pesawat Pisau Gamma Leksell. Secara tradisional biasanya pabrik melakukan pengukuran ionisasi di isosenter dengan menempatkan detektor ionisasi di dalam fantom plastik (*ELEKTA ABS spherical phantom*). Selanjutnya laju dosis serap air ditentukan menggunakan publikasi IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dengan persamaan di bawah ini [7] :

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w} \cdot k_{pol} \cdot k_S \quad (3)$$

dengan

$D_{w,Q}$: laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 (mGy)

M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi terhadap temperature dan tekanan (nC)

$N_{D,w}$: faktor kalibrasi dosis serap air (mGy/nC)

k_{pol} : faktor koreksi polaritas

k_s : faktor koreksi rekombinasi ion

Penggunaan persamaan ini tidak terlalu tepat meskipun kesalahannya kecil, karena pengukuran menggunakan Technical Report Series No. 398 ini harus di dalam air.

Selain fantom *ELEKTA ABS spherical phantom*, Elekta mengeluarkan fantom model baru yaitu *ELEKTA solid water spherical phantom.* Fantom ini terbuat dari bahan yang memberikan respon terhadap radiasi yang datang seperti respon yang diberikan air. Dengan demikian penggunaan fantom air padat ini sudah sesuai dengan yang direkomendasikan oleh Technical Report Series No. 398.

PERALATAN DAN TATA KERJA

Peralatan

Sumber Radiasi

Sebagai sumber radiasi digunakan Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion. Pesawat ini memiliki 192 buah sumber Co-60 yang dibagi dalam 8 sektor dengan 24 buah sumber radiasi setiap sektornya. Aktivitas total sumber radiasi Co-60 dari pesawat ini adalah 5329,8 Ci pada tanggal1 Maret 2012. Untuk keperluan penyinaran pasien, pesawat ini dilengkapi dengan 3 buah kolimator berdiameter 4, 8 dan 16 mm.

Alat Ukur Radiasi

Sebagai alat ukur radiasi digunakan detektor ionisasi volume 0,125 cc Semiflex TM 31010 no. seri 004507 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos 10001 no. seri 11814 dan detektor volume 0,016 cc Pinpoint TW 31016 no. seri 000968 yang dihubungkan dengan elektrometer Unidos Webline. Sistem dosimeter ini tertelusur ke Laboratorium Standar Primer BIPM. Detektor dan elektrometer yang digunakan untuk pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

ISSN 1978-0176

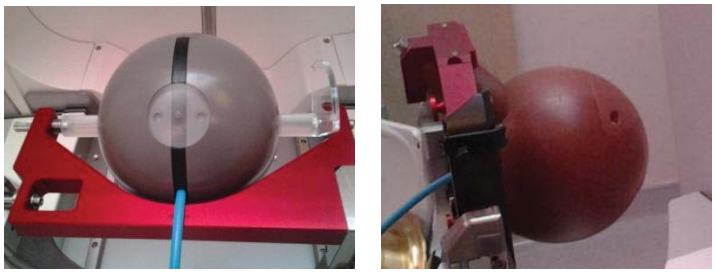


a **b** **c**

Gambar 2. Detektor ionisasi volume 0,125 cc Semiflex TM 31010 no. seri 004507 a) dan detektor Pinpoint TW 31016 no. seri 000968 b) serta elektrometer PTW Unidos T10001 no. seri 11814 dan PTW Webline c).

Fantom

Sebagai media pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air dari Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion ini digunakan dua buah fantom buatan Elekta. Yang pertama adalah *ELEKTA ABS spherical phantom.* Fantom ini berdiameter 160 cm terbuat dari polisteren dengan densitas 1,066 g/cm^3. Kelemahan fantom ini adalah pemegangnya menyerap berkas radiasi sebanyak 1 % [8] Yang kedua adalah *ELEKTA solid water spherical phantom.* Air padat adalah material yang memberikan respon terhadap radiasi sama dengan air. Disamping itu pemegang fantom ini sama dengan pemegang kepala pasien ketika penyinaran.



a **b**

Gambar 3. Fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* a) dan *ELEKTA solid water spherical phantom* b)

TATA KERJA

Pengukuran Dosis Transit

Pertama fantom plastik *ELEKTA ABS spherical phantom* dipasang pada pemegangnya (adaptor dosimetri), selanjutnya pemegang fantom tersebut dipasang pada meja pasien. Setelah itu detektor volume 0,125 cc Semiflex TM 31010 no. seri 004507 dimasukkan ke dalam fantom tersebut. Kemudian atur waktu penyinaran pada pesawat selama 1 menit. Ambil 1 buah data. Kemudian lakukan hal yang sama untuk waktu penyinaran 15 menit dengan pengambilan data sebanyak 4 buah. Temperatur dan tekanan udara selama pengukuran diamati.

Pengukuran Laju Dosis Serap Air

Penentuan Faktor Koreksi Rekombinasi Ion

Setelah pengecekan stabilitas maka dilakukan penentuan faktor rekombinasi ion yang dilakukan dengan pengukuran menggunakan dua buah tegangan . Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda V_1 (tegangan normal) dan V_2. Pengaturan tegangan V_1 dan V_2 sedemikan rupa sehingga V_1/V_2 sekurang-kurangnya = 3 .

Pengukuran untuk menentukan koreksi rekombinasi ion berkas Co-60 dilakukan di dalam fantom dengan waktu penyinaran = 1 menit

Faktor koreksi rekombinasi ion ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini [7]

$$K_s = \frac{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)} \quad \text{..... 4}$$

dengan

K_s : faktor koreksi rekombinasi ion

V_1 : tegangan normal detektor

ISSN 1978-0176

V_2 : tegangan detektor sehingga $V_1/V_2 = \geq 3$
Q_1 : muatan yang dihasilkan menggunakan tegangan V_1
Q_2 : muatan yang dihasilkan menggunakan tegangan V_2

Penentuan Efek Polaritas

Penentuan faktor koreksi polaritas dilakukan dengan cara memberikan detektor tegangan positip dan negatip pada kondisi pengukuran yang sama. Faktor koreksi polaritas, k_{pol} ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini [7]:

$$k_{pol} = \frac{|I_+| + |I_-|}{2\,|I|} \quad \text{..... 5}$$

dengan
I_+ : arus yang terukur dengan tegangan detektor positif
I_- : arus yang terukur dengan tegangan detektor negatif
I : arus yang terukur dengan tegangan detektor normal

Setelah pengukuran faktor –faktor koreksi yang diperlukan untuk penentuan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 selesai, maka detektor disinari kembali untuk 1 menit penyinaran. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali. Selama pengukuran, temperatur dan tekanan udara diamati.

Setelah pengukuran selesai, hal yang sama dilakukan untuk fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* dan detektor Pinpoint TW 31016.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesalahan Penunjukan Waktu Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion

Hasil pengukuran kesalahan penunjukan waktu dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data pengukuran kesalahan penunjukan waktu pesawat

M_A (nC/60 detik)	M_B (nC) dengan n:4
7,368	1,833
	1,832
	1,832
	1,832
	n. M_B = 7,329

Dengan menggunakan Persamaan 1 akan diperoleh kesalahan penunjukan waktu pesawat sebesar -0,11 detik. Dibandingkan dengan pengukuran sebelumnya yang mendapatkan nilai - 0,08 detik, maka tidak terjadi perubahan yang signifikan.

Jika hasil pengukuran tersebut dihitung menggunakan Persamaan 2, maka akan diperoleh dosis transit sebesar - 0,013 Gy/ (16 mm penyinaran). Nilai ini relatif kecil yaitu sekitar 0,6 % dibandingkan dengan luarannya.

Hasil pengukuran laju dosis serap air dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dengan detektor Semiflex volume 0,125 TM 31010 no. seri 004507 menggunakan fantom ELEKTA ABS *spherical* phantom dan *ELEKTA solid water spherical phantom* yang dihitung dengan Persamaan 3 dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini

Tabel 2. Hasil perhitungan laju dosis serap air pesawat Co-60 yang diukur dengan detektor Semiflex volume 0,125 TM 31010 no. seri 004507

Fantom	Rerata nC	N_{DW} mGy/nC	Pol.	P_S	D_W mGy/mt
ELEKTA ABS *spherical* phantom	7,369	299,25	1,00760	1,00038	2222,7
ELEKTA solid water spherical phantom	7,514	299,25	1,00706	1,00041	2265,3

Hasil pengukuran laju dosis serap air dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dengan detektor Semiflex volume 0,125 TM 31010 no. seri 004507 menggunakan fantom

ISSN 1978-0176

ELEKTA ABS *spherical* phantom dan *ELEKTA solid water spherical phantom* yang dihitung menggunakan Persamaan 3 dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini

Dari Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa laju dosis serap air yang diperoleh menggunakan fantom air padat mendapatkan nilai 1,9 % lebih besar dibandingkan dengan menggunakan fantom plastik .

Hasil pengukuran kalibrasi pertama pada tanggal 14 Mei 2012 menggunakan detektor Semiflex TM 31010 no. seri 004507 yang dimasukkan dalam fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* mendapatkan laju dosis serap air sebesar 3400 mGy/menit. Jika hasil ini dihitung menggunakan faktor peluruhan dengan waktu paruh Co-60 sebesar 5,27 tahun ke tanggal 23 September 2015 akan mendapatkan laju dosis serap air sebesar 2186,1 mGy/menit. Dengan demikian akan mendapatkan perbedaan sebesar 1,7 % antara pengukuran dan perhitungan. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas luaran pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion untuk rentang waktu yang panjang yaitu 1227 hari cukup baik. Dengan demikian untuk keperluan penyinaran pasien, laju dosis serap air dapat diperoleh dengan perhitungan. Namun untuk mengontrol luarannya pengukuran dapat dilakukan setiap bulan dan membandingkan dengan perhitungan.

Hasil pengukuran laju dosis serap air dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion menggunakan detektor Pinpoint TW 31016 no. seri 000968 fantom ELEKTA ABS *spherical* phantom dan *ELEKTA solid water spherical phantom* yang dihitung dengan Persamaan 3 dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil perhitungan laju dosis serap air pesawat Co-60 menggunakan detektor Pinpoint TW 31016 no. seri 000968

Fantom	Rerata nC	N_{DW} mGy/nC	Pol.	P_S	D_W mGy/mt
ELEKTA ABS *spherical* phantom	0,881	2515	1,00460	1,00079	2228,5
ELEKTA solid water spherical phantom	0,902	2515	1,00706	1,00089	2285,7

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa hasil penentuan laju dosis serap air di dalam *ELEKTA solid water spherical phantom* mendapatkan hasil yang lebih besar dengan perbedaan 2,5 %, sedangkan jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan detektor Semiflex volume 0,125 cc mendapatkan perbedaan yang kecil sebesar 0,9 %. Namun meskipun perbedaannya kecil, penggunaan detektor ini belum dianggap ***valid***, karena masih ada sejumlah volume udara di dalam fantom yang menyebabkan prinsip Teori Bragg Gray Cavity tidak berlaku. Untuk itu perlu dibuat ***adaptor*** dari detektor ini agar tidak terdapat rongga udara di dalam fantom.

Dari Tabel 2 dan 3 menunjukkan kecenderungan yang sama bahwa fantom *ELEKTA Solid Water Spherical* mendapatkan hasil yang lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Penentuan laju dosis serap air menggunakan publikasi IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398, pengukurannya harus menggunakan fantom ELEKTA *Solid Water Spherical*
- Dosis Transit untuk kolimator mendapatkan nilai yang kecil sehingga dapat diabaikan
- Stabilitas laju dosis serap air pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion cukup baik
- Kedapat-ulangan output pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion ini sangat baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rumah Sakit Siloam Karawaci atas kesempatan yang diberikan untuk penggunaan fasilitas Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion.

ISSN 1978-0176

DISKUSI

1. Mengapa timer error yang dibawah 1 detik dapat diabaikan dan apakah ada batasan atau standar yang dapat diacu?
   Jawab: kesalahan pada timer dibawah 1 detik dapat diabaikan karena biasanya pada penyinaran kanker dibutuhkan sekitar 20-60 menit, maka koreksi dosisnya sangat kecil. Batasan timer error tidak ada standarnya.
2. Apa bentuk sumber Co-60 dan berapa aktivitasnya ?
   Jawab : bentuk sumber Co-60 adalah seperti "pelet" dan terbagi menjadi 192 titik dengan total aktivitasnya adalah 197,2 TBq (5329,8 Ci) pada tanggal 11 Maret 2012.
3. Apakah sumber Co-60 untuk kebutuhan Gamma Knife ini bisa diganti dengan sumber yang lain ?
   Jawab : sumber Co-60 dapat digantikan dengan sumber lain misalnya Cs-137 akan tetapi hal ini akan menjadi tidak efektif mengingat daya tembus dan penumbra dari sumber Cs-137 jauh berbeda dengan Co-60.

DAFTAR PUSTAKA

1. NAZAROH dkk, Leksell Gamma Knife (LGK) Perfexion/6121, Pertama di Indonesia dan Verifikasi Keluarannya, Prosiding PPI Standardisasi 2012, Badan Standardisasi Nasional, 2012
2. Komunikasi dengan staf "Brain Center " Rumah Sakit Siloam Karawaci, Tanggerang
3. DAVID SHEPARD , Gamma Knife and CyberKnife : Physics and Quality Assurance, Swedish Cancer Institute, Seattle,WA
4. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Peraturan Kepala BAPETEN tentang kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi, standardisasi radionuklida dan fasilitas kalibrasi, BAPETEN, Jakarta, 2007
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy ; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna , 2000
6. PAULA L. PETTI,Ph.D., Leksell Gamma Knife® Perfexion ™ QA Consideration, Taylor Mc Adam Bell Neuroscience Institute, Washington Hospital Healthcare System, Fremont, Ca.
7. Bhatnagar, et al, 16-mm Dose Rate Measurement : Practical Issues : Choice of new or old-Style phantom , Med.Phys 36 : 1208-1211, 2009.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

VERIFIKASI PENENTUAN LUARAN PESAWAT PEMERCEPAT LINIER TRILOGY

Sri Inang Sunaryati[1], Assef Firnando Firmansyah[2], Nurman Rajagukuguk[3], Gatot Wurdiyanto[4]

1. PTKMR-BATAN, Jakarta, sri.inang12@gmail.com
2. PTKMR-BATAN, Jakarta, firnando3154@gmail.com
3. PTKMR-BATAN, Jakarta, nurman55@yahoo.com
4. PTKMR-BATAN, Jakarta, gatot_w@batan.go.id

ABSTRAK

VERIFIKASI PENENTUAN LUARAN PESAWAT PEMERCEPAT LINIER TRILOGY. Makalah ini menguraikan verifikasi penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dan elektron energi nominal 18 MeV yang dipancarkan dari pesawat pemercepat linier medik Trilogy milik Rumah Sakit Siloam Simatupang. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air pada kondisi acuan dengan jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm serta kedalaman 10 cm untuk berkas foton dan (0,6 R_{50} – 0,1) cm untuk berkas elektron. Sebagai alat ukur radiasi digunakan dosimeter Farmer NE 2570 /1B milik PTKMR-BATAN dan IBA milik Rumah Sakit Siloam. Perhitungan hasil pengukuran dilakukan menggunakan protokol dosimetri IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya kesesuaian yang cukup baik antara kedua pengukuran dengan perbedaan lebih kecil dari 1,0 %.

Kata kunci : verifikasi, laju dosis serap air, berkas foton, berkas elektron, detektor ionisasi, pesawat pemercepat linier Trilogy, Technical Report Series No. 398

ABSTRACT

VERIFICATION OF THE OUTPUT DETERMINATION FROM A TRILOGY LINEAR ACCELERATOR MACHINE. *This paper describes the verification of the determination of the absorbed doses to water for 6 MV foton and 18 MeV electron beams from a Trilogy linear accelerator machine at Siloam Simatupang Hospital. Measurement has been carried out at the reference condition with the source to the surface distance of 100 cm, field size of 10 cm x 10 cm and the depth of 10 cm for photon and (0,6 R_{50} – 0,1) cm for electron beams. As radiation measuring instrument, Farmer dosemeter type of NE 2570/1B owned by PTKMR and IBA dosemeter owned by Siloam Hospital were used for the measurement. Calculation of the measurement were based on the International Atomic Energy Agency publication in the Technical Report Series No. 398. The result obtained showed that there were good agreement between the measurement with differences less than 1.0 %.*

Key words : verification, absorbed dose to water, photon beam, ionization chamber and Trilogy linear accelerator machine, Technical Report Series No. 398.

PENDAHULUAN

Pesawat pemercepat linier medik Trilogy no. seri 5484 buatan pabrik Varian Medical Treatment adalah pesawat teleterapi yang digunakan oleh Unit Radioterapi Rumah Sakit Siloam Simatupang, Jakarta untuk menyinari pasien tumor. Pesawat ini dapat memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV serta berkas elektron dengan energi nominal 6, 9, 12, 16 dan 18 MeV [1].

Pada prinsipnya radioterapi adalah penggunaan radiasi pengion untuk mematikan sel kanker dengan dosis yang terukur pada volume tumor dan mengupayakan efek radiasi pada jaringan sehat seminimal mungkin. Ketelitian pemberian dosis pada pasien diupayakan tidak melebihi ± 5 % [2,3]. Dengan diperlukannya ketelitian dalam pemberian dosis pada pasien dan untuk menghindari risiko yang tidak diinginkan, badan pengawas

ISSN 1978-0176

mewajibkan kepada pemegang ijin untuk mengkalibrasi sumber radiasi yang dimilikinya [4].

Untuk mendapatkan dosis radiasi yang akurat untuk penyinaran pasien tumor, maka harus dilakukan beberapa pengukuran parameter dosimetri yang penting dan berpengaruh pada besaran dosis radiasi tersebut. Salah satu parameter tersebut adalah persentase dosis di kedalaman berkas radiasi yang dipancarkan dari pesawat teleterapi yang digunakan. Persentase Dosis di Kedalaman (PDD) diperlukan untuk mendapatkan kedalaman pengukuran laju dosis serap air, indeks kualitas berkas radiasi, faktor koreksi kualitas radiasi detektor yang digunakan untuk perhitungan laju dosis serap air pada titik pengukuran dan laju dosis serap air maksimum dari berkas radiasi tersebut [5]. Hasil suatu pengukuran sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : alat ukur yang digunakan, pesonil yang melakukan pengukuran, peralatan penunjang, protokol yang digunakan dan kondisi lingkungan tempat pengukuran. Perkembangan belakangan ini menunjukkan adanya kecenderungan untuk melibatkan pihak independen dan memiliki kapabilitas yang mumpuni sebagai pembanding untuk meyakinkan kebenaran hasil suatu pengukuran [6].

Untuk menerapkan program kendali mutu fasilitas radioterapinya, Rumah Sakit Siloam Simatupang memiliki beberapa alat ukur radiasi antara lain : dosimeter IBA welhofer yang digunakan untuk pengukuran relatif seperti persentase dosis di kedalaman dan profil berkas radiasi dan detektor ionisasi volume 0,65 cc FC 65 G no. seri 2477 untuk pengukuran berkas foton dan detektor pengionan keping sejajar PPC 40 no. seri 1205 untuk pengukuran berkas elektron. Kedua detektor tersebut dirangkaikan dengan elektrometer IBA Dose 1 no. seri 18186. Untuk meyakinkan kebenaran hasil penentuan laju dosis serap air dari pesawat pemercepat linier Trilogy no. seri 5484 yang dimilikinya, maka dilakukan pengukuran oleh personil rumah sakit menggunakan peralatannya dan membandingkan dengan pengukuran yang dilakukan oleh personil PTKMR-BATAN terhadap berkas foton 6 MV dan elektron energi nominal 18 MeV . Tidak ada pertimbangan khusus terhadap pemilihan kualitas radiasi berkas foton dan elektron tersebut di atas, kecuali dianggap sudah mewakili kualitas radiasi terendah dan tertinggi dari berkas radiasi pesawat Trilogi .

Makalah ini menguraikan verifikasi penentuan dosis serap berkas foton 6 MV dan elektron energi nominal 18 MeV dari pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy yang dilakukan di Rumah Sakit Siloam Simatupang, Jakarta. Pesawat pemercepat linier Trilogy no. seri 5484 dan personil yang melakukan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pesawat pemercepat linier medik Trilogy no. seri 5484 buatan pabrik Varian Medical Treatment

TINJAUAN PUSTAKA

Kualitas Radiasi Berkas Foton

Untuk menyatakan kualitas radiasi berkas foton protokol Nordic dan IAEA yang terdapat dalam Technical Reports Series no. 277 menggunakan rasio dosis di kedalaman 10 cm dan 20 cm dengan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm [5]. Berdasarkan nilai rasio ini akan diperoleh beberapa faktor koreksi seperti: faktor koreksi pertubasi dan nisbah daya henti masa air terhadap udara yang digunakan dalam perhitungan laju dosis serap air berkas foton energi tinggi jika menggunakan protokol Technical Report Series No. 277. Jika perhitungan laju dosis serap air dilakukan menggunakan protokol Technical Report Series No. 398, maka dari kualitas radiasi ini akan diperoleh nilai koreksi kualitas radiasi detektor yang digunakan untuk pengukuran [7].

Selain dari pengukuran pada dua kedalaman tersebut di atas, kualitas radiasi berkas foton ini dapat juga diperoleh dari kurva persentase dosis di kedalaman yaitu rasio persentase dosis pada kedalaman 10 cm dan 20 cm. Dari kurva ini dapat diperoleh

ISSN 1978-0176

juga kedalaman dosis mencapai nilai maksimum, R_{100}.

Untuk mendapatkan kurva persentase dosis di kedalaman ini dapat dilakukan menggunakan pengukuran relatif. Sistem dosimeter untuk pengukuran relatif ini menggunakan dua buah detektor. Detektor yang pertama merupakan acuan yang diletakkan tetap pada medan radiasi di atas air, sedang detektor yang kedua dapat digerakkan di sepanjang sumbu utama mulai dari permukaan air sampai dengan kedalaman yang dibutuhkan.

Penentuan Dosis Serap di Air Berkas Foton

Dosis serap air berkas foton atau elektron dari sebuah pesawat teleterapi merupakan salah satu parameter dosimetri yang sangat penting karena berhasilnya perlakuan radioterapi sangat bergantung pasda parameter ini. Laju Dosis serap air berkas foton atau elektron pada titik acuan pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan berikut [7] :

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

dengan :

$D_{w,Q}$: dosis serap pada titik pengukuran acuan

M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi temperatur, tekanan dan rekombinasi ion dan polaritas

$N_{D,w,Qo}$: faktor kalibrasi dosimeter dalam besaran dosis serap air untuk kualitas acuan Q_0

$k_{Q,Qo}$: faktor koreksi kualitas radiasi dari detektor yang digunakan . Tabel 6 . III dalam TRS No. 398 untuk berkas fotonTabel 7 . III dalam TRS No. 398 untuk berkas elektron

PERALATAN DAN TATA KERJA
Peralatan

Sebagai sumber radiasi digunakan pesawat pemercepat linier medik Trilogy no. Seri 5484. Pesawat ini dapat memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV serta berkas elektron dengan energi nominal 6, 9, 12, 16 dan 20 MeV.

Alat ukur radiasi yang digunakan PTKMR-BATAN adalah detektor pengionan volume 0,6 cc tipe TW 30013 no. seri 6367 untuk pengukuran berkas foton dan detektor pengionan keping sejajar Roos W 34001 no. seri 0125 untuk pengukuan berkas elektron. Kedua detektor tersebut dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe 2570/1B no. seri 1182.

Alat ukur radiasi yang digunakan Rumah Sakit Siloam adalah detektor pengionan volume 0,65 cc FC 65 G no. seri 2477 untuk pengukuran berkas foton dan detektor pengionan keping sejajar PPC 40 no. seri 1205 untuk pengukuran berkas elektron. Kedua detektor tersebut dirangkaikan dengan elektrometer IBA Dose 1 no. seri 18186. Detektor pengionan Roos dan PPC 40 dan elektrometer Farmer dan IBA Dose 1 dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



a b

Gambar 2. Detektor Roos dan PPC 40 a). Elektrometer IBA dan Farmer b)

Tata Kerja
Pengukuran Persentase Dosis di Kedalaman Berkas Foton dan Elektron

Pertama personil rumah sakit mengukur persentase dosis di kedalam berkas foton 6 MV dari pesawat pemercepat linier. Pengukuran dilakukan menggunakan sistem Dosimeter IBA Welhofer pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Detektor ditempatkan pada kedalaman tertentu, kemudian disinari dengan berkas foton 6 MV. Selanjutnya detektor digerakkan secara otomatis di sepanjang sumbu utama berkas radiasi sampai kedalaman yang diperlukan.

Setelah pengukuran persentase dosis di kedalam berkas foton selesai, maka dilakukan pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas elektron. Pengukuran dilakukan pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm menggunakan aplikator pembentuk lapangan radiasi 10 cm x 10 cm.

Dari kedua pengukuran ini akan diperoleh kurva persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV dan elektron energi nominal 18 MeV.

ISSN 1978-0176

Pengukuran Kualitas Radiasi Berkas Foton Menggunakan Detektor Ionisasi.

Untuk menyatakan kualitas radiasi berkas foton protokol Nordic dan IAEA yang terdapat dalam Technical Reports Series no. 277 menggunakan rasio dosis di kedalaman 10 cm dan 20 cm dengan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm [8]. Berdasarkan nilai rasio ini akan diperoleh beberapa faktor koreksi seperti : faktor koreksi pertubasi dan nisbah daya henti masa air terhadap udara yang digunakan dalam perhitungan laju dosis serap air berkas foton energi tinggi jika menggunakan protokol Technical Report Series No. 277. Jika perhitungan laju dosis serap air dilakukan menggunakan protokol Technical Report Series No. 398, maka dari kualitas radiasi ini akan diperoleh nilai koreksi kualitas radiasi detektor yang digunakan untuk pengukuran [9].

Selain dari pengukuran pada dua kedalaman tersebut di atas, kualitas radiasi berkas foton ini dapat juga diperoleh dari kurva persentase dosis di kedalaman yaitu rasio persentase dosis pada kedalaman 10 cm dan 20 cm. Dari kurva ini dapat diperoleh juga kedalaman dosis mencapai nilai maksimum, R_{100}.

Untuk mendapatkan kurva persentase dosis di kedalaman ini dapat dilakukan menggunakan pengukuran relatif. Sistem dosimeter untuk pengukuran relatif ini menggunakan dua buah detektor. Detektor yang pertama merupakan acuan yang diletakkan tetap pada medan radiasi di atas air, sedang detektor yang kedua dapat digerakkan di sepanjang sumbu utama mulai dari permukaan air sampai dengan kedalaman yang dibutuhkan.

Pengukuran kualitas radiasi berkas foton 6 MV tersebut dilakukan dengan cara mengukur ionisasi pada kedalaman 10 cm dan 20 cm. Kondisi pengukuran dilakukan dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Hasil perbandingan ionisasi di kedua kedalaman tersebut merupakan kualitas dari berkas foton yang diukur [5].

Sementara itu Technical Report Series No. 277 menghubungkan bacaan di kedua kedalaman tersebut dengan *Tissue Phantom Ratio* dalam sebuah tabel.

Pengukuran Laju Dosis Serap di Air Berkas Foton 6 MV

Mula-mula pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur radiasi milik Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN. yaitu detektor pengionan volume 0,6 cc tipe 2571 no.seri 2491 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe 2570/1B no. seri 1182. Pengukuran dilakukan pada kedalaman 5 cm untuk berkas foton energi 6 MV dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi pada permukaan fantom 10 cm x 10 cm.

Setelah itu dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur radiasi milik rumah sakit Siloam Simatupang yaitu detektor pengionan volume 0,6 cc tipe TM 30013 no.seri 1456 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Unidos E T 10009 no. seri 90209. Susunan peralatan pada pengukuran laju dosis serap berkas foton 6 MV dan elektron energi nominal 18 MeV dapat dilihat pada Gambar 3.

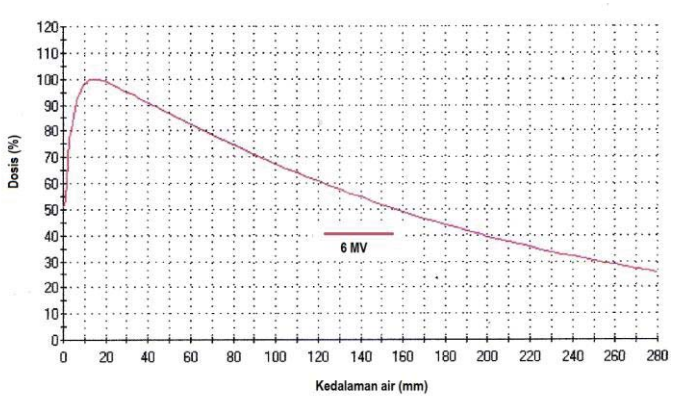


Gambar 3. Susunan peralatan pada pengukuran laju dosis serap air berkas foton 6 MV dan 18 MeV

HASIL DAN PEMBAHASAN
Berkas Foton 6 MV

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman yang dilakukan oleh fisikawan medis Rumah Sakit Siloam untuk berkas foton 6 MV pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi pada permukaan air 10 cm x 10 cm dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

ISSN 1978-0176



Gambar 4. Persentase dosis di kedalaman (PDD) berkas foton 6 MV

Dari gambar tersebut di atas dapat dilihat bahwa prosentase dosis pada kedalaman 10 cm dan 20 cm masing-masing 67,0 % dan 38,5 %, sehingga perbandingan antara dosis pada kedua kedalaman tersebut adalah 0,575. Persentase dosis di kedalaman 10 cm ini digunakan untuk mendapatkan laju dosis serap air maksimum berkas foton 6 MV berdasarkan pengukuran pada kedalaman 10 cm.

Hasil pengukuran ionisasi untuk berkas foton 6 MV yang dilakukan menggunakan dosimeter milik SSDL PTKMR-BATAN pada kedalaman 10 cm dan 20 cm masing-masing mendapatkan nilai 12,485 nC dan 7,145 nC sehingga perbandingan antara ionisasi pada kedua kedalaman tersebut adalah $D_{20/10}$ = 0,572. Dari penentuan kualitas radiasi yang dilakukan dengan 2 cara, alat ukur dan personil yang berbeda tersebut di atas mendapatkan perbedaan yang tidak signifikan sebesar 0,5 %.

Dengan menggunakan persamaan $TPR_{20/10}$ = 1,2661 x $PDD_{20/10}$ - 0,0595 akan diperoleh $TPR_{20/10}$ = 0,667. Dengan menggunakan Tabel 6 . III dalam TRS No. 398, maka untuk detektor tipe TW 30013 akan diperoleh nilai k_Q = 0,992, sedangkan untuk detektor tipe FC 65 G akan mendapatkan nilai k_Q = 0,996.

Hasil pengukuran kalibrasi laju dosis serap air berkas foton pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm menggunakan dosimeter Farmer yang dihitung menggunakan Persamaan 1 dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil penentuan laju dosis serap air maksimum berkas foton 6 MV menggunakan elektrometer milik PTKMR

Dosi-meter	Bacaan nC/100 MU	N_D mGy/nC	K_s	K_{pol}	kQ	D_5 mGy/ 100MU	PDD %	D_{mak} mGy/100 MU
PTKMR	12,539	54,27	1,0018	1,0024	0,992	675,026	66,2	1019,7

Dari Tabel 1 tersebut di atas dapat dilihat bahwa laju dosis serap air berkas foton 6MV pada kedalaman dosis mencapai maksimum mendapatkan nilai 1019,7 mGy/100 MU yang artinya 1 MU ~ 1,0197 cGy. Hasil ini mendapatkan deviasi mendekati 1,97 % dari 1 MU ~ 1,00 cGy. Dengan demikian perlu dilakukan *adjustment* potensiometer dari pesawat pemercepat linier tersebut agar 1 MU ~ 1,00 cGy ± < 1 %. Setelah dilakukan *adjutsment*, maka dilakukan kembali pengukuran yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 dengan 1 MU ~ 1,00 cGy ± 1,0 %. Hasil ini dijadikan acuan untuk verifikasi hasil pengukuran yang dilakukan personil Rumah Sakit Siloam Simatupang yang hasil pengukurannya dapat dilihat pada tabel yang sama.

ISSN 1978-0176

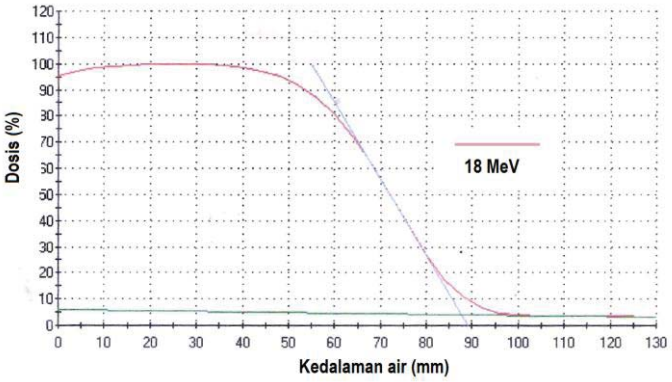
Tabel 2. Hasil penentuan laju dosis serap air maksimum berkas foton 6 MV menggunakan dua detektor

Detektor	Bacaan nC/100MU	$N_{D,W}$ mGy/nC	K_s	K_{pol}	kQ	D_5 mGy/100 MU	PDD %	D_{mak} mGy/100 MU
TW 30013 PTKMR	12,262	54,27	1,0018	1,0024	0,992	662,972	66,2	1001,5
FC 65 G RS Siloam	13,807	48,2	1.003	0,990	0,996	662,721	66,48	996,9

Dari Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa untuk berkas foton energi 6 MV Rumah Sakit Siloam mendapatkan laju dosis serap air maksimum sebesar 996,9 mGy/100 MU, sedangkan PTKMR mendapatkan nilai 1001,5 mGy/100 MU. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan sebesar 0,4 %.

Berkas Elektron Energi Nominal 18 MeV

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas elektron dengan energi nominal 18 MeV pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi yang dibentuk oleh aplikator 10 cm x 10 cm dapat dilihat pada Gambar. 5 di bawah ini.



Gambar 5. Persentase dosis di kedalaman (PDD) berkas elektron 18 MeV

Dari Gambar 5 diperoleh kedalaman dosis mencapai 50 % dari nilai maksimum, $\boldsymbol{R_{50}}$ yaitu 7,61 cm. Dengan menggunakan persamaan (0,6 R_{50} – 0,1) cm akan diperoleh kedalaman pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air yaitu 4,50 cm dengan persentase dosis kedalaman sebesar 97,66 %. Dengan nilai $\boldsymbol{R_{50}}$ = 7,61 cm ini, maka dengan menggunakan Tabel 7. III dalam TRS No. 398 akan diperoleh nilai faktor koreksi $K_{Q,Q0}$ pada Persamaan 2 = 0,8943. Perhitungan hasil pengukuran dosis serap untuk berkas elektron energi nominal 18 MeV menggunakan dosimeter milik Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional dan Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

ISSN 1978-0176

Tabel 3. Hasil penentuan laju dosis serap maksimum berkas elektron energi nominal 18 MeV menggunakan detektor Roos

Detektor	Bacaan nC/100MU	N_D mGy/nC	K_s	K_{pol}	kQ	D_{acuan} cGy/100 MU	PDD %	D_{mak} cGy/200 MU
Roos PTKMR	13,261	83,53	1,008	1,003	0,894	978,46	97,73	1013,71

Dari Tabel 3 tersebut di atas dapat dilihat bahwa laju dosis serap air berkas elektron pada kedalaman dosis mencapai maksimum mendapatkan nilai 1013,71 mGy/100 MU yang artinya 1 MU ~ 1,0137 cGy. Hasil ini mendapatkan deviasi mendekati 1,4 % dari 1 MU ~ 1,00 cGy. Dengan demikian perlu dilakukan *adjustment* potensiometer pesawat pemercepat linier tersebut. Setelah dilakukan *adjutsment*, maka dilakukan kembali pengukuran yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 dengan 1 MU ~ 1,00 cGy ± 0,2 %. Hasil ini dijadikan acuan untuk verifikasi hasil pengukuran yang dilakukan personil Rumah Sakit Siloam Simatupang yang hasil pengukurannya dapat dilihat pada tabel yang sama.

Tabel 4. Hasil penentuan laju dosis serap maksimum berkas elektron energi nominal 18 MeV menggunakan dua detektor ionisasi keping sejajar.

Detektor	Bacaan nC/100MU	N_D mGy/nC	k_s	k_{pol}	kQ	D_{acuan} cGy/100MU	PDD %	D_{mak} cGy/200MU
Roos PTKMR	12,95	83,53	1,008	1,003	0,894	978,46	97,73	1001,19
PPC 40 RS Siloam	12,552	86,90	1.007	0,997	0,894	975,52	97,66	998,85

Dari Tabel 4 di atas dapat dilihat bahwa untuk berkas elektron energi nominal 18 MeV RS Siloam mendapatkan laju dosis serap maksimum sebesar 998,9 mGy/100 MU, sedangkan PTKMR mendapatkan nilai 1001,2 mGy/100 MU. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan sebesar 0,2 %.

KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

Ketidakpastian hasil pengukuran dievaluasi sesuai dengan kriteria yang terdapat dalam ISO/TAG 4/WG 3: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* yang mendefinisikan dua katagori komponen ketidakpastian yaitu Tipe A dan Tipe B. Komponen ketidakpastian tipe A meliputi : bacaan berulang alat ukur radiasi, faktor koreksi rekombinasi ion dan faktor koreksi polaritas, sedangkan tipe B meliputi : ketidakpastian stabilitas alat ukur radiasi, faktor kalibrasi alat ukur radiasi, barometer, termometer, penunjuk jarak dan faktor koreksi kualitas berkas radiasi [8].

Evaluasi ketidakpastian pengukuran berdasarkan komponen ketidakpastian tersebut di atas diperoleh Ketidakpastian Terentang (Expanded Uncertainty) sebesar ± 2,0 %. Dengan demikian deviasi sebesar

ISSN 1978-0176

lebih kecil daripada 1,0 % menunjukkan kedua pengukuran mendapatkan hasil yang mendekati.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dan berkas elektron energi nominal 18 MeV dari pesawat pemercepat linier Varian Trilogy yang diukur menggunakan alat ukur milik Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN dan milik Rumah Sakit Siloam Simatupang.
2. Hasil verifikasi ini menunjukkan bahwa kemampuan personil RS Siloam, alat ukur radiasi, protokol dosimetri yang digunakan sudah memadai.
3. Kegiatan semacam ini perlu dilakukan secara berkala untuk menjamin kebenaran hasil pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada fisikawan medis dan personil Rumah Sakit Siloam Simatupang atas kerja samanya sehingga penulisan makalah ini dapat terlaksana

DISKUSI

1. Apakah kalibrasi ini atas inisiatif PTKMR untuk mendapatkan data penelitian atau hal lain ?
   Jawab: untuk mengalibrasi bukanlah inisiatif PTKMR tetapi dari permintaan pelanggan yaitu Rumah Sakit. Untuk mendapatkan data penelitian ini atas kerja sama PTKMR dengan pihak Rumah Sakit.
2. Kalau sekiranya PTKMR menjadi tempat kalibrasi atas rekombinasi BAPETEN, apakah semua rumah sakit ke PTKMR ?
   Jawab : semua Rumah Sakit harus mengalibrasi ke PTKMR sesuai dengan Perka BAPETEN.
3. Apa perbedaan dalam terapi (penyembuhan) kanker antara berkas radiasi foton dengan elektron ?
   Jawab : berkas radiasi foton biasanya digunakan pada kanker yang letaknya dalam terhadap permukaan tubuh seperti kanker payudara, servic, dan nasofaring, sedangkan berkas elektron untuk menyinari kanker yang letaknya dekat dengan permukaan tubuh seperti kanker kulit.

DAFTAR PUSTAKA

1. High Energy C- Series Clinac , Costumer Acceptance test Procedure. VARIAN MEDICAL SYSTEM , Revision U, 2009.
2. WILLIAM, J.R., and TWAITES, D.I., Radiotherapy in practice, Oxford Medical Publication, 1993
3. JHON HORTON. Ph.D Handbook Radiation Therapy Physics, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.,1987.
4. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Peraturan Ka. BAPETEN NOMOR 1 TAHUN 2006 Tentang Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi, diasi dan Keluaran Sumber Radiasi Terapi, dan Standardisasi Radionuklida, BAPETEN,l 2006
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams : An International Code of Practice, Technical Report Series No.277, IAEA, Vienna (1987)
6. F.O. BOCHUD, T. BUCHILLIER, J,-F. VALLEY, Verification of Diagnostic Radiology Control Instruments in Switzerland, Standard and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, Proceedings of an International Symposium, IAEA, Vienna, 2003.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy ; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No. 398, IAEA, Vienna, 05 June 2006 (V.12) .
8. INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION , “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,” ISO, Switzerland, 1995.

ISSN 1978-0176

PENENTUAN FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL PADA POSISI ELEMEN BAKAR TERAS 90 RSG GAS

Elisabeth Ratnawati, Sutrisno, Jaka Iman

Pusat Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy, Kawasan Puspiptek Gedung 31
Serpong Email betty@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL PADA POSISI ELEMEN BAKAR, TERAS 90 RSG GAS. Penentuan fluks neutron thermal dan epithermal di posisi elemen bakar diperlukan karena adanya perbedaan tinggi arus pada detektor sistem JKT03. Dikhawatirkan bahwa perbedaan tinggi arus ini disebabkan karena fluks neutron dalam teras reaktor memiliki nilai yang tidak seimbang. Dipilih 11 posisi pengukuran pada bagian luar teras yang berdekatan dengan kanal JKT03. Penentuan fluks neutron dilakukan dengan melakukan aktivasi keping Au-197 berbungkus aluminium dan cadmium. Iradiasi dilakukan dengan daya 200kwatt selama 20 menit. Posisi F6 memiliki besaran nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan posisi yang lain. Ini terjadi karena letak foil yang tidak berada tepat ditengah sela-sela elemen bakar seperti keping keping yang lain, karena adanya kendala pada saat pemasangan. Sehingga kemungkinan keping menerima pancaran neutron dari berilium reflektor. Secara keseluruhan hasil pengukuran memiliki rentang nilai yang tidak jauh berbeda satu sama lain. Sehingga dapat dikatakan bahwa perbedaan tinggi arus pada detektor JKT03 CX821 bukan berasal dari ketidakseimbangan besaran fluks didalam teras reaktor, tetapi kemungkinan berasal dari sistem instrumentasi dalam detektor tersebut. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut serta pengukuran ulang untuk posisi F6. Pengukuran juga akan dilakukan pada semua posisi secara bertahap sehingga diperoleh data mengenai distribusi fluks neutron secara keseluruhan.

Kata kunci: fluks neutron thermal dan epithermal, elemen bakar.

DETERMINATION OF THERMAL AND EPITHERMAL NEUTRON FLUX IN FUEL ELEMENT OF THE 90CYCLES OF RSG GAS. *Determination of thermal and epithermal neutronflux in the position of fuel elements is deemed necessary due to thedifference ofhigh current of JKT03 system. It is feared that difference is due toun-balance load of the core. It is selected of 11 measuring pointpositions at the out core adjacent to JKT03 canal. Determination ofneutron flux is performed is by activating Au-197 foil covered by aluminumand cadmium. Irradiation is implemented by 200 kwatt power for 20minutes. The F-6 position having the highest value compare to the otherpositions This occur due to location of the foil is not exactly in theinterrupted fuel element because of difficulties during installation.Therefore the possibility of the foil receiving the emitted neutrons fromberyllium reflector is possible. Hence for the entire results of this experiment having measurement rangeof values that are not much different each other. So it can be said thatthe difference between high and currents on the detector JKT03 CX821 isnot from an un balance of the neutron flux in the reactor core, but ismaybe from instrumentation of systems. Further research needs to be done as well as repeated measurements for the position F6. Measurements will be done to all positions gradually in order to obtain data on the overall*
distribution of neutron flux

Keywords: thermal and epithermal neutron flux, fuel elements.

PENDAHULUAN

Salah satu kecelakaan yang dimungkinkan terjadi pada saat reaktor beroperasi adalah kecelakaan reaktivitas. Untuk mendeteksi kecelakaan reaktivitas pada daerah daya maka digunakan alat pendeteksi yaitu empat buah pengukur fluks neutron bersama dengan tiga pengukur laju dosis gama dalam sistem pendingin primer. Empat kanal beredundansi yaitu : JKT03 CX811, JKT03

ISSN 1978-0176

CX821, JKT03 CX831 dan JKT03 CX841 dilengkapi dengan empat buah detektor neutron yang masing masing dipasang sepanjang teras pada sudur luar reflektor berilium. Adapun fungsi dari alat tersebut adalah memantau kondisi teras reaktor dalam hal daya terlalu tinggi, beban tidak setimbang, maupun kondisi penyumbatan kanal pendingin

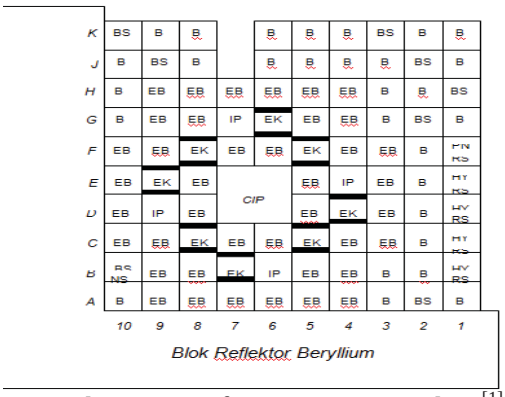
Pada saat salah satu detektor JKT03 mengalami gangguan, maka dilakukan pengukuran arus pada semua sistem JKT03 dan diperoleh hasil bahwa sistem JKT03 CX821 memiliki nilai pengukuran arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Perbedaan antara yang terendah dengan yang tertinggi hingga mencapai enam kali lipat. Hal ini merupakan sesuatu yang tidak lazim, sebab besaran arus pada keempat sistem JKT03 ini seharusnya memiliki nilai yang seimbang.
Adanya perbedaan nilai ini menjadi penting untuk diteliti lebih lanjut, karena besaran arus dalam detektor adalah similar dengan besaran fluks neutron pada posisi tersebut. Dengan adanya fenomena ini maka timbul kekuatiran bahwa hal ini merupakan suatu indikasi dari kondisi teras reaktor yang tidak setimbang.

Oleh karena itu maka dipandang perlu untuk melakukan pengukuran fluks neutron pada elemen bakar di teras reaktor. Pengukuran fluks neutron dilakukan secara langsung dengan metode aktivasi keping Au-197, baik yang dibungkus Aluminium (terbuka) maupun Cadmium (tertutup). Posisi yang dipilih adalah A-9, H-9, A-4, H-4, F-3, C-10, F-10, C-6, C-3, F-6, E-8. Posisi ini ditentukan agar dapat memperoleh data besaran fluks neutron pada bagian luar teras yang berdekatan dengan kanal JKT03. Diharapkan dari hasil pengukuran fluks neutron tersebut akan memberi gambaran, apakah perbedaan tinggi arus pada JKT03 ini disebabkan karena ketidaksimbangan dalam teras reaktor, atau sebab sebab yang lain.

TEORI

Konfigurasi teras setimbang (*TWC*) silisida RSG-GAS terdiri atas 40 elemen bakar standar (EB), 8 elemen bakar kendali (EK), satu posisi iradiasi di tengah (*CIP*) yang besar yang terdiri atas 2 x 2 posisi kisi teras, dan 4 posisi iradiasi (*IP*) di dalam teras reaktor, masing-masing mengambil satu posisi kisi teras. Keseluruhan teras *TWC* terdiri atas 960 pelat elemen bakar, yang berarti identik dengan 45,7 elemen bakar standar. Selain dari 8 elemen Beryllium di tepi dari susunan teras reaktor 8 x 8, teras reaktor dikeliling pada kedua sisinya oleh dua baris posisi pelat kisi (seluruhnya berjumlah 36) yang menyediakan ruang untuk elemen reflektor Beryllium (B atau BS) maupun posisi iradiasi di reflektor dan piranti-piranti untuk sistem *rabbit* (*RS*) sesuai dengan permintaan khusus dari pemakai. Susunan tipikal dipilih sebagai dasar untuk perhitungan teras reaktor. Susunan ini mempertimbangkan posisi tetap dari kelima posisi sistem *rabbit* maupun ruang bebas dari dua posisi pelat kisi (dengan posisi yang dapat dipindah-pindah untuk pengarah aliran) untuk gerakan fasilitas uji daya *ramp* (*PRTF*) di dekat teras reaktor aktif.

Berikut adalah gambar konfigurasi teras reaktor GA.Siwabessy.



Gambar 1 : Konfigurasi Teras Reaktor[1]

Pengukuran aktivitas keping

Pengukuran aktivitas keping dilakukan dengan melakukan iradiasi foil dalam kolam reaktor kemudian dilakukan pencacahan dengan menggunakan seperangkat alat spektrometri gamma. Sebelum digunakan untuk proses pencacahan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi energi terhadap sistem spektrometri gamma. Secara kualitatif puncak energi akan segera dapat diidentifikasi, sedangkan secara kuantitatif besarnya aktivitas detektor keping dapat dihitung dengan terlebih dahulu menghitung efisiensi energi.
Efisiensi mutlak untuk analisis kuantitatif, biasanya dinyatakan dengan lambang ε, dan besarnya adalah[2] :

$$\varepsilon\,(E) = \frac{cps}{dps \times Y(E)} \quad \text{.....(1)}$$

Dimana :
ε (E) : efisiensi mutlak pada tenaga E

ISSN 1978-0176

cps : cacah per sekon, adalah adalah cacah yang dihasilkan detektor per sekon
dps : disintegrasi per sekon, yaitu cacah sinar gamma yang dipancarkan oleh sumber γ ke segala arah per sekon.
Y (E): intensitas mutlak sinar γ (Yield)
Setelah mendapatkan besaran effisiensi pada tenaga yang dimaksud maka besaran aktivitas keping dapat dihitung dengan menggunakan rumus[2]

$$\text{Aktivitas (Bq)} = \frac{cps}{eff\ x\ intensitas} \quad (2)$$

Penentuan Fluks neutron

Besaran fluks neutron thermal dapat ditentukan dengan persamaan [3]

$$\emptyset_{th} = \frac{BA.A_b(t)\left(1-\frac{1}{R_{cd}}\right).e^{\lambda td}.t_{tm}}{m.No.\sigma_{th}\left(1-e^{-\lambda ti}\right).\left(1-e^{-\lambda tm}\right).G_{th}} \quad .....(3)$$

Sedangkan besaran fluks epithermal ditentukan dengan persamaan[3]

$$\emptyset_{epi} = \frac{\emptyset_{th}.\sigma_{th}}{(R_{Cd}-1)I_r.G_{epi}} ln\frac{E_2}{E_1} \quad .....(4)$$

dimana
BA = berat atom detektor keping
$A_b(t)$ = aktivitas terukur keping terbuka
R_{cd} = nisbah cadmium
λ = tetapan peluruhan
td, tm,ti= waktu peluruhan, waktu pengukuran, dan waktu iradiasi
m = massa keping detektor
No = bilangan Avogadro
σ_{th} = tampang lintang inti keping terhadap neutron thermal
Ir = integral resonansi
G_{th} = faktor perisai diri thermal
G_{epi} = faktor perisai diri epithermal
E_1 = energi batas bawah neutron epithermal = 0,5 eV
E_2 = energi batas atas neutron thermal = 0,1 MeV

TATA KERJA

Tahapan pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal adalah sebagai berikut :

1. Melakukan preparasi keping Au dan stringer yang akan digunakan untuk iradiasi.
2. Menempelkan keping Au yang dibungkus dengan Al dan Cd pada stringer dengan posisi sejajar, dalam posisi 30 cm, tepat ditengah stringer.
3. Memasukkan stringer bermuatan keping Au dalam posisi bahan bakar yang telah ditentukan, tepat ditengah-tengahmya.
4. Melakukan iradiasi keping Au dalam reaktor berdaya 200kwatt selama 20 menit
5. Melakukan kalibrasi energi dan efisiensi
6. Melakukan pencacahan keping Au
7. Melalukan perhitungan efisiensi energi
8. Melakukan perhitungan aktivitas keping terbuka dan tertutup
9. Melakukan perhitungan fluks neutron
10. Menghitung ketidakpastian pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

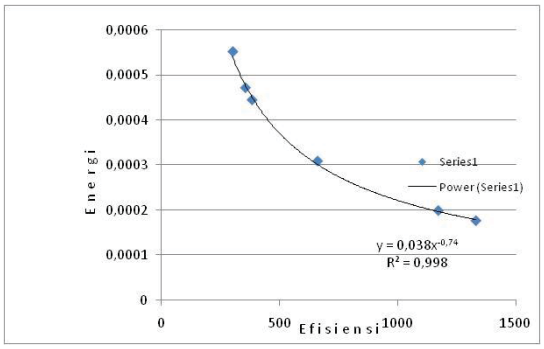
Pada penentuan aktivitas foil Au-198 dibutuhkan besaran nilai efisiensi pada energi utama dari Au-198 (411,8 keV) . Untuk itu maka digunakan sumber standar campuran untuk menentukan nilai efisiensi pada energi yang diinginkan. Berdasarkan data pencacahan pada sumber campuran Ba-133, Cs-137 dan Co-60 selama 3600 detik dengan menggunakan detektor HpGe model GC0918 maka diperoleh besaran efisiensi energi. Dengan nilai intensitas nuklida yang diperoleh dari tabel[4] dan hasil analisis spektrum dengan menggunakan software Genie maka dapat dihitung nilai efisiensi energi. Berikut adalah Tabel hasil perhitungan efisiensi energy.

ISSN 1978-0176

Tabel 1. Hasil Perhitungan Efisiensi Pada Energy 81,00-1332,5 keV

Nuklida	Energi	peak area	waktu	Cps	At	Intensitas	Efisiensi
	(kev)		(det)		(Bq)		(Bq)
Ba-133	81	3,41E+04	3600	9,47E+00	63923,90506	0,340	0,000435823
	276,4	9,66E+03	3600	2,68E+00	63923,90506	0,071	0,000586271
	302,85	2,29E+04	3600	6,36E+00	63923,90506	0,180	0,000552837
	356,02	6,74E+04	3600	1,87E+01	63923,90506	0,620	0,000472392
	383,85	9,12E+03	3600	2,53E+00	63923,90506	0,089	0,000445286
Cs-137	661,66	2,12E+05	3600	5,89E+01	223621,88	0,852	0,000309086
Co-60	1173,24	7,10E+03	3600	1,97E+00	9927,62	0,999	0,000198859
	1332,5	6,30E+03	3600	1,75E+00	9927,62	0,999	0,000176311

Dari Tabel di atas dapat maka dapat dihitung nilai effisiensi pada energi 411,8 keV. Berikut adalah persamaan efisiensi energi.



Gambar 2: Grafik Persamaan Efisiensi Energi

Berdasarkan persamaan diatas maka diperoleh efisiensi pada energi 411,8 keV sebesar 0,000441.

Aktivitas keping Au dapat dihitung dengan menggunakna rumus (2). Hasil perhitungan aktivitas keping Au dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2: Hasil perhitungan aktivitas keping Au pada tanggal 21 Maret 2016

No	Posisi	Pembung-kus	Berat keping (gr)	Aktivitas (bq/gr)
1.	C-6	Al	2,502E-01	2,903E+08
		Cd	2,570E-01	7,984E+07
2.	E-8	Al	2,410E-01	4,097E+08
		Cd	2,314E-01	7,389E+07
3	H-4	Al	2,233E-01	4,401E+08
		Cd	2,243E-01	9,226E+07
4	F-10	Al	2,440E-01	4,114E+08
		Cd	2,374E-01	8,132E+07
5	F-3	Al	2,407E-01	6,731E+08
		Cd	2,803E-01	3,456E+08
6	C-10	Al	2,395E-01	5,588E+08
		Cd	2,472E-01	2,418E+08
7	C-3	Al	2,780E-01	5,350E+08
		Cd	2,637E-01	3,676E+08
8	A-9	Al	2,521E-01	5,938E+08
		Cd	2,196E-01	1,917E+08
9	H-9	Al	2,596E-01	7,624E+08
		Cd	2,712E-01	3,395E+08
10	A-4	Al	2,399E-01	6,617E+08
		Cd	2,399E-01	1,873E+08
11	F-6	Al	2,210E-01	1,125E+09
		Cd	2,940E-01	2,764E+08

Dengan menggunakan rumus (3) dan (4) maka dapat dilakukan penentuan besaran fluks neutron pada masing-masing posisi. Berikut adalah hasil perhitungan fluks neutron di posisi bahan bakar pada teras 90. Berikut adalah hasil pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal pada sebelas posisi elemen bakar.

ISSN 1978-0176

Tabel 3 : Hasil Pengukuran Fluks neutron Thermal dan epithermal

Posisi	Fluks n Thermal ($n/cm^2.s$) (200 kW)	Fluks n Thermal ($n/cm^2.det$) (15MW)	Fluks n Epithermal ($n/cm^2.det$) (15MW)
A9	3,726E+11	$(2,795\pm0,218).10^{13}$	$(1,027\pm0,047).10^{13}$
H9	3,919E+11	$(2,939\pm0,136).10^{13}$	$(1,818\pm0,084).10^{13}$
A4	4,396E+11	$(3,297\pm0,152).10^{13}$	$(1,003\pm0,05).10^{13}$
H4	3,223E+11	$(2,417\pm0,110).10^{13}$	$(4,941\pm0,22).10^{12}$
F3	3,035E+11	$(2,276\pm0,105).10^{13}$	$(1,851E\pm0,08).10^{13}$
C10	2,938E+11	$(2,203\pm0,098).10^{13}$	$(1,295\pm0,06).10^{13}$
F10	3,059E+11	$(2,294\pm0,104).10^{13}$	$(4,355\pm0,2).10^{12}$
C6	1,951E+11	$(1,463\pm0,065).10^{13}$	$(4,276\pm0,19).10^{12}$
C3	3,223E+11	$(2,417\pm0,110).10^{13}$	$(1,923\pm0,09).10.^{13}$
F6	7,865E+11	$(5,898\pm0,273).10^{13}$	$(1,480\pm0,07).10^{13}$
E8	3,111E+11	$(2,334\pm0,106).10^{13}$	$(3,957\pm0,18).10^{12}$

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel.3 diatas nampak bahwa posisi F6 memiliki nilai yang tertinggi, $(5,898\pm0,273).10^{13}$ n/cm^2.detik. Perbedaan nilai ini dapat terjadi karena posisi F6 merupakan posisi yang sulit dijangkau pada saat proses pemasukan stringer berisi foil, sehingga kemungkinan foil tidak berada tepat di tengah bahan bakar. Dengan demikian dimungkinkan foil menerima pancaran neutron dari berilium reflektor yang mengakibatkan nilai fluks neutron menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan foil yang lain. Untuk itu maka perlu dilakukan pengukuran ulang untuk posisi ini.
Perlu diketahui bahwa dalam eksperimen ini proses pemasukkan stringer di sela sela bahan bakar merupakan pekerjaan yang memiliki tingkat kesulitan yang tinggi. Sehingga dibutuhkan konsentrasi dan kecermatan untuk mencapai posisi yang sama dengan yang lain yaitu tepat ditengah tengah bahan bakar, supaya hasil yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya.

Jika dilihat secara keseluruhan, hasil penentuan fluks neutron di 11 posisi elemen bakar yang berdekatan dengan sistem JKT03 ini maka dapat dikatakan bahwa tidak nampak gejala yang mengarah pada kondisi yang mengkhawatirkan karena masing masing posisi memiliki rentang nilai dalam kisaran yang tidak jauh berbeda, (kecuali pada posisi F6), karena alasan yang telah disebtkan diatas. Khusus untuk posisi F6 akan dilakukan pengukuran ulang, bersama dengan posisi lainnya yang belum diukur. Sehingga akan diperoleh data mengenai distribusi fluks neutron secara keseluruhan.

Dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan nampak bahwa perbedaan tinggi arus pada detektor JKT03 CX821 kemungkinan berasal dari sistem instrumentasi dalam detektor tersebut, dan bukan berasal dari ketidakseimbangan besaran fluks didalam teras reaktor. Meskipun demikian perlu untuk dilakukan pengukuran ulang untuk posisi F6 serta semua posisi yang lain untuk mengetahui kondisi teras yang sebenarnya. Pengukuran secara berkala amat dibutuhkan terutama pada saat adanya perubahan pada konfigurasi bahan bakar reaktor.

KESIMPULAN

1. Terdapat satu posisi yang memiliki nilai tertinggi (F6) sehingga perlu dilakukan pengukuran ulang.
2. Secara keseluruhan, besaran fluks neutron pada masing-masing posisi memiliki besaran dengan kisaran yang tidak jauh berbeda
3. Perbedaan tinggi arus pada sistem JKT03 kemungkinan disebabkan oleh sistem instrumentasi dalam detektor tersebut, bukan karena ketidak seimbangan besaran fluks neutron dalam teras reaktor.
4. Pengukuran secara rutin diperlukan teristimewa pada setiap adanya perubahan pada konfigurasi bahan bakar reaktor

DAFTAR PUSTAKA

1. Laporan Analisis Keselamatan RSG GAS, Bab V, revisi 10.1, Desember 2011.
2. Wisnu Susetyo, Spektrometri Gamma Dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Gajah Mada University Press,1988

ISSN 1978-0176

3. E.M.Zsolnay, "Neutron Flux and Spectrum Measurement by Activation Method", Lecture note for the RTC on Calculation and Measurement of Neutron flux for Research Reactor, 1993
4. IAEA Practical Aspect of Operating A Neutron Activation Laboratory, IAEA-TECDOC-564,Wina 1990
5. http://www.nucleide.org/Publications/ monographies_bipm.htm.
6. Laporan Analisis Keselamatan RSG GAS, Vol 3, Bab XVII, revisi 10.1, Desember 2011.

Pertanyaan:

Nama : Sri Inang Sunaryati (PTKMR)

Apakah pengukuran fluks selalu dilakukan dan apakah aturan internasional mewajibkan pengukuran ini?

Jawab
Pengukuran fluks dilakukan pada pergantian teras dengan perhitungan 2D menggunakan program Batan Fuel, tidak dengan melakukan eksperimen secara langsung karena pengukuran langsung membutuhkan waktu relatif lebih lama. Eksperimen ini dilakukan karena adanya perbedaan tinggi arus pada salah satu detektor JKT03.
Secara internasional tidak ada peraturan mengenai hal ini.

Nama : Sanda (PRFN)

1. Apakah perhitungan fluks neutron berhubungan dengan aktivitas?
2. Adakah gamma heating pada elemen bakar ?

Jawab:
1. Ya.
2. Ada. Tapi dalam eksperimen ini tidak diperhitungkan.

ISSN 1978-0176

TINJAUAN EFISIENSI SISTEM PENYEDIA AIR DINGIN PADA VENTILASI ZONA RADIASI RENDAH RSG-GAS

Kiswanto [1], Nugraha Luhur [2]

1) PRSG-BATAN, Tangerang Selatan, Indonesia, Kiswanto@batan.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN EFISIENSI SISTEM PENYEDIA AIR DINGIN PADA VENTILASI ZONA RADIASI RENDAH RSG-GAS. Telah dilakukan tinjauan efisiensi system penyedia air dingin QKJ 10/20/30 untuk ventilasi zona radiasi rendah. Sistem penyedia air dingin QKJ10, QKJ20, QKJ30 yang ada di RSG-GAS telah dilakukan penggantian dengan kompresoar yang baru,hal ini dilakukan karena kompresor yang lama sudah tidak efektif lagi dan hal ini dapat dilihat dari Δ t yaitu selisih suhu air masuk dengan suhu air keluar sistem yang sudah sangat rendah yaitu 0,5˚C - 1˚C. Tinjauan efisiensi sistem penyedia air dingin dilakukan untuk mengetahui efektivitas sistem ditinjau dari kemampuan mendinginkan air dan juga ditinjau dari penggunaan daya listriknya. Metode yang digunakan dengan melakukan pengamatan parameter-parameter Tekanan, Suhu, waktu operasi,dan Arus, Tegangan faktor daya dari supai listrik yang digunakan. Dari hasil tinjauan diperoleh bahwa sistem dapat mendinginkan suhu dengan Δ t sebesar 4° C. Efisiensi daya listrik sebesar 30.608,64 Kwh dalam 1 bulan atau dalam rupiah sebesar Rp. 29.608.656,- dengan pengembalian nilai investasi dalam kurun waktu 13,37 bulan.

Kata kunci: air dingin, zona, radiasi rendah

ABSTRACT

***REVIEW OF THE EFFICIENCY OF COLD WATER SYSTEM PROVIDERS ON LOW RADIATION ZONE VENTILATION RSG-GAS**. Has conducted a review of cold water supply system efficiency QKJ 10/20/30 to ventilatation the low radiation zone. Water supply system cold QKJ10, QKJ20, QKJ30 in RSG-GAS has done its replacement by kompressor new one, this is done because the compressor that long is no longer effective, and this can be seen from Δ t is the difference between the temperature of incoming water with water temperature exit system is already very low at 0,5˚C - 1˚C. Review of the efficiency of cold water supply system was conducted to determine the effectiveness of the system in terms of the ability to cool the water and also in terms of the use of electrical power. The method used by observing the parameters of pressure, temperature, operation time, and Current, Voltage supai power factor of the electricity used. From the results of the review showed that the system can cool the temperature with Δ t of 4O C. Efficiency of electric power amounted to 30608.64 kWh in one month or in rupiah at Rp. 29,608,656, - with the return value of the investment in a month 13.37.*

Keywords: water cool,zona ,low radiation

PENDAHULUAN

Pengelolaan tata udara di reaktor serba guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) menggunakan beberapa sistem ventilasi. Sistem-sistem ventilasi tersebut di rancang untuk beberapa keperluan, diantaranya untuk pendingin, mengatur tingkat kelembaman udara dan mengatur beda tekanan antar ruangan. Pengaturan pendingin dan kelembaman udara ruangan berfungsi untuk menjaga keandalan dan ketahan peralatan-peralatan yang ada serta

ISSN 1978-0176

untuk kenyamanan bagi pekerja. Pengaturan beda tekanan antar ruangan berfungsi untuk mencegah tersebarnya udara jika terkontaminasi ke ruangan yang lain pada saat membuka dan menutup pintu antara ruangan yang satu dengan ruangan lain. Sistem ventilasi di RSG-GAS dikelompokan ke dalam beberapa daerah sebagai berikut:

- daerah bebas kontaminasi
- daerah radiasi rendah
- daerah radiasi menengah
- daerah radiasi tinggi

Untuk pengaturan pendingin dan kelembaman udara sistem ventilasi memerlukan media pendingin berupa air dingin. Sistem penyedia air dingin (*chilled water system, CWU*) atau yang lebih dikenal dengan sebutan chiller adalah sistem yang berfungsi sebagai alat untuk memproduksi air dingin. Air dingin tersebut digunakan untuk media pendingin pada sistem ventilasi RSG-GAS. Salah satu sistem penyedia air dingin di sistem ventilasi RSG-GAS adalah sistem penyedia air dingin untuk sistem ventilasi daerah radiasi rendah yang diberi kode QKJ10, QKJ20 dan QKJ30. Sistem ventilasi daerah radiasi rendah RSG-GAS meliputi sistem ventilasi daerah radiasi rendah gedung reaktor:

1. (KLE 31) dipergunakan untuk ruang Floor Channel 0962, Reactor Protection Venting 1025, Reactor Proyection System 0930, Distribution Reaktor Room 0924, Battery Room 0928.
2. (KLE 32) dipergunakan untuk ruang Floor Channel 0961, Reactor Protection Venting 1026, Reactor Proyection System 0931, Distribution Reaktor Room 0923, Battery Room 0927.
3. (KLE 33) dipergunakan untuk ruang Floor Channel 0960, Reactor Protection Venting 1027, Reactor Proyection System 0932, Distribution Reaktor Room 0922, Battery Room 0926.
4. (KLE 34) dipergunakan untuk ruang Floor 1023, LV Distribution 1022, Main Control Room 0135, Marshalling Kiosk 0824-0825, Computer Room 0933, Floor 0929. [1]

Sistem penyedia air dingin QKJ10 A dan B, QKJ20 A dan B dan QKJ30 A dan B dirancang dengan kapasitas 3x100 % yaitu Masing-masing CWU dilengkapi dengan 1 buah kompresor, 1 buah kondensor, 1 unit evaporator dan 1 buah pompa sirkulasi air. Sistem penyedia air dingin QKJ10, QKJ20, QKJ30 yang ada di RSG-GAS telah dilakukan penggantian dengan kompresoar yang baru,hal ini dilakukan karena kompresor yang lama sudah tidak efektif lagi dan hal ini dapat dilihat dari Δ t yaitu selisih suhu air masuk dengan suhu air keluar sistem CWU yang sudah sangat rendah yaitu antara 0,5˚C - 1˚C. Tinjauan efisiensi sistem penyedia air dingin dilakukan untuk mengetahui efektivitas sistem ditinjau dari kemampuan mendinginkan air dan juga ditinjau dari penggunaan daya listriknya.

. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengukuran dan pengamatan terhadap konsumsi arus listrik, Tegangan operasi, Faktor Daya, Tekanan, suhu masuk dan keluar (Δ t), waktu hidup dan mati kompresor dari tiga unit sistem penyedia air dingin QKJ10, QKJ20, QKJ30. Selanjutnya dilakukan perhitungan pemakaian daya listrik dan pembandingan saat menggunakan kompresor yang lama dengan yang baru.

TEORI

Sistem ventilasi rsg-gas

Pengelolaan tata udara di reaktor RSG-GAS dipergunakan beberapa sistem ventilasi. Sistem-sistem ventilasi tersebut di rancang untuk beberapa keperluan, diantaranya untuk pendingin, mengatur tingkat kelembaman udara dan mengatur beda tekanan antar ruangan.

Pengaturan pendingin dan kelembaman udara ruangan berfungsi untuk menjaga keandalan dan ketahan peralatan-peralatan yang ada serta untuk kenyamanan bagi pekerja. Pengaturan beda tekanan antar ruangan berfungsi untuk mencegah tersebarnya udara jika terkontaminasi ke ruangan yang lain disaat terjadi membuka dan menutup antara ruang yang satu dengan yang lain. Secara umum sistem ventilasi RSG-GAS berfungsi untuk:

ISSN 1978-0176

1. Mencukukupi pasokan udara bersih dan sehat untuk manusia
2. Menyerap kalor yang ditimbulkan oleh lampu, perlengkapan lainnya dan mesin-mesin
3. Mempertahankan suhu, kelembaban dan beda tekanan antar ruangan dan tekanan negatif gedung
4. Mengisolasi ruangan dan gedung apabila terjadi kontaminasi
5. Melakukan dekontaminasi ruangan gedung
6. Mempertahankan tingkat kebisingan yang ditimbulkan sampai batas aman bagi manusia[2]

Sistem-sistem ventilasi di RSG-GAS berikut fungsi dan kegunaannya adalah sebagai berikut:

1. Sistem ventilasi untuk pemasok udara segar pada daerah radiasi rendah yang di beri kode KLE 10
2. Sistem ventilasi untuk pembuangan udara dari daerah radiasi rendah yang di beri kode KLE 20
3. Sistem ventilasi untuk resirkulasi udara pada daerah radiasi rendah yang diberi kode KLE 30
4. Sistem ventilasi untuk pemasok udara segar pada daerah radiasi menengah diberi kode KLA 10
5. Sistem ventilasi untuk pembuangan udara ke cerobong yang di beri kode KLA 20
6. Sistem ventilasi untuk resirkulasi udara pada daerah radiasi menengah yang di beri kode KLA 30
7. Sistem ventilasi untuk kondisi darurat gedung reaktor yang di beri kode KLA 40
8. Sistem ventilasi untuk kondisi darurat Balai Operasi reaktor yang diberi kode KLA 60
9. Sistem ventilasi untuk daerah radiasi tinggi seperti Bilik Panas *(Hot Cell)* yang di beri kode KLA 70
10. Sistem penyedia air dingin untuk memasok air dingin pada daerah radiasi menengah yang di beri kode QKJ 01, QKJ 02 dan QKJ 03
11. Sistem penyedia air dingin untuk memasok air dingin pada daerah radiasi rendah yang di beri kode QKJ 10, QKJ 20 dan QKJ 30

Pada tulisan ini hanya akan dibahas berkenaan dengan sistem penyedia air dingin QKJ10, QKJ20, QKJ30 untuk memasok air dingin pada sistem ventilasi daerah radiasi rendah.

Sistem penyedia air dingin (qkj 10/20/30) rsg-gas

Sistem *chiller water unit (CWU) safety related* (QKJ 10/20/30), adalah sistem penyedia air dingin untuk dipasok ke sistem ventilasi daerah radiasi rendah (KLE 31/32/33/34) dan *intercooler (air to air)* dari sistem ventilasi kolam reaktor (KLA 60 BC 101/201/301). Sistem CWU *safety related*, terdiri dari: 3 (tiga) unit yang berlokasi di atas gedung reaktor *(roof)*.

Sistem penyedia air dingin QKJ10, QKJ20, QKJ30 zona radiasi rendah termasuk dalam klasifikasi *safety related* dimana suatu sistem yang termasuk di dalam diversifikasi catu daya listrik darurat, yaitu: bila catu daya listrik dari PT.PLN (Persero) padam *(blackout)* maka sistem CWU harus tetap dapat dioperasikan dengan menggunakan catu daya darurat disel.

Jenis siklus aliran air dingin dari sistem CWU *safety related,* adalah siklus tertutup, sedangkan jenis pendinginan kondensor dari CWU menggunakan udara *(air cooled type)*. Susunan peralatan CWU, terdiri dari: 2 (dua) CWU-A/B (QKJ 10 A/B; QKJ 20 A/B; QKJ 30 A/B) yang sejenis dan independen, CWU-A terdiri dari 1(satu) unit kompresor semi hermetik, 1 (satu) unit kondensor, 1 (satu) unit evaporator dengan 2-laluan *(shell & tube, 2/2)*, 1 (satu) unit pompa sirkulasi air dingin dan 3 (tiga) *unit exhaust fan* kondensor yang terhubung langsung antara *blade/impeler* dengan motor listrik.

Jaringan pemipaan keenam CWU-A/B (QKJ 10 A/B; QKJ 20 A/B; QKJ 30 A/B) adalah sejenis *(typical)* dan pipa masukan/keluaran dari CWU langsung terhubung ke beban pendingin (KLE 31/32/33/34/35 dan KLA 60 BC 101/201/301) melalui pencabangan pemipaan *(tee/elbow connection)* sedangkan jalur pipa pengalih aliran pintas *(by pass pipe line)* terdapat pada unit-unit beban pendingin yang dilengkapi

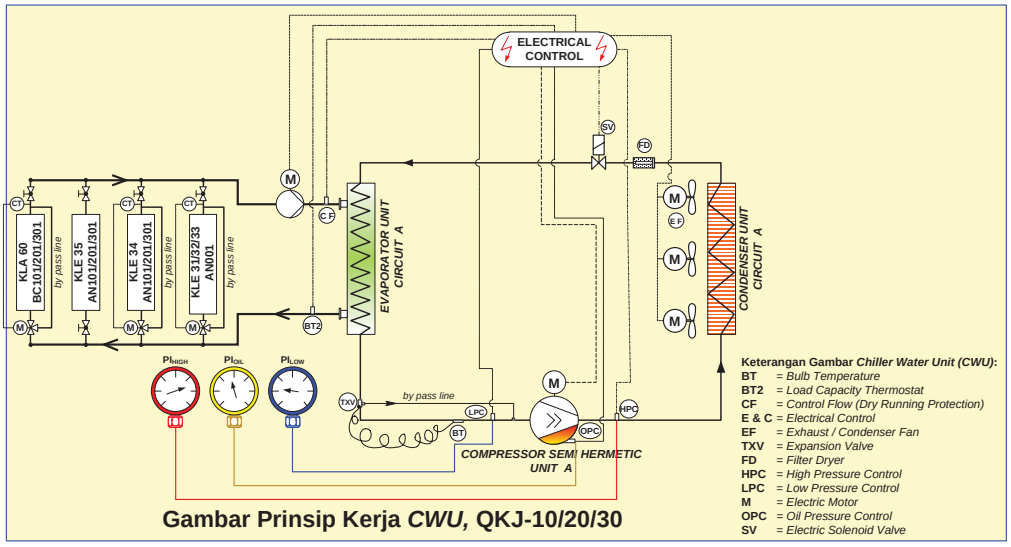
ISSN 1978-0176

dengan katup aktuator penggerak motor listrik dan di kendalikan oleh *thermostat,* yang bertujuan untuk mengalihkan aliran air dingin dari sisi masuk ke sisi keluar unit beban pendingin. *Thermostat* pengendali katup aktuator dipasang di *ducting* pada sisi udara keluar, pengalihan air dingin yang masuk ke unit beban pendingin terjadi, jika suhu udara keluar dari unit beban pendingin telah cukup sesuai dengan kebutuhan *(air temperature setting limit)*, maka katup aktuator akan menutup sebagian, sehingga beban pendingin CWU akan berkurang dan sampai pada harga batas suhu air yang masuk ke CWU telah dicapai maka kompresor semi-hermetik dan *exhaust fan* kondensor akan berhenti beroperasi, tetapi pompa sirkulasi masih tetap beroperasi untuk mensirkulasikan air dingin dari unit-unit beban pendingin ke CWU[3].

Moda pengoperasian CWU-A/B, adalah: 3x100%, dimana dalam kondisi normal 1 (satu) unit CWU-A atau B dapat melayani keseluruhan beban pendingin yang sesuai perolehan distribusi air dingin. Pemindahan pengoperasian CWU-A ke CWU-B atau sebaliknya, dilakukan secara manual *(human touch)*.

Sistem ini merupakan unit mesin untuk memproses air (refrijerasi) dari air dengan suhu tertentu menjadi air dengan suhu yang lebih rendah (lebih dingin). Fluida pendingin yang digunakan pada mesin refrijerasi adalah refrijeran (*refrigerant*) R22, kemudian refrijeran mendinginkan air, dan selanjutnya air dingin didistribusikan untuk dipergunakan sebagai media pendingin pada sistem-sistem yang membutuhkan. Jenis mesin refrijerasi yang digunakan adalah jenis pendingin udara (*air cooled type*) dengan jenis kompresor yang dapat dibongkar pasang tanpa merusak (*semi-hermetic compressor type*) dan penggerak/penghasil tekanan refrijerasi menggunakan torak (*reciprocating type*).

Secara garis besar sistem penyedia air dingin tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Sistem Penyedia Air Dingin *(Chiller Water Unit,CWU)*

Fungsi utama sistem penyedia air dingin, adalah untuk menyediakan dan memasok air dingin sesuai dengan yang dibutuhkan, yaitu: mendinginkan air dengan kondisi dari air dengan suhu tertentu menjadi air dengan suhu yang lebih rendah (lebih dingin). Secara garis besar prinsip kerja dari sistem pemroses air dingin (QKJ 10/20/30) adalah refijeran pada mesin refigerasi disirkulasi oleh komproser. Refijeran dari komproser kemudian masuk ke

ISSN 1978-0176

dalam unit condesor (dalam unit condensor terdapat blower) kemudian melawati filter, kemudian masuk ke dalam unit evaporator dan kembali lagi ke kompresor. Di dalam unit evaporator ini air disirkulasikan sehingga suhu air dari suhu tertentu didinginkan menjadi air dengan suhu yang lebih rendah (lebih dingin). Dan selanjutnya air dingin oleh sebuah pompa sirkulasi digunakan sebagai media pendingin pada sistem-sistem yang membutuhkan.

Distribusi air dingin

Distribusi air dingin dari sistem penyedia air dingin adalah menggunakan siklus tertutup maka pengendalian di titik beratkan kepada tekanan air agar massa air yang didinginkan setara dengan kemampuan beban sistem pendingin. Distribusi air dingin dari dan ke sistem penyedia air digunakan pompa sentrifugal. Volume air keseluruhan adalah sebanyak 10.000 liter, untuk menjaga kualitas air maka pada air ditambahkan bahan kimia pengendali yaitu Nalco™ 121. Untuk mereratakan (menstabilkan) tekanan air di sepanjang pipa distribusi digunakan tangki ekspansi dan dipasang sesudah pompa sirkulasi atau sisi tekan pompa sirkulasi. Kapasitas tangki adalah 800 liter air, di dalam tangki dipasang membran yang terbuat dari bahan karet, dilengkapi dengan pentil (katup searah). Sistem penyedia air dingin saat beroperasi maka seluruh parameter harus terkendali sampai batas aman operasi, lingkup pengendalian meliputi:

1. Pengendalian tekanan isap (low pressure control, LPC) mesin refrijerasi harus berada diantara: 3,5 – 4,5 bar (≈ kgf/cm²). Jika tekanan isap lebih kecil dari tiga setengah bar maka kemampuan pendingin berkurang sehingga terjadi bunga es di sekitar sisi isap kompresor semi hermetik, dan jika tekanan isap melebihi empat setengah bar maka kemampuan pendingin akan berkurang, dimana air membutuhkan waktu yang lama untuk menurunkan suhu air hingga batas yang telah di setting oleh BT 2;
2. Pengendalian tekanan keluaran (high pressure control, HPC) mesin refrijerasi harus berada diantara: 12 ~ 25 bar (≈ kgf/cm²). Jika tekanan keluaran lebih kecil dari dua belas bar (PI_{HIGH} < 12bar) maka kemampuan pendingin berkurang, karena kompresi yang dihasilkan tidak memadai sehingga freon akan mengembun sebagian sebelum memasuki unit evaporator, dan jika keluaran melebihi dua puluh lima bar (PI_{HIGH} > 25 bar) maka kemampuan pendingin akan berkurang karena freon tidak mengembun sempurna di unit evaporator dan, memungkinkan kompresor akan mati (berhenti karena ada gangguan fault) untuk mencegah terjadinya panas berlebih di unit kondensor;
3. Pengendalian tekanan minyak pelumas (oil pressure control, OPC) mesin refrijerasi harus berada diantara: 1,5 – 5 bar (≈ kgf/cm^2) diatas tekanan isap. Jika tekanan minyak pelumas lebih kecil dari batas bawah maka pendinginan kompresor akan berkurang karena distribusi minyak pelumas tidak merata atau saringan minyak pelumas kotor atau pompa minyak pelumas rusak, dan jika tekanan minyak pelumas melebihi batas atas maka kemungkinan saringan minyak pelumas rusak;
4. Pengendalian suhu pembekuan (freeze protection thermostat, BT1) berfungsi untuk mencegah agar air tidak membeku dan alat ini di setting diantara: (4 – 6)°C.
5. Pengendalian laju alir air (dry running protection, CF) berfungsi untuk mencegah pompa sirkulasi beroperasi tanpa ada aliran air yang minimum atau lebih kecll dari empat puluh persen dari penampang pipa normal;

Pengendalian rangkaian pengaman kompresor (safety circuit) berfungsi untuk mencegah rangkaian pengaman selalu dapat beroperasi dengan normal dan terpantau[4].

Daya Listrik

ISSN 1978-0176

Untuk menghitung daya listrik yang digunakan oleh suatu motor listrik AC 3 fasa maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = E.In.Cos\varphi.\sqrt{3} \quad \ldots\ldots(1)$$ [5]

Dimana :

P = Daya motor (wat)
E = Tegangan kerja (volt)
In = Arus nominal (ampere)
Cos φ = Faktor daya

METODE PENELITIAN

Tinjauan efisiensi kinerja sistem penyedia air dingin QKJ10, QKJ20, QKJ30 dilakukan menggunakan beberapa peralatan dan dilakukan beberapa tahapan pengukuran dan pengamatan parameter-parameter.

1. Alat yang digunakan adalah

a. Tang Ampere yang digunakan untuk mengukur arus listrik
b. Volt meter yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik
c. Cos φ meter yang digunakan untuk mengukur faktor daya
d. Stopwots yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu kerja sistem

2. Cara Kerja

Pengukuran dan pengamatan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Dilakukan pengukuran arus listrik yang mengalir ke motor kompresor pada kabel distribusi.
b. Dilakukan pengukuran tegangan kerja pada terminal motor.
c. Dilakukan pengukuran faktor daya pada terminal motor.
d. Dilakukan pengukuran lamanya sistem bekerja
e. Dilakukan pengukuran lamanya sistem mati
f. Amati suhu air masuk dan keluar sistem
g. Amati penunjukan parameter High Presure Control,Low Presure Control dan Oil Presure Control

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran dan pengamatan pada sistem CWU yang baru didapatkan data2 seperti tabel dibawah ini:

Tabel 1. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 10 Kompresor A

No	Arus				Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	R	S	T	rerata						hidup	Mati	mati	hidup	
	Ampere				Volt		bar	bar	bar	menit	Menit	^{o}C	^{o}C	^{o}C
1	52,4	53,4	56,4	54,06	402	0,9	17	4,2	6	5	12	6	12	4
2	52,2	53,3	56,2	53,90	402	0,9	17,5	4,2	6	5	12	6	12	4
3	52,3	53,4	56,4	54,03	402	0,9	17	4,2	6	5	12	6	12	4
	Rata-rata			**53,99**	**402**	**0,9**	**17,15**	**4,2**	**6**	**5**	**12**	**6**	**12**	**4**

Tabel 2. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 10 Kompresor B

No	Arus				Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	R	S	T	rerata						hidup	Mati	mati	hidup	
	Ampere				Volt		bar	bar	bar	menit	Menit	^{o}C	^{o}C	^{o}C
1	50,1	50,6	50,8	50,50	400	0,9	18	4,4	6,6	6	12	6	12	4
2	50,0	50,4	50,6	50,30	400	0,9	18	4,4	6,6	6	12	6	12	4
3	50,1	50,5	50,6	30,70	400	0,9	18	4,4	6,6	6	12	6	12	4
	Rata-rata			**50,50**	**400**	**0,9**	**18**	**4,4**	**6,6**	**6**	**12**	**6**	**12**	**4**

ISSN 1978-0176

Tabel 3. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 20 Kompresor A

No	Arus				Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	R	S	T	rerata						hidup	Mati	mati	hidup	
	Ampere				Volt		bar	bar	bar	menit	Menit	^{o}C	^{o}C	^{o}C
1	49,6	51,2	49,8	50,20	401	0,9	19	4,4	6,5	6	14	6	12	4
2	49,7	51,4	49,8	50,30	401	0,9	19	4,4	6,5	6,5	14	6	12	4
3	49,6	51,2	49,7	50,16	401	0,9	19	4,4	6,5	6	14	6	12	4
Rata-rata				**50,22**	**401**	**0,9**	**19**	**4,4**	**6,5**	**6,15**	**14**	**6**	**12**	**4**

Tabel 4. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 20 Kompresor B

No	Arus				Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	R	S	T	rerata						hidup	Mati	mati	hidup	
	Ampere				Volt		bar	bar	bar	menit	Menit	^{o}C	^{o}C	^{o}C
1	50,2	50,3	50,6	50,36	402	0,9	19	4,2	6,5	6	14	6	12	4
2	50,4	50,4	50,8	50,53	402	0,9	19	4,2	6,5	6	14	6	12	4
3	50,4	50,4	50,7	50,50	402	0,9	19	4,2	6,5	6	14	6	12	4
Rata-rata				**50,46**	**402**	**0,9**	**19**	**4,2**	**6,5**	**6**	**14**	**6**	**12**	**4**

Tabel 5. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 30 Kompresor A

No	Arus				Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	R	S	T	rerata						hidup	Mati	mati	hidup	
	Ampere				Volt		bar	bar	bar	menit	Menit	^{o}C	^{o}C	^{o}C
1	52,2	53,4	52,6	2,73	401	0,9	18	4,2	6,5	5	15	6	12	4
2	52,4	53,5	52,8	52,90	401	0,9	18	4,2	6,5	5	15	6	12	4
3	52,3	53,4	52,6	52,76	401	0,9	18	4,2	6,5	5	15	6	12	4
Rata-rata				**52,79**	**401**	**0,9**	**18**	**4,2**	**6,5**	**5**	**15**	**6**	**12**	**4**

Tabel 6. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 30 Kompresor B

No	Arus				Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	R	S	T	rerata						hidup	Mati	mati	hidup	
	Ampere				Volt		bar	bar	bar	menit	Menit	^{o}C	^{o}C	^{o}C
1	52,6	52,4	53,1	52,70	401	0,9	19	4,4	6,4	5	15	6	12	4
2	52,4	52,3	53,0	52,56	401	0,9	19	4,4	6,4	5	15	6	12	4
3	52,4	52,3	53,1	52,56	401	0,9	19	4,4	6,4	5	15	6	12	4
Rata-rata				**52,62**	**401**	**0,9**	**19**	**4,4**	**6,4**	**5**	**15**	**6**	**12**	**4**

Untuk mengetahui efektifitas dari sistem CWU yang telah diganti kompresornya ini maka perlu dibandingkan dengan data dari sistem CWU yang lama

Tabel 7. Data Pengukuran dan Pengamatan QKJ 10/20/30 sebelum penggantian kompresor

Sistem	Arus	Tegangan	Cos Q	High Presure	Low Presure	Oil Presure	Waktu		Suhu		Δ t
	Amper	Volt		bar	bar	bar	hidup menit	mati Menit	mati ^{o}C	hidup ^{o}C	^{o}C
QKJ 10 A	66,4	401	0,9	15	4,2	5,8	18	12	6	12	0,5
QKJ 10 B	66,2	401	0,9	15	4,4	5,7	17	13	6	12	1
QKJ 20 A	64,1	400	0,9	16	4,1	6	17	14	6	12	1
QKJ 20 B	64,3	400	0,9	16	4,2	5,9	17	14	6	12	1
QKJ 30 A	67,5	400	0,9	15	4,2	5,8	19	15	6	12	0,5
QKJ 30 B	67,2	400	0,9	16	4,1	6	18	15	6	12	1

ISSN 1978-0176

Untuk mengetahui kebutuhan daya listrik dari CWU maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Perhitungan daya listrik untuk QKJ 10 A dengan kompresor yang baru adalah :

$$P = E.In.Cos\varphi.\sqrt{3}$$

= 402.53,99.0,9.1,73 Watt
= 33793,1 Watt
= 33,793 KW

Dalam pengoperasiannya sistem QKJ ini antara kompresor A dan B adalah saling bergantian jadi dalam perhitungan pemakaian daya listrik untuk kurun waktu tertentu maka hanya diambil salah satu saja, sehingga pemakaian daya listrik sistem QKJ dalam 1 jam adalah:

Dalam 1 jam

QKJ 10 beroperasi selama 1 jam
= (lama operasi + mati) x lama operasi
= 60 : 17 x 5
= 17,647 menit

Pemakaian daya listrik dalam I jam adalah
= Daya : 60 menit x lama operasi
= 33,793 : 60 x 17,647
= 9,935 Kwh

Pemakaian daya listrik dalam 1 bulan adalah
= daya dalam 1 jam x 24 jam x 30 hari
= 9,935 x 24 x 30
= 7.153,2 Kwh

Hasil perhitungan untuk QKJ yang lain dapat dilihat pada tabel 8:

Tabel 8. Data perhitungan pemakaian daya listrik

Sistem	Daya	Operasi dlm 1 jam	Daya dlm 1 jam	Daya dlm 1 bulan
	kw	menit	Kwh	Kwh
QKJ 10 A	33,793	17,647	9,935	7.153,2
QKJ 10 B	31,451			
QKJ 20 A	31,355	18,313	9,57	6.890,4
QKJ 20 B	31,583			
QKJ 30 A	32,959	15	8,239	5.932,08
QKJ 30 B	32,853			

Total pemakaian daya listrik dalam 1 bulan sistem penyedia air dingin QKJ ini adalah
= Daya QKJ10 + Daya QKJ20 + Daya QKJ30
= 7.153,2 + 6.890,4 + 5.932,08
= 19.975,68 Kwh

Harga per Kwh listrik PLN adalah Rp 967,33,-
Biaya pemakaian listrik untuk sistem penyedia air dingin QKJ 10/20/30 dengan kompresor baru adalah
= 19.975,68 x Rp 967,33
= Rp 19.323.075,-

Untuk perhitungan QKJ dengan kompresor yang lama dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9. Data perhitungan pemakaian daya listrik dengan kompresor yang lama

Sistem	Daya	Operasi dlm 1 jam	Daya dlm 1 jam	Daya dlm 1 bulan
	kw	menit	Kwh	Kwh
QKJ 10 A	41,457	36	24,874	17.909,28
QKJ 10 B	41,332			
QKJ 20 A	39,921	32,9	21,89	15.760,8
QKJ 20 B	40,046			
QKJ 30 A	42,039	33,529	23,492	16.914,24
QKJ 30 B	41,852			

Total pemakaian daya listrik dalam 1 bulan sistem penyedia air dingin QKJ dengan kompresor yang lama adalah

= Daya QKJ10 + Daya QKJ20 + Daya QKJ30
= 17.909,28 + 15.760,8 + 16.914,24
= 50.584,32 Kwh

Biaya pemakaian listrik untuk sistem penyedia air dingin QKJ 10/20/30 dengan kompresor lama adalah
= 50.584,32 x Rp 967,33,-
= Rp. 48.931.730,-

Selisih pemakaian daya listrik per bulan setelah dilakukan penggantian kompresor adalah
= 50.584,32 - 19.975,68
= 30.608,64 Kwh
Selisih biaya pemakaian listrik dalam I bulan adalah
= 30.608,64 x Rp 967,33,-
= Rp. 29.608.656,-
Bila biaya per unit penggantian kompresor adalah Rp.66.000.000,- maka untuk 6 unit kompresor diperlukan dana 396.000.000,-dan bila nilai selisih biaya pemakaian listrik per bulan sebesar Rp 29.608.656,- maka nilai investasi akan kembali dalam 13,37 bulan.

Dari hasil perhitungan diatas maka diketahui bahwa setelah dilakukan penggantian

ISSN 1978-0176

kompresor pada sistem penyedia air dingin zona radiasi rendah QKJ10, QKJ20, QKJ30 didapatkan efisiensi pemakaian daya listrik dalam 1 bulan sebesar 30.608,64 Kwh atau Rp 29.608.656,-.

Hasil penunjukan beberapa parameter seperti high pressure, low pressure, oil pressure dan Δt menunjukan bahwa sistem QKJ 10/20/30 telah bekerja dengan baik sehingga dapat berfungsi sesuai tujuannya yaitu menyediakan suplai air dingin yang akan didistribusikan kedalam gedung reaktor. Hasil evaluasi kinerja sistem penyedia air dingin zona radiasi rendah QKJ 10, QKJ 20 dan QKJ 30 adalah bahwa keputusan untuk mengganti kompresor pada sistem CWU ini adalah tepat dan sangat bermanfaat karena dapat menghemat keuangan Negara dan sistem dapat kembali bekerja secara optimal.

KESIMPULAN

Dari hasil tinjauan efisiensi setelah dilakukan penggantian kompresor pada system penyedia air dingin zona radiasi rendah QKJ 10, QKJ 20 dan QKJ 30 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penunjukan Δt telah mengalami kenaikan dari 0,5˚C - 1˚C menjadi 4˚C dan hal ini berpengaruh pada lamanya sistem beroperasi.
2. Pemakaian daya listriknya terdapat efisiensi sebesar 30.608,64 Kwh dalam 1 bulan atau dalam rupiah sebesar Rp. 29.608.656,-
3. Pengembalian nilai investasi dalam kurun waktu 3,58 bulan
4. Hasil penunjukan beberapa parameter seperti high pressure, low pressure, oil pressure menunjukan bahwa sistem QKJ 10/20/30 telah bekerja dengan baik sehingga dapat berfungsi sesuai tujuannya yaitu menyediakan suplai air dingin yang akan didistribusikan kedalam gedung reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. SENTOT ALIBASYAH HARAHAP, PUSAT PENDIDIKAN DAN LATIHAN. “pemeliharaan sistem ventilasi, pelatihan perawatan sistem bantu reaktor.PRSG, BATAN. 2012.
2. ANONIMOUS. KUMPULAN DIKTAT PENYEGARAN DAN SUPERVISOR PERAWATAN REAKTOR, PRSG, BATAN 2015
3. ANONIMOUS. MAINTANANCE AND REPAIR MANUAL, INTERATOM 1986
4. ANONIMOUS. PUSAT REAKTOR SERBA GUNA. “Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy revisi 9 PRSG Serpong. 2007.
5. ZAENAL, DASAR TENAGA LISTRIK, PENERBIT ITB BANDUNG 1982

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

VERIFIKASI PENGUKURAN ARUS DETEKTOR JKT03 REAKTOR RSG-G.A.SIWABESSY

Sutrisno, A.Mariatmo, Elisabeth Ratnawati dan Hari Prijanto

PRSG-BATAN Gd.31 , Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang-Selatan,
Banten, 15310, Telp.(021) 7560908, Faks. (021) 7560573
E-mail: soe-tris@batan.go.id

ABSTRAK

VERIFIKASI PENGUKURAN ARUS DETEKTOR JKT03 REAKTOR RSG-G.A.SIWABESSY. Detektor JKT03 adalah salah satu detektor yang berfungsi untuk memantau kondisi teras reaktor saat beroperasi pada tingkat daya, dan memberikan sinyal *scram* jika di teras reaktor tejadi *unbalance load* (ketidaksetimbangan) fluks neutron. Pada tanggal 29 Pebruari 2016 telah dilakukan pengukuran arus detektor dengan alat ukur *microamete*r yang telah terkalibrasi. Pengukuran arus dilakukan pada daya reaktor 2 MW dan 4 MW di JKT03 CX821, JKT03 CX831 dan JKT03 CX841. Hasil pengukuran arus di posisi JKT03 CX821 mempunyai harga arus yang paling tinggi yaitu kurang lebih 8 kali dari arus di JKT03 CX831 dan kurang lebih 3 kali untuk arus di JKT03 CX841. Dengan ketidaksetimbangan pengukuran arus tersebut maka diperlukan verifikasi pengukuran arus dengan metode analisis aktivasi neutron. Pada Tanggal 7 Maret 2016 telah dilakukan pengukuran fluks neutron thermal dengan metode analisis aktivasi neutron pada daya 15 MW selama 2 jam 15 menit menggunakan *dummy* detektor. Hasil dari verifikasi pengukuran fluks neutron thermal dengan metode analisis aktivasi neutron mempunyai tren yang similar dengan pengukuran arus. Sehingga hasil ketidakseimbangan pengukuran arus merupakan karakter dari *guide tube* detektor JKT03 itu sendiri. Untuk meyakinkan hal itu maka direkomendasikan pengukuran fluks neutron di teras reaktor sebagai tindak lanjut hasil verifkasi.

Kata kunci : verifikasi, arus, detektor, aktivasi, fluks neutron termal

ABSTRACT

VERIFICATION CURRENT MEASUREMENT OF THE JKT03 DETECTOR AT REACTOR RSG G.A. SIWABESSY. JKT03 detector is one detector that functions to monitor the condition of the reactor core while operating at power levels, and provide scram signal if unbalance load neutron flux in the reactor core. On 29 February 2016 have been conducted measuring the current detector measuring devices microameter that has been calibrated, Current measurements carried out at the reactor power of 2 MW and 4 MW in JKT03 CX821, CX831 and JKT03 JKT03 CX841. Results of the current measurement in position JKT03 CX821 has the highest current is approximately 8 times that of the current in JKT03 CX831 and approximately 3 times in JKT03 CX841. With the current measurement imbalance will require verification of current measurement with neutron activation analysis method. On March 7, 2016 has been carried out thermal neutron flux measurement by the method of neutron activation analysis at 15 MW for 2 hours 15 minute using a dummy detector. The results of verification the thermal neutron flux measurement by neutron activation analysis method Similar trends. So that verification recommend mapping of neutron flux in the reactor core for the safety of the reactor.

keywords: verification, current, detector, activation, thermal flux neutron

PENDAHULUAN

Pengukuran kerapatan fluks neutron memantau kondisi teras reaktor saat beroperasi pada tingkat daya adalah menggunakan detektor kamar ionisasi berlapis boron. Rapat fluks neutron dalam jangkauan daya diukur dengan menggunakan kanal linier. Empat kanal beredundansi yang disediakan adalah: JKT03 CX811 (redundan 1), JKT03 CX821 (redundan 2), JKT03 CX831 (redundan 3) dan JKT03 CX841 (redundan 3, tambahan untuk penentuan beban tidak seimbang). Detektor JKT03 adalah salah satu detektor yang berfungsi untuk memantau kondisi teras reaktor saat beroperasi pada tingkat daya, dan memberikan sinyal *scram* jika di teras reaktor tejadi *unbalance load* (ketidaksetimbangan) fluks neutron

Pada perawatan bulan pebruari telah dilakukan pengukuran arus di setiap detektor JKT03 dengan *microammeter* yang terkalibrasi dan hasilnya di setiap detektor JKT03 mempunyai perbedaan arus yang signifikan. Untuk menindaklanjuti tersebut maka diperlukan memverifikasi dengan metode lain yaitu metode analisis aktivasi neutron. Pada makalah ini dibahas secara garis besar proses pengukuran arus dan pengukuran fluks neutron di *guide tube* detektor JKT03 RSG-GAS.

Dengan Hasil verifikasi tersebut diharapkan dapat menjawab kebenaran pengukuran arus yang telah dilakukan, dan dapat sebagai bahan rekomendasi pemetaan fluks neutron di teras reaktor untuk keselamatan reaktor.

TEORI

➢ Kerapatan fluks neutron dalam teras reaktor[1)]

Pengukuran kerapatan fluks neutron memantau kondisi teras reaktor saat beroperasi pada tingkat *start-up*, tingkat menengah, tingkat daya, juga pada saat penurunan daya, dan pada kondisi teras reaktor sub-kritis.
Oleh karena itu sistem pengukuran mengirim sinyal yang:

a. proporsional dengan daya reaktor; (Jangkauan *start-up*, jangkauan menengah, dan jangkauan daya).
b. berkaitan dengan laju perubahan daya reaktor; (periode reaktor untuk jangkauan *start-up* dan jangkauan menengah).
c. menampilkan kesetimbangan beban; (pada jangkauan daya).

Sinyal-sinyal tersebut diperlukan sebagai besaran *input* oleh SPR. Jangkauan pengukuran yang dapat dicapai oleh sistem pengukuran rapat fluks neutron tersebut mendekati 10 dekade seperti diperlihatkan pada Gambar VIII-5) adalah untuk melaksanakan tugas-tugas tersebut di atas. Sistem pengukuran memiliki daerah tindihan (2 dekade) antara:

a. Jangkauan *start-up;*
b. Jangkauan menengah;
c. Jangkauan daya.

Setiap sistem pengukuran tersebut di atas terdiri dari susunan khusus (detektor, kanal pengukuran). Ketiga daerah pengukuran (*start-up,* menengah, dan daya) dirancang secara redundansi untuk tujuan keselamatan. Sistem pengukuran ini terdiri dari 2 sistem pengukuran jangkauan *start-up* dan menengah yang terletak secara terpisah, dan empat sistem pengukuran jangkauan daya.

Detektor dari seluruh jangkauan pengukuran dipasang di dalam tabung/pipa Aluminium di kolam reaktor. Tabung Aluminium untuk sistem jangkauan pengukuran *start-up* dan menengah terbentang dari kotak Aluminium di tepi atas kolam reaktor ke tempat pengukuran di sisi luar blok reflector Beryllium dan untuk sistem jangkauan pengukuran daya terbentang sampai ke titik pengukuran di atas blok Beryllium. Detektor dan kabelnya (hingga ke kotak terminal) dapat diganti pada saat reaktor padam.

➢ Kanal Jangkauan Daya

Rapat fluks neutron dalam jangkauan daya diukur dengan menggunakan kanal linier. Empat kanal beredundansi yang disediakan adalah:

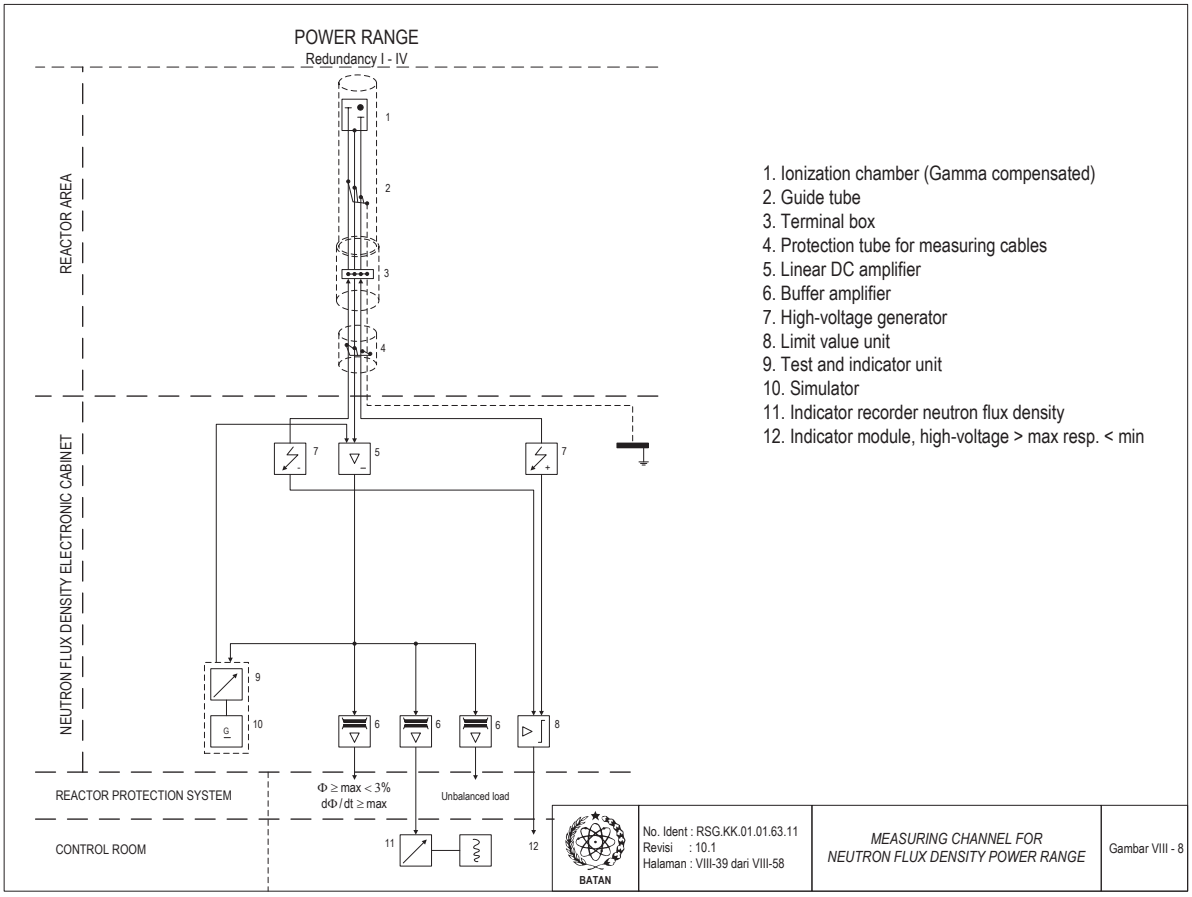
- JKT-03 CX811 (redundan 1);
- JKT-03 CX821 (redundan 2);
- JKT-03 CX831 (redundan 3);

- JKT-03 CX841 (redundan 3, tambahan untuk penentuan beban tidak seimbang).

Setiap kanal mencakup dua dekade tertinggi dari pada jangkauan pengukuran daya reaktor. Detektor yang digunakan adalah kamar ionisasi terkompensasi berlapis Boron, yang mencakupi ketinggian teras (dengan sensitivitas neutron *thermal* mendekati 5×10^{-14} A/n.v).

Setiap kanal pengukuran dirancang sebagai berikut:

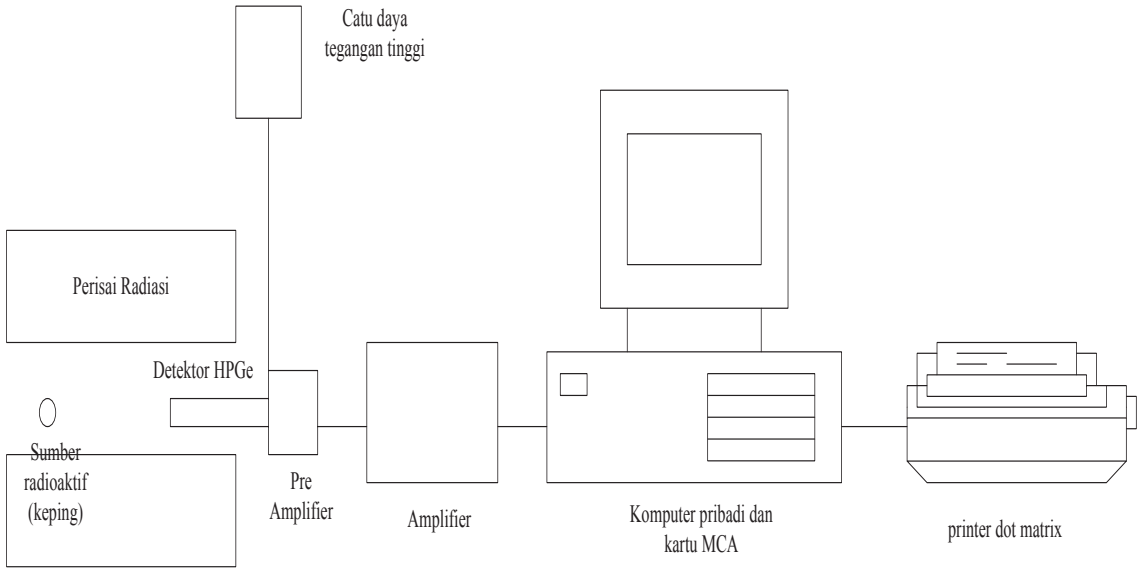
Seperti halnya kanal jangkauan menengah, sinyal DC dari detektor jangkauan daya ditransmisi ke kabinet elektronik rapat fluks neutron di ruang SPR. Sinyal tersebut di perkuat oleh penguat DC linier dan dikonversikan ke dalam sinyal tegangan 0 - 10 V. Sinyal tersebut dikirim melalui penguat penyangga secara pararel (keluaran 0 - 20 mA) ke SPR untuk membangkitkan tindakan pengamanan dan ke RKU untuk tampilan dan perekaman. Simulator yang dihubungkan dengan satuan penguji dan indikator digunakan untuk uji fungsi kanal pengukuran. Diagram kanal pengukuran jangkauan daya terlihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Kanal Pengukuran Jangkauan Daya

- **Pengukuran aktivitas keping[2)]**

Pengukuran aktivitas keping dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat pencacah *multi channel analyzer*. Sebelum digunakan untuk proses pencacahan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi energi terhadap sistem spektrometri gamma. Secara kualitatif puncak energi akan segera dapat diidentifikasi, sedangkan secara kuantitatif besarnya aktivitas detektor keping dapat dihitung dengan terlebih dahulu menghitung efisiensi energi. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma

- **Penentuan Fluks neutron[3)]**

Setelah mendapatkan besaran effisiensi pada tenaga, maka besaran aktivitas keping dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$\text{Aktivitas (Bq)} = \frac{cps}{eff \; x \; intensitas}$$

.....(1)

Besaran fluks neutron thermal dapat ditentukan dengan persamaan

$$\emptyset_{th} = \frac{BA.A_b(t)\left(1-\frac{1}{R_{cd}}\right).e^{\lambda.td}.t_m}{m.No.\sigma_{th}\left(1-e^{-\lambda.ti}\right).\left(1-e^{-\lambda.tm}\right).G_{th}}$$

.....(2)

di mana

BA = berat atom detektor keping
$A_b(t)$ = aktivitas terukur keping terbuka
R_{cd} = nisbah cadmium
λ = tetapan peluruhan
td,tm,ti = waktu peluruhan, waktu pengukuran, dan waktu iradiasi
m = massa keping detektor
No = bilangan Avogadro
σ_{th} = tampang lintang inti keping terhadap neutron thermal
Ir = integral resonansi
G_{th} = faktor perisai diri thermal
G_{epi} = faktor perisai diri epithermal
E_1 = energi batas bawah neutron epithermal = 0,5 eV
E_2 = energi batas atas neutron thermal = 0,1 MeV

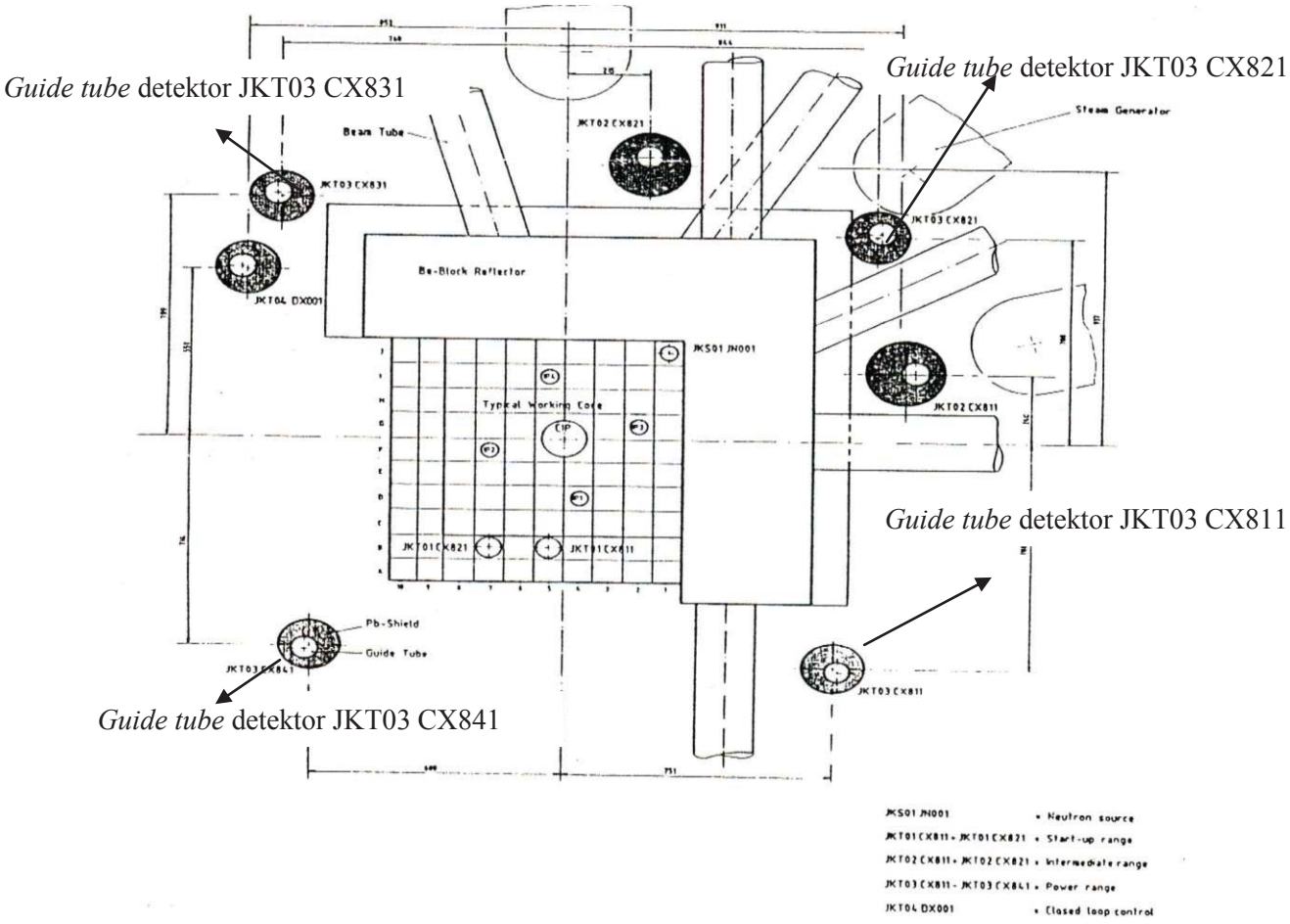
METODOLOGI

Dalam memverifikasi pengukuran arus di detektor JKT03, menggunakan metode analisis aktivitas neutron. Langkah pertama melakukan pembuatan *dummy* detektor JKT03 dengan dimensi diameter luar 35 mm dan panjang 600 mm seperti terlihat pada Gambar 3. Kemudian menempelkan keping Au yang dibungkus dengan Al dan Cd pada *dummy* detektor, dengan posisi sejajar tepat ditengah *dummy* (300 mm) dari bawah *dummy*. Kemudian memasukkan *dummy* detektor untuk diiradiasi dengan daya reaktor 15 MW selama 2 jam 15 menit di 4 buah *guide tube* JKT03 CX811, JKT03 CX821, JKT03 CX831 dan JKT03 CX841 seperti terlihat pada Gambar 4 . Setelah iradiasi selesai, 4 buah *dummy* detektor dikeluarkan untuk peluruhan selama2 hari, kemudian dicacah untuk menghitung besarnya aktivitas dan fluks neutron thermal.

ISSN 1978-0176



Gambar 3. *Dummy* detektor JKT03



Gambar 4. *Guide Tube* detektor JKT 03

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perawatan di bulan Pebruari (29 Pebruari) telah dilakukan pengukuran arus di 3 buah detektor JKT03 yaitu di detektor JKT03 CX821, JKT03 CX831 dan JKT03 CX841. Pengukuran arus menggunakan alat *microampere* meter yang sudah terkalibrasi, adapun pengukuran arus dilakukan saat reaktor dioperasikan pada daya 2 MW dan 4 MW. Hasil dari pengukuran arus tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran arus detektor JKT03

Daya Reaktor (MW)	Arus detektor JKT03 CX821 (μA)				Arus detektor JKT03 CX831 (μA)				Arus detektor JKT03 CX841 (μA)			
	1	2	3	Rerata				Rerata				Rerata
2	34,51	36,35	37,52	36,17	4,15	4,70	5,24	4,70	9,22	12,10	12,99	11,44
4	64,10	65,15	67,38	65,43	9,98	10,05	10,02	10,02	17,72	23,71	25,46	22,30

Dari Tabel 1 terlihat bahwa, untuk daya reaktor 2 MW arus yang terukur di JKT03 CX 821 mempunyai nilai rerata 36,17 μA harga ini paling besar, ini disebabkan posisi *guide tube* JKT03 CX821 paling dekat dengan blok reflektor dan teras reaktor lihat Gambar 3. Berikutnya untuk pengukuran arus di JKT03 CX841 arus reratanya adalah 4,70 μA arus ini 1/8 dari arus JKT03 CX821 dan di detektor JKT03 CX831 arus reratanya adalah 11,44 μA arus ini 1/3 dari arus JKT03 CX821. Untuk daya reaktor 4 MW ternyata pengukuran arus yang dilakukan di 3 buah detektor tersebut mempunyai tren yang sama. Karena detektor JKT03 mempunyai fungsi sebagai pendeteksi adanya *unbalance load* (ketidaksetimbangan) fluks neutron, maka diperlukan verifikasi dengan metode lain yaitu metode analisis aktivasi neutron untuk meyakinkan bahwa pengukuran arus tersebut adalah benar.

Pada Tanggal 6 Maret 2016 telah dilakukan pengukuran fluks neutron di 3 buah *guide tube* JKT03 CX821, JKT03 CX831, JKT03 CX841 dan ditambah 1 buah *guide tube* JKT03 CX811 sebagai data tambahan. Hasil pengukuran fluks thermal di 4 buah *guide tube* JKT 03 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil pengukuran fluks neutron thermal di *guide tube* JKT03

No	Posisi *guide tube*	Fluks neutron thermal ($n/cm^2.s$) (15MW)	Ketidakpastian pengukuran (%)
1	JKT03 CX811	1,947 E+07	± 4,28
2	JKT03 CX821	1,032 E+08	± 4,53
3	JKT03 CX831	1,590 E+07	± 4,21
4	JKT03 CX841	3,580 E+07	± 4,25

Dari Tabel 2. di atas terlihat bahwa harga fluks neutron thermal di setiap posisi *guide tube* JKT03 mempunyai harga yang tidak merata, terlebih posisi *guide tube* JKT03 CX821 yang mempunyai harga fluks neutron thermal paling tinggi yaitu 1,032 E+08 ± 4,53% , di *guide tube* JKT03 CX831 adalah 1,590 E+07 ± 4,21% harga ini hampir 1/8 kali dari fluks neutron thermal di *guide tube* JKT03 CX821 dan di *guide tube* JKT03 CX841 adalah 3,580 E+07 ± 4,25% harga ini kurang lebih 1/3 dari fluks neutron thermal di *guide tube* JKT03 CX821. Dari hasil pengukuran fluks neutron thermal tersebut dapat memverifikasi hasil pengukuran arus yang hasilnya adalah similar.

Dengan hasil verifikasi tersebut maka hasil pengukuran arus tersebut adalah benar dan ketidakseimbangan arus di detektor JKT03 merupakan karakter dari *guide tube* detektor JKT03. Untuk meyakinkan kesetimbangan fluks neutron thermal di teras reaktor, dan kepentingan keselamatan reaktor maka direkomendasikan pengukuran pemetaan fluks neutron thermal.

KESIMPULAN

Dari hasil verifikasi pengukuran arus detektor JKT03 dengan metode analisis aktivasi neutron adalah similar, dari hasil itu maka ketidakseimbangan arus merupakan karakter *guide tub*e detektor JKT03. Untuk meyakinkan hal itu maka direkomendasikan

pengukuran fluks neutron di teras reaktor sebagai tindak lanjut hasil verifkasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Laporan Analisis keselamatan, Bab VIII, revisi 10.1, Tahun 2010
2. ANONIMOUS, IAEA Practical Aspect of Operating A Neutron Activation Laboratory, IAEA-TECDOC-564,Wina 1990
3. WISNU SUSETYO, Spektrometri Gamma Dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Gajah Mada University Press, 1988

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

KARAKTERISTIK BERKAS RADIASI CO-60 PESAWAT TELETERAPI GWXJ80

Fendinugroho[1], Assef F.F.[1], Sri Inang S.[1], Nurman R.[1] dan Gatot W.[1]

1) Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49 Jakarta
email : fendinug@batan.go.id

ABSTRAK

KARAKTERISTIK BERKAS RADIASI Co-60 PESAWAT TELETERAPI GWXJ80. Telah dilakukan pengujian terhadap dua pesawat teleterapi Co 60 GWXJ80 baru dengan no. seri 257 dan 261 buatan NPIC, China masing-masing dipasang di Rumah Sakit Umum Daerah Prof. dr. R.D. Kandau, Manado dan Rumah Sakit Umum Daerah Al Ihsan, Bandung. Pengukuran karakteristik tersebut meliputi: kesalahan penunjukan waktu pesawat, faktor keluaran dan faktor *wedge*. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 80 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Pengukuran faktor keluaran dilakukan dengan lapangan radiasi yang bervariasi mulai dari 5 cm x 5 cm sampai dengan 20 cm x 20 cm. Sebagai alat ukur radiasi digunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 no. seri 6367 yang dihubungkan dengan elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1182. Perhitungan laju dosis serap air dilakukan menggunakan protokol International Atomic Energy Agency yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398. Hasil yang diperoleh menunjukkan kesalahan penunjukan waktu pesawat adalah 0,91 detik dan 0,51 detik, laju dosis serap air pada lapangan radiasi acuan 10 cm x 10 cm adalah 2415,9 mGy/menit dan 2355,7 mGy/menit masing-masing untuk pesawat dengan no. seri 257 dan 261. Kedua pesawat teleterapi ini dinyatakan siap digunakan secara aman untuk terapi pasien tumor.

Kata kunci: pesawat teleterapi Co-60 GWXJ80, laju dosis serap air, kesalahan penunjukan waktu, faktor *wedge*, detektor ionisasi, elektrometer, *Technical Report Series* No. 398

ABSTRACT

CHARACTERISTIC OF RADIATION BEAM OF CO-60 GWXJ80 TELETHERAPY MACHINES. *Tests has been carried out to new Co-60 GWXJ80 teletherapy machines with serial number 257 and 261 made by NPIC, China owned by Prof. dr. R.D. Kandau Hospital in Manado and Al Ihsan Hospital in Bandung. Determination of the dosimetry parameters consist of: time errors, output factors and wedge factor. Measurement has been carried out inside a water phantom at depth of 5 cm and the source to the water surface distance of 80 cm and the field size of 10 cm x 10 cm. Measurement of the output factors were carried out with various field sizes ranging between 5 cm x 5 cm and 20 cm x 20 cm. As radiation measuring instrument it was used a 0.6 cc ionization chamber of type TW 30013 serial number 6367 connected with a Farmer electrometer of type 2570/1B serial number 1182. The International Atomic Energy Agency dosimetry protocol in the Technical Report Series No. 398 has been used to determine the absorbed dose to water rates of the teletherapy machines. The results obtained show that the time errors were 0.91 seconds, and 0.51 seconds, the absorbed dose to water rates at the reference field sizes were 2415.9 mGy/minute and 2355.7 mGy/minute each for machine with serial number 257 and 261. In conclusion, both the machines was ready used with safely for tumor patients treatment.*

Key words: Co-60 GWXJ80 teletherapy machines, absorbed dose to water rate, time error, wedge factor, ionization chamber , electrometer, Technical Report Series No. 398.

ISSN 1978-0176 *Jurnal Forum Nuklir (JFN), Volume 7, Nomor 2, November 2011*

PENDAHULUAN

Penggunaan Radiasi pengion di Indonesia khususnya di bidang radioterapi untuk pengobatan penyakit kanker meningkat dengan pesat. Sampai dengan bulan Juni tahun 2016 ini tercatat ada sekitar 7 buah pesawat teleterapi baru baik pesawat Co-60 atau pesawat pemercepat linier medik dipasang di beberapa rumah sakit[1].

Pada bulan Mei 2016 Rumah Sakit Umum Daerah Prof. dr. R.D. Kandau, Manado memasang sebuah pesawat Co-60 model GWXJ80 no. seri 257 buatan NPIC, China dengan aktivitas sumber radiasi 329,30 TBq (8900 Ci) pada tanggal 27 Okober 2015. Selanjutnya pada bulan Juni 2016 Rumah Sakit Umum Daerah Al Ihsan, Bandung memasang juga sebuah pesawat Co-60 model GWXJ80 no. seri 261 dengan aktivitas sumber yang sama [2,3]. Pesawat teleterapi Co-60 model GWXJ80 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1. Pesawat teleterapi Co-60 GWXJ80 buatan pabrik NPIC, China.

Meskipun pesawat GWXJ80 ini dibuat di China, namun sumber radiasi Co-60 nya didatangkan dari Rusia dan baru dipasang pada *Head* pesawat tersebut ketika pesawat tersebut sudah berada di rumah sakit. Dengan demikian ada kemungkinan pemasangan sumber radiasi tersebut tidak akurat, sehingga laju dosisnya tidak sesuai dengan aktivitas sumber [4]. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran yang teliti dan membandingkan hasil pengukuran dengan pesawat yang modelnya sama.

Ketika digunakan untuk penyinaran pasien, sumber radiasi Co-60 dari pesawat teleterapi GWXJ80 bergerak dari posisi penyimpanan (*off position*) ke posisi penyinaran (*radiation position*) dan kembali ke posisi penyimpanan setelah waktu yang dibutuhkan untuk penyinaran berakhir. Mekanisme pergerakan sumber radiasi ini akan menyebabkan kesalahan penunjukan waktu pesawat (*time error*). Untuk itu kesalahan penunjukan waktu pesawat perlu diukur dan harus diperhitungkan jika nilainya besar karena akan menyebabkan kesalahan dalam pemberian dosis pada pasien [5].

Dalam perlakuan radioterapi, ukuran lapangan radiasi yang dipakai untuk penyinaran pasien tumor sangat bervariasi mulai dari lapangan yang kecil sampai dengan yang besar bergantung pada volume tumor yang akan disinari. Dengan demikian pihak rumah sakit memerlukan data keluaran dari pesawat teleterapi yang sangat banyak. Hal ini sudah tentu akan menyita waktu. Untuk mengatasi hal tersebut di atas biasanya dilakukan pengukuran keluaran lapangan radiasi dengan bentuk persegi yang bervariasi. Untuk lapangan persegi lain yang berada di antaranya bisa diperoleh dengan cara interpolasi sedangkan untuk lapangan persegi panjang dapat diperoleh dengan metoda Lapangan Ekivalen menggunakan lapangan persegi. Lapangan Ekivalen didefinisikan sebagai lapangan standar dengan bentuk persegi atau lingkaran yang mempunyai karakteristik persentase dosis kedalaman di sumbu utama berkas sama dengan lapangan persegi panjang [6].

Laju dosis serap air maksimum berbagai lapangan radiasi persegi yang ditentukan tersebut dinormalisasikan ke laju dosis serap pada lapangan acuan yaitu 10 cm x 10 cm. Perbandingan ini disebut sebagai Faktor Keluaran. Faktor keluaran biasanya digambarkan sebagai fungsi lapangan radiasi persegi [7].

Untuk memenuhi kebutuhan penyinaran tumor yang bentuknya tidak homogen atau tumor tersebut berada di bagian tubuh yang tidak rata, maka setiap pesawat dilengkapi dengan beberapa buah *wedge* dengan empat sudut yang berbeda yaitu 15°, 30°, 45° dan 60° dengan dimensi 10W cm x 15 cm. Pabrik pesawat tersebut memberikan Faktor *Wedge* namun sifatnya tipikal sehingga pengguna direkomendasikan mengukur sendiri Faktor *Wedge* tersebut.

Makalah ini menguraikan penentuan parameter dosimetri dari dua buah pesawat teleterapi Co-60 GWXJ80 yang baru dipasang pada dua rumah sakit tersebut di atas.

ISSN 1978-0176

TEORI

Kesalahan Penunjukan Waktu Pesawat

Kesalahan penunjukan waktu pesawat (*timer error*) adalah koreksi dari penunjuk waktu pesawat yang disebabkan adanya pergerakan sumber radiasi dari posisi penyimpanan ke posisi penyinaran. Kesalahan penunjukan waktu pesawat dapat ditentukan menggunakan Pers. 1[8].

$$\tau = \frac{M_B t_A - M_A t_B}{n M_A - M_B} \qquad (1)$$

τ = kesalahan penunjukan waktu pesawat
M_A = bacaan akumulasi untuk waktu t_A
M_B = bacaan akumulasi untuk n kali waktu penyinaran pendek t_B/n ($2 < n < 5$)

Penentuan Laju Dosis Serap Air Berkas Co-60

Pengukuran keluaran dilakukan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 nomor seri 6367 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe 2570/1 B nomor seri 1182[6]. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 80 cm dan lapangan radiasi yang bervariasi mulai dari 5 cm x 5 cm sampai dengan 20 cm x 20 cm. Perhitungan laju dosis serap dilakukan dengan menggunakan Pers. 2[8]:

$$D_w(z_{ref}) = M \times N_{D,w} \qquad (2)$$

Dimana M adalah bacaan dosimeter pada posisi detektor di kedalaman acuan (z_{ref}) terkoreksi faktor rekombinasi ion (k_s), faktor polaritas (k_{pol}), foktor koreksi tekanan udara dan temperature ($k_{P,T}$) dan $N_{D,w}$ adalah faktor kalibrasi dosis serap air[8].

Untuk mendapatkan laju dosis serap maksimum $D_w(z_{max})$, maka digunakan Pers. 3[8].

$$D_w(z_{\max}) = \frac{100 \times D_w(z_{ref})}{PDD(z_{ref})} \qquad (3)$$

Dimana $PDD(z_{ref})$ adalah *Percentage depth dose* di kedalaman acuan (z_{ref}) .

Penentuan Faktor *Wedge*

Faktor atenuasi yang disebut Faktor *Wedge* (WF) didefinisikan sebagai perbandingan keluaran antara lapangan dengan *wedge* terhadap keluaran lapangan tanpa *wedge* (terbuka).
Dalam perhitungan dosis, Faktor *Wedge* digunakan untuk mengurangi keluaran medan radiasi tanpa menggunakan *wedge* menjadi medan radiasi menggunakan *wedge*. Dengan perkataan lain medan *wedge* diperlakukan sebagai berkas tanpa *wedge* tetapi keluarannya dimodifikasi oleh Faktor *Wedge*.
Keluaran medan *wedge* = keluaran medan radiasi terbuka pada luas lapangan radiasi yang sama x WF. Salah satu *wedge* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar. 2. *Wedge* dengan sudut 30 ° berukuran 10 cm x 15 cm

PERALATAN

Sumber Radiasi Terapi

Sebagai sumber radiasi digunakan 2 buah pesawat teleterapi Co-60 GWXJ80 no. seri 257 dan 261 dengan aktivitas sumber yang sama yaitu 329,30TBq (8900 Ci) pada tanggal 27 Oktober 2015 masing-masing milik Rumah Sakit Umum Daerah Prof. dr. R.D Kandau, Manado dan Rumah Sakit Umum Daerah Al Ihsan, Bandung.

Alat Ukur Radiasi

Sebagai alat ukur radiasi digunakan detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 no. seri

ISSN 1978-0176

6367 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe 2570/1B no. seri 1182. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm. Kondisi ruang selama pengukuran diamati. Untuk mengecek kestabilan dosimeter tersebut di atas digunakan sumber pengecek Sr-90. Detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 no. seri 6367 dan Elektrometer Farmer tipe 2570/1B no. seri 1182 dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar. 3. Detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 no. seri 6367



Gambar. 4. Elektrometer Farmer tipe 2570/1B no. seri 1182

TATA KERJA

Penentuan Stabilitas Alat Ukur Radiasi

Pertama dilakukan uji stabilitas sistem alat ukur radiasi. Detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe tipe TW 30013 no. seri 6367 dihubungkan ke elektrometer Farmer tipe 2570/1B no.seri 1182. Kemudian detektor tersebut dimasukkan ke dalam sumber radiasi pengecek Sr-90. Bacaan untuk waktu paparan 250 detik dicatat. Dilakukan ulangan sebanyak lima kali. Nilai rata-rata dibandingkan dengan nilai acuan. Sistem alat ukur dikatakan stabil dan siap digunakan untuk pengukuran apabila perbedaan antara bacaan alat pada saat itu dan nilai acuan tidak lebih dari ± 1 %.

Pengukuran Kesalahan Penunjukan Waktu Pesawat GWXJ80

Pengukuran untuk menentukan kesalahan penunjukan waktu dari pesawat dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm, jarak sumber radiasi ke permukaan fantom (*Source Surface Distance*) SSD = 80 cm, dan lapangan radiasi (*Field Size*) FS = 10 cm x 10 cm. Mula-mula detektor disinari dengan waktu 60 detik menggunakan penunjuk waktu (*timer*) dari pesawat. Dilakukan pengambilan data satu kali. Kemudian hal yang sama dilakukan untuk waktu penyinaran 15 detik dengan pengambilan data sebanyak empat buah.

Penentuan Faktor Koreksi Rekombinasi Ion dan Polaritas

Pengukuran faktor koreksi rekombinasi ion (k_s) dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda V1 (tegangan normal) dan V2. Pengaturan tegangan V1 dan V2 sedemikan rupa sehingga V1/V2 sekurang-kurangnya = 3. Pengukuran untuk menentukan koreksi rekombinasi ion berkas Co-60 dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm, SSD = 80 cm, dan FS = 10 cm x 10 cm dengan waktu penyinaran = 1 menit. Faktor rekombinasi ion, (k_s) dihitung dengan Pers. 4[8]:

$$k_s = \frac{(V_1/V_2)^2 - 1}{(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)} \qquad (4)$$

V_1 = tegangan polaritas normal detektor
V_2 = tegangan polaritas detektor yang lebih rendah dengan $V_1/V_2 \geq 3$
M_1 = bacaan muatan pada tegangan detektor V_1
M_2 = bacaan muatan pada tegangan detektor V_2

Setelah dilakukan penentuan faktor koreksi rekombinasi ion maka dilanjutkan dengan penentuan faktor koreksi polaritas dengan memberikan detektor tegangan positip dan negatip pada kondisi pengukuran yang sama dengan penentuan faktor koreksi rekombinasi ion. Faktor koreksi polaritas, (k_{pol}) ditentukan menggunakan Pers. 4[8]:

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \qquad (4)$$

ISSN 1978-0176

M_+ = bacaan muatan yang terukur dengan tegangan detektor positif
M_- = bacaan muatan yang terukur dengan tegangan detektor negatif
M = bacaan muatan yang terukur dengan tegangan detektor normal

Penentuan Laju Dosis Serap Air Berkas Radiasi Co-60

Setelah itu dilakukan pengukuran laju dosis serap air berkas radiasi Co-60. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm dengan jarak permukaan fantom ke sumber radiasi, SSD = 80 cm dan luas lapangan radiasi yang bervariasi dari lapangan radiasi 5 cm x 5 cm sampai dengan 20 cm x 20 cm. Data temperatur dan tekanan udara dimasukkan ke dalam elektrometer sehingga bacaan yang diperoleh sudah terkoreksi terhadap temperatur dan tekanan udara. Susunan peralatan dapat dilihat pada Gambar 5.



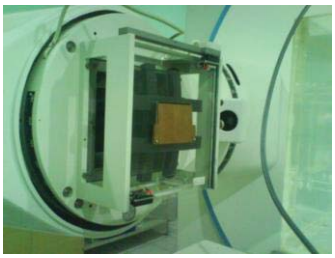
Gambar. 5. Susunan peralatan pengukuran

Pengukuran Faktor *Wedge*

Pengukuran Faktor *Wedge* dilakukan pada jarak sumber radiasi SSD = 80 cm dan kedalaman detektor 5 cm. Pengukuran dengan dan tanpa *wedge* dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar. 6. Pengukuran keluaran tanpa *wedge*



Gambar. 7. pengukuran keluaran menggunakan *wedge*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengecekan stabilitas menunjukkan bahwa dosimeter yang digunakan mendapatkan stabilitas lebih kecil dari 1 %. Hal ini berarti stabilitas dosimeter cukup baik dan dosimeter tersebut dapat digunakan untuk pengukuran.

Hasil pengukuran kesalahan penunjukan waktu dari 2 buah pesawat Co-60 GWXJ80 no. Seri 257 dan 261 yang dihitung menggunakan Pers.1 dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini.

Tabel. 1. Data pengukuran kesalahan penunjukan waktu pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 257

M_A ; t_A=60 detik	M_B ; n = 4; t_B=15 detik
35,061 nC/60 detik	9,157 nC/15 detik
	9,157 nC/15 detik
	9,157 nC/15 detik
	9,157 nC/15 detik
M_A = 35,061 nC/60 detik	ΣM_B = 36,628 nC/60 detik

Hasil pengukuran kesalahan penunjukan waktu dari pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 261 dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel. 2. Data pengukuran kesalahan penunjukan waktu pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 261

M_A ; t_A=60 detik	M_B ; n = 4; t_B=15 detik
34,150 nC/60 detik	8,755 nC/15 detik
	8,755 nC/15 detik
	8,755 nC/15 detik
	8,755 nC/15 detik
M_A = 34,150 nC/60 detik	n = 4; ΣM_B = 35,021 nC/60 detik

Dengan menggunakan Pers. 1 diperoleh kesalahan penunjukan waktu pesawat sebesar τ = 0,91 detik untuk pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 257 dan τ = 0,51 detik untuk pesawat no. seri 261.

Dari hasil tersebut di atas dapat dilihat bahwa kesalahan penunjukan waktu kedua

ISSN 1978-0176

pesawat ini tidak sama, namun keduanya lebih kecil dari 1 detik. Perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh kemampuan kompresor pendorong *drawer* sumber radiasi yang tidak sama. Dibandingkan dengan pesawat lain seperti pesawat teleterapi Co-60 GammaBeam 100-80 *External Beam Therapy System* (EBTS), kesalahan penunjukan waktu pesawat ini boleh dikatakan tidak jauh berbeda. Untuk keselamatan pasien, sebaiknya kesalahan penunjukan waktu tersebut di atas tidak diabaikan [9].

Hasil pengukuran untuk menentukan koreksi rekombinasi ion dan polaritas berkas Co-60 pesawat GWXJ80 no. Seri 257 dan 261 yang dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm, jarak sumber ke permukaan fantom, SSD 80 cm, dan lapangan radiasi, FS 10 cm x 10 cm dengan waktu penyinaran 1 menit yang dihitung menggunakan Persamaan 4 dan 5 ditunjukkan dalam Tabel 3 dan 4.

Tabel. 3. Data pengukuran faktor koreksi rekombinasi ion dan polaritas pesawat no. seri 257

P/T/h	Tegangan Kerja, (Volt)	Bacaan Terkoreksi (nC/menit)	Perbandingan
100,9 kPa 22,34 °C 85 %RH	$V_{1(-)}$ = 243,5 (V-)	35,061 (M_1)(M.)	M_1/M_2 = 1,000
	V_2 = 61,00	34,259 (M_2)	k_s = 1,000
	V_+ = 242,75 (V+)	35,074 (M_2)(M_+)	k_{pol} =1,000

Tabel. 4. Data pengukuran faktor koreksi rekombinasi ion dan polaritas pesawat no. seri 261

P/T/h	Tegangan Kerja, (Volt)	Bacaan Terkoreksi (nC/menit)	Perbandingan
100,9 kPa 21,4 °C 58 %RH	$V_{1(-)}$ = 243,5 (V-)	34,150 (M_1)	M_1/M_2 = 1,000
	V_2 = 61,25	34,141 (M_2)	k_s =1,000
	V_+ = 243,5 (V+)	34,259 (M_2)	k_{pol} =1,002

Hasil penentuan laju dosis serap air untuk berbagai lapangan radiasi dari kedua pesawat GWXJ80 yang dihitung menggunakan Pers. 2 dapat dilihat pada Tabel 5 dan 7. Selanjutnya laju dosis serap maksimum dari setiap lapangan radiasi tersebut dinormalisasi ke laju dosis serap air maksimum pada lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dihitung menggunakan Pers. 3 dapat dilihat pada Tabel 6 dan 8 dan Faktor Keluarannya dicantumkan pada tabel yang sama.

Dari Tabel 6 dan 8 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air maksimum pada lapangan radiasi 10 cm x 10 cm mendapatkan nilai 2415,9 mGy/menit untuk pesawat GWXJ80 no. seri 257 dan 2337,7 mGy/menit untuk pesawat GWXJ80 no. seri 261. Kedua pengukuran tersebut di atas dilakukan berselang 1 bulan. Jika hasil pengukuran pesawat GWXJ80 no. seri 257 diluruhkan untuk waktu peluruhan 1 bulan, maka akan mendapatkan nilai 2395,54 mGy/menit. Dengan demikian akan mendapatkan perbedaan sebesar 1,5 %. Dengan ketidakpastian bentangan sebesar ± 1,7 %, maka kedua pengukuran mendapatkan hasil yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan sumber radiasi Co-60 pada *head* pesawat sudah sesuai.

Tabel. 5. Data pengukuran laju dosis serap air pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 257

Lapangan cm x cm	Bacaan (Mu) nC	Faktor Pengali*	$D_{air(5)}$, mGy/menit
5 x 5	31,518	54,30	1711,4
6 x 6.	41,704		1769,8
7 x 7.	42,548		1797,8
8 x 8	43,434		1842,0
9 x 9	44,254		1868,2
10 x 10	44,891		1903,7
12 x 12	46,093		1953,7
15 x 15	47,680		2019,0
18 x 18	48,765		2068,5
20 x 20	49,250		2098,5

* Faktor pengali = $N_{D,W} \cdot K_{pol} \cdot K_s$

Tabel. 6. Data pengukuran laju dosis serap air maksimal pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 257

Lapangan cm x cm	$D_{air(5)}$, mGy/menit	PDD_5 %	D_{max} mGy/menit	Faktor Keluaran
5 x 5	1711,4	75,2	2275,8	0,9420
6 x 6.	1769,8	76,2	2322,6	0,9614
7 x 7.	1797,8	77,1	2331,8	0,9652
8 x 8	1842,0	77,8	2367,6	0,9800
9 x 9	1868,2	78,3	2386,0	0,9876
10 x 10	1903,7	78,8	2415,9	1,0000
12 x 12	1953,7	79,5	2457,5	1,0172
15 x 15	2019,0	80,3	2514,3	1,0407
18 x 18	2068,5	80,8	2560,0	1,0596
20 x 20	2098,5	81,3	2581,2	1,0684

ISSN 1978-0176

Tabel. 7. Data pengukuran laju dosis serap air pesawat no. seri 261

Lapangan cm x cm	Bacaan (Mu) nC	Faktor Pengali*	$D_{air(5)}$, mGy/menit
5 x 5	30,811	54,36	1674,8
6 x 6.	31,649		1720,4
7 x 7.	32,301		1755,8
8 x 8	32,986		1793,1
9 x 9	33,674		1830,4
10 x 10	34,150		1856,3
12 x 12	35,204		1913,6
15 x 15	36,421		1979,7
18 x 18	37,326		2029,0
20 x 20	37,826		2056,1

* Faktor pengali = $N_{D,W} \cdot K_{pol} \cdot K_s$

Tabel. 8. Data pengukuran laju dosis serap air pesawat no. seri 261

Lapangan cm x cm	$D_{air(5)}$, mGy/menit	PDD_5 %	D_{max} mGy/menit	Faktor Keluaran
5 x 5	1674,8	75,2	2227,1	0,9454
6 x 6.	1720,4	76,2	2257,7	0,9584
7 x 7.	1755,8	77,1	2277,3	0,9667
8 x 8	1793,1	77,8	2304.7	0,9784
9 x 9	1830,4	78,3	2337,7	0,9923
10 x 10	1856,3	78,8	2355,7	1,0000
12 x 12	1913,6	79,5	2407,0	1,0217
15 x 15	1979,7	80,3	2465,4	1,0466
18 x 18	2029,0	80,8	2511,1	1,0660
20 x 20	2056,1	81,3	2529,0	1,0736

Dari Tabel 5 dan 7 tersebut di atas dapat dilihat juga bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai Faktor Keluaran pesawat Co-60 GWXJ80 no. seri 257 dan 261. Perbedaan terbesar diperoleh untuk lapangan radiasi 15 cm x 15 cm dan 20 cm x 20 cm sebesar 0,6 %. Nilai ini tidak signifikan karena lebih kecil dari ± 2 %. Dengan perbedaan yang kecil ini menunjukkan bahwa kedua pengukuran mendapatkan kesesuaian yang baik [10].

Hasil penentuan Faktor *Wedge* kedua pesawat dapat dilihat pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel. 9. Hasil pengukuran Faktor *Wedge* tiga buah pesawat teleterapi Co-60 GWXJ80

Wedge 10W cm x 15 cm	Faktor *Wedge* No. seri 257	Faktor *Wedge* No. seri 261	Faktor *Wedge* Pabrik
Wedge 15°	0,680	0,681	0,698
Wedge 30°	0,573	0,526	0,589
Wedge 45°	0,576	0,559	0,597
Wedge 60°	0,416	0,393	0,437

Dari tabel tersebut di atas dapat dilihat bahwa dari 4 buah *wedge* tersebut, hanya *wedge* dengan sudut 15° saja yang nilai Faktor Wedge kedua pesawat GWXJ80 nya mendekati nilai yang diberikan oleh pabrik dengan deviasi yang tidak signifikan sebesar 0,4 %, sedangkan untuk sudut *wedge* yang lain, perbedaan antara pesawat no. seri 257 dan 261 maupun terhadap nilai yang diberikan oleh pabrik mendapatkan perbedaan yang cukup besar antara 3 % sampai dengan 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa *wedge* masing-masing pesawat tidak sama. Dengan demikian perlu dilakukan pengukuran faktor *wedge* untuk masing-masing pesawat.

KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

Ketidakpastian hasil penentuan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 dievaluasi sesuai dengan kriteria yang terdapat dalam ISO/TAG 4/WG 3: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* yang mendefinisikan dua katagori komponen ketidakpastian yaitu Tipe A dan Tipe B[11].

Komponen ketidakpastian meliputi : ketidakpastian faktor kalibrasi dosimeter, stabilitas dosimeter, bacaan dosimeter, resolusi termometer, faktor kalibrasi termometer, resolusi barometer, faktor kalibrasi barometer, koreksi polaritas, koreksi rekombinasi ion dan kedalaman air. Ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*) dari penentuan laju dosis serap air ditaksir sebesar ± 1,7 %.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap dua pesawat dapat disimpulkan bahwa kinerja kedua pesawat tersebut cukup baik. Hasil penentuan dosis serap air dapat digunakan untuk terapi pasien tumor. Disamping itu hasil

penentuan parameter dosimetri yang diperoleh dapat dijadikan data acuan dalam pelaksanaan program kendali mutu dari pesawat teleterapi tersebut. Bagi laboratorium kalibrasi PTKMR-BATAN hasil ini dapat dijadikan data acuan untuk pengukuran-pengukuran pesawat Co-60 model GWXJ80 yang kemungkinan besar akan semakin bertambah di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Komunikasi pribadi dengan personil PT Indosopha Sakti dan PT Bumi Paradise, *Vendor* pesawat teleterapi di Indonesia
2. Sertifikat sumber radiasi no. seri E00, Rus/6351/5-96, *Gamma Service Recycling* GmBH- Bautzer Strasse 67 – D – 04347 Leipzig
3. Sertifikat sumber radiasi no. seri A79 , Rus/6351/5-96, *Gamma Service Recycling* GmBH- Bautzer Strasse 67 – D – 04347 Leipzig
4. Rajagukguk, N., Firmansyah, A.F., Ketidakssuaian Posisi Sumber Radioaktif Pasca Pergantian Sumber Radioaktif Pada Pesawat Teletrapi Co-60 Berpengaruh Terhadap Laju Dosis Serap Air di Kedalaman Maksimum, Prosiding Seminar Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Teknologi Nuklir VIII, ISSN 1978-9971, Jakarta, 2013
5. GWXJ80 ^{60}Co TELETHERAPY, Operation Manual, Nuclear Power Institute of China, Si Chuan, China, 2006
6. British Journal of Radiology Supplement No. 25, *Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy*: 1996, British Institute of Radiology, London, 1996
7. Jhon HORTON. Ph.D *Handbook Radiation Therapy Physics*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.,1987.
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water*, Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna , 2000
9. Rajagukguk, N., Firmansyah, A.F., Penentuan Parameter Dosimetri Awal Tiga Buah Pesawat Teleterapi 60 GammaBeam 100-80 External Beam Therapy System Co- 60, Prosiding Seminar Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir, ISSN 2477-0345, Jakarta, 2015.
10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Report Series No. 277 : *Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beam*, An International Code Practice, IAEA, Vienna, 1987
11. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, *Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement, ISO TAG/WG 3/June 1992*.

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Terapi pasien tumor yang dimaksud tumor dimana letaknya?
2. Adakah persamaan dengan diagnosa kanker gamma?

Jawaban :

1. Terapi tumor dengan penyinaran eksternal biasanya letak tumor ada di kepala dan leher, payudara, paru-paru, usus, dan prostat.
2. Berbeda antara diagnosis gamma dengan terapi gamma.

ISSN 1978-0176

PERANCANGAN REAKTOR *BATCH* UNTUK PEMISAHAN PERAK DARI LARUTAN BEKAS PENCUCIAN FILM RADIOGRAFI

Salman Yasir Fakhry Putra [1], Noor Anis Kundari [2], Kris Tri Basuki [3]

1,2,3) STTN-BATAN, Yogyakarta, Indonesia, sttn@batan.ac.id

ABSTRAK

Perancangan reaktor *batch* untuk pemisahan perak dari larutan bekas pencucian film radiografi. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kinetika proses pelarutan dan desain reaktor *batch*. *Fixer* bekas menjadi masalah dikarenakan pada *fixer* bekas mengandung logam Ag yang termasuk logam berat dan digolongkan limbah B3.Namun selain *fixer* bekas tergolong dalam limbah B3, logam Ag yang terkandung pada *fixer* bekas juga mempunyai nilai ekonomis karena tergolong logam mulia. Oleh karena itu, dilakukan perancangan reakotr batch untuk untuk mengurangi masalah limbah di lingkungan. Metode untuk menentukan konstanta kinetika pada proses pelarutan adalah melarutkan Ag_2S dan HNO_3, diaduk dan dipanaskan pada suhu 90^OC konstan dengan memvariasikan waktu pengadukan. Nilai konstanta kinetika proses Pelarutan Adalah 0,216/menit. Berdasarkannilai konstanta knetika yang diperoleh, dapat dihitung rancangan reaktor *batch* pada proses pertukaran logam untuk kapasitas 99 L/bulan sebesar D = 45 cm, H = 68cm, t = 0,35 cm, P = 0,76watt, dan pada proses pelarutan adalah D = 44 cm, H = 66cm, t = 0,33 cm, P =42,29watt.

Kata kunci : Reaktor *batch*, *fixer*, pelarutan,kinetika,perancangan

ABSTRACT

***Batch reactor design for silver separation fromused radiographic film fixer solution**. This study was conducted to determine the kinetics of the dissolution process and batch reactor design. The usedfixer solution because it coontainssilver and hazardous materials.However, its silver content has economic value as it is a precious metal. Therefore, it is necessary to design batch reactor to produce silver which has economic value and to reduce environmental problem from the fixer solution. The method for determining the kinetics constant of the dissolution process is by dissolving Ag_2S and HNO_3. The solution is stirred and heated at a constant temperature of 90°C by varying the stirring time. The dissolution process is a firstorder reaction with kinetics constant value is 0,216 / min. The obtained kinetics constant can be used to design batch reactor for the metal exchange processes for a capacity of 99 L/month at D = 45 cm, H = 68 cm, t = 0,35 cm, P = 0,76 watts, and on the dissolution process is D = 44 cm, H = 66 cm, t = 0,33 cm, P = 42,29 watts.*
Keywords:Batchreactor,fixer,dissolution,kinetics,design

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Fixer bekas menjadi masalah dikarenakan pada *fixer* bekas mengandung logam Ag dan*fixer* bekas tergolong dalam limbah B3, Namun logam Ag yang terkandung pada *fixer* bekas juga mempunyai nilai ekonomis karena tergolong logam mulia.Berbagai teknologi digunakan untuk mendapatkan kembali Ag dari limbah larutan fixer yang kebanyakan efektif pada batas konsentrasi Ag tertentu. Perak dalam bentuk kompleks anionik tiosulfat $(Ag(S_2O_3)_2)^{3-}$ dapat dipisahkan dari larutannya dengan cara elektrolisis, pertukaran logam (*metallic replacement*), pengendapan, penukar ion, membran cair emulsi (ELM), dan adsorbsi dengan kitin[(1)].

Reaksi pertukaran logam tunggal pada pemungutan perak dalam limbah larutan *fixer* logam Mg menggeser logam Ag pada $Ag_2S_2O_3$dan Membentuk Ag_2S. hal ini dikarenakan logam Mg lebih reaktif dari pada logam Ag, dengan demikian akan terjadi reaksi redoks. Selanjutnya, reaksi pelarutan dengan cara melarutkan Ag_2S menggunakan HNO_3 membentuk $AgNO_3$.

Penelitian ini dilakukan untuk perancangan reaktor *batch* yang mampu memulihkan perak dari limbah larutan *fixer* sehingga limbah larutan *fixer* yang mengandung perak tidak mencemari lingkungan dan limbah *fixer* juga digolongkan sebagai limbah B3. Selain itu, logam perak mempunyai nilai ekonomis. Pemulihan logam perak dilakukan dengan cara melewatkan larutan fixer bekas cucian film radiografi dengan logam Mg pada reaktor. Pada saat terjadi kontak larutan *fixer* dengan logam akan terjadi reaksi pertukaran logam Mg dan menghasilkan logam perak dan larutan MgS_2O_3, Selanjutnya dilakukan proses pelarutan menggunakan HNO_3 dan membentuk $AgNO_3$.

Perancangan alat yang sesuai untuk memaksimalkan pemungutan perak dari limbah larutan *fixer* yaitu perancangan reaktor *batch*. Untuk Menentukan desain reaktor *batch* menggunakan persamaan sebagai berikut[(2)].

$$Fa0 - Fa + ra\int_0^V dV = \frac{dNa}{dt} \quad (1)$$

Karena pada *batch* Fa0=Fa=0, maka

$$ra\int_0^V dV = \frac{dNa}{dt} \quad (2)$$

$$ra = \frac{dCa}{dt} = -kCa^n \quad (3)$$

$$-kCa^n\int_0^V dV = \frac{dNa}{dt} \quad (4)$$

Untuk merancang reaktor *batch* diperlukan persamaan kinetika. Pada pengolahan limbah *fixer* telah tersedia data kinetika pada proses pertukaran logam Mg[(3)]. Sedangkan dalam proses pelarutan belum tersedia. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan ditentukan terlebih dahulu persamaan kinetika pada proses pelarutan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa menentukan persamaan kinetika pada proses pelarutan dan perancangan reaktor *batch* untuk pemisahan perak dari larutan bekas pencucian film radiografi.

LANDASAN TEORI

Proses Pertukaran Logam Mg

Reaksi pertukaran logam tunggal adalah juga perubahan kimia yang terjadi ketika sebuah unsur yang lebih reaktif menggantikan unsur yang kurang reaktif dari suatu senyawa. Reaktifitas logam dapat diketahui dari urutan pada deret volta, pada deet volta logam yang urutannya berada di sebelah kiri hidrogen (H) tergolong logam yang reaktif dan semakin ke kiri semakin reaktif. Namun sebaliknya logam yang mempunyai urutan berada di sebelah kanan hidrogen adalah logam-logam yang kurang reaktif dan semakin ke kanan semakin kurang reaktif terhadap logam yang mempunyai urutandi sebelah kirinya. Pada reaksi pertukaran logam tunggal yang terjadi pada proses pemungutan perak, logam Mg akan menggeser Ag yang terdapat dalam senyawa komplek $Ag_2S_2O_3$, pergeseran logam yang terjadi dapat dilihat pada reaksi berikut,

$$Ag_2S_2O_3 + Mg \rightarrow Ag_2S + MgS_2O_3 + SO_3 \quad (5)$$

Berdasarkan reaksi (5) dapat diamati, logam Mg menggeser posisi Ag yang menjadi atom inti dan berikatan dengan ligan $S_2O_3^-$

ISSN 1978-0176

sehingga logam Mg menjadi atom inti dan berikatan dengan ligan $S_2O_3^-$ menjadi MgS_2O_3.

Ketika kompleks $Ag_2S_2O_3$ melalui proses pemungutan, kompleks akan terkonversi menjadi Ag_2S.

Proses Pelarutan Menggunakan HNO_3

Untuk mendapatkan perak murni, Ag_2Sdilarutkan dengan asam nitrat (HNO_3) maka reaksinya akan menjadi,

$$3Ag_2S + 8HNO_3 \rightarrow 6AgNO_3 + 2NO + 3S\ 4H_2O \quad (6)$$

Untuk menetukan nilai konstanta kinetika (k) pada proses pelarutan dengan orde 1 yang diperoleh dari percobaan di laboratorium menggunakan Persamaan sebagai berikut[2].

$$ln(1-X) = -k.t \quad (7)$$

Berdasarkan konstanta kinetika (k) dengan reaksi orde 2 dapat ditentukan persamaan sebagai berikut[2].

$$\frac{1}{Ca} - \frac{1}{Ca_0} = -k.t \quad (8)$$

Ag larut dan membentuk ikatan senyawa dengan NO menjadi $AgNO_3$, dimurnikan dengan reaksi pertukaran logam tunggal menggunakan logam tembaga (Cu) sehingga didapatkan logam Ag murni, reaksi yang terjadi dapat dilihat pada reaksi 17,

$$AgNO_3 + Cu \rightarrow Ag + Cu(NO_3)_2 \quad (9)$$

Logam Ag mengendap dan dipisahkan dengan $Cu(NO_3)_2$sehingga didapatkan logam Ag murni yang siap untuk dilebur.

Perhitungan Desain Reaktor *Batch*

Reaktor *batch* tidak memiliki aliran masuk maupun aliran keluar dari reaktan atau produk sementara reaksi sedang dilakukan; Fj0 = Fj = 0 menghasilkan keseimbangan mol umum pada spesies j adalah[2].

$$-kCj^n \int_0^V dV = \frac{dNj}{dt} \quad (10)$$

Untuk sistem *batch* dimana volume bervariasi ketika reaksi berjalan, volume biasanya dapat dinyatakan sebagai fungsi waktu atau konversi saja, baik untuk reaktor adiabatik atau isotermal. Karena itu, variabel dari persamaan diferensial dapat dipisahkan dalam salah satu cara berikut[2].

$$Vdt = N_{A0}\frac{dX}{-r_A} \quad (11)$$

Atau

$$dt = N_{A0}\frac{dX}{-r_A V} \quad (12)$$

Namun, untuk reaktor *batch*pada umumnya volume tidak ditentukan sebelumnya sebagai fungsi waktu. Maka, waktu t yang diperlukan untuk mencapai konversi X adalah[2].

$$t = N_{A0}\int_0^{X(t)} \frac{dX}{-r_A V} \quad (13)$$

Mengikuti reaksi dibawah ini[4].

$$A + \cdots \rightarrow v_C C + \cdots v_N N \quad (14)$$

Reaksi dalam reaktor *batch* dengan volume V secara terus-menerus, untuk menentukan tingkat produksi, maka harus memperhitungkan waktu reaksi (t dalam persamaan(34)) dan *down-time* (td) antara *batch*. Total waktu per *batch*, atau waktu siklus, adalah[4].

$$t_c = t + t_d \quad (15)$$

Volume reaktor (V) terkait dengan Nao melalui persamaan keadaan (1) atau (9). harus ditentukan atau dianggap sebagai parameter[4].

$$V = \frac{(t+t_d)\Pr(C)}{v_C C_{A0}.X_A} \quad (16)$$

Menentukan dimensi dari reaktor *batch* dengan cara mengasumsi bahwa reaktor *batch* berbentuk silinder dan mengikuti persamaan sebagai berikut[5].

$$V = \frac{1}{4}\pi D^2 H \quad (17)$$

Rasio antara diameter dan tinggi reaktor *batch* ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut[5].

$$\frac{H}{D} = 1{,}5 \quad (18)$$

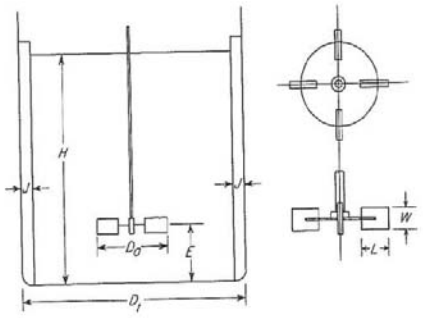
$$H = 1{,}5D \quad (19)$$

Dengan mensubtitusi persamaan (38) ke (39), maka diperoleh persamaan (41)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4}{1{,}5}\left[\frac{V}{\pi}\right]} \quad (20)$$

Untuk merancang pengaduk pada bejana atau tangki memiliki banyak pilihan untuk membuat jenis dan lokasi *impeller*, ukuranbejanaatau tangki, jumlah dan ukuran *baffle*, dan sebagainya. Maka perancangan unit pengaduk beserta *impeller* akan ditunjukan pada gambar dibawah ini[6].

ISSN 1978-0176



Gambar 1 Desain pengaduk jenis turbulen[6].

$$\frac{D_a}{D} = \frac{1}{3} \quad (21)$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (22)$$

$$\frac{J}{D} = \frac{1}{12} \quad (23)$$

$$\frac{E}{D} = \frac{1}{3} \quad (24)$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (25)$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad (26)$$

Pada unit pengaduk membutuhkan seberapa besar daya yang dikonsumsi. Dalam tangki *baffled* dengan bilangan *reynolds* yangmendekati 10.000, maka jumlah daya adalah independen dari bilangan *reynolds*, dan viskositas bukan faktor. dalam rentang ini aliran sepenuhnya turbulen[6].

$$N_p = K_T \quad (27)$$

ini akan menjadi

$$P = \frac{K_T n^3 {D_a}^5 \rho}{g_c} \quad (28)$$

Dalam sistem pengadukan, kecepatan dalam pengadukan sangat mempengaruhi effisiensi laju reaksi.Berdasarkan persamaan (53), kecepatan pengadukan juga dipengaruhi oleh WELH (*Water Equivalen Liquid Hight*)[7].

$$\frac{WELH}{2.D_a} = \left(\frac{n.D_a}{600}\right)^2 \quad (29)$$

Dengan

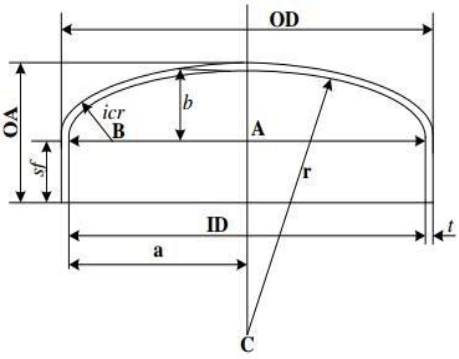
$$WELH = H.\frac{\rho Fluida}{\rho Air} \quad (30)$$

Ketebalan reaktor *batch*dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut[8].

$$P_{Design} = (1-1{,}2).P_{Operasi} \quad (31)$$

$$ts = \frac{P.R}{f.E - 0{,}6P} + C \quad (32)$$

Tutup reaktor sangat bermacam-macam, namun pada umumnya tutup yang sering dijumpai di reaktor kimia berjenis *flanged and shallow dishead.*Untuk merancang tutup reactor mengikuti persamaan sebagai berikut[8].



Gambar 2 Flanged and shallow dishead reactor[8]

Menentukan Tebal penutup mengikuti persamaan berikut[8].

$$th = \frac{P.R.w}{2.f.E - 0{,}2P} + C \quad (33)$$

Sehingga

$$\text{Tinggi penutup} = \text{th} + \text{b} + \text{sf} \quad (34)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan Penelitian

Dalam perancangan reaktor*batch* untuk pemisahan perak dari limbah bekas film radiografi digunakan bahan untuk melangsungkan perancangan adalah limbah *fixer* berasal dari rumah sakit wilayah Yogyakarta dengan konsentrasi 57,51 g/L, Aquadest dari alat pembuat air aquadest yang ada di laboraturium kimia dasar STTN-BATAN Yogyakarta, logam magnesium didapat dari laboraturium kimia dasar STTN-BATAN Yogyakarta berbentuk pita dengandimensi lebar 0,5 cm dan panjang 100 cm, dan asam nitrat berasal dari laboratorium kimia dasar STTN-BATAN Yogyakarta, Asam nitrat yang digunakan memiliki konsentrasi 65% dan massa Jenis 1,62 kg/L

ISSN 1978-0176

Alat Penelitian

Dalam perancangan reaktor *batch* untuk pemisahan perak dari limbah bekas film radiografi digunakan alat – alat seperti hot plate, *magnetic stirrer*, termometer, neraca analitik, kertas saring whatman 42, oven, stopwatch, AAS, dan peralatan-peralatan kaca lainnya.

Prosedur Penelitian

Pengendapan Ag_2S dari $Ag_2S_2O_3$ menggunakan Logam Mg

Proses pengendapan Ag_2S ditentukan dengan mereaksikan limbah larutan fixer dari rumah sakit diambil sebanyak 500mL dan di tempatkan pada gelas beker 500mL dengan logam magnesium ditimbang seberat 1 gram. logam magnesium yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam limbah larutan fixer dan diaduk menggunakan pengaduk magnet, kemudian endapan hasil reaksi di saring menggunakan kertas saring whatman 42. Kertas saring dan endapan dikeringkan menggunakan oven dan ditimbang sampai konstan.

Penentuan Nilai Konstanta Kinetika (k) Pelarutan Ag_2S Menggunakan HNO_3

Nilai konstanta kinetika (k) pada proses pelarutan ditentukan dengan melarutkan Ag_2S menggunakan HNO_3 dengan konsentrasi yang sesuai perhitungan stoikiometri dan dipanaskan pada suhu 90°C dijaga konstan. Endapan dan filtrat hasil reaksi dipisahkan menggunakan kertas saring whatman 42, dan langkah tersebut diulangi dengan melakukan variasi waktu. pengadukan. Hasil pelarutan tersebut yang berupa filtrat dianalisis menggunakan spektrometri serapan atom.

Perancangan dan Desain Reaktor *Batch*

Prosedur perancangan dan desain reaktor *batch* adalah langkah pertama membuat digram alir proses, kemudian menghitung neraca massa proses. Setelah dihitung neraca massa dengan kapasitas yang telah ditentukan, kemudian menentukan spesifikasi alat yang digunakan (pompa, pipa, jenis bahan yang digunakan untuk reaktor, dll). Kemudian langkah selanjutnya menghitung waktu pengadukan dalam reaktor, lalu selanjutnya menghitung volume beserta dimensi keseluruhan reaktor *batch.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Nilai Konstanta Kinetika Reaksi (k) Pelarutan Ag_2S Menggunakan HNO_3

Pada Penelitian ini dilakukan pengamatan laju reaksi pada proses pelarutan Ag_2S dan HNO_3 dengan kondisi pengamatan di laboraturium dan perhitungan sesuai stoikiometri

Endapan Ag_2S di larutkan dengan HNO_3 akan membentuk $AgNO_3$ dengan suhu tetap dijaga konstan sebesear 90° Celcius. Untuk menentukan kinetika pada proses pelarutan maka dilakukan Variasi Waktu Pengadukan yaitu, 15, 20, 35 50, 70 dan 80 menit. Setelah dilakukan Variasi tersebut, maka diperoleh konsentrasi hasil dari spektrometri serapan Atom yang ditunjukan pada Tabel 3

Tabel 1 Hasil Spektrometri serapan atom

Waktu (menit)	Konsentrasi (Ca) (ppm)
15	2,1098
20	2,0641
35	1,0959
50	2,6999
70	4,9978
80	13,1715

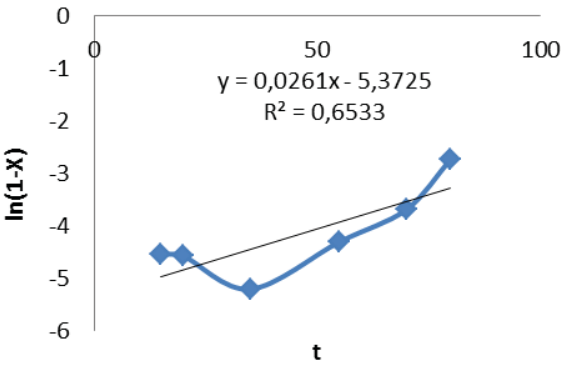
Kemdian dari hasil spektrometri serapan atom, dihitung konversi yang terjadi selama proses pelarutan dalam variasi waktu yang ditunjukan pada Tabel 4

Tabel 2 Perhitungan konversi

Waktu (menit)	Konversi(X)
15	0,989451
20	0,989680
35	0,994521
50	0,986501
70	0,975011
80	0,934143

Dari Tabel 4, maka dabat dibuat grafik hubungan antara konversi dan waktu untuk menentukan konstanta kinetika.Untuk reaksi order 1

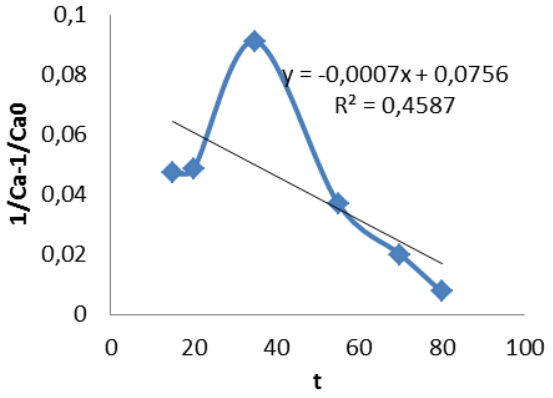
ISSN 1978-0176



Gambar 3 Hubungan konversi dengan waktu pengadukan

Hasil menunjukkan bahwa untuk proses pelarutan diperoleh nilai konstanta kinetika sebesar 0,0261 / menit dengan R^2 sebesar 0,6533.

Untuk menentukan nilai konstanta kinetika pada reaksi orde 2 akan ditunjukkan pada gambar berikut ini.



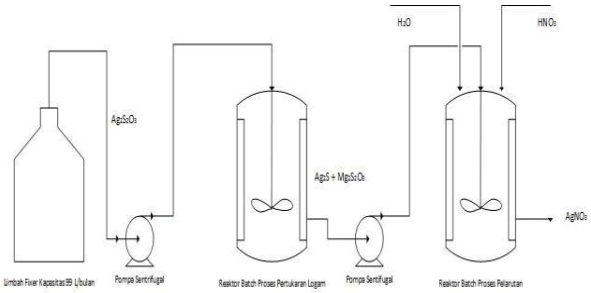
Gambar 4Hubungan konsentrasi terhadap waktu reaksi orde 2

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk reaksi orde 2 di peroleh nilai konstata kinetika sebesar 0,0007/C.s dengan Nilai R^2 sebesar 0,4587.

Jika dibandingkan hasil antara reaksi orde 1 dan orde 2, maka hasil yang lebih baik terdapat pada orde1. Karena nilai R^2 pada orde 1 lebih besar dibandingkan dengan nilai R^2 pada orde 2. Oleh karena itu, perancangan dan desain reaktor *batch* akan menggunakan nilai konstanta kinetika pada reaksi orde 1

PERANCANGAN REAKTOR *BATCH*

Diagram alir proses

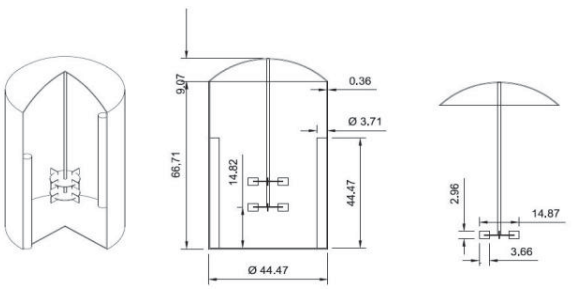


Gambar 5 Diagram alir proses reaksi pertukaran logam dan pelarutan

Berdasarkan Gambar 5, limbah fixer di pompa menggunakan pompa sentrifugal kemudian masuk ke reaktor untuk proses pertukaran logam menggunakan magnesium. Proses pertukaran logam terjadi dan membentuk Ag_2S dan $Mg_2S_2O_3$ sebagai hasil reaksi yang sesuai dengan reaksi pada persamaan (5). Setelah proses pertukaran logam, selanjutnya hasil proses di pompa dan masuk reaktor selanjutnya.

Pada proses tersebut merupakan proses pelarutan menggunakan HNO_3 sebagai pelarut. Selanjutnya, HNO_3 melarutkan Ag_2S dan membentuk $AgNO_3$ yang sesuai dengan reaksi pada persamaan (6).

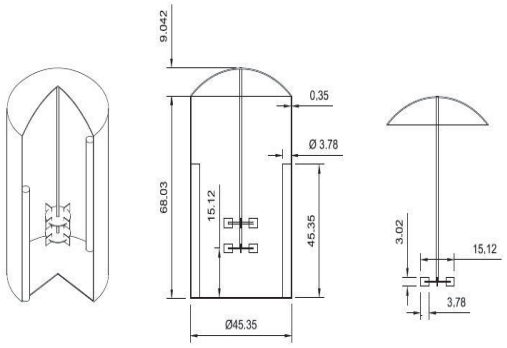
Desain reaktor batch proses pertukaran logam



Gambar 6Reaktor *batch* proses pertukaran logam

ISSN 1978-0176

Desain reaktor *batch* proses pelarutan



Gambar 7 Reaktor *batch* proses pelarutan

KESIMPULAN

1. Berdasarkan data yang diperoleh dari spektrometri serapan atom (AAS) konstanta kinetika reaksi pada proses pelarutan adalah 0,0261/menit untuk reaksi orde 1 dan 0,0007/C.menit untuk reaksi orde 2
2. Dimensi reaktor *batch* untuk proses reaksi pertukaran logam dan pelarutan dapat di hitung. Dan hasil perhitungan dimensi yang diperoleh adalah sebagai berikut :
   a. Reaktor *batch*proses reaksi pertukaran logam

Volume	= 0,1287 m^3
Diameter	=0,45m
Tinggi	=0,68 m
Tebal shell	=0,0035 m
Tebal head	= 0,0033 m
Tinggi head	=0,0942 m
Daya yang dikonsumsi	= 0,76 watt
Kecepatan pengadukan	=16,35 rpm

   b. Reaktor *batch*proses pelarutan

Volume	= 0,101 m^3
Deiameter	= 0,44 m
Tinggi	= 0,66 m
Tebalshell	= 0,0036 m
Tebal head	= 0,0033 m
Tinggi head	=0,0072 m
Daya yang dikonsumsi	= 42,29 watt
Kecepatan pengadukan	=20,28 rpm

SARAN

1. Hasil dari perancangan ini diharapkan dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu rancang bangun alat dan dapat digunakan pada fasilitas pengolahan film radiografi.
2. Perlu dilakukan penelitian lagi yang terkait dengan perancangan reaktor dan pemilihan bahan agar lebih effisien dan optimal.
3. Pada proses pelarutan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dikarenakan variasi waktu yang dilakukan hanya sampai maksimal 80 menit sehingga kinetika yang diperoleh masih kurang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Songkroah, C., Nakbanpote, C., and Thiravetyan, P., 2003, "Recovery of Silver-Thiosulphate Complexes with Chitin", *Process Biochemistry Journal*, 39, 1553-1559.
2. Fogler, H.Scot, 2004, Solutions Manual for Elements of Chemical Reaction Engineering Third Edition., The University of Michigan, Ann Arbor
3. Perkasa, P.D.C, 2015, Pemungutan Perak dari larutan fixer pencuci film radiografi berbasis reaksi pertukaran logam, STTN-BATAN Yogyakarta.
4. Missen, R.W, Mims. C.A, Savilley. B.A, , 1999, Introduction to chemical reaction Engineering and kinetics, john wilwy and sons, Inc. united state of America.
5. Silla, Harry, 2003, Chemical Process Enginering Design and Economics, Stevens Institute of Techonolgy Hoboken, New Jersey, USA.
6. McCabe, W.L, Smith. C.J, Harriott. P, 1993, Unit Operations of chemical Engineering, McGraw-Hill, Inc. USA.
7. Rase, H.F., 1977, Chemical Reactor Design for Process Plants, 2 Volumes, (Willeys).
8. Brownell, L.E. and Young, E.H., 1979, "Process Equipment Design", John Wiley and Sons, Inc., New York.
9. Suryati., Linda, 2003, Pengambilan Kembali Perak Buangan Berdasarkan Metode Reduksi Kimiawi, Penelitian Dosen Muda, UNDIP, Semarang

ISSN 1978-0176

10. Sardjono, I.D, Prayitno, Poernomo, H, Yuwono, W, 2006, Pemakaian Metode Adsorpsi Gelembung Untuk Pemungutan Kembali Unsur Ag Dari Air Limbah Cucian Film Fotothoraks, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta.
11. Suryati., Linda, 2003, Pengambilan Kembali Perak Buangan Berdasarkan Metode Reduksi Kimiawi, Penelitian Dosen Muda, UNDIP, Semarang
12. Kuswati, Hari, Handoyo. D, Kohar. I, 2010, Perolehan Kembali Logam Perak Dari Limbah Cair Pencucian Film Studio dibanding Film X-Ray dengan Menggunakan Metode SN Flake, Universitas Suravaya, Surabaya.

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN PAPAN INFORMASI *REAL TIME* STATUS OPERASI DAN DAYA REAKTOR KARTINI SECARA NIRKABEL

Hendyka Ovie Arista[1], Adi Abimanyu[2], Muhtadan[1]

1) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, ovieoval35@gmail.com, muhtadan@batan.go.id
2) Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, Yogyakarta, abimanyu.adi@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PAPAN INFORMASI REAL TIME STATUS OPERASI DAN DAYA REAKTOR KARTINI SECARA NIRKABEL. Seiring dengan berkembangnya teknologi komunikasi, sistem transfer data dapat dilakukan secara nirkabel (*wireless*). Teknologi nirkabel juga semakin banyak digunakan karena kecepatan transfer datanya, terutama data yang penting seperti daya dari sebuah reaktor. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan sebuah papan informasi *real time* mengenai status operasi dan daya dari Reaktor Kartini secara nirkabel. Data dari reaktor yang berupa tegangan analog dari kanal daya NP-1000 dikonversi ke nilai daya dalam satuan persen (%) yang ditampilkan pada papan penampil. Papan informasi *real time* ini terdiri dari modul Nice RF SV 611, mikrokontroler AT-Mega8, modul RTC DS1307, papan LED *seven segment*. Penelitian tersebut menghasilkan sebuah papan informasi *real time* memiliki ukuran 70 cm x 70 cm x 6 cm dengan jarak maksimal pengiriman data adalah 240 meter pada area terbuka dan waktu pengiriman data selama 0,079 detik dengan penggunaan *baudrate* sebesar 19200 bps pada power 7. Sehingga, penggunaan modul RF dengan jarak tertentu dapat menggunakan power yang mendekati untuk digunakan pada jarak tersebut.

Kata kunci : *Radio Frequency* Nice RF SV 611, mikrokontroler AT-Mega8, RTC DS1307, daya Reaktor Kartini

ABSTRACT

WIRELESS REAL TIME INFORMATION BOARD DESIGN OF OPERATION STATUS AND POWER OF KARTINI REACTOR*. The development of communication technology, data transfer system can be done wirelessly. Wireless technology increasingly used because the speed of data transfer, particularly for important data such as power of reactor. Therefore, the purpose of this research is to produce a wireless real time information board about operation status and power of Reactor Kartini. In this research, the analog voltage data from channel power NP-1000 converted to value of power in units per cent (%) displayed on the information board. The real time information board consist of Nice RF SV 611 module, microcontroller AT-Mega8, RTC DS1307 module, and LED board seven segment. So, result of the research that has a size of 70 cm x 70 cm x 6 cm with maximum data transfer distance is 240 meter on outdoor and time to transfer data for 0,079 second with the use of baudrate is 19200 bps on power 7. So that the use of RF module with certain distance can use power that approaching for used the distance.*

Keywords : Radio Frequency Nice RF SV 611, microcontroller AT-Mega8, RTC DS1307, power of Kartini Reactor.

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Reaktor Kartini yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta adalah salah satu fasilitas yang dimiliki oleh Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA - BATAN). Reaktor Kartini mulai dibangun pada tahun 1974 dan pertama kali beroperasi pada tahun 1979, merupakan reaktor riset jenis TRIGA (*Training Research Isotop Production General Atomic*) dengan desain sebagai reaktor tipe kolam 250 kW dengan daya operasi 100 kW. Reaktor Kartini dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, iradiasi, pendidikan dan pelatihan [1].

Penelitian mengenai sistem penampil parameter keselamatan Reaktor Kartini pernah dilakukan oleh Yoyok Dwi Setyo Pambudi pada tahun 2003 dengan judul "Rancang Bangun Sistem Penampil Parameter Keselamatan Reaktor Kartini"[2]. Pada penelitian tersebut sistem penampil berupa monitor yang ada di ruang kendali dengan perangkat lunak LabView 5.0 yang kompatibel dengan perangkat keras antarmuka *National Instrument.* Sehingga, untuk mengetahui informasi dari parameter keselamatan tersebut perlu memasuki gedung reaktor dan diakses melalui monitor pada ruang kendali reaktor.

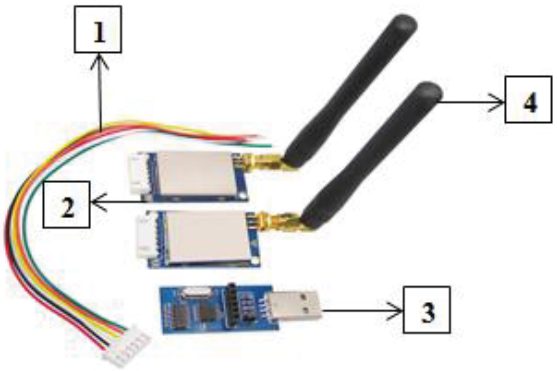
Seiring dengan berkembangnya teknologi komunikasi, sistem transfer data dapat dilakukan secara nirkabel (*wireless*). Salah satu teknologi yang digunakan sebagai sarana komunikasi *wireless* yaitu *Radio Frequency* (RF). RF menggunakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang seperti yang digunakan untuk *radio communication.* Frekuensi RF berkisar dari *Very Low Frequency* (VLF), dengan frekuensi 10 sampai 30 KHz, hingga *Extremely High Frequency* (EHF), yang besarnya kurang lebih 30 sampai 300 GHz [3].

Hingga saat ini, penampil informasi mengenai status operasi dan daya dari Reaktor Kartini hanya tersedia di dalam gedung reaktor dan penempatannya masih terpisah-pisah. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan kegiatan rancang bangun *hardware* dan *software* sebuah papan informasi *real time* mengenai status operasi dan daya Reaktor Kartini secara nirkabel. Pada penelitian ini, data yang dikirimkan ke papan informasi menggunakan data simulasi yang memiliki format yang sama dengan data *output* dari reaktor.

LANDASAN TEORI

Nice RF SV 611

Komunikasi data secara nirkabel seringkali dijumpai akhir-akhir ini dalam aplikasi komputer, ponsel, dll. Berbagai macam teknologi digunakan sebagai sarana komunikasi nirkabel seperti RF, *infrared*, *bluetooth*, *wireless* LAN, dsb [4]. Penelitian ini menggunakan modul RF jenis Nice RF SV 611 dengan frekuensi 433 Mhz. Modul Nice RF dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1. Modul Nice RF SV 611

Keterangan :

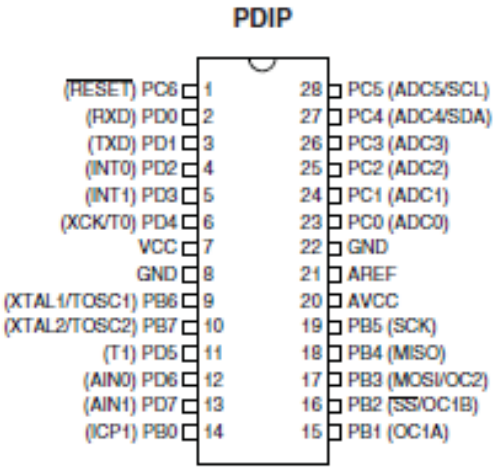
1. *Connector*
   Connector berfungsi untuk menyambungkan modul RF ke USB *Bridge*.
2. Modul Nice RF SV 611
   Modul Nice RF SV 611 merupakan perangkat untuk pengiriman dan penerimaan data.
3. USB *Bridge*
   USB *Bridge* berfungsi sebagai jembatan atau penghubung dari modul RF ke PC agar dapat berkomunikasi.
4. *Antenna*
   Antenna berfungsi sebagai penangkap sinyal.

Mikrokontroler AT-Mega8

Salah satu mikrokontroler yang termasuk keluarga MCS51 dan diproduksi oleh Atmel yaitu ATMega8. ATmega8 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit berarsitektur AVR

ISSN 1978-0176

RISC yang memiliki 8K byte *In-System Programmable Flash,* 512 bytes EEPROM, dan 1 Kbyte internal SRAM. Untuk ATmega8 tipe L, mikrokontroler ini dapat bekerja dengan tegangan antara 2,7 - 5,5 V sedangkan untuk ATmega8 hanya dapat bekerja pada tegangan antara 4,5 – 5,5 V [5]. Konfigurasi pin dari AT-Mega8 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar. 2. Konfigurasi pin AT-Mega8

Modul Real Time Clock (RTC)

Real Time Clock (RTC) merupakan serial RTC dengan konsumsi daya rendah yang menyediakan waktu dan penanggalan dalam format BCD (*binary-coded decimal*) dan memiliki SRAM untuk penyimpanan data sebesar 56 *byte*. Salah satu modul RTC yang sering digunakan yaitu tipe RTC DS1307. DS1307 diakses dengan metode komunikasi serial sinkron melalui jalur I2C. RTC ini menyediakan informasi tentang detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Jumlah hari dalam 1 bulan sudah diperhitungkan secara otomatis dari RTC. Format waktu yang tersedia adalah format dan 24 jam dan format 12 jam dengan indikator AM/PM. DS1307 memiliki rangkaian pendeteksi catu daya, sehingga bila catu daya utama mati DS1307 akan langsung mengganti sumber tenaganya dari baterai [6]. Bentuk fisik dari IC DS1307 dapat dilihat pada Gambar 3.

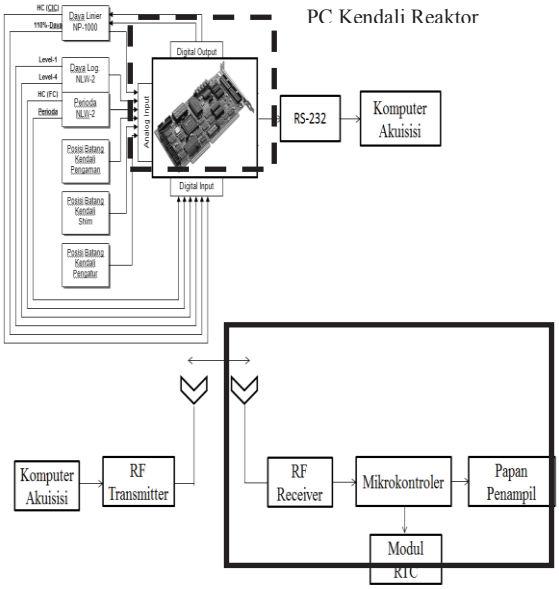


Gambar. 3. Bentuk fisik dari IC RTC DS1307

METODE PENELITIAN

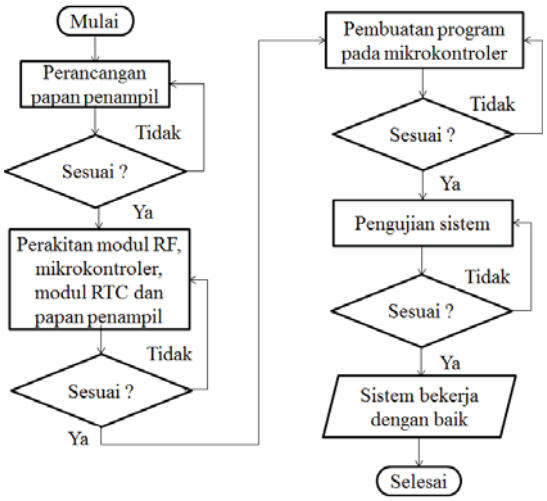
Pada proses perancangan papan informasi *real time* mengenai status operasi dan daya Reaktor Kartini secara nirkabel terdiri dari modul pengiriman dan penerimaan data menggunakan modul *Radio Frequency* (RF), proses *interface* antara RF, mikrokontroler, RTC, dan juga papan penampil informasi, serta proses perakitan dan *wiring* pada papan led *seven segment*. Blok diagram sistem *monitoring* status operasi dan daya Reaktor Kartini menggunakan penampil LED *seven segment* ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 3, pengiriman data dilakukan menggunakan RF *transmitter* yang dihubungkan dengan komputer *master*. Alur perancangan dan perakitan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar. 4. Blok diagram perancangan sistem

ISSN 1978-0176



Gambar. 5. Alur perancangan dan perakitan sistem

Pada alur perancangan dan perakitan sistem, dimulai dari perancangan *hardware* dari papan penampil hingga pengujian dan hasil yang ditampilkan. Pada proses perancangan papan penampil dilakukan menggunakan LED yang dibentuk menjadi *seven segment*, IC *shift register*, dan IC penguat arus, jika hasilnya sudah sesuai maka dilanjutkan dengan perakitan sistem. Perakitan sistem dilakukan dengan merakit serta mengaturan modul RF, mikrokontroler, modul RTC, dan papan penampil. Apabila hasilnya sudah sesuai dilanjutkan dengan pembuatan program pada mikrokontroler. Apabila program yang dibuat telah sesuai, kemudian dilakukan pengujian pada sistem tersebut. Pada proses pengujian, apabila dalam pengujian tersebut data yang ditampilkan tidak sesuai dengan data yang, maka pembuatan program harus diperiksa ulang. Apabila hasil pengujian sudah sesuai, maka sistem sudah bekerja dengan baik.

Modul RF bagian *transmitter* mengirimkan paket data dengan *header* @, paket data tersebut berisi data tegangan analog dari kanal daya NP-1000, kanal daya NLW-2, perioda, posisi batang kendali, suhu ATR, suhu bahan bakar, aliran primer, dan aliran sekunder.

PENGUJIAN SISTEM

Pengujian Variasi *Power*

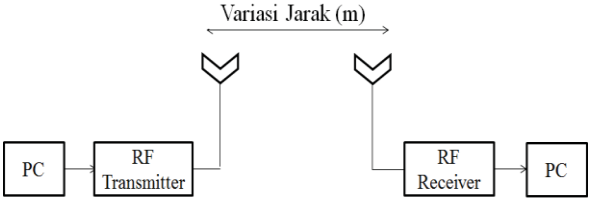
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh jarak maksimal pengiriman data dari *transmitter* dan dapat diterima oleh *receiver* tanpa *error*. Pengujian pengiriman data tersebut dilakukan dengan jarak yang bervariasi. Selain variasi jarak, pengujian ini juga dilakukan dengan memberikan variasi pada *power* yang akan digunakan pada RF yaitu pada *power* 0 hingga 7 yang memiliki daya dari -1 dBm hingga +20 dBm dengan tidak merubah parameter yang lain. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal dari masing-masing *power* pada RF yang akan berpengaruh terhadap konsumsi arus pada RF karena daya yang dibutuhkan juga makin besar. Pengujian ini menggunakan perangkat lunak bawaan dari RF itu sendiri yaitu SiWei. Tampilan perangkat lunak SiWei dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar. 6. Tampilan perangkat lunak SiWEi

Pada perangkat lunak Siwei terdapat pengaturan parameter-parameter dari RF seperti *baudrate, stop bit, start bit, parity, power, data rate*, kanal, frekuensi, dan lain-lain. Selain parameter dari RF, *software* tersebut juga menampilkan COM yang terhubung dengan *hardware* atau komputer.

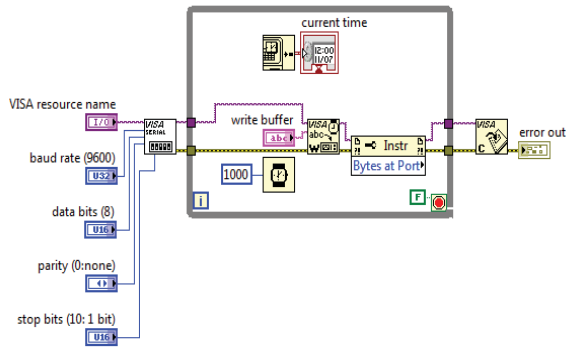
Pengujian dilakukan dengan melakukan pengiriman data dari titik ke titik pada jarak yang bervariasi. Diagram pengujian jarak pengiriman data dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar. 7. Diagram pengujian jarak

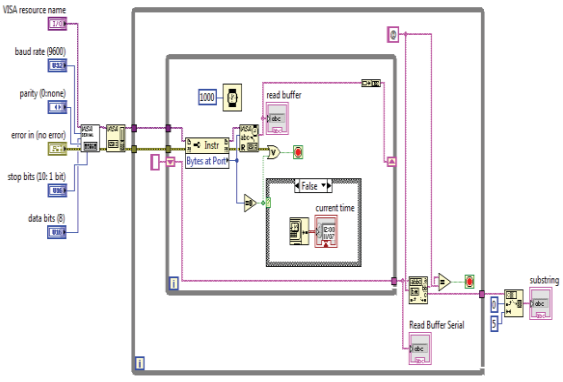
ISSN 1978-0176

Pada pengujian tersebut, untuk simulasi pengiriman dan penerimaan data pada pengujian jarak pengiriman data menggunakan perangkat lunak Labview. Tampilan dari perangkat lunak Labview serta *listing* programnya dapat dilihat pada Gambar 7 untuk program pengiriman data.



Gambar. 8. *Listing* program pengiriman data

Sementara data yang dikirim dari RF *transmitter* akan diterima oleh RF *receiver* dan ditampilkan pada perangkat lunak Labview dengan program *read serial*. *Listing* program penerimaan data dapat dilihat pada Gambar 8. Pada tampilan Labview, data yang dikirimkan akan diterima dengan didahului protokol atau awalan @. Fungsi dari awalan @ disini untuk menyaring data yang akan diterima oleh RF, jadi RF hanya akan menerima dan memproses data dengan awalan @ dan jika tanpa awalan @ atau protokolnya berbeda, maka data tersebut tidak akan diproses. Awalan @ juga digunakan agar data dapat ditampilkan pada papan LED *seven segment*.



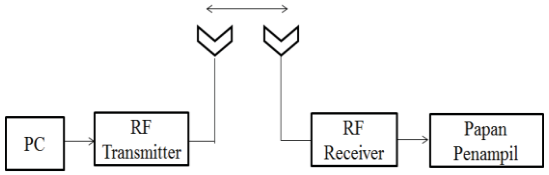
Gambar. 9. *Listing* program penerimaan data

Pengujian *Throughput*

Pengujian *throughput* dilakukan untuk mengetahui kecepatan transmisi suatu data. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan variasi terhadap nilai *baudrate*, dengan jarak yang tetap yaitu 240 m, dan dengan *power* yang tetap pula yaitu menggunakan *power* maksimal 7 yang memiliki daya +20 dBm. Pengujian *throughput* masih menggunakan perangkat lunak Labview sebagai pengirim dan penerima data dengan menambahkan indikator waktu pengiriman pada keduanya. Indikator waktu tersebut dapat digunakan untuk mengetahui waktu transmisi suatu data dengan *baudrate* yang berbeda-beda. Pengujian *throughput* menggunakan *listing* program Labview yang sama dengan pengujian jarak pengiriman data. Data yang diambil dari pengujian tersebut adalah selisih waktu antara waktu pengiriman dan waktu penerimaan data.

Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja dari seluruh modul yang dibuat dalam mengirimkan hingga menampilkan data. Pengujian ini dilakukan pada dua bagian, yaitu bagian pengiriman data menggunakan modul RF dan bagian penampil data pada papan LED *seven segment*. Pengujian keseluruhan sistem digunakan untuk mengetahui kesesuaian data yang dikirim dengan data yang ditampilkan. Blok diagram pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar. 10. Diagram pengujian keseluruhan sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Variasi *Power*

Data hasil dari pengujian jarak pada RF dapat dilihat pada Tabel 1.

ISSN 1978-0176

Tabel. 1. Hasil pengujian jarak RF

No	*Set Level*	TX/RX *Power* (dBm)	Jarak Maksimum (m)
1.	0	-1	40
2.	1	+2	90
3.	2	+5	110
4.	3	+8	130
5.	4	+11	140
6.	5	+14	190
7.	6	+17	210
8.	7	+20	240

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian jarak RF pada masing-masing *power*. Berdasarkan pengujian jarak transmisi RF dari *power* 0 hingga *power* 7, didapatkan hasil bahwa semakin besar *power* RF yang digunakan, maka semakin jauh pula jarak pengiriman data antarmodul RF. Namun seiring dengan bertambahnya *power* yang digunakan, maka konsumsi daya dari modul RF tersebut juga meningkat.

Hasil Pengujian *Throughput*

Data hasil dari pengujian *throughput* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel. 2. Hasil pengujian *throughput*

No	*Baudrate* (bps)	Waktu Pengiriman (s)
1.	1200	0,444
2.	2400	0,404
3.	4800	0,319
4.	9600	0,217
5.	14400	0,177
6.	19200	0,079

Berdasarkan hasil pengujian *throughput* pada Tabel 2, terlihat pengaruh pengaturan *baudrate* yang digunakan terhadap waktu pengiriman data. Pengujian tersebut dilakukan dengan memberikan variasi *baudrate* dengan *power* dan jarak yang tetap. Pengujian *throughput* ini menggunakan *power* 7 dengan daya +20 dBm dan jarak transmisi sepanjang 240 meter. Variasi *baudrate* yang digunakan pada pengujian tersebut dari 1200 bps hingga 38400 bps.

Pengujian Keseluruhan Sistem

Data hasil dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel. 3. Hasil pengujian keseluruhan sistem

No	Data yang Dikirim	Daya yang Ditampilkan	Status Operasi	Waktu Pengujian
1	@0.0000.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	0 %	OFF	1 Jam pertama
2	@1.0000.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	20 %	ON	1 Jam kedua
3	@2.0000.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	40 %	ON	1 Jam ketiga
4	@4.3750.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	87,5 %	ON	1 Jam keempat
5	@4.3750.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	87,5 %	ON	1 Jam kelima
6	@4.3750.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	87,5 %	ON	1 Jam keenam
7	@4.0000.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	80 %	ON	1 Jam ketujuh
8	@5.0000.9430.3600.0150.0170.0 13B0.00002	100 %	ON	1 Jam kedelapan

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan sistem pada Tabel 3, data yang dikirimkan telah dapat ditampilkan pada papan penampil berupa informasi daya dan status operasi. Pada pengujian tersebut data tegangan analog dari kanal daya NP-1000 diolah pada mikrokontroler dan kemudian dapat ditampilkan pada papan penampil. Data tegangan analog telah dikonversi menjadi daya oleh mikrokontroler. Status operasi akan berubah menjadi *OFF* apabila daya hasil konversi tegangan analog yang dihasilkan kurang dari atau sama dengan 0, namun apabila

ISSN 1978-0176

daya hasil konversi bernilai lebih dari 0 status operasi berubah menjadi *ON*. Pada Gambar 10 menunjukkan papan informasi yang menampilkan tanggal, jam, daya, dan status dari Reaktor Kartini.

Besarnya daya yang ditampilkan pada papan penampil yang berasal dari tegangan analog kanal daya NP-1000, dapat dihitung menggunakan perhitungan seperti berikut :

Daya pada saat 1 jam pertama dengan data @0.0000.9430.3600.0150.0170.013B0.00002

Perhitungan :

$$NP1000 = \frac{0\ V \times 120kWatt}{5V}$$

$$NP1000 = 0\ kW$$

$$Daya = \frac{0\ kW}{120kWatt} x100\%$$

Daya = 0 %

Sementara untuk hasil perhitungan untuk data yang lain dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar. 11. Tampilan papan penampil

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Telah dirancangbangun sebuah papan informasi *real time* mengenai status operasi dan daya dari Reaktor Kartini secara nirkabel dengan ukuran panjang sebesar 70 cm, lebar sebesar 70 cm, dan tebal sebesar 6 cm dengan menggunakan data simulasi yang sesuai dengan data reaktor.
2. Jarak maksimal pengiriman data adalah 240 meter pada area terbuka dan waktu pengiriman data selama 0,079 detik dengan penggunaan *baudrate* sebesar 19200 bps pada *power* 7.
3. Penggunaan modul RF dengan jarak tertentu dapat menggunakan *power* yang mendekati jarak tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] BATAN. (2014, 13 Februari). *Reaktor Kartini - Yogyakarta*. Available: http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputian/fasilitas-nuklir/143-kartini/538-sejarah-reaktor-kartini-yogyakarta

[2] Y. D. S. Pambudi, S. Widagdo, A. Zuhdi, and Darlis, "Rancang Bangun Sistem Penampil Parameter Keselamatan Reaktor Kartini," in *Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir VIII*, Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 2003, pp. 247 - 255.

[3] I. D. Saputro, "PERANCANGAN ALAT PENGIRIM SUARA BERBASIS RADIO FREKUENSI DI DALAM AIR " Diploma Teknik Informatika Tugas akhir, Teknik Informatika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, 2013.

[4] R. Apribra, "Rancang Bangun Alat Monitoring Radiasi Melalui Udara Menggunakan Quadcopter," D-IV Tugas Akhir, STTN-BATAN Yogyakarta, 2015.

[5] A. N. N. Chamim. (2010, PENGGUNAAN MICROCONTROLLER SEBAGAI PENDETEKSI POSISI DENGAN MENGGUNAKAN SINYAL GSM. *4,* 430-439.

[6] M. Fatoni, Harianto, and M. C. Wibowo. (2013, Rancang Bangun Absensi Mahasiswa Menggunakan RFID dengan Komunikasi Terpusat. *2,* 43 - 50.

TANYA JAWAB

Unggul Hartoyo

Apakah hanya data tentang status operasi dan daya dari Reaktor Kartini saja yang dapat ditampilkan, bagaimana dengan data mengenai paparan dari reaktor ?

Hendyka Ovie Arista

Data yang ditampilkan pada papan penampil dapat diatur sesuai kebutuhan data yang harus ditampilkan, namun pada papan

ISSN 1978-0176

penampil yang dibuat ini khusus menampilkan Mengenai data paparan reaktor, PSTA-BATAN telah memiliki papan penampil tersendiri yang diletakkan di dekat pintu masuk area PSTA-BATAN Yogyakarta. Sistem transfer datanya pun sudah dilakukan secara nirkabel.

Radhia Pradana

Berapa jarak dan baudrate yang digunakan papan penampil tersebut saat akan diimplementasikan pada Reaktor Kartini ?

Hendyka Ovie Arista

Jarak ruang kendali dan papan penampil direncanakan sejauh 200 meter, sehingga set level pada skala 6 dan baudrate 19200 bps.

ISSN 1978-0176

IDENTIFIKASI TINGKAT RADIASI GAMMA DI LINGKUNGAN SEKITAR REAKTOR SERBA GUNA-GA. SIWABESSY

Unggul Hartoyo [1], Subiharto [1], Nugraha Luhur [1]

1) PRSG-BATAN, Tangerang Selatan, Indonesia, unggul@batan.go.id

ABSTRAK

IDENTIFIKASI TINGKAT RADIASI GAMMA DI LINGKUNGAN SEKITAR REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY. Untuk menjamin keselamatan radiasi dan lingkungan dari adanya kegiatan operasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) telah dilakukan program pengendalian daerah kerja dari paparan radiasi gamma berupa identifikasi tingkat radiasi gamma di Lingkungan sekitar Reaktor Serba Guna GA.Siwabessy. Untuk mengidentifikasi tingkat radiasi gamma di lingkungan sekitar RSG-GAS yaitu dengan melakukan pengukuran paparan radiasi gamma sebanyak 36 titik lokasi pengukuran. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengetahui tingkat radiasi gamma dilingkungan sekitar Reaktor RSG-GAS tidak melebihi batas yang dipersyaratkan dari Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong yaitu 0,3 µSv/jam. Dari hasil pengukuran paparan radiasi di Lingkungan sekitar Reaktor Serba Guna GA.Siwabessy terukur pada titik 25 sebesar 0,622 µSv/jam, titik 26 sebesar 0,530 µSv/jam, titik 27 sebesar 0,612 µSv/jam, 28 sebesar 0,672 µSv/jam titik 34 sebesar 0,862 µSv/jam, titik 35 sebesar 0.654 µSv/jam, hasil tersebut melebihi batas. Setelah dilakukan pengendalian dengan cara mengurangi beberapa material radioaktif yang ada di sekitar daerah itu, kemudian dilakukan pengukuran ulang, tingkat radiasi paparan radiasi gamma di 5 titik pengukuran. Di titik pengukuran 25 menjadi sebesar 0,257 µSv/jam , titik 26 menjadi sebesar 0,230 µSv/jam, titik 27 sebesar 0,217 µSv/jam titik 28 sebesar 0,253 µSv/jam titik 34 sebesar 0,244 µSv/jam, titik 35 sebesar 0.213 µSv/jam, hasil tersebut sudah di bawah yang dipersyaratkan dari Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, namun perlu dilakukan pemantauan yang kontinu sehingga pekerja radiasi atau pekerja kebersihan akan aman dalam melakukan kegiatannya.

Kata kunci: Paparan Gamma, Lingkungan Reaktor,

Abstract

IDENTIFICATION OF GAMMA RADIATION IN THE ENVIRONMENT AROUND MULTIPURPOSE REACTOR G.A. SIWABESSY (RAG-GAS). *To ensure radiation safety and environment of their operations Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy (RSG-GAS) has done the work area control program of exposure to gamma radiation in the form of identification of gamma radiation levels in the surrounding neighborhood Multipurpose Reactor GA.Siwabessy. To identify the level of gamma radiation in the environment around RSG-GAS is by measuring the gamma radiation exposure as much as 36 points of measurement locations. The purpose of this paper is to determine the level of gamma radiation in the environment around RSG-GAS reactor did not exceed the limits required by the Commission Serpong Nuclear Radiation Protection Zone is 0.3 µSv / h. From the results of measurements of radiation exposure in the environment around Multipurpose Reactor GA.Siwabessy measured at point 25 of 0.622 µSv / h, point 26 of 0.530 µSv / h, point 27 of 0.612 µSv / h, 28 amounted to 0.672 µSv / h point 34 of 0.862 µSv / h, point 35 of 0.654 µSv / h, the results exceeded the limit. After control by reducing some existing radioactive material around the area, then measuring the level of radiation exposure to gamma radiation at 5 measurement points. At the measuring point 25 amounted to 0.257 µSv / h, point 26 amounted to 0.230 µSv / h, point 27 of 0.217 µSv / h point 28 of 0.253 µSv / h point 34 of 0.244 µSv / h, point 35 of 0.213 µSv / h, the results are below that required of the Commission on radiation Protection Nuclear Zone Serpong, but needs to be done so that the continuous monitoring of radiation workers or janitorial workers will be safe in doing activities.*

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Pada suatu instalasi nuklir seperti RSG-GAS, pengendalian daerah kerja terhadap paparan radiasi adalah suatu hal yang mutlak yang harus dilakukan, baik radiasi gamma, beta, alpha maupun neutron agar dosis yang diterima pekerja radiasi serendah mungkin dan tidak melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) yang diijinkan, serta paparan radiasi yang ditimbulkan tidak merugikan dan membahayakan masyarakat dan lingkungan. Pada tulisan ini hanya akan dibahas mengenai identifikasi paparan radiasi gamma di Lingkungan sekitar Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG). Kegiatan ini perlu dilakukan mengingat cukup banyaknya kegiatan yang dilakukan di Pusat Reaktor Serba Guna dimana keluar masuknya limbah aktif maupun non aktif hasil pengoperasian RSG-GAS, sehingga perlu dilakukan identifikasi paparan radiasi gamma di lingkungan sekitar PRSG. Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi mempunyai tugas melakukan pemantauan keselamatan kerja, proteksi radiasi dan koordinasi kedaruratan nuklir fasilitas serta pengelolaan limbah fasilitas. Untuk menjamin keselamatan radiasi dari adanya kegiatan operasi reaktor, di RSG-GAS telah ada program pengendalian daerah kerja dari paparan radiasi gamma [3]. Untuk meningkatkan sistem pengendalian daerah kerja dari paparan radiasi diperlukan suatu sistem proteksi dan petugas proteksi radiasi yang handal. Sistem atau peralatan proteksi radiasi harus dilakukan pemeriksaan dan pengujian, khususnya sistem proteksi radiasi portabel harus dalam kondisi terkalibrasi (mempunyai sertifikat kalibrasi) dari lembaga yang berkompetensi. Sedangkan untuk Petugas Proteksi Radiasi (PPR) diharuskan mempunyai SIB (Surat Ijin Bekerja) untuk instalasi nuklir yang dikeluarkan oleh Bapeten. Seorang PPR harus menguasai tugas dan kewajiban seorang PPR, dengan demikian diharapkan pengendalian daerah kerja terhadap paparan radiasi gamma akan berlangsung dengan baik, jika sistem proteksi radiasi dan PPR dalam keadaan terkondisi. Pada kegiatan sebelumnya identifikasi paparan radiasi gamma hanya dilakukan di dalam gedung RSG-GAS namun demikian berjalannnya waktu Bidang Keselamatan Kerja dan Operasi yang dalam hal ini membawahi Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi yang salah satu tugasnya mengidentifikasi paparan radiasi maupun tingkat kontaminasi di lingkungan PRSG. Sehubungan di area pengukuran tidak terpasang sistem proteksi radiasi untuk itu dilakukan pengukuran secara manual di setiap titik yang telah ditentukan.

Tujuan dilakukan identifikasi tingkat radiasi gamma di lingkungan sekitar RSG-GAS dilakukan untuk menentukan bahwa tidak ada tingkat radiasi gamma yang melebihi batas keselamatan sehingga pekerja radasi dan pekerja kebersihan yang berada di lingkungan sekitar RSG-GAS tersebut aman, sesuai dengan batasan yang tidak melebihi nilai batas yang dipersyaratkan dari Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong yaitu 0,3 µSv/jam. [2]

Metoda yang digunakan dalam identifikasi tingkat radiasi gamma di lingkungan sekitar RSG-GAS yaitu dengan melakukan pengukuran paparan radiasi gamma dengan menggunakan surveimeter *Radiation Alert Inspector*, dilakukan pengukuran sebanyak 36 titik lokasi pengukuran seperti terlihat pada Gambar 1. Titik-titik pengukuran difokuskan pada daerah sudut-sudut pagar dan jalan yang sering dilalui kendaraan atau pekerja, yang tujuannya untuk mencari pada titik mana yang mempunyai tingkat paparan radiasi gamma paling tinggi, sehingga dapat diketahui titik-titik mana yang perlu dikendalikan.

TEORI

Pengukuran paparan radiasi gamma di instalasi nuklir dilakukan secara langsung menggunakan detektor paparan radiasi gamma. Pengukuran dapat dilakukan pada permukaan sumber atau pada jarak tertentu dari sumber sesuai dengan keperluannya, namu yang perlu di perhatikan adalah masa kalibrasi dari detektor tersebut. Kemampuan dari alat ukur paparan radiasi disesuaikan besarnya paparan radiasi yang diukur dan bacaan alat ukur terdapat untuk beberapa skala pengukuran yang terkalibrasi. Tujuan pemantauan tingkat radiasi pada daerah kerja adalah untuk menentukan bahwa setiap daerah kerja terpantau secara aman terkendali dan memperkirakan nilai batas dosis tertinggi untuk pekerja radiasi terhadap paparan radiasi eksternal dan internal berdasarkan pengukuran tingkat paparan radiasi.

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No.4 Tahun 2013, dimana [1]

ISSN 1978-0176

1. Pemegang Izin harus melakukan pemantauan Paparan Radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja sebagaimana dimaksud dalam Pasal 25 huruf b secara terus menerus, berkala, dan/atau sewaktu–waktu sesuai dengan jenis/risiko Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
2. Periode pemantauan berkala dan sewaktu waktu sebagaimana dimaksud pada ayat (1) ditentukan oleh Pemegang Izin dengan mempertimbangkan jenis/risiko Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
3. Pemantauan Paparan Radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi pemantauan terhadap:
    a. Paparan Radiasi eksterna;
    b. kontaminasi permukaan; dan/atau
    c. kontaminasi udara.

Pengendalian daerah kerja yang dilakukan di RSG-RSG - GAS terdiri dari [4] :

1. Pemantauan rutin

Pemantauan rutin yaitu pemantauan paparan radiasi yang dilaksanakan secara berkala setiap dari untuk mengukur tingkat paparan radiasi di daerah kerja.

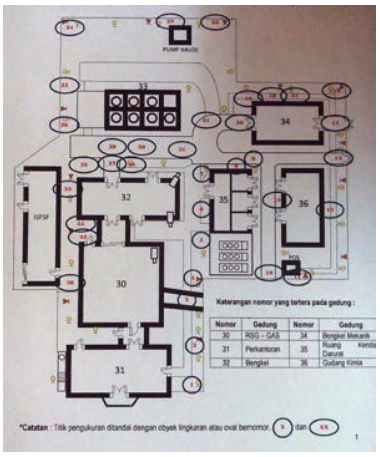
2. Pemantauan operasional

Pemantauan operasional yaitu pemantauan paparan radiasi yang dilaksanakan dalam waktuyang direncanakan pada pelaksanaan kegiatan operasi tertentu.

3. Pemantauan khusus

Pemantauan khusus yaitu pemantauan paparan radiasi yang dilakukan untuk memperoleh data yang digunakan untuk membuat laporan mengenai permasalahan yang ditimbulkan dari suatu keadaan tak normal, kejadian khusus atau kecelakaan.

Di RSG-GAS terdapat sistem proteksi radiasi terpusat yaitu suatu sistem pemantauan paparan radiasi yang terpasang permanen di berbagai lokasi yang dipilih dan ditentukan letaknya di dalam gedung reaktor. Sistem-sistem tersebut adalah sistem laju dosis gamma, sistem alpha/beta aerosol, sistem beta aerosol, sistem gas mulia, sistem monitor cerobong dan sistem gamma air. Fungsi dan kegunaan dari sistem proteksi radiasi ini yaitu untuk mengukur tingkat radiasi μSv/jam atau Ci/m^3 dan menampilkan besarnya radiasi di Ruang Kendali Utama (RKU) membangkitkan alarm-alarm jika besar radiasi tertentu dilampui dengan maksud untuk memperingatkan para pekerja radiasi. Dari sistem proteksi radiasi yang ada, tidak terdapat sistem pemantau paparan radiasi yang terpasang permanen di Lingkungan sekitar RSG-GAS. Identifikasi tingkat radiasi gamma di lingkungan sekitar RSG-GAS dilakukan secara manual dengan melakukan pemantauan atau pengukuran paparan radiasi gamma menggunakan surveimeter portabel di titik-titik lokasi seperti terlihat pada Gambar 1.



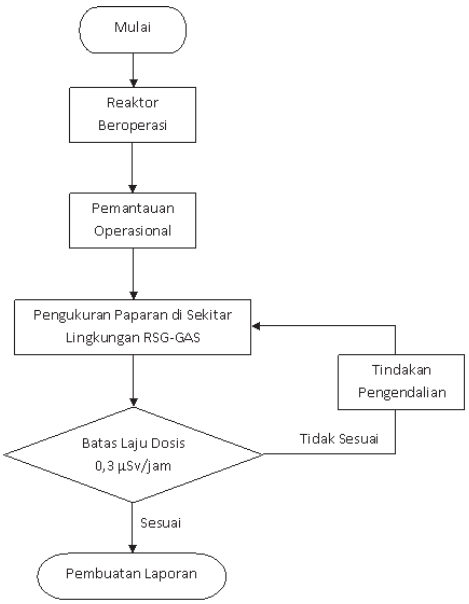
Gambar .1 **DENAH LOKASI IDENTIFIKASI PAPARAN RADIASI DI AREA SEKITAR RSG – GAS**

ISSN 1978-0176

TATA KERJA

Dalam identifikasi tingkat radiasi gamma di Lingkungan sekitar Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy yaitu dengan melakukan pengukuran paparan radiasi gamma. Peralatan surveimeter yang akan digunakan di check terlebih dahulu untuk memastikan alat tersebut dalam kondisi baik (tidak rusak) dan masih berlaku masa terkalibrasinya serta mempersiapkan formulir untuk pencatatan data dari hasil pengukuran. Dengan menggunakan surveimeter *Radiation Alert Inspector*. Pengukuran paparan radiasi dilakukan dengan melakukan pengukuran sesuai dengan titik-titik yang telah ditentukan sebanyak 36 titik pengukuran yang terdistribusi dari gedung 30 sampai dengan gedung 36 di Lingkungan sekitar Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy. Pengukuran paparan radiasi gamma dilakukan pada saat reaktor RSG-GAS beroperasi, kemudian dievaluasi hasil dari pengukuran.

Diagram Alir

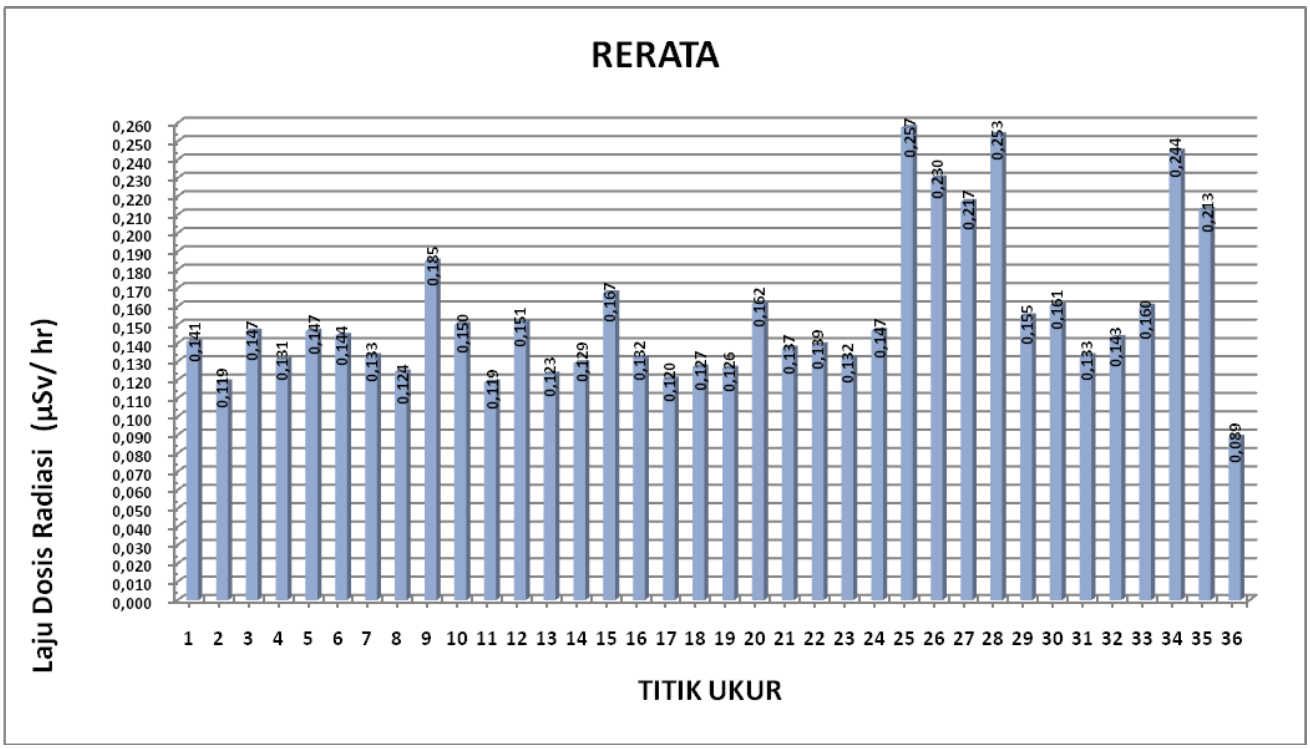


HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah Kepala BATAN membentuk Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, dimana salah satu tugas nya adalah mengkoordinasi kegiatan proteksi radiasi kawasan baik yang sebelumnya tidak ada maupun yang bersifat peningkatan. Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, kemudian mensyaratkan bahwa laju dosis di Kawasan Nuklir Serpong sebesar 0,3 µSv/jam [2]. Dengan persyaratan tersebut maka Bidang Keselamatan Kerja dan Operasi melalui Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi melakukan pemantauan paparan radiasi di lingkungan sekitar RSG-GAS. Pada pengukuran paparan radiasi di Lingkungan sekitar RSG-GAS dilakukan 36 titik pengukuran. Hasil pengukuran penyisiran paparan radiasi gamma di Lingkungan sekitar RSG-GAS ditemukan pada titik pengukuran 25 sebesar 0,622 µSv/jam, titik 26 sebesar 0,530 µSv/jam, titik 27 sebesar 0,612 µSv/jam, 28 sebesar 0,672 µSv/jam, titik 34 sebesar 0,862 µSv/jam, titik 35 sebesar 0.654 µSv/jam, hasil pengukuran tersebut melebihi batas persyaratan Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong.

Sehubungan ditemukan paparan radiasi yang besar maka Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi membuat langkah-langkah pengendalian di daerah tersebut. Titik pengukuran paparan radiasi yang teridetifikasi tinggi terletak di sekitar bengkel PRSG dan depan pintu darurat Reaktor RSG-GAS bagian belakang. Banyaknya material yang ada di daerah tersebut menyumbang paparan radiasi yang melebihi persyaratan Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong. Langkah pengendalian yang dilakukan dengan memindahkan material-material di sekitar daerah tersebut, dengan cara mengumpulkan/memasukan ke dalam drum untuk selanjutnya di kirim ke Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif. Setelah dilakukan pengendalian material-material yang aktif maka dilakukan pengukuran ulang pada titik-titik pengukuran. Hasil pengukuran ulang dapat dilihat pada Tabel 1. kemudian dibuat grafik antara besarnya tingkat paparan radiasi fungsi titik lokasi pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1. Di titik pengukuran 25 menjadi sebesar 0,257 µSv/jam, titik 26 menjadi sebesar 0,230 µSv/jam, titik 27 sebesar 0,217 µSv/jam titik 28 sebesar 0,253 µSv/jam titik 34 sebesar 0,244 µSv/jam, titik 35 sebesar 0.213 µSv/jam, hasil tersebut sudah di bawah yang dipersyaratkan dari Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, namun perlu dilakukan pemantauan yang kontinu sehingga pekerja radiasi atau pekerja kebersihan akan aman dalam melakukan kegiatannya.

ISSN 1978-0176



Gambar 1. Grafik Laju Dosis Gamma

Tabel 1. HASIL PENGUKURAN TINGKAT LAJU DOSIS RADIASI PADA TITIK TERTENTU DI LINGKUNGAN SEKITAR RSG – GAS Tahun 2015

TITIK	Laju Dosis Radiasi (µSv/ hr)												
UKUR	BULAN												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**Rerata**
1	0.133	0.136	0.152	0.147	0.144	0.154	0.143	0.140	0.160	0.134	0.126	0.120	0.141
2	0.100	0.103	0.164	0.145	0.142	0.154	0.145	0.142	0.140	0.064	0.068	0.058	0.119
3	0.111	0.114	0.086	0.175	0.172	0.241	0.143	0.140	0.140	0.145	0.145	0.146	0.147
4	0.100	0.103	0.146	0.138	0.135	0.202	0.137	0.139	0.050	0.146	0.143	0.136	0.131
5	0.106	0.109	0.128	0.155	0.152	0.166	0.156	0.153	0.100	0.178	0.178	0.177	0.147
6	0.147	0.150	0.134	0.147	0.144	0.100	0.143	0.143	0.100	0.176	0.177	0.167	0.144
7	0.123	0.126	0.140	0.123	0.120	0.112	0.119	0.122	0.140	0.158	0.158	0.156	0.133
8	0.117	0.121	0.145	0.127	0.124	0.142	0.125	0.126	0.100	0.124	0.120	0.120	0.124
9	0.117	0.121	0.147	0.135	0.132	0.160	0.162	0.159	0.897	0.062	0.062	0.062	0.185
10	0.094	0.098	0.141	0.128	0.125	0.130	0.125	0.123	0.090	0.256	0.246	0.246	0.150
11	0.135	0.139	0.149	0.126	0.123	0.168	0.113	0.115	0.050	0.104	0.101	0.101	0.119
12	0.176	0.180	0.213	0.140	0.137	0.156	0.155	0.157	0.140	0.120	0.120	0.120	0.151
13	0.123	0.127	0.123	0.136	0.133	0.084	0.113	0.118	0.090	0.146	0.142	0.142	0.123
14	0.040	0.044	0.191	0.139	0.137	0.168	0.143	0.147	0.150	0.130	0.130	0.130	0.129
15	0.106	0.110	0.165	0.146	0.144	0.192	0.137	0.142	0.110	0.252	0.252	0.252	0.167

ISSN 1978-0176

16	0.153	0.149	0.162	0.115	0.113	0.156	0.107	0.108	0.160	0.122	0.120	0.120	0.132
17	0.147	0.143	0.163	0.075	0.073	0.174	0.071	0.076	0.120	0.134	0.134	0.134	0.120
18	0.123	0.119	0.160	0.129	0.127	0.114	0.119	0.117	0.090	0.148	0.138	0.139	0.127
19	0.076	0.072	0.133	0.135	0.133	0.121	0.095	0.098	0.160	0.164	0.164	0.164	0.126
20	0.076	0.072	0.146	0.149	0.147	0.169	0.131	0.135	0.399	0.172	0.170	0.172	0.162
21	0.100	0.096	0.163	0.167	0.165	0.163	0.161	0.158	0.100	0.124	0.124	0.125	0.137
22	0.165	0.168	0.156	0.157	0.155	0.151	0.107	0.109	0.120	0.128	0.128	0.124	0.139
23	0.149	0.152	0.150	0.154	0.152	0.133	0.113	0.114	0.090	0.126	0.126	0.126	0.132
24	0.182	0.185	0.175	0.178	0.176	0.133	0.185	0.186	0..090	0.122	0.120	0.120	0.147
25	0.253	0,.56	0.229	0.234	0.231	0.313	0.089	0.091	0.354	0.246	0.244	0.244	0.257
26	0.313	0.316	0.235	0.238	0.235	0.236	0.143	0.141	0.177	0.234	0.246	0.244	0.230
27	0.108	0.111	0.175	0.177	0.174	0.206	0.578	0.576	0.106	0.136	0.134	0.123	0.217
28	0.288	0.238	0.256	0.267	0.248	0.236	0.238	0.256	0.278	0.238	0.242	0.256	0.253
29	0.150	0.162	0.152	0.154	0.150	0.162	0.154	0.152	0.152	0.162	0.156	0.152	0.155
30	0.164	0.156	0.162	0.160	0.162	0.156	0.160	0.160	0.164	0.156	0.166	0.162	0.161
31	0.132	0.130	0.132	0.134	0.132	0.130	0.134	0.132	0.132	0.130	0.144	0.134	0.133
32	0.146	0.142	0.144	0.142	0.144	0.142	0.142	0.142	0.146	0.142	0.138	0.144	0.143
33	0.162	0.160	0.162	0.158	0.156	0.160	0.158	0.162	0.162	0.160	0.158	0.162	0.160
34	0.268	0.246	0.236	0.242	0.226	0.246	0.242	0.235	0.268	0.246	0.242	0.236	0.244
35	0.212	0.214	0.212	0.210	0.215	0.214	0.210	0.212	0.212	0.214	0.216	0.212	0.213
36	0.086	0.097	0.088	0.089	0.086	0.097	0.088	0.086	0.086	0.087	0.086	0.088	0.089

Terlihat dari Gambar 1, ada beberapa titik pengukuran paparan radiasi gamma besarnya hampir mendekati 0,3 µSv/jam ini perlu perhatian khusus dan harus dilakukan pemantauan yang kontinu sehingga pekerja radiasi atau pekerja kebersihan akan aman dalam melakukan kegiatannya**.**

KESIMPULAN

1. Identifikasi paparan radiasi di Lingkungan sekitar RSG-GAS telah dilakukan, Paparan sebesar 0,253 µSv/jam di titik pengukuran 28 dan 0,244 µSv/jam di titik pengukuran 34 hampir mendekati batas yang di persyaratkan Komite Proteksi Radiasi Kawasan Serpong yaitu sebesar 0,3 µSv/jam
2. Dari hasil Identifikasi paparan radiasi di Lingkungan sekitar Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy masih di bawah batas persyaratan yang telah ditentukan sehingga para pekerja radiasi dan pekerja kebersihan dapat bekerja dengan aman.

DAFTAR PUSTAKA

1. Perka BAPETEN No. 04. Tahun 2013, tentang proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir.
2. Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, Revisi 1 Tahun 2011
3. NUGRAHA LUHUR, Kumpulan Laporan Rutin Evaluasi Paparan Radiasi Gamma RSG-GAS
4. Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi Pusat Reaktor Serba Guna, Tagun 2015

PERTANYAAN

1. Apa dasar menggunakan Kebijakan laju dosis dibawah 0,3 µSv/jam ?
2. Apakah dilakukan juga pemantauan paparan radiasi Neutron ?
3. Kenapa di titik-titik tersebut paparan melebihi 0,3 µSv/jam ?
4. Apakah juga dilakukan identifikasi nuklida?

ISSN 1978-0176

5. Paparan besar terjadi di lokasi mana saja dan apa penyebabnya?

JAWABAN

1. Kebijakan laju dosis 0,3 µSv/jam ditetapkan oleh Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong.
2. Dalam identifikasi paparan radiasi di Lingkungan sekitar RSG-GAS pemantauan paparan radiasi neutron tidak dilakukan.
3. Karena di titik tersebut adanya limbah radioaktif yang tercampur dengan limbah non radioaktif, tetapi saat ini sudah dilakukan Clean Up dan sudah dinyatakan bersih.
4. Dalam kegiatan ini tidak dilakukan Identifikasi Nuklida hanya pemantauan paparan radiasi gamma.

5. Paparan besar terjadi di sekitar pembuangan sampah depan bengkel dan depan pintu darurat RSG-GAS, penyebabnya tercampurnya limbah radioaktif dengan limbah non radioaktif.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

PENGARUH IMPLANTASI ION NITROGEN TERHADAP KEKERASAN *CLADDING MATERIAL* BAHAN BAKAR REAKTOR RISET AlMgSi

Satrio Pradana[1], Dwi Priyantoro[2], Tjipto Sujitno[3]

1) Jurusan Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, satriopradana@gmail.com
1) Jurusan Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, dwi.priyantoro@gmail.com
3) Bidang Fisika Partikel, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, Yogyakarta, Indonesia,

ABSTRAK

PENGARUH IMPLANTASI ION NITROGEN TERHADAP SIFAT MEKANIK *CLADDING MATERIAL* BAHAN BAKAR REAKTOR RISET AlMgSi. Sejalan dengan pengembangan bahan bakar baru, maka dikembangkan pula kelongsong bahan bakar agar lebih sesuai dengan bahan bakar yang digunakan. Kelongsong harus mempunyai kekerasan yang baik. Dalam hal ini dilakukan perubahan komposisi kimia yaitu penambahan ion nitrogen dengan teknik implantasi ion pada bahan paduan AlMgSi. Hasil dari penelitian ini, implantasi ion nitrogen dapat meningkatkan kekerasan 71.2 % dari kekerasan awal yaitu 77.3 VHN menjadi 132.4 VHN yang dicapai pada parameter waktu 20 menit dengan dosis ion sebesar 1.192×10^{17}.

Kata kunci: Implantasi ion, *Cladding Material*, Kelongsong AlMgSi, Kekerasan.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF NITROGEN ION IMPLANTATION ON THE HARDNESS PROPERTIES OF CLADDING MATERIAL NUCLEAR FUEL OF RESEARCH REACTOR AlMgSi. *In line with the development of new fuels, it is also developed a fuel cladding to better fit the fuel used. Cladding must have a good hardness It requires the development of hardness properties of the cladding materials and further research to investigate the increase of properties of AlMgSi. In this case, changed the chemical composition is the addition of nitrogen ions by ion implantation techniques in AlMgSi alloy materials. The results of this study are ion implantation of nitrogen can increase 71.2% of the initial hardness, 77.3 VHN become 132.4 VHN. It reached within 20 minutes by ion dose of* 1.192×10^{17}.

Teks abstraks dalam bahasa inggris dengan menggunakan style JFN-Text Abstract Inggris.

Key words: Ion implantation, Cladding Material AlMgSi, Cladding Material Properties, Hardness.

PENDAHULUAN

Teknologi elemen bakar reaktor riset yang terus dikembangkan ditujukan untuk mengembangkan jenis bahan bakar baru dan bahan kelongsong elemen bahan bakar. Pengembangan bahan bakar baru diarahkan untuk membuat bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi agar jumlah uranium yang dapat dimasukkan ke dalam bahan bakar tiap satuan volume lebih banyak. Mula-mula bahan bakar yang digunakan untuk reaktor RSG-GAS adalah bahan bakar jenis U_3O_8-Al, dan selanjutnya diganti bahan bakar jenis U_3Si_2-Al, sebelum dikembangkannya bahan bakar jenis UMo [1]. Penggantian bahan bakar dari U_3O_8-

ISSN 1978-0176

Al menjadi U_3Si_2-Al disebabkan densitas U_3Si_2-Al lebih tinggi daripada densitas U_3O_8-Al. Sejalan dengan pengembangan bahan bakar baru tersebut, maka dikembangkan pula kelongsong bahan bakar agar lebih sesuai dengan bahan bakar yang digunakan. Pengembangan kelongsong diarahkan untuk menggunakan paduan yang mempunyai ketahanan korosi dan kekerasan yang baik. Selain faktor-faktor tersebut, paduan aluminium secara umum dipilih untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset disebabkan antara lain sifatnya yang ringan, kuat, ketahanan korosi yang baik, hantaran panas yang baik, mudah difabrikasi dan kekerasan mendekati kekerasan bahan bakar [7].

Dasar desain kelongsong dirancang agar mempunyai sifat yang dapat digunakan dengan baik selama operasi normal, kondisi transien, ataupun kecelakaan. Hal itu dilakukan untuk memenuhi persyaratan operasi yang aman dengan memperhitungkan kekerasan, laju korosi dan konduktivitas termal yang baik. Selain itu interaksi yang ditimbulkan dari sebuah bahan bakar densitas tinggi akan menyebabkan radiasi tinggi yang berasal dari reaksi pembelahan bahan bakar. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya kerusakan batang bahan bakar ataupun komponen strukturnya berupa retak karena korosi tegangan [2]. Oleh karena itu salah satunya diperlukan kelongsong dengan sifat kekerasan yang baik untuk digunakan.

Untuk mengubah sifat bahan dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain: memberikan perlakukan panas atau bisa dengan mengubah komposisi kimia. Cara pertama dapat dengan memanaskan bahan sampai suhu tertentu dan kemudian didinginkan secara perlahan-lahan (*annealing*) atau pendinginan secara cepat (*quenching*). Cara kedua dapat dilakukan dengan menambahkan unsur-unsur baru pada bahan. Cara ini dapat dilakukan dengan metode implantasi ion[3].

Implantasi ion adalah suatu proses penambahan unsur asing (dopan) pada permukaan material sasaran dengan cara pengionan atom asing tersebut, pemercepatan dalam tabung akselerator/pemercepat oleh medan listrik, pemfokusan dalam medan elektromagnet kemudian menembakkannya pada permukaan material target. Teknik ini digunakan karena mempunyai keunggulan: tidak melibatkan panas sehingga bahan tidak mengalami tekanan termal, karena itu bahan tidak akan mengalami perubahan dimensi, kedalaman (*depth*) sisipan dapat dikendalikan dengan mengatur tenaganya, dan proses implantasi berlangsung bersih, karena dilakukan di ruang hampa[4].

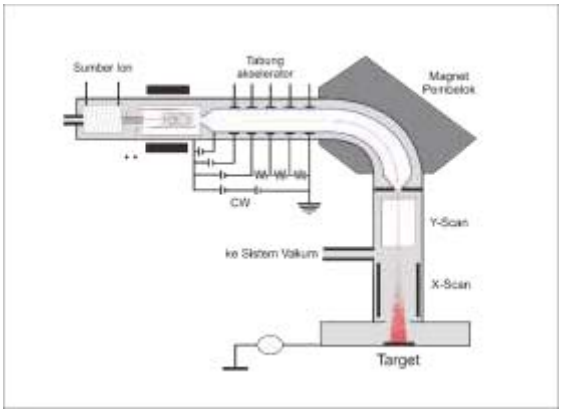
Di dalam reaktor, kelongsong elemen bakar akan menjadi panas karena terjadi reaksi fisi dari bahan bakar. Pada saat yang sama, kelongsong mendapat tekanan dari moderator reaktor dan juga dari pendingin reaktor. Panas yang terjadi karena reaksi fisi tersebut bisa mengakibatkan terjadinya kerusakan batang bahan bakar ataupun komponen strukturnya berupa retak karena korosi-tegangan ataupun pelelehan. Tekanan yang ada di dalam reaktor juga ikut andil dalam mengakibatkan kerusakan. Maka kelongsong tersebut harus mempunyai sifat yang mampu memberikan kekuatan struktur pada elemen bakar karena mendapatkan beban panas akibat pembakaran bahan bakar.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dikaji pengaruh implantasi ion terhadap sifat mekanik *cladding material*/kelongsong bahan bakar reaktor. Dengan demikian yang dikaji dalam bahasan ini adalah pengaruh dosis ion dalam implantasi ion terhadap kekerasan *cladding material*/kelongsong bahan bakar reaktor riset.

IMPLANTASI ION

Implantasi ion adalah suatu proses penambahan unsur asing (dopan) kedalam permukaan material sasaran dengan cara pengionan atom asing tersebut, pemercepatan dalam tabung akselerator/pemercepat oleh medan listrik, pemfokusan dalam medan elektromagnet kemudian menembakkannya pada permukaan material target. Adapun komponen-komponen dari mesin implantor ion meliputi sumber ion, sumber daya listrik tegangan tinggi, sistim hampa, sistim pemisah berkas ion, tabung pemercepat, penyapu berkas dan tempat target [4]. Secara skematis mesin implantor ion disajikan pada Gambar 2.1.

ISSN 1978-0176



Gambar 1. Mesin Implantor Ion

SISTEM SUMBER ION

Sumber ion merupakan komponen yang berfungsi untuk menghasilkan ion. Sumber ion dapat berujud gas/uap ataupun padatan [4]

TABUNG AKSELERATOR

Tabung ini berfungsi sebagai pemercepat dan sekaligus pemfokus berkas ion. Ion yang dihasilkan oleh sumber ion akan dipercepat di dalam tabung akselerator sebelum dicangkokkan pada sasaran. Tabung pemercepat ini terbuat dari bahan keramik yang didalamnya berisi banyak elektrode dengan tegangan yang semakin negatif terhadap elektrode sebelumnya.

Medan listrik yang terbentuk di antara elektrode-elektrode akan membentuk bidang ekuipotensial yang dapat berfungsi memfokuskan selain mempercepat berkas partikel bermuatan. Potensial pada elektrode diberikan melalui sistem pembagi tegangan yang terdiri dari beberapa tahanan. Antara elektrode timbul beda potensial yang besarnya hampir sama sehingga berkas ion mendapat penambahan energi yang hampir sama setiap melalui elektrode [4]

RUANG SASARAN

Berkas ion dopan yang dihasilkan oleh sumber ion setelah dipercepat dalam tabung akselerator selanjutnya ditembakkan pada bahan target yang diimplantasi. Bahan tersebut ditempatkan pada ruang sasaran. Ruang tersebut terdiri dari tingkap (aperture), mangkok Faraday dan pegangan bahan yang akan diimplantasi. Untuk mengukur arus berkas ion dopan, mangkok faraday dihubungkan dengan alat ukur microamper meter [4]

DOSIS ION YANG DIIMPLANTASIKAN

Dosis ion didefinisikan sebagai jumlah ion yang sampai pada permukaan target persatuan luas (ion/cm^2) berkas. Besaran ini akan menentukan jumlah atau prosentase ion yang terimplantasi. Nilai dosis ion sebagai fungsi arus berkas ion dan lamanya proses implantasi (detik)[4]. Dalam prakteknya nilai dosis ion dapat diatur melalui dua cara yaitu dengan memvariasi besarnya arus ion sedangkan waktunya tetap atau lamanya proses implantasi divariasi sedangkan arus berkas ion dibuat tetap, yang secara matematis dapat dituliskan dalam

$$D = \frac{it}{qeA} ion/cm^2$$

Dengan,
I = arus berkas ion (ampere)
t = lamanya proses implantasi (detik)
A = luasan berkas (cm^2)
q = charge state (+1, +2, +3,……..dst)
e = muatan elektron (1,602 × 10^{-19} coulomb)

ENERGI ION (KEV)

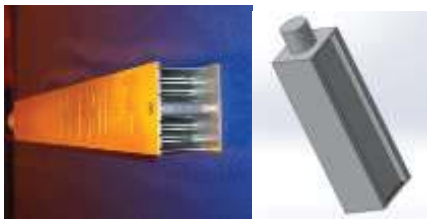
Besarnya energi ion diperoleh dari tegangan pemercepat yang terpasang pada tabung pemercepat. Energi kinetik berkas ion akan menentukan kedalaman penembusan (*penetration depth*), juga akan menentukan profil distribusi konsentrasi ion-ion dalam material target. Besar kecilnya energi ion ini dapat dikontrol dengan mengatur besarnya tegangan tinggi yang terpasang[4].

CLADDING MATERIAL BAHAN BAKAR REAKTOR RISET

Cladding Material/kelongsong bahan bakar reaktor riset merupakan bagian dari elemen bakar reaktor riset yang memberikan kekuatan struktur. Komponen elemen bakar terdiri dari dua buah pelat sisi, *end fitting* (ujung pasang) dan *handle* (pemegang) terbuat dari bahan AlMgSi, sedangkan pelat elemen bakar dari bahan $AlMg_2$. Elemen bakar tersusun atas 21 PEB (Pelat Elemen Bakar) dengan didukung seperangkat komponen struktur. Untuk menyisipkan PEB digunakan dua buah pelat sisi kiri dan sisi kanan, masing-masing beralur dengan jumlah alur sama dengan jumlah PEB yang akan disisipkan. Pelat yang disisipkan terdiri dari 2 PEB luar dan 19 PEB dalam. Pada PEB luar/PEB dalam

ISSN 1978-0176

tersebut tidak terdapat perbedaan kandungan U, bedanya hanya terletak pada dimensi pelat luarnya sedikit lebih panjang dari pada dimensi PEB dalam [1]. Contoh rakitan elemen bakar dispersi tipe pelat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Elemen bakar dispersi tipe pelat

Selama beroperasinya reaktor nuklir, dalam kondisi radiasi tinggi, terjadi interaksi mekanis antara pelet dan kelongsong bahan bakar akibat pemuaian bahan bakar[5]. Interaksi tersebut berdampak pada komponen strukturnya. Komponen struktur akan mengalami tegangan karena panas dari dalam dan beban korosi dari luar.

LOGAM AlMgSi

Paduan AlMgSi merupakan paduan aluminium dalam kelompok seri 6061 yang banyak digunakan untuk bahan struktur berkekuatan menengah, misalnya untuk bahan konstruksi rumah, badan mobil, industri pesawat terbang, dan lain-lain. Paduan ini memiliki spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 1. Spesifikasi Aluminium Paduan Al-Mg-Si[6]

No.	Unsur penyusun	Kandungan (% berat)
1	Mg	0,8 - 1,2
2	Si	0,4 - 0,8
3	Fe	< 0,7
4	Cu	0,15-0,4
5	Zn	< 0,25
6	Cr	< 0,25
7	Mn	< 0,15
8	Ti	< 200 ppm
9	B	< 1 ppm
10	Al	Sisanya

AlMgSi ini memiliki densitas sebesar 2,7 g/mm^3. Unsur-unsur paduan AlMgSi dapat ditambahkan secara tersendiri atau bersamaan. Unsur Mg di dalam paduan alumunium memperbaiki kekuatan dan keuletan pada hasil pengerjaan dingin, selain itu juga dapat memperbaiki ketahanan terhadap korosi dan mampu las. Unsur Mg bersama-sama unsur Si akan membentuk senyawa Mg_2Si yang berperan menaikkan kekuatan hasil paduan. Senyawa Mg_2Si berbentuk endapan halus yang dihasilkan melalui proses penuaan (*age hardening*) dalam perbandingan antara Mg terhadap Si adalah 1,73 berbanding 1.

Dalam hal AlMgSi sebagai bahan struktur elemen bakar reaktor riset ditambahkan unsur B yang berfungsi sebagai penyerap neutron. Namun, untuk industri nuklir unsur B yang ada harus dibatasi karena dikhawatirkan bahan tersebut akan menyerap neutron dalam jumlah yang besar. Hal ini disebabkan unsur B mempunyai tampang lintang serapan mikroskopik yang besar yakni 759 barn [7] Sementara itu unsur Cu dalam paduan yang berada bersama unsur Cr akan menaikkan kekuatan dan memperbaiki ketahanan korosinya.

Untuk bahan penelitian kali ini adalah paduan AlMgSi yang memiliki paduan Mg dan Si yang masing-masing hanya sekitar 1,02 % dan 0,6 %. Sehingga titik lebur dari AlMgSi mampu mencapai 660 ^{0}C.

METODE PENELITIAN

Implantasi ion pada *cladding material* bahan bakar reaktor riset AlMgSi menggunakan gas Nitrogen. Penelitian ini menggunakan variasi waktu 10, 15, 20, 25 dan 30 menit dengan energy ion 100 keV. Pengujian dalam penelitian ini yaitu uji kekerasan *vickers*, dan uji lau kororsi. Adapun pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: persiapan bahan dan peralatan, pembuatan benda uji, penghalusan (pempolisan), pencucian dengan sabun maupun alkohol, proses implantasi, karakterisasi hasil implantasi yang meliputi uji kekerasan dan uji korosi baik sebelum maupun sesudah proses implantasi dan yang terakhir adalah analisis hasil.

Dalam eksperimen ini, sebagai material sasaran adalah kelongsong bahan bakar AlMgSi. Sebagai tahap penyiapan benda uji adalah pemotongan material sesuai dengan bentuk pengujian. Material dipotong menjadi bentuk kubus ukuran 5 mm × 5 mm dengan tebal 5 mm untuk uji kekerasan. Selanjutnya

ISSN 1978-0176

kepingan tersebut dihaluskan bagian pinggir dengan kertas gosok dari ukuran 120 mesh hingga 2000 mesh dan bagian permukaan dibiarkan seperti apa adanya. Sesudah proses tersebut selesai kemudian dilanjutkan proses pempolesan dengan menggunakan autosol. Pempolesan berakhir setelah diperoleh permukaan yang sangat rata dan mengkilap seperti cermin. Sesudah pempolesan selesai kemudian dilanjutkan proses pencucian dengan air sabun, alkohol maupun etanol, kemudian dikeringkan dengan tissue.

Proses implantasi ion dikerjakan dengan menggunakan akselerator ion energi rendah 150 keV/2 mA milik PSTA-BATAN. Sebelum proses implantasi ion berlangsung, terlebih dahulu akselerator implantasi ion dihampakan dengan pompa rotari dan difusi hingga dicapai kehampaan dalam orde 10^6 torr. Langkah selanjutnya adalah menghidupkan sumber ion jenis *Penning* dan sumber tegangan tinggi Cocroft-Walton. Dalam pelaksanaanya, penambahan ion Nitrogen dapat dikerjakan dengan cara mengatur dosis ion. Dosis ion dapat divariasi dengan eara mengatur arus berkas ion atau lamanya proses implantasi.

Perubahan tingkat kekerasan diukur dengan metode *vickers* menggunakan mesin *micro hardness tester type Vickers Matsuzawa MMT-X7* yang bisa menguji kekerasan dalam skala mikro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses implantasi yang dilakukan berupa variasi dosis ion dengan mengubah parameter waktu implantasi. Ada dua cara untuk mengatur dosis ion yang masuk ke dalam material yaitu dengan membuat arus berkas ion dipertahankan tetap sedang lamanya proses divariasi/dihitung atau arus divariasi sedang lamanya proses dibuat tetap. Dalam prakteknya akan lebih mudah membuat arus berkas ion tetap, sedangkan lamanya proses divariasi. Maka didapatkan lah hasil dosis ion dengan memvariasi waktu yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dosis ion dengan variasi waktu implantasi

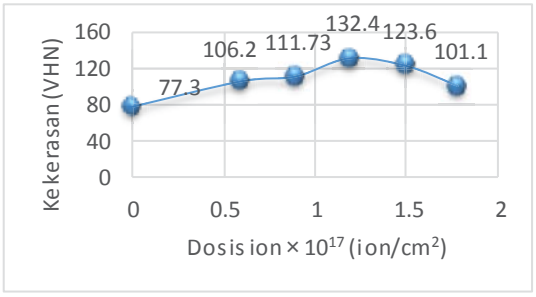
No.	Waktu (menit)	Dosis ion (ion/cm^2)
1	0	0
2	10	5.96×10^{16}
3	15	8.94×10^{16}
4	20	1.19×10^{17}
5	25	1.50×10^{17}
6	30	1.78×10^{17}

UJI KEKERASAN *VIKERS*

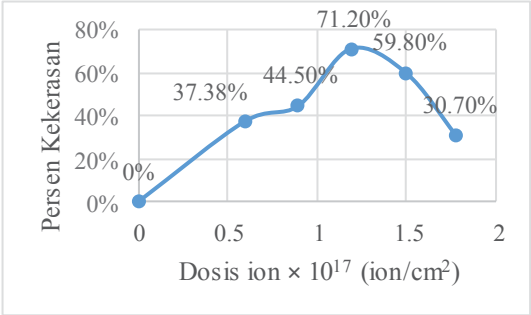
Hasil uji kekerasan vikers ditunjukkan pada gambar 3. Dari gambar tersebut dapat diketahui dosis ion yang menghasilkan kekerasan tertinggi yaitu pada dosis 1.19×10^{17} dengan lama implantasi selama 20 menit. Kekerasan naik sebesar 71.2 % dari kekerasan awal.

Gambar 3. Grafik pengaruh dosis ion terhadap kekerasan

Data prosentase kenaikan kekerasan



menimbulkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Prosentase kenaikan kekerasan akibat variasi dosis ion

Dalam proses implantasi ion, kemungkinan efek yang terjadi adalah terbentuknya pasangan kekosongan (*vacancies*) dan sisipan (*interstition*) atom material, sisipan ion nitrogen, serta pembentukan senyawa baru. Dengan demikian pengujian kekerasan tersebut bisa dikatakan menjadi keras akibat pengaruh dosis ion dengan lama proses implantasi 20 menit.

ISSN 1978-0176

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Implantasi ion nitrogen dapat meningkatkan kekerasan 71,2 % dari kekerasan awal yaitu 77,3 VHN menjadi 132,4 VHN. Peningkatan kekerasan kekerasan dicapai pada parameter waktu 20 menit dengan dosis ion sebesar $1{,}192 \times 10^{17}$.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan variasi energi.
2. Perlu dilakukan uji kororsi dan konduktivitas panas.

DAFTAR PUSTAKA

Buku:

1. Supardjo, , *Proses Produksi Elemen Baka Reaktor Riset Tipe Pelat Di Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset (IPEBRR)*. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN, 2013.

2. S. Lutfi, *Nitridasi Plasma Permukaan AlMgSi Sebagai Bahan Struktur Elemen Bakar Reaktor Riset*. Jurusan Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN, 2015.

3. E. Istiyono, *Implantasi Ion Sebagai Upaya Modifikasi Sifat Mekanik dan Elektrik Bahan*, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, 2008.

4. T. Sujitno, *Aplikasi Iradiator, Pelatihan Petugas Iradiator*, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta, 2012.

5. Ensiklopedi Teknologi Nuklir, *Riset Karakteristik Radiasi Pada Pelet Bahan Bakar*, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, 2010.

Prosiding:

6. Masrukan, "Paduan AlMgSi1 Sebagai Material Cladding Bahan Bakar Reaktor Riset Alternatif," *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III*, 1997, PEBN – BATAN, Jakarta, pp. 197-204

Jurnal:

7. Masrukan dan A. Ginting, "Analisis Komposisi Bahan dan Sifat Termal Paduan AlMgSi-1 Tanpa Boron Hasil Sintesis Untuk Kelongsong Elemen Bakar Reaktor Riset," *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional*. Vol 1 no. 2, pp. 77-87, 2005.

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN MODUL *MONITORING* RADIASI PADA SISTEM DETEKSI DAN PENCARIAN SUMBER RADIASI

RADHIA PRADANA[1], ADI ABIMANYU[2], SUDIONO[1]

1) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional
2) Pusat Sains dan Teknologi Akselerator-Badan Tenaga Nuklir Nasional

ABSTRAK

RANCANG BANGUN MODUL *MONITORING* RADIASI PADA SISTEM DETEKSI DAN PENCARIAN SUMBER RADIASI. Penelitian ini merancangbangun sebuah modul *monitoring* radiasi gamma menggunakan *Frequency to Voltage Converter* (FVC) sehingga dapat dibaca Arduino pada pin *Analog to Digital Converter* (ADC). Dengan modul *monitoring* radiasi yang dapat dibaca oleh Arduino pada pin ADC, Arduino yang digunakan dapat melakukan monitor radiasi bersamaan dengan pengendalian motor menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Modul yang dibuat terdiri dari detektor *Geiger-Muller* (GM), rangkaian High Voltage, rangkaian pembalik GM, rangkaian pembentuk pulsa, rangkaian FVC menggunakan IC LM2907, dan Arduino sebagai pemroses data. Berdasarkan hasil pengujian alat yang dibuat memiliki tegangan keluaran yang berhubungan regresi linier dengan laju paparan dengan koefisien korelasi r = 0,980 dan memiliki faktor konversi 218,38 μSv/jam.volt. Alat yang dibuat memiliki rangkaian FVC dengan rata-rata penyimpangan relatif 2,8% dan ADC dengan gain error 1,8%.

Kata kunci: Arduino, *Frequency to Voltage Converter*, Radiasi.

ABSTRACT

DESIGN OF RADIATION MONITORING MODULE ON DETECTION AND SEARCH OF RADIATION SOURCE SYSTEM. *This research build a gamma radiation monitoring device using Frequency to Voltage Converter (FVC) so it can be read by Arduino on its Analog to Digital Converter (ADC). With radiation monitoring module that can be read by the ADC pin Arduino, Arduino can perform radiation monitors simultaneously with motor control using Pulse Width Modulation (PWM). The module consists of Geiger-Muller (GM) detector, High Voltage circuit, GM inverter circuit, pulse shaping circuit, FVC circuit, and Arduino for its data processor. Based on the result of device test, the device having voltage output associated with exposure rate as linear regression with correlation coefficients r = 0,980 and conversion factor 218,38 μSv/h.volt. The device FVC circuit with average relative error of 2,8% and ADC with gain error 1,8%.*

Key words: Arduino, Frequency to Voltage Converter, Radiation.

PENDAHULUAN

Radiasi merupakan suatu gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan yang karena energi yang dimilikinya mampu mengionisasi media yang dilaluinya. Paparan radiasi adalah penyinaran radiasi yang diterima oleh manusia atau materi, baik sengaja maupun tidak disengaja, yang berasal dari radiasi interna maupun eksterna [1]. Radiasi tidak dapat dirasakan menggunakan panca indera manusia, oleh karena itu radiasi hanya dapat dideteksi dengan menggunakan modul deteksi radiasi.

Dalam proteksi radiasi, dikenal asas *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) yang berarti penerimaan paparan radiasi serendah mungkin yang dapat dicapai. Dalam upaya mengurangi paparan radiasi, pada umummnya digunakan jarak aman dan pembatasan waktu serta penggunaan penahan. Untuk menentukan batas waktu dan jarak aman yang diperlukan, dibutuhkan data mengenai laju paparan yang dihasilkan sumber. Sehingga, sistem monitor radiasi diperlukan

ISSN 1978-0176

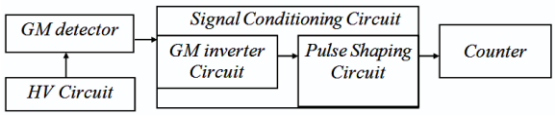
agar penggunan asas proteksi radiasi ALARA dapat lebih optimal.

Arduino merupakan suatu *board* mikro-kontroler yang mudah didapat dan didesain secara sederhana sehingga mudah digunakan. Arduino dapat diaplikasikan sebagai mikro-kontroler yang berfungsi sebagai pemroses data dalam sistem monitor radiasi. Mikrokontroler pada sistem monitor radiasi difungsikan sebagai pencacah dengan menggunakan fungsi *timer/counter*. Pada mikrokontroler fungsi *timer/counter* memiliki jumlah terbatas dan diperlukan dalam fungsi penting lain seperti pengendalian motor dan *servo* menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Oleh karena itu, agar pemantauan radiasi dapat dilakukan bersamaan dengan pengendalian motor dan *servo*, maka dibutuhkan alternatif lain penggunaan fitur mikrokontroler dalam proses pemantauan radiasi, yaitu dengan cara menggunakan rangkaian *Frequency to Voltage Converter* (FVC), dan mikrokontroler Arduino melalui kanal *Analog to Digital Converter* (ADC). Sehingga, sebuah robot yang melakukan pengendalian motor dan servo dapat melakukan pemantauan radiasi secara bersamaan.

TEORI

Sistem *Monitoring* Radiasi

Sistem monitor radiasi terdiri dari detektor *Geiger-Muller*(GM), rangkaian *High Voltage* (HV), rangkaian pengkondisi sinyal, dan pencacah. Diagram blok modul *monitoring* radiasi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok modul *monitoring* radiasi

Detektor GM termasuk detektor ionisasi yang menggunakan tegangan tinggi *Direct Current* (DC) sebagai tegangan kerjanya. Pada detektor GM, keluaran pulsa tidak berhubungan dengan energi ionisasi dari radiasi namun hanya sebagai fungsi tegangan kerjanya [2].

Rangkaian HV berfungsi sebagai penyedia tegangan kerja dari detektor GM yang akan digunakan, yaitu dengan tegangan DC hingga 900 volt. Tegangan tinggi diperoleh dengan menggunakan sistem *DC to DC converter*. *DC to DC converter* terdiri dari osilator dan penguat push pull untuk menyediakan frekuensi kerja trafo *step up*. Selanjutnya, keluaran yang masih berupa arus bolak-balik disearahkan menggunakan dioda tegangan tinggi yang dibentuk menjadi rangkaian pelipat tegangan bersamaan dengan kapasitor [3].

Rangkaian pengkondisi sinyal pada detektor GM terdiri dari rangkaian pembalik GM dan pembentuk pulsa. Rangkaian pembalik GM menerima pulsa keluaran dari detektor dengan bentuk *semi-gaussian* dan polaritas negatif. Keluaran dari rangkaian pembalik GM berupa pulsa dengan polaritas positif. Pembentuk pulsa berfungsi untuk membentuk pulsa keluaran rangkaian pembalik GM menjadi pulsa kotak dengan lebar pulsa 30-100 μs [3].

ADC

Resolusi ADC dinyatakan sebagai jumlah bit keluaran digitalnya. Misal, ADC dengan resolusi n-bit memiliki 2^n kode digital sehingga memiliki 2^n tingkat undak (step level) [4].

Dalam pengukuran, terdapat penyimpangan nilai yang terukur dengan nilai yang didapat dari perhitungan. Pada ADC penyimpangan yang terjadi dapat dikarenakan *Gain Error* [5], yaitu selisih antara gain point ideal dengan terukur. Penyimpangan ini mempresentasikan perbedaan kemiringan dari fungsi transfer ideal dan terukur. Perhitungan GE menggunakan Pers. (1) [4].

$$\%GE = \left(\frac{V_{\max\ ideal} - V_{\max}}{V_{\max\ ideal}} \right) \times 100\% \qquad (1)$$

Dengan Vmax ideal adalah tegangan masukan ideal saat keluaran digital maksimum. Vmax adalah tegangann terukur saat keluaran digital maksimum.

Analisa Linieritas

Analisa linieritas dilakukan untuk membuktikan bahwa dua variabel berhubungan linier. Hal ini, dilakukan dengan menghitung nilai koefisien korelasi (*r*) antar

ISSN 1978-0176

keduanya. Koefisien korelasi (r) didapatkan dengan menggunakan Pers. (2) [6].

$$r = \frac{n\sum xy - \left(\sum x\right)\left(\sum y\right)}{\sqrt{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2} \times \sqrt{n\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2}} \qquad (2)$$

Dengan n adalah jumlah data, x adalah variabel pada sumbu x, dan y adalah variabel pada sumbu y.

Setelah mengetahui bahwa dua variabel berhubungan linier, dapat diketahui persamaan regresi linier antara keduanya memiliki faktor konversi (m) dari Pers.(3).

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \qquad (3)$$

Dengan y_2 dan x_2 berturut-turut adalah nilai pada sumbu y dan x saat titik kedua, sedangkan y_1 dan x_1 berturut-turut adalah nilai y dan x saat titik pertama.

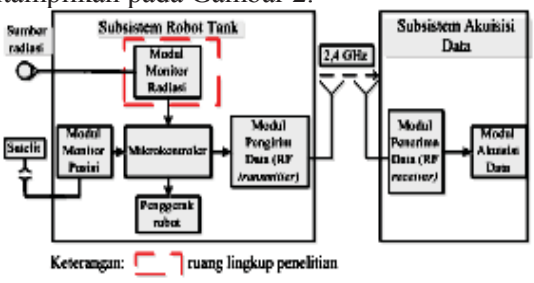
Dalam pengukuran, terdapat penyimpangan nilai yang terukur dengan nilai yang didapat dari perhitungan. Penyimpangan antara keduanya dapat ditunjukkan sebagai penyimpangan relatif (*error*). Penyimpangan relatif (*error*) dapat dihitung menggunakan Pers.(4).

$$error = \left|\frac{N_t - N_a}{N_t}\right| \times 100\% \qquad (4)$$

Dengan Nt adalah nilai teori atau hasil perhitungan. Dan Na adalah nilai dari hasil pengukuran.

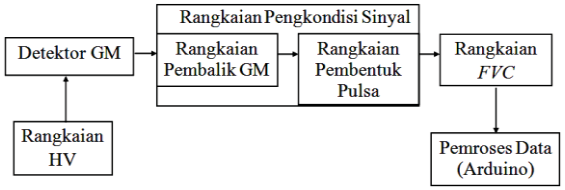
METODE PENELITIAN

Modul *monitoring* radiasi yang dibuat merupakan bagian dari sistem deteksi dan pencarian sumber radiasi. Diagram blok dari sistem deteksi dan pencarian radiasi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok sistem deteksi dan pencarian sumber radiasi

Modul *monitoring* radiasi gamma yang dibuat terdiri dari beberapa bagian. Bagian-bagian tersebut adalah detektor GM, modul penyedia tegangan tinggi, rangkaian peng-kondisi sinyal, rangkaian FVC, dan modul mikrokontroler Arduino. Diagram blok modul *monitoring* radiasi gamma menggunakan FVC dapat dilihat pada Gambar 3.



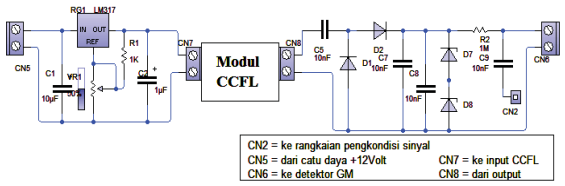
Gambar 3 Diagram blok modul *monitoring* radiasi gamma menggunakan FVC.

Detektor GM

Detektor GM yang digunakan adalah detektor GM buatan Victoreen dengan tipe 491-30. Detektor GM Victoreen tipe 491-30 memiliki rekomendasi tegangan kerja sebesar 900 volt serta sensitivitas gamma untuk Co-60 sebesar 2200 cpm/(mr/jam) [7].

Rangkaian HV

Pada rangkaian HV yang ditampilkan pada Gambar 4, digunakan modul *DC to AC* dari *Cold Cathode Fluorescence Lamp* (CCFL). Masukan dan keluaran modul CCFL dihubungkan dengan rangkaian masing-masing pada CN7 dan CN8. Untuk pengaturan tegangan referensi untuk masukan modul CCFL digunakan regulator tegangan LM 317. Untuk mengubah keluaran tegangan bolak-balik dari modul CCFL menjadi tegangan DC digunakan rangkaian penyearah dan pelipat tegangan menggunakan dioda dan kapasitor. Dioda zener yang dipasang secara seri hingga mencapai 1 kV (D7 dan D8) berfungsi sebagai *buffer*. CN6 merupakan keluaran HV menuju detektor GM dan CN2 merupakan pulsa keluaran dari detektor berbentuk *semi-gaussian* menuju rangkaian pembalik GM.



Gambar 4 Rangkaian HV.

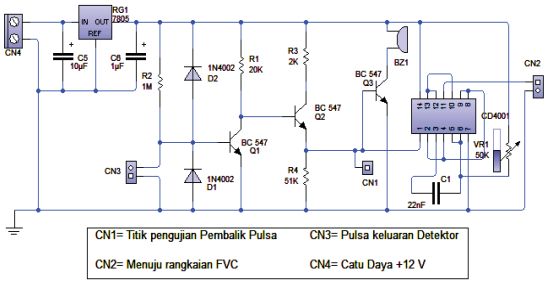
Rangkaian pengkondisi sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal ditampil-kan pada Gambar 5, berfungsi untuk meng-

ISSN 1978-0176

kondisikan sinyal keluaran detektor GM sehingga menjadi pulsa kotak positif yang dapat diproses oleh rangkaian FVC.

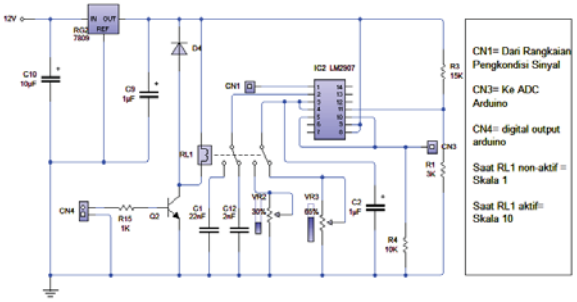
Pada rangkaian ini, pulsa keluaran detektor GM yang berbentuk *semi-gaussian* dengan polaritas negatif masuk ke dalam rangkaian melalui CN3. Kemudian pulsa tersebut dibalikkan polaritasnya menjadi polaritas positif menggunakan transistor Q1 BC 547. Selanjutnya, pulsa akan dibentuk menjadi pulsa kotak pada rangkaian pembentuk pulsa menggunakan IC CD4001.



Gambar 5 Rangkaian pengkondisi sinyal.

Rangkaian FVC

Rangkaian FVC berfungsi mengubah frekuensi keluaran pengkondisi sinyal (CN1) yang berupa pulsa kotak menjadi tegangan yang akan dibaca oleh Arduino melalui pin ADC (CN3). Pada pin 11 IC LM 2907, merupakan pin tegangan referensi dari LM 2907. Dalam rangkaian pin 11 dihubungkan dengan tegangan sebesar 2 volt. Oleh karena itu, rangkaian FVC hanya akan merespon pulsa dengan tinggi pulsa lebih dari 2 volt dan mengabaikan pulsa dengan tinggi pulsa kurang dari 2 volt. Rangkaian FVC ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Rangkaian FVC.

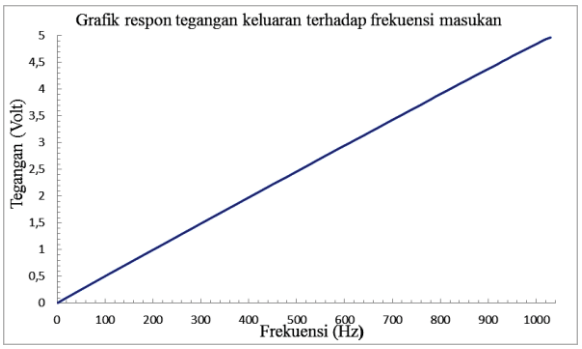
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Keluaran Rangkaian FVC

Hasil dari pengujian rangkaian FVC ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 7.

Tabel 1 Respon tegangan keluaran terhadap frekuensi masukan.

No	Frekuensi (Hz)	Tegangan (volt)	Tegangan ideal (volt)	error (%)
1	0	0,000	0,000	0,000
2	10	0,054	0,048	11,478
3	20	0,104	0,097	7,349
4	40	0,205	0,195	5,801
3	80	0,405	0,387	4,511
4	120	0,604	0,581	3,909
5	160	0,802	0,775	3,479
6	200	0,998	0,969	3,014
7	240	1,194	1,163	2,704
8	280	1,39	1,356	2,483
9	320	1,588	1,550	2,446
10	360	1,783	1,744	2,246
11	400	1,977	1,938	2,033
12	440	2,173	2,131	1,954
13	480	2,363	2,325	1,629
14	520	2,559	2,519	1,593
15	560	2,756	2,713	1,598
16	600	2,948	2,906	1,431
17	640	3,137	3,100	1,188
18	680	3,331	3,294	1,126
19	720	3,523	3,488	1,013
20	760	3,713	3,681	0,857
21	800	3,911	3,875	0,924
22	840	4,101	4,069	0,787
23	880	4,289	4,268	0,617
24	920	4,472	4,456	0,348
25	960	4,665	4,650	0,317
26	1000	4,844	4,844	0,000
Rata-rata penyimpangan relative				2,800



Gambar 7 Grafik respon tegangan keluaran terhadap frekuensi masukan.

Berdasarkan hasil pengujian, tegangan keluaran memiliki penyimpangan terhadap nilai tegangan keluaran yang didapat dari perhitungan. Nilai penyimpangan relatif untuk tiap data didapat dengan menggunakan Pers. (4). Perhitungan penyimpangan relatif pada data ke-2 sebagai berikut.

$$error = \left|\frac{0{,}1938 - 0{,}205}{0{,}205}\right| \times 100\% = 5{,}801\%$$

Dari hasil pengujian FVC didapatkan grafik pada Gambar 7 yang menunjukkan tegangan keluaran FVC berhubungan linier terhadap frekuensi masukan yang ditunjukan

ISSN 1978-0176

dengan nilai koefisien korelasi yang didapat dari Pers. (2) sebesar $r = 0{,}999$.

Sehingga, dari hasil pengujian rangkaian FVC, respon tegangan keluaran terhadap frekuensi masukan memiliki koefisien korelasi sebesar 0,999 dan rata-rata penyimpangan relatif sebesar 2,8% dengan penyimpangan terbesar pada frekuensi masukan dibawah 10 Hz. Hal ini menunjukkan tegangan keluaran rangkaian memiliki linieritas yang baik terhadap frekuensi masukan, namun memiliki sedikit penyimpangan dari nilai tegangan keluaran secara teori.

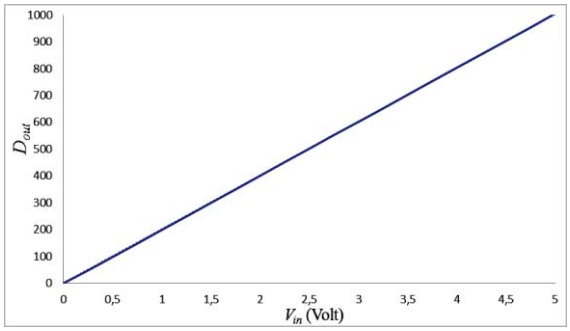
Hasil Pengujian ADC

Berdasarkan pengujian ADC yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 8. Masukan dan keluaran ADC memiliki koefisien korelasi yang didapat dari Persamaan (2) $r = 0{,}999$. Nilai %GE dari ADC dihitung menggunakan Persamaan (1), sehingga didapat nilai %GE .

$$\%GE = \left(\frac{|5 - 5{,}09|}{5} \right) \times 100\% = 1{,}8\%$$

Tabel 2 Hasil pengujian ADC.

No	Vin (volt)	Dout	No	Vin (volt)	Dout
1	0,00	0	12	2,75	553
2	0,25	48	13	3,00	602
3	0,50	98	14	3,25	652
4	0,75	148	15	3,50	703
5	1,00	199	16	3,75	754
6	1,25	249	17	4,00	804
7	1,500	300	18	4,25	854
8	1,75	350	19	4,50	904
9	2,00	401	20	4,75	954
10	2,25	452	21	5,00	1006
11	2,50	502	22	5,09	1023



Gambar 8 Grafik hasil pengujian ADC.

Arduino yang digunakan memiliki ADC dengan koefisien korelasi tegangan masukan dan keluaran $r = 0{,}99$ dan nilai %GE 1,8%.

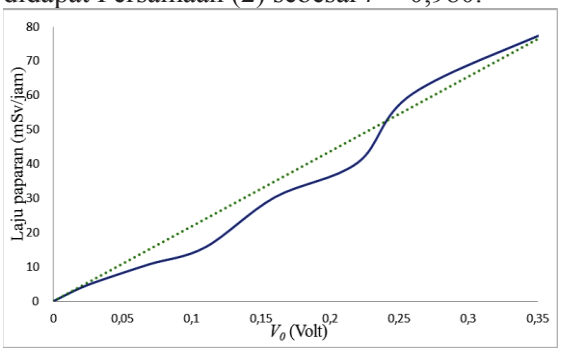
Hasil pengujian faktor konversi laju paparan dan tegangan keluaran FVC.

Pengujian faktor konversi dilakukan untuk menentukan persamaan antara laju paparan ($\dot{X}$) dan tegangan keluaran FVC (Vo). Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 9.

Tabel 3 Hasil pengujian faktor konversi.

No	Jarak (cm)	V_o (volt)	$\dot{X}$ (µSv/jam)
1	-	0,00	0,00
2	37,5	0,02	3,94
3	30,0	0,04	6,90
4	25,0	0,07	10,85
5	20,0	0,11	15,78
6	15,0	0,16	30,30
7	12,5	0,22	40,40
8	10,0	0,26	60,60
9	5,0	0,37	80,80
Rata-rata =		0,14	27,73

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hubungan laju paparan dengan tegangan keluaran yang bersifat linier, ditunjukan dengan nilai koefisien korelasi yang didapat Persamaan (2) sebesar $r = 0{,}980$.



Gambar 9 Grafik laju paparan terhadap tegangan keluaran.

Hal ini menunjukkan laju paparan memiliki linieritas yang baik terhadap tegangan keluaran rangkaian FVC. Faktor konversi dari tegangan keluaran menjadi laju paparan didapatkan menggunakan Pers. [1].

$$m = \frac{(80{,}80 - 0)\mu Sv/\,jam}{(0{,}37 - 0)Volt} = 218{,}38\,(\mu Sv/\,jam)/Volt$$

ISSN 1978-0176

KESIMPULAN

Telah dibuat modul *monitoring* radiasi gamma berbasis arduino menggunakan rangkaian FVC. Alat yang dibuat memiliki tegangan keluaran yang berhubungan regresi linier dengan laju paparan dengan koefisien korelasi r = 0,980 dan memiliki faktor konversi 218,38 μSv/jam.volt. Alat yang dibuat memiliki rangkaian FVC dengan rata-rata penyimpangan relatif 2,8% dan ADC dengan *gain error* 1,8%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif,* BAPETEN 33, 2007.
[2] J. Fraden. (2010). *Handbook of Modern Sensors Physics, Design, and Aplication (Fourth ed.)*.
[3] Jumari, Djuningran, A. Abimanyu, and M. Rosyid, "Pembuatan Rangkaian Analog untuk Gamma Area MonitorTipe GAM-09," in *Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, Yogyakarta, 2009, pp. 189-194.
[4] H. Wibawanto. (1999, 15 Juni). *Spesifikasi Peranti Konversi Data*. Available: http://www.elektroindonesia.com/elektro/inst26.html
[5] N. Tsoulfanidis and S. Landsberger. (2011). *Measurement and Detection of Radiation (Third ed.)*.
[6] T. Trikasjono, S. N. Krisna, and Surakhman, "Rancang Bangun Penampil Cacah Untuk Penentuan Plato Detektor Geiger Muller Berbasis Personal Komputer," in *Seminar Nasional*, Yogyakarta, 2009, pp. 191-204.
[7] flukebiomedical. (2006, 31 Mei). *491-30 Geiger Mueller Gamma Beta Probe*. Available: http://www.flukebiomedical.com/Biomedical/usen/radiation-safety/GM-Scintillation-Probes/491-30-geiger-mueller-gamma-beta-probe.htm?PID=54811

TANYA JAWAB

Pertanyaan

Pada pengujian faktor konversi, pengujian dilakukan hanya hingga laju paparan 80,8μSv/jam. Bagaimana hasil pengujian untuk laju paparan yang lebih tinggi?

Jawaban

Pengujian faktor konversi dilakukan hanya hingga 80,8μSv/jam dikarenakan keterbatasan sumber radiasi. Untuk laju paparan yang lebih tinggi diperlukan pengujian menggunakan sumber radiasi dengan aktivitas yang lebih besar, sehingga mendapatkan hasil yang lebih signifikan.

ISSN 1978-0176

KAJIAN PENGUKURAN LAJU DOSIS BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DI INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

Dyah Sulistyani Rahayu
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN
yayuk@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PENGUKURAN LAJU DOSIS BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DI INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS. Bahan bakar yang digunakan pada reaktor GA Siwabessy adalah elemen bakar tipe *Material Testing Reactor* (MTR) dengan pengkayaan U^{235} sebesar 19,75% , terdispersi dalam matriks Al bentuk plat. Laju dosis perlu diketahui agar didapat paparan yang *real time* dari masing-masing BBNB dan sebagai dasar untuk menentukan tebal shielding kontainer berdasarkan perhitungan pancaran radiasi BBNB dari dalam kontainer melewati ketebalan *shielding* menuju dinding luarnya, sehingga tidak melebihi batas aman yaitu 200 mrem/jam. Hasil pengukuran laju dosis terhadap 3 bahan bakar nuklir bekas yaitu RI-308,RI-357, RI-419. Semakin besar jaraknya bahan bakar nuklir bekas terhadap alat ukur nya semakin kecil dosis radiasinya. BBNB diukur didalam kolam dimana terdapat perisai radiasi berupa air bebasmineral pada jarak 1,2 m , laju dosis RI 308 = 97,38 µSv/h ,RI -357 = 102,8 µSv/h, RI-419 = 105,23 µSv/h. Sedangkan dosis tanpa shielding laju dosis RI 308 = 135,78 µSv/h ,RI -357 = 141,96 µSv/h, RI-419 = 143,73 µSv/h.
Kata kunci : bahan bakar nuklir bekas, laju dosis, perisai radiasi

ABSTRACT

DOSE RATE MEASUREMENT ASSESMENT OF SPENT NUCLEAR FUEL IN INTERIM STORAGE OF SPENT FUEL. *Fuel element type of fuel used in the reactor fuel element GA Siwabessy is the type of Material Testing Reactor (MTR) with the U^{235} enrichment of 19.75%, dispersed in a matrix of Al plat form. By knowing the dose rate that it will get exposure to the real time of each spent and as a basis to determine the thickness of shielding container based on the calculation of radiation BBNB of the containers passing through the thickness of shielding towards the outer wall, so it does not exceed the safe limit of 200 mrem / hour . The results of measurements of the dose rate to 3 spent nuclear fuel that is RI-308, RI-357, RI-419. The greater the distance of spent nuclear fuel on its measuring devices getting smaller doses of radiation. BBNB measured inside the pool where there is a radiation shield in the form of demineralized water at a distance of 1.2 m, the dose rate RI 308 = 97.38 µSv / h, RI -357 = 102.8 µSv / h, RI-419 = 105.23 µSv / h. To determine the value of the dose without shielding the dose rate RI 308 = 135.78µSv/h,RI-357=141.96µSv/h,RI-419=143.73µSv/h.*

Keywords: spent nuclear fuel, dose rate, radiation shielding, radiation exposure

PENDAHULUAN

Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) ialah bahan bakar nuklir teriradiasi yang dikeluarkan dari teras reaktor secara permanen dan tidak digunakan lagi dalam kondisinya saat ini karena penyusutan bahan fisil, peningkatan racun, atau kerusakan akibat radiasi[1]. Dalam reaktor nuklir, bahan bakar menghasilkan neutron dan panas selama periode operasi dikeluarkan dari reaktor bila umur ekonominya telah tercapai. BBNB tersebut mengeluarkan panas dan radiasi peluruhan unsur radioaktif, hasil fisi, aktinida, dan hasil aktivasi. Strategi pengelolaan BBNB berbeda – beda untuk setiap negara tergantung dari strategi daur bahan bakar nuklir yang dipilih. Ada dua pilihan utama strategi daur bahan bakar nuklir, yaitu daur bahan bakar terbuka (*open fuel cycle*) dan daur bahan bakar tertutup (*closed fuel cycle*) [4]. Bahan bakar bekas yang akan dikirim ke Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) telah mengalami peluruhan minimal selama 100 hari, sehingga unsur-unsur radio nuklida umur pendek di dalam bahan bakar telah habis meluruh. Perhitungan komposisi nuklida dan spektrum gamma yang dipancarkan oleh material struktur, produk fisi dan aktinida dari bahan bakar bekas dilakukan dengan paket program *Origen2*. Berkenaan

ISSN 1978-0176

dengan disain proteksi radiasi, hanya photon gamma yang berasal dari produk fisi saja yang perlu dipertimbangkan, yaitu photon gamma yang berasal dari bahan bakar yang telah diiradiasi secara terus menerus sampai akhir siklus.

Dalam pengoperasian RSG-GAS menggunakan 48 buah bahan bakar yang terdiri dari 40 buah elemen bakar dan 8 buah elemen kendali. Berdasarkan desain reaktor dapat beroperasi dengan daya 30 MW, saat ini reaktor dioperasikan dengan daya 15 MW. Setiap pergantian siklus operasi dilakukan pergantian 6 buah bahan bakar yang terdiri dari 5 buah elemen bakar standar dan 1 buah elemen kendali, 6 buah bahan bakar bekas dipindah ke Kolam Penyimpanan Sementara RSG-GAS (KPS RSG-GAS) dan 6 buah bahan bakar baru dimasukkan ke dalam teras RSG-GAS. Berdasarkan desain, pada operasi normal RSG – GAS terdapat penggantian 8 BBNB per siklus dan ada 7 siklus per tahun, maka kapasitas penyimpanan IPSB3 adalah 1448 elemen BBNB termasuk elemen Batang Kendali Bekas.

Syarat-syarat perisai radiasi dipenuhi selain oleh ketinggian air di dalam KH juga oleh ketebalan dinding beton yang memanjang sesuai dengan panjang saluran KH. Pada operasi normal perisai ini akan menghasilkan dosis radiasi γ sebesar 5 μSv/jam. Prinsip dan syarat keselamatan fasilitas KH-ISPB3 berdasarkan IAEA Guide No. 50-SG-D10 *Fuel Handling and Storage Systems in Nuclear Power Plants* (1984) dan rekomendasi ICRP yang terakhir serta ICRP-60 (1990) yang berkaitan dengan dosis radiasi. Prinsip keselamatan IAEA *Guide List* yang berhubungan dengan penyimpanan bahan bakar bekas adalah sebagai berikut :

1. Pencegahan terjadinya kritikalitas
2. Pencegahan terjadinya laju dosis yang tidak semestinya
3. Pencegahan terjadinya pelepasan radioaktivitas yang tidak dapat diterima

Rekomendasi ICRP-60 memberikan harga dosis radiologi akibat laju dosis atau pelepasan radioaktivitas. Untuk memenuhi prinsip *IAEA Guide*, *Design Notes* yang merupakan syarat-syarat umum yang harus dipenuhi dalam membuat LAK KH-IPSB3. Laju dosis langsung merupakan bahaya yang potensial dan dapat terjadi di dalam KH-IPSB3. Batasan ICRP 60 (1990) untuk dosis yang terjadi adalah 20 mSv/tahun yang ekivalen dengan bekerja terus menerus dengan dosis 10 μSv/jam (bekerja 2000 jam/tahun). Ketebalan air dan beton KH-IPSB3 didisain berdasarkan atas laju dosis dengan dosis 5 μSv/jam. Dengan demikian fasilitas tersebut dikatagorikan sebagai daerah yang bebas dimasuki semua orang (*unristricted access*) dan dijamin bahwa batasan ICRP untuk dosis radiasi yang terjadi tidak akan dilewati.

Potensi pelepasan radioaktivitas dan kontaminasi yang tidak dapat diterima akan dibatasi dan hal-hal tersebut dapat disebabkan oleh :

1. Aktivitas di dalam KH-IPSB3, seperti halnya penanganan dan penyimpanan bahan bakar bekas
2. KH-IPSB3 tidak untuk menerima bahan radioaktif dengan kontaminasi tinggi.
3. Karakteristik bahan bakar bekas sesuai ketentuan yang dipersyaratkan.
4. Waktu peluruhan pada waktu penerimaan bahan bakar bekas sesuai ketentuan yang dipersyaratkan.

KH-IPSB3 tidak diperbolehkan untuk menerima bahan radioaktif dengan kontaminasi tinggi. Bahan bakar eksperimen, bahan bakar RSG-GAS yang cacad dan bahan lain dengan tingkat kontaminasi tinggi dimasukkan ke dalam *can* atau didekontaminasi dahulu sebelum dikirim ke IPSB3. IPSB3 hanya digunakan untuk menangani dan menyimpan bahan radioaktif, bukan untuk kegiatan yang dapat menimbulkan kontaminasi. Kontaminasi yang mungkin timbul berasal dari bahan bakar bekas cacad dan hasil korosi yang terlepas dari bahan bakar. Sebagai gambaran tingkat kontaminasi untuk kolam yang sejenis di Inggris adalah 2 x 10-6 μCi/ml. Bahaya radiasi pada penyimpanan limbah radioaktif yang berupa bahan bakar bekas diakibatkan tidak terkendalinya suatu sumber radiasi yang secara langsung maupun tidak langsung dapat menimbulkan bahaya radiasi terhadap pekerja, masyarakat maupun lingkungan seperti kecelakaan pada pengangkutan limbah radioaktif berupa bahan bakar bekas baik dari PRSG maupun dari IRM dan IPR. Hal ini dapat dikendalikan karena pengiriman bahan bakar bekas dari PRSG melalui kanal hubung dan setiap kegiatan disertai PPR yang akan melaksanakan

ISSN 1978-0176

penanggulangan dengan menerapkan prinsip proteksi radiasi.

Prinsip umum proteksi radiasi justifikasi, optimasi dan pembatasan dosis individu diaplikasikan dalam membandingkan strategi dan pilihan opsi daur bahan bakar. Dosis laju dosis diperhitungkan timbul dari limbah dalam disposal dengan nilai yang rendah untuk semua keadaan pada kedua opsi, walaupun toksisitas hasil vitrifikasi limbah aktivitas tinggi dan polimerisasi limbah transuranium dan reprosesing. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung laju dosis dari bahan bakar nuklir bekas (BBNB) yang tersimpan di kolam KH-IPSB3. Dengan diketahuinya laju dosis tersebut maka akan didapat paparan yang *real time* dari masing-masing BBNB dan sebagai dasar untuk menentukan tebal shielding kontainer berdasarkan perhitungan pancaran radiasi BBNB dari dalam kontainer melewati ketebalan *shielding* menuju dinding luarnya, sehingga tidak melebihi batas aman yaitu 200 mrem/tahun, yang akan dilakukan pada penelitian selanjutnya.[2]

A. Karakteristik Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB)

Reaktor GA Siwabessy merupakan salah satu reaktor penelitian yang mempunyai daya dan fluks netron tinggi serta menggunakan bahan bakar uranium dengan pengayaan rendah dengan daya nominal 30 MW. Dalam pengoperasiannya reaktor ini memerlukan bahan bakar nuklir berupa 40 elemen bakar standar dan 8 elemen bakar kendali. Bahan bakar aktif adalah bahan bakar yang telah teriradiasi di dalam teras reaktor. Bahan bakar yang digunakan di RSG GAS adalah elemen bakar tipe *Material Testing Reactor* (MTR) dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75% , terdispersi dalam matriks Al bentuk plat. Spesifikasi bahan bakar nuklir bekas yang dipindahkan adalah elemen bakar bekas jenis U3Si2Al dan U3O8Al , uraniumnya berasal dari Amerika Serikat, burn up nya mencapai 49 - 59% dan telah mengalami pendinginan pendahuluan minimum selama 100 hari di kolam penyimpanan sementara RSG GAS.[6]

B. Pengaruh operasi reaktor pada bahan bakar nuklir

Selama iradiasi bahan bakar nuklir, bahan fisil awal (^{235}U) diubah menjadi unsur–unsur hasil fisi, dan unsur aktinida melalui reaksi aktivasi dengan neutron. Inventarisasi radionuklida dan radiokativitas serta tenaga termal yang dihasilkan BBNB akan tergantung pada komposisi bahan bakar dan bahan struktur dan pada derajat bakar (*burn-up*) sebagi fungsi dari fluks netron dan lamanya waktu iradiasi. Faktor – faktor utama operasi reaktor yang mempengaruhi distriubusi radionuklida dan mikrostruktur adalah suhu selama radiasi dan *burn – up* bahan bakar. Besarnya suhu berhubungan secara linier dengan tenaga yang dihasilkan oleh bahan bakar per satuan panjang dari batang bahan bakar (*fuel rod*). [7]

B. Karakteristik Distribusi Radionuklida dan Peluruhannya

Distribusi radionuklida dalam BBNB ditentukan dari kelimpahan absolut unsur hasil fisi sebagai fungsi *burn – up* bahan bakar, dan kelimpahan unsur aktinida dan unsur hasil aktivasi sebagai fungsi fluks netron. Komposisi bahan bakar nuklir sebelum dan sesudah digunakan dalam PLTN dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Komposisi Bahan Bakar sebelum dan sesudah digunakan Nuklida Bahan Bakar Baru Bahan Bakar Bekas [4]

Nuklida	Bahan Bakar Baru	Bahan Bakar Bekas
^{238}U	95,5%	93%
^{235}U	4,5%	1%
Pu + TRU (transuranium)	-	1%
Unsur hasil fisi	-	5%

*) TRU (Np, Am, Cm) dalam jumlah kecil kurang dari 0,1%

ISSN 1978-0176

Nuklida hasil fisi meliputi semua nuklida hasil fisi dan beberapa nuklida yang dihasilkan dari penangkapan netron oleh nuklida hasil fisi. Besar kontribusi radioaktivitas suatu radionuklida hasil fisi ditentukan oleh besarnya *yield* dan umur paronya. Kontributor utama radioaktivitas total sesudah penyimpanan 1 tahun meliputi 4 rantai peluruhan, yaitu: $^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y$, $^{106}Ru \rightarrow {}^{106}Rh$, $^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$, dan $^{144}Ce \rightarrow {}^{144}Pr$, ditambah radioaktivitas dari ^{134}Cs dan ^{241}Pu. Radionuklida ^{106}Ru dan ^{106}Rh mempunyai waktu paro yang pendek, yaitu masing – masing 368 hari dan 2,2 jam. Kemudian setelah 100 tahun, aktivitas total akan menurun dengan faktor 40 dengan hasil fisi (^{90}Sr ^{90}Y, ^{137}Cs dan ^{137}Ba) yang memberikan sekitar 80% dari total aktivitas. Aktinida umur panjang mendominasi aktivitas setelah 1000 tahun(>98%) yaitu ^{239}Pu, ^{240}Pu, dan ^{243}Am dan setelah 10.000 tahun (>94%) yaitu ^{237}Np, ^{239}Np, ^{239}Pu, ^{240}Pu, dan ^{241}Am. Penyimpanan jangka panjang berikutnya (100.000 tahun), radionuklida utama ^{99}Tc ($T^{1/2}$ = 2,1 x 105 tahun) dan ^{239}Pu (2,41 x 104 tahun), serta radionuklida yang ada dalam rantai peluruhan uranium [2]. Komponen non-bahan bakar dari kesatuan bahan bakar mengandung bagian komponen non-bahan bakar dari kesatuan bahan bakar mengandung bagian radioaktivitas yang lebih kecil dibanding dengan radioaktivitas dari batang bahan bakar. Meskipun demikian komponen non-bahan bakar dapat dipertimbangkan untuk disimpan dalam *repository*, baik sebagai kesatuan utuh misalnya, bahan bakar PLTN tipe CANDU (*Canadian Deuterium Uranium*) atau sebagai bahan limbah terpisah yang timbul selama penggabungan batang bahan bakar tipe Reaktor Air Ringan (LWR = *Light Water Reactor*). Radionuklida ^{60}Co akan mendominasi aktivitas pada periode awal setelah 50 tahun, sedang ^{59}Ni (T1/2 = 7,5 x 104 tahun) dan ^{63}Ni (T1/2 = 100 tahun) mendominasi aktivitas sampai awal – awal selama 1000 tahun, sedang ^{59}Ni (T1/2 = 7,5 x 104 tahun), ^{93}Zr (T1/2=1,5 x 106 tahun). ^{94}Nb (T1/2 = 2,0 x 104 tahun), dan ^{14}C (T1/2 = 5,73 x 103 tahun) mendominasi periode peluruhan sampai 10.000 tahun setelah BBNB dikeluarkan dari reaktor[4]. Sasaran utama pengelolaan bahan bakar bekas adalah bahwa bahan bakar tersebut harus disimpan secara aman, ekonomis, dan memenuhi ketentuan keselamatan terhadap manusia dan lingkungan, sampai bahan bakar bekas dipindah ke *repository* untuk penyimpanan akhir atau ke fasilitas pemerosesan ulang.

Ada 2 metode dasar dalam penyimpanan sementara bahan bakar bekas, yaitu metode penyimpanan dalam kolam air (penyimpanan basah), dan metode penyimpanan kering. Dalam kedua metode penyimpanan tersebut, fungsi dasar fasilitas yang harus dipenuhi ialah pengambilan panas dari bahan bakar bekas, perisai radiasi untuk mempertahankan batas tingkat radiasi yang diizinkan diterima di daerah kerja dan penahanan dan pengurungan unsur radioaktif guna mencegahpelepasan radionuklida ke dalam daerah kerja [8]. Perisai radiasi diperoleh melalui penyimpanan secara baik di dalam air dengan kedalaman yang cukup untuk penyimpanan basah, atau ruang tertutup berperisai untuk penyimpanan kering. Penahanan dan pengurungan unsur radioaktif diselesaikan melalui penyimpanan dalam air untuk penyimpanan basah dan ruang tertutup berperisai radiasi di dalam kontainer untuk penyimpanan kering. Untuk menghindari pelepasan sejumlah unsur radioaktif bila terjadi kondisi kecelakaan yaitu kerusakan kelongsong bahan bakar.

Tiga penyebab utama rusaknya kelongsong yaitu kerusakan fisik selama transfer, kerusakan karena temperatur maksimum kelongsong terlalu tinggi, dan kerusakan karena bahan kimia.

Sistem kolam memiliki 2 kekurangan penting yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Adanya kemungkinan kebocoran air kolam. Hal ini mudah dideteksi dan dapat diatasi sementara dengan menutup bagian kebocoran tersebut sampai dilakukannya perbaikan.
2. Korosi galvanis.

Penyimpanan bahan bakar bekasi sistem kering mempunyai keuntungan
sebagai berikut:

1. Keselamatan penyimpanan meningkat (2 penahanan pada bagian luar ditambah pemonitoran permanen)
2. Tahan terhadap intrusi, kejatuhan barang (benda) dan kejadian gempa.
3. Biaya perawatan dan operasi murah
4. *Modular design*

ISSN 1978-0176

5. Pembersihan, perawatan, dan perbaikan *cask* mudah dilaksanakan
6. Penyetelan sendiri dari penutup (*cover self-adjustment*) melalui konveksi udara

METODE

A. BAHAN DAN PERALATAN

1. Detektor monitor radiasi, Handling tools BBNB , Crane, Jembatan geser ,Tools set mekanik-elektrik, Surveymeter, APD
2. Bahan bakar nuklir bekas yang akan diukur laju dosisnya.

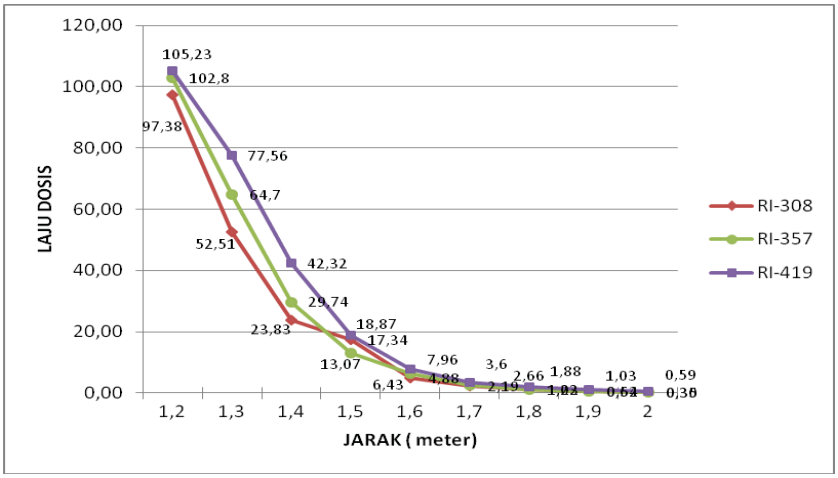
B. CARA KERJA

Memastikan semua alat dan bahan sudah siap digunakan dan seluruh personel kegiatan menggunakan APD yang sesuai. Memasang detektor pengukuran laju dosis di permukaan air . Menentukan BBNB yang akan diuji serta catat nomor rak posisi BBNB. Menggunakan *handling tool* untuk mengambil BBNB yang akan diuji dari rak dan memastikan kait sudah terkunci sebelum BBNB diangkat/dikeluarkan dari rack. Memindahkan BBNB di dekat detektor pada jarak 0,5 m hingga 2 meter. Pengukuran dilakukan selama 2 menit. Mencatat nomor BBNB dan waktu pengukuran kedalam logbook. Setelah proses pengukuran selesai, mengembalikan BBNB kedalam rak BBNB semula menggunakan handling tool dan jembatan geser. Hasil pengukuran adalah dosis laju dosis I sehingga I_0 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $I = I_0 . E^{-\mu x}$...(1)
Nilai dosis laju dosis dicacah selama waktu 2 menit untuk setiap jarak , pengambilan dilakukan selama 3 kali.

PEMBAHASAN

Analisis Data Pancaran Dosis Radiasi

Perhitungan nilai dosis laju dosis menggunakan data hasil pengukuran yang telah dilakukan. Hasil perhitungan laju dosis pada permukaan BBNB diperlihatkan pada Gambar 1. Dosis radiasi fungsi waktu dapat digunakan untuk menentukan nilai dosis dari BBNB dalam masa simpan tertentu..



Gambar 1. Grafik Laju Dosis (µSv/h) vs Jarak Pengukuran (meter)

Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa semakin besar jaraknya semakin kecil dosis radiasinya. Ini dikarenakan BBNB tidak diukur di udara terbuka, namun diukur di dalam kolam KH-IPSB3 dimana terdapat *shielding* berupa *demineralized water*.
Untuk mengetahui nilai dosis tanpa *shielding*, maka dilakukan perhitungan balik dosis dengan *shielding* menggunakan persamaan 1, untuk nilai µair= 0.277. Sebagai contoh diambil RI-308 pada jarak 1.2 m, perhitungannya ialah sebagai berikut:

$I = I_0 . E^{-\mu x}$ ..... (1)
$97{,}38 = I_0 . E^{-(0{,}277 . 1{,}2)}$
$I_0 = 97{,}38 . E^{(0{,}3324)}$
$I_0 = 135{,}78$

Jadi untuk nilai dosis laju dosis RI-308 tanpa *shielding* air ialah 138,78 µSv/h. Untuk keseluruhan perhitungan nilai dosis tanpa *shielding* dapat dilihat pada Tabel 2.

ISSN 1978-0176

Tabel 2. Pengukuran Dosis Tanpa Shielding

IDENTIFIKASI BBNB														
RI-308					RI-357					RI-419				
Jarak	Laju dosis/Laju Dosis (µSv/h)				Jarak	Laju dosis/Laju Dosis (µSv/h)				Jarak	Laju dosis/Laju Dosis (µSv/h)			
	Rata2	I_0	I_0 **	T*		Rata2	I_0	I_0 **	T*		Rata2	I_0	I_0 **	T*
1,2	97,38	135,78	135,78	9	1,2	101,81	141,96	141,96	7	1,2	103,09	143,73	143,7	5
1,3	52,51	75,28			1,3	64,71	92,76			1,3	76,96	110,32		
1,4	23,83	35,12			1,4	29,72	43,8			1,4	42,62	62,81		
1,5	17,45	26,43			1,5	12,86	19,49			1,5	18,82	28,52		
1,6	5,05	7,86			1,6	6,3	9,81			1,6	7,97	12,42		
1,7	2,22	3,56			1,7	2,56	4,09			1,7	3,52	5,63		
1,8	0,98	1,62			1,8	1,18	1,94			1,8	1,82	3		
1,9	0,5	0,85			1,9	0,62	1,05			1,9	0,95	1,61		
2	0,27	0,47			2	0,36	0,63			2	0,56	0,97		

Jarak dalam meter
T* = waktu penyimpanan dikolam

Kemudian hasi dari perhitungan I_0 di*plotting* ke dalam grafik dan ditentukan persamaan yang digunakan sebagai persamaan proyeksi dosis radiasi fungsi waktu. Persamaan yang digunakan untuk proyeksi ialah persamaan grafik fungsi pangkat. Pemilihan nilai untuk *plotting* grafik ialah I_0 pada jarak 1,2 m karena yang paling mendekati I_0 pada kondisi riil, dari *plotting* tersebut didapatkan persamaan sebagai berikut:

$y = 144.55\ x^{-0.048}$....(2)

Persamaan tersebut digunakan untuk proyeksi nilai dosis laju dosis fungsi waktu, ditunjukkan pada Gambar 2. Sebagai contoh menentukan nilai dosis pada BBNB berumur 9 tahun ialah

$y = 144,55.\ x^{-0.048}$

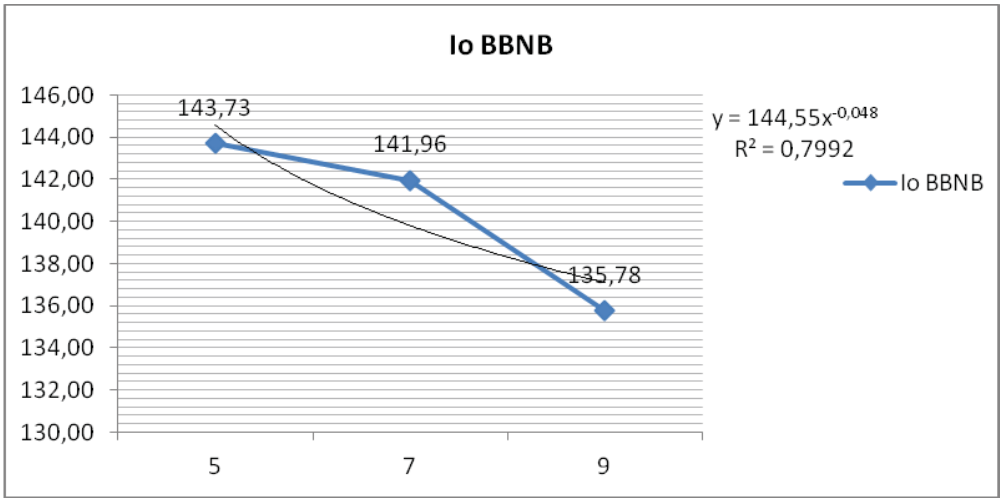
$y = 144,55.\ (9).^{-0.048}$.

$y = 130,0812$

Maka berdasarkan persamaan proyeksi tersebut, nilai dosis untuk BBNB berumur 9 tahun ialah 130.0812 µSv/h.

Kemudian dari persamaan tersebut didapatkan lah data nilai dosis laju dosis berdasarkan umur BBNB, ditunjukkan pada Tabel 3.

ISSN 1978-0176



Gambar 2. Grafik Proyeksi Dosis Radiasi Fungsi Waktu Penyimpanan

Tabel 3. Dosis laju dosis berdasarkan umur BBNB

Tahun Unload	Tahun Storage Input	Umur	Laju dosis (µSv/jam)	Laju dosis (mrem/jam)
2011	2015	4	135,2444	13,5244
2010	2015	5	133,8035	13,3804
2009	2015	6	132,6377	13,2638
2008	2015	7	131,6599	13,1660
2007	2015	8	130,8187	13,0819
2006	2015	9	130,0812	13,0081
2005	2015	10	129,4250	12,9425
2004	2015	11	128,8342	12,8834
2003	2015	12	128,2973	12,8297
2002	2015	13	127,8053	12,7805
2001	2015	14	127,3515	12,7351
2000	2015	15	126,9304	12,6930
1996	2015	19	125,4983	12,5498
1995	2015	20	125,1897	12,5190
1994	2015	21	124,8969	12,4897

Dari Tabel 3. dapat terlihat bahwa semakin muda umur bahan bakar nuklir bekas di pindahkan dari teras reaktor maka semakin besar laju dosisnya. Dari data tersebut akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya, yaitu mengukur ketebalan *shielding dry cask*, yang kan dilanjutkan pada penelitian berikutnya.

KESIMPULAN

Telah dilakukan pengukuran laju dosis pada 3 bakan bakar nuklir bekas pada Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas, yang berbeda umur *unloading* dari teras reaktor. Dari hasil pengukuran didapat bahwa semakin dekat jarak pengukuran akan semakin besar laju dosisnya dan semakin muda

umur bahan bakar nuklir bekas dipindahkan dari teras reaktor maka semakin besar laju dosisnya. Hasil perhitungan akan didapat laju dosis berdasarkan umur BBNB dapat dijadikan acuan untuk perhitungan tebal *shielding* kontainer untuk penyimpanan *dry storage* yang akan dilakukan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Republik Indonesia. 2002. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Indonesia tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*. Jakarta: Sekertariat Negara
2. Rigby, Douglas B. *Evaluation of Technical Basis for Extended Dry Storage and Transportation of Used Nuclear Fuel.* 2010. United State Nuclear Waste Technical Review Board
3. Salimin, Zainus dan Gunandjar. 2010. *Pengelolaan Bahan bakar Nuklir Bekas Radioaktif sebagai Bentuk Akhir Limbah Radioaktif*. Tangerang BATAN
4. Salimin, Zainus dan Rahayu, Dyah Sulistyani. 2010. *Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas sebagai Penentu Program Pembangunan PLTN*. Jakarta BATAN
5. Rahayu, Dyah Sulityani dan Budianti, Arie. 2011. *Pemindahan Bahan Bakar Nuklir Bekas dari Kolam Reaktor ke Cask Transnuclear Material Testing Reactor*. Jakarta: BATAN
6. Salimin, Zainus dan Rahayu, Dyah Sulistyani. 2010. *Unjuk Kerja Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas PLTN dalam Kaitan Dengan Teknologi Penyimpanannya*. Tangerang BATAN
7. Rahayu, Dyah Sulistyani. 2012. *PengembanganTeknologi Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas dan Material Teriradiasi di KHIPSB3* Tangerang BATAN

Pertanyaan :

1. Dari Unggul Hartoyo (PRSG)

Apakah laju dosis personil yang mengerjakan penelitian/kegiatan selama mengikuti kegiatan tidak melebihi dosis sesuai persyaratan?

Jawab :

Selama melakukan kegiatan selalu didampingi oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dan tidak terjadi lonjakan laju dosis/paparan yang melebihi persyaratan.

2. Dari Salman Putra (STTN)

Bagaimanakah solusinya apabila bahan bakar nuklir bekas (bbnb) dikolam sudah penuh ?

Jawab :

Kapasitas kolam adalah 1458 bbnb, dan sekarang tersimpan 245 bundel bbnb. Apabila penuh maka akan dipindah ke dry storage yang sekarang masih dalam tahap kajian design. Tetapi hal ini bisa diperhitungkan dengan menghitung jumlah bbnb tiap tahun yang akan dipindahkan ke kolam KHIPSB3 selama masa ijin operasi reaktor.

ISSN 1978-0176

STUDI ALIRAN UAP PANASBUMI DI DALAM PIPA MENGGUNAKAN MODEL DISPERSI AKSIAL

Sugiharto
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta, Indonesia.

ABSTRAK

STUDI ALIRAN UAP PANASBUMI DI DALAM PIPA MENGGUNAKAN MODEL DISPERSI AKSIAL. Meskipun dapat dianggap sebagai fasa tunggal, aliran fasa uap geothermal di dalam pipa menunjukkan fenomena yang kompleks disebabkan oleh transport konveksi dan difusi di dalam skala molekular. Dalam situasi seperti itu, aliran fluida biasanya digambarkan dengan menggunakan persamaan diferensial yang berisi suku difusi dan konveksi. Dalam makalah ini, aliran fasa uap geothermal di pelajari secara eksperimen menggunakan model dispersi aksial. Eksperimen dilakukan dengan cara menginjeksikan isotop gas Krypton-85 (^{85}Kr) ke dalam pipa berdiameter 10 inci yang berisi uap kering geothermal. Tekanan dan temperatur uap masing-masing adalah 8 kg.cm^{-2} dan 170°C. Tiga detektor radiasi terkolimasi yang masing-masing ditempatkan pada jarak 127, 177 dan 277 m dari titik injeksi digunakan untuk merekam radiasi gamma yang berasal dari isotop ^{85}Kr yang diinjeksikan. Data yang diperoleh dari injeksi isotop ^{85}Kr disebut data distribusi waktu tinggal yang menggambarkan lamanya masing-masing partikel isotop tinggal di dalam segmen yang dipilih sebagai tempat eksperimen. Selama eksperimen, sifat-sifat aliran diasumsikan tidak berubah terhadap waktu, sehingga parameter-parameter aliran diasumsikan konstan. Parameter aliran yang dihitung menggunakan metode waktu tinggal rata-rata menunjukkan bahwa laju aliran uap geothermal adalah sebesar 11 m.s^{-1}. Parameter model, digammbarkan dengan bilangan Peclet (P_e), yang diprediksi berdasarkan *fitting* terbaik antara model dispersi aksial pada data eksperimen menunjukkan bahwa *fitting* terbaik terjadi manakala nilai bilangan Peclet sama dengan 223. Koefisien difusi molekular (μ) yang dihitung menggunakan bilangan Peclet adalah sebesar 0,5 m^2.s^{-1}. Hasil eksperimen menyimpulkan bahwa aliran fas uap di dominasi oleh transport konveksi dan aliran cenderung berperilaku seperti aliran plug.

Kata kunci: geothermal, distribusi waktu tinggal, model disperse aksial, ^{85}Kr, bilangan Peclet.

ABSTRACT

STUDY OF GEOTHERMALVAPOR FLOW IN PIPE USINGAXIAL DISPERSION MODEL. *Although it is considered as a single phase, geothermal vapor phase flow in pipe shows a complex phenomena due to convective and diffusive transports in molecular scale. In such situation, the flow is usually described using partial differential equation containing diffusion and convection terms. In the present paper, the flow of geothermal vapor phase is studied experimentally using axial dispersion model. The experiment is carried out by injection of Krypton-85 (^{85}Kr) gas isotope into the pipe of 10 inch diameter containing dry geothermal vapor. The pressure and the temperature of the vapor is 8 kg.cm^{-2} and 170°C respectively. Three collimated radiation detectors positioned respectively at 127, 177 and 277 m from the injection point are employed to record gamma radiation from ^{85}Kr isotope. The obtained data from injection fo ^{85}Kr is called residence time distribution (RTD) data which shows residence of each isotope particles in the selected experimental section. During the experiment, the flow properties is assumed time invariant, therefore the flow parameters is assumed constant. Flow parameters calculated using mean residence time (MRT) method shows that the flow rate of the vapor is 11 m.s^{-1}. Model parameters, represented by the Peclet number (P_e), which is predicted based on best fitting the axial dispersion model to the experimental data shows that the best fitting is occurred when the Peclet number is 223. The coefficient of molecular diffusion (μ), calculated using the Peclet number is 0.5 m^2.s^{-1}. The experiment concludes that the vapor phase flow is dominated by convection transport and the flow pattern tend to follow plug flow.*

Key words: geothermal, residence time distribution (RTD), axial dispersion model, ^{85}Kr, Peclet number.

ISSN 1978-0176

INTRODUCTION

Geothermal is renewable energy resource with little or almost no pollution. The resources are distributed throughout the Earth crust. Their locations are easily recognized by warm groundwater in sedimentary formation area or in deep water circulation system in crystalline rock. The greatest energy concentration is usually associated with hydrothermal system in volcanic regions. Groundwater in the geothermal reservoir absorbs heat energy from hot rock and the hot fluids penetrate to the earth's surface due to differential pressure through crustal plate boundaries [1].

Although potential use of the geothermal resources is huge and it's availability is abundant, however, only very small fraction of geothermal resources can currently be converted commercially into electricity and heating source using today's technology. Geothermal is exploited by drilling the surface of the earth at several points above geothermal reservoirs. Superheated water from the beneath of the earth's surface are pumped out from which the steam phase is used to drive turbine [2].

Located in string active volcanic landscape in the Pacific Ring, Indonesia archipelago has vast reservoirs of underground water. The underground heat is relatively easy to exploit because it is close to the earth's surface. Indonesia's potential geothermal energy has been predicted to reach 28,000 MW, equivalent to 12 billion barrel of oil and account to 40 % world's geothermal resources. Currently, Indonesia is at the third rank as world's largest geothermal energy producers behind United States and the Philippines. Today's Indonesia installed geothermal generator is around 1200 MW electricity from six geothermal fields in Java, North Sumatra and North Sulawesi. By 2025, Indonesia aims to produce more than 9,000 MW of geothermal power, becoming the world's leading geothermal energy producers [2].

Flow rate is one of the most important parameter in fluid transport pipe. Measurement of flow rate in geothermal pipe has special class of difficulty because of low viscosity of the fluids in high temperature and pressure environment. The common device for volume flow measurement is differential pressure meter such as orifice plate. Such device is inserted into a fluid-carrying pipe causing an obstruction and creates a pressure difference on side of the device. The flow measurement using orifice plate is inferior in accuracy hence such device should be calibrated regularly with predetermined time interval [3]

One of the available alternate methods for flow measurement is the method of residence time distribution (RTD) which was the first time introduced by Danckwert [4]. The RTD concept states that if the flow velocity cannot be obtained because lack of flow meters, let inject a suitable radiotracer at inlet of the system and monitor it's concentration at the outlet of the system. Measured concentration of radiotracer, usually in form of a graph, at the outlet represents the time of the radiotracer resides in the system. Obtained RTD data can then be used for calculating flow parameters and for analyzing faults that may take place in the system, such as flow rate, channeling or short-circuiting and dead volume [5].

Among available tracers, the gamma emitting radiotracer is the most suitable to be used for industrial application because gamma radiation can penetrate shielding make it possible to be detected from outside, therefore, an on-line measurement can be performed at real time. Physico-chemical compatibility between the radiotracer and traced materials are wide range available. Suitable various type and energy of radiotracers are available and can be chosen one to meet the system requirement [5]

Radiotracer techniques have become important tools in various industrial applications. Chemical and radioactive tracers have been used for various research activities either in laboratory scale or in complex industrial plants. Flow rate measurement of geothermal fluids in pipes using various chemical and radioactive tracers has been reported [6,7]. Steam flow of geothermal fluids using alcohol tracer has also been conducted and documented [8]. Residence time distribution and axial dispersion model has been applied for experiments at various structure of constructions. The influence of packing density in the packed bed tube was measured to observe the flow behavior of liquid [9]. Gas flow in pebble bed nuclear

ISSN 1978-0176

reactor has been studied [10]. Flow of single phase fluid in pulsed sieve plate column was measured and simulated [11]. Continuous flow of sands and broken rice has been applied to investigate the influence of rotational speed, kiln slope, material flow and exit dam height to the performance of the pilot scale rotary kiln equipped with filter [12]. Mixing properties has been characterized by mean of flow visualization through series of measurement using particle imaging velocity meter (PIV) and planar laser induced fluorescence (PLIF) in Taylor-Couette apparatus [13]. Hydrodynamic behavior of gas and fluid flow rate in a lab-scale trickle bed reactor (TBR) containing silica particles has been investigated by evaluating residence time distribution obtained from conductivity measurement [14]. State profiles of plug flow reactor has been modeled including axial dispersion by moment method of a polynomial approximation [15]. Radiotracer for study or residence time distribution in multiphase flow in hydrocarbon transport (HCT) has been studied and reported [16,17]. The same author used ^{82}Br radiotracer for determination of molecular and turbulent diffusivities in single phase flow of water in small diameter of pipe was also published [18].

The purpose of this paper is two folds. First is to report flow rate measurement of vapor phase of geothermal fluids in pipe. Second, develop RTD model called axial dispersion model for analyzing the RTD data obtained from injection of ^{85}Kr gas isotope with appropriate boundary condition. Model parameter, the Peclet number (Pe), is then used to calculate molecular diffusion coefficient. Results obtained from this experiment can be used to predict the flow pattern of the vapor phase in geothermal pipe and potentially be used to calibrate the installed flow meter in the pipe.

GOVERNING EQUATION

Vapor phase flow in geothermal pipe is one of physical phenomena in fluid mechanic which is usually described by second order differential equations. In micro scale point of view, the injected radiotracer into fluid flow in the pipe is basically comprises two kind process of transports, namely diffusion or dispersion and convection. Diffusion process in one dimensional is expressed by Fick's law which has the form.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{dx^2} \quad (1)$$

where D is molecular diffusion coefficient and C is radiotracer concentration. Diffusion process is usually caused by gradient concentration and random motion of particles in the bulk flow due to turbulent eddies [12]. As just mentioned above, injected radiotracer is not only diffused but are also move in the direction of bulk flow which is known as convection. By this fact, the complete complex governing of equation of injection of radiotracer into vapor phase flow in geothermal pipe is

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

where U is velocity in x direction.

One of the available numerical solutions for Eqn. (2) is by modeling the RTD data obtained from injected radiotracer as proposed by Danckwerts [4]. To model the RTD, an assumption is needed where the injection radiotracer performed very fast to fulfill the delta Dirac function or simply impulse injection. If $C(t)$ is the concentration of the radiotracer at the outlet of the system obtaining from the impulse injection at the inlet of the system, then the RTD function $E(t)$ is defined as

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^\infty C(t)\,dt} \quad (3)$$

Equation (3) represents fraction of radiotracer materials in the system. The integration of denominator represents normalized area which is proportional to the total radiotracer injected. From Eqn. (3) it follows that the concept of RTD is basically related to the concept of area which can further be exploited using statistical moments [5].

EXPERIMENT

The Kamojang Geothermal site

ISSN 1978-0176

Kawah Kamojang geothermal field, located in the Gandapura-Guntur volcanic terrain of West Java and 42 km south east of Bandung, is one of only few dry steam reservoir in the world that has been developed for energy production. The two other dry steam reservoirs are The Geysers in California (USA) and Larderello (Italy) [2]. Exploration of geothermal resources in Kamojang field can be traced back to Dutch colonial era. The first proposal on volcanoes energy in 1918 was introduced to explore this site. In 1926, five shallow exploration wells were drilled by the Netherlands East Indies Vulcanological Survey. One of these wells, called Kamojang 3 (KMJ-3), was first successful producing steam from a depth of 700 meters at a temperature of 140°C and a pressure of 3.5 to 4 bar and still discharging superheated steam until now.

In 1974 the Government of New Zealand drilled five wells in the Kamojang area. Pertamina in 1975 onward was then continuing to drill and installed 30 MW, Unit-1 power plant utilizing steam from six wells. More wells have been drilled and the Kamojang generating capacity was then expanded from 30 to 140 MW in 1987 supplied by 26 wells. In 2008, the total capacity production of Kamojang geothermal energy reached to 200 MW from 81 wells which are composed into four units. A study carried out by Enjineering Kamojang and Bandung Institute of Technology (ITB) confirmed that the Kamojang geothermal field could be operated with a capacity up to 230 MW for the next 30 years. Today's ownership composition of Kamojang geothermal area is as follow: The steam field, including unit 4 with 60 MW, is operated by the state-owned oil company, PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE), and the Units 1, 2 and 3 power plants are belong to PT. Indonesia Power (IP) [19].

Krypton-85 isotope.

Krypton-85 (^{85}Kr) isotope has been chosen as radiotracer because it is a noble gas that is not reacting chemically with vapor phase of geothermal fluids. It's energy is at medium level which is safe to handle with appropriate container. The half-life of the ^{85}Kr isotope is very long, so there is no problem with long-distance transportation. When released to the air, the isotope will immediately be diffused leads to very low concentration in the sky. The properties of ^{85}Kr isotope is summarized in the Table 1.

Table 1.^{85}Kr gas radiotracer properties.

Radionuclide	Half time	Energy (keV)	Chemical form
^{85}Kr	10.7 year	γ = 510 β = 840	Gas

Experiment.

Flow rate measurement was performed by injection of ^{85}Kr noble gas radioisotope into the 10 inch diameter of geothermal pipe through sampling point, located ± 10 m from geothermal production well, KMJ-14. Injection preparation has been made by transferring isotope from 2500 ml stainless capsule into 500 cm^3 small capsule with activity of ± 650 mCi. The air pressure in the small capsule was increased to 65 kg.cm^{-2}, much higher than internal pressure in the geothermal pipe which at the level of 8 kg.cm^{-2}. This strategy was considered as one of the best option in order for the isotope to be able to go into the pipe based on pressure difference. In order to increase the safety factor, an additional high pressured N_2 gas was connected in series to one end of small capsule containing fresh water. The other one end of the small capsule containing ^{85}Kr isotope was then connected to the injection point through flexible stainless tubing. This network forms an injection system. Prior to injection, dummy tests had been performed in order to make sure that the designed injection system is work well as expected.

Injection of ^{85}Kr radiotracer was conducted in very short time. Three collimated NaI(Tl) radiation detectors (Ludlum Measurement, USA), designated as D1-D3, were placed at the distance of 127, 177 and 227 m from injection point, respectively. Radiation level at the injection point was monitored by environmental survey meter. These detectors were connected to 12 channels data-logger (Ludlum Measurement, USA). The data logger has been set up to record 2400 data points at the rate interval of 0.05 s. Concentration of ^{85}Kr radiotracer in the pipe were recorded by these detectors. The completed experimental data including background level was then

ISSN 1978-0176

transferred to the computer and saved for subsequent data analysis and interpretation. The preliminary treatment of the tracer data included radiation back ground subtraction and area normalization was performed.

RESULT AND DISCUSSION.

Experimental data is presented in Fig. 1. Two of three detectors which are at position 127 and 177 m from injection point have given responses, whereas the third one has no response. The data represent radiotracer concentration with respect to the measurement time in the pipe. During time of evolution, the radiotracer concentration may be dispersed due to convection and diffusion processes [12].

The RTD data obtained from this experiment show low concentration of radiation intensity because of short time interval setting, but this is typical for fast flow measurement. Setup of time interval rate of event at every 0.05 s was intended to get much more data of measurement with consequence that the radiation intensity of each curve will be low, otherwise the data will be lose. Fluctuated radiation intensity was strongly affected by parameter setting of the measurement. Non-response of the third detector might be caused by connection problem to the detector. However, two of three obtained data still give invaluable information for flow assaying the flow being under investigated.

Flow measurement.

Flow measurement theoretically can be calculated using two methods (1) peak to peak and (2) through mean residence time (MRT). The transit time calculated using the peak-to-peak method is straightforward performed, namely by measuring the distance between two peak positions of the curves. This method is only suitable applied for situations where the shape of RTD curve is ideally slim, symmetric, and containing one peak only. In real situations, however, the obtained RTD curves often do not show the ideal shape, therefore, the calculation of flow velocity is best performed through MRT method. Statistically, mean residence time is the first moment which is formulated as [5, 21].

$$\tau = \frac{\int_0^t tC(t)\,dt}{\int_0^t C(t)\,dt} \qquad (4)$$

where τ is mean residence time (MRT) representing the centroid of the RTD curve.

As the system was operated normally during the course of experimental time, it was assumed that the system was time-invariant which means that the quantities of flow parameters including the volumetric flow were constant. It was also assumed that the flow was steady state. As the distance of the two detectors is definitely known and the inner diameter of the pipe was fixed, the flow velocities of vapor phase of geothermal fluids can be calculated precisely.

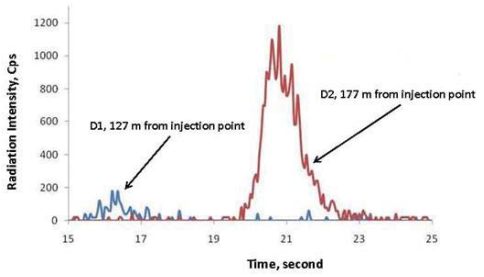


Figure.1. RTD data obtained from injection of ^{85}Kr radiotracer into geothermal pipe.

To our understanding, the flow rate measurement using radiotracer method was the first attempt in the Kamojang geothermal field to investigate vapor flow characteristics with very high accuracy. Other experimental work have also been performed by others engineers from private company, Thermochem, a specialist in chemical non-radioactive tracer flow test [6]. They injected various chemical tracers such as fluoride, bromine, fluorescein dye, sodium benzoate, rhodamine WT and naphthalene disulfonate into the pipe for measuring geothermal liquids. As the chemical tracers are unable to be recorded on-line even by a special designed detector, a sampling technique has to be applied to obtain tracer data. Moreover, sampling technique requires considerable big volume of chemical tracers to be injected continuously. Injection more volume of chemical tracers may cause instability to the geothermal fluids due to

ISSN 1978-0176

disturbance coming from the injected chemical tracer which may lead to reduce the accuracy of measurement.

From this technical point of view, it is believed that flow measurement using radioactive materials gives better result than any other type of flow measurement methods. In certain case, the radiotracer technique can serve as a tool for calibration of any installed flow meters [21]. During performing the experiment, unfortunately, the flow rate data read-out from the orifice plate installed near to the wellhead was not well recorded, therefore the current flow data cannot be compared with respective data obtained from respective installed measuring device.

Flow modeling.

RTD modeling so called the axial dispersion model is one of the available methods for characterization of fluid flow in various tubular reactors such as one that is being analyzed in this paper. It is worth to note that the RTD data obtained from the experiment cannot be defined by any mathematical function definitively, therefore the analytical solution cannot be obtained accordingly. It is intuitively to introduce a governing equation describing the physical problem of the flow. Concerning to this experiment, the vapor flow in geothermal pipe was analyzed using axial dispersion model with the governing equation of vapor flow is Eqn. (2). This model is the classical one for describing one-dimensional convection and dispersion transport including dependence of radiotracer concentration with time and this model is commonly used for evaluation of fluids flow in tubular reactor like the one in pipe [5, 20].

In fluid mechanics applications, non-dimensional equation is very common way to study a wide variety of physical phenomena or engineering problem because it can reduce the complexity of the problem, give insight into fundamental scales of the problem. In this study, the counting time, t, is transformed into dimensionless time, $\theta = t/\tau$, which called reduced time. Other flow quantities to be transformed is that $z = (Ut + x)/L$, the distance along the pipe segment. By applying these dimensionless quantities, Eqn. (2) can be written in the form

$$\left(\frac{D}{UL}\right)\frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} - U\frac{\partial C}{\partial Z} = \frac{\Delta C}{\partial \theta} \qquad (5)$$

where,
$C = C(t)/C(0)$ is radiotracer concentration, dimensionless.
$Pe = UL/D$ is model parameter, which is called the Peclet number, dimensionless.
U is linier velocity, $m.s^{-1}$
D is axial dispersion coefficient, or molecular diffusion coefficient, $m^2.s^{-1}$
$C(t)$ is tracer concentration at time, t
$C(0)$ is tracer concentration at time $t = 0$
$z = (Ut + x)/L$ is the distance, dimensionless.
$\theta = t/\tau$ is reduced time, dimensionless.

A new constant D/UL in Eqn. (5) is called the dispersion number which opposite to the Peclet number which formulated as UL/D. The Peclet number represents the ratio of transport due to convection to the transport due to diffusion. In the axial dispersion model, the Peclet number is the only model parameter needs to be calculated. The property of the Peclet number is that, when $UL/D \to 0$ the flow is represented as well-mixed flow, like flow in stirred continuous tank reactor (CSTR), whereas when $UL/D \to \infty$ the flow is represented as plug flow.

As mentioned previously that solution of Eqn. (5) is solely depend on given boundary conditions. One of the most relevant from four available boundary conditions is open-open boundary condition because the flow condition in pipe on which the radiation detector placed is undisturbed. The open-open boundary condition requires $\partial C_\theta/\partial z = 0$ at $z = 0$ and $\partial C_\theta/\partial z = 0$ at $z = L$. By applying these conditions, the solution of Eqn. (5) is [21, 22].

$$E(\theta) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\theta(D/uL)}}\exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4\theta(D/uL)}\right] \qquad (6)$$

After formulating the required governing equation and determining the boundary condition, then the modeling process is performed using Excels software from Microsoft®. All radiotracer experimental data are input to the software for subsequent processing. In this experiment, the input data is assumed as a narrow pulse (Dirac's delta function) and output data is the RTD data obtained from D2. The RTD data obtained from detector 1 (D1) is not processed because

ISSN 1978-0176

the signal is too low. The task of the software is to perform a parameter optimization processes. Determination of the selected model is based on the best fit with the experimental data. The quantity of the best fit is judged by choosing the model parameter to minimize the root mean square error (RMSE) which formulated as

$$\mathrm{RMS} = \left\{\frac{1}{N_T}\sum|E(\theta) - E_{model})|^2\right\}^{0.5} \quad (7)$$

where N_T is the number processed data

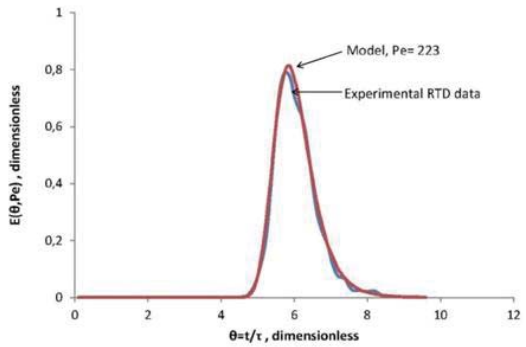


Figure. 2. Fitting curve of the RTD axial dispersion model on RTD experimental data

Fitting curve between the selected model and the experimental data is presented in Fig. 2. From this simulation, it can be seen that the selected axial dispersion model gives best fitting when the Peclet number, **Pe**, is 233. By this value it indicates that the vapor flow of geothermal fluids is to follow plug flow in character. Furthermore, the Peclet number also indicates that diffusion process is occurred in the vapor flow, with calculated molecular diffusion equation is equal to 0.5 $m^2.s^{-1}$. As refer to the property of the Peclet number and as mentioned elsewhere, the value of Peclet number as big as 223 indicates that the vapor flow in geothermal pipe is dominated by convection transport [12, 14, 15]. When **Pe** > 100, it is believed that axial diffusion can be neglected [9]. The corresponding error calculated using Eqn. (7) is at the value of 0.02, extremely low, indicating that the fitting was excellent and the experimental data is appropriately described by the proposed axial dispersion model. All calculation on flow properties is summarized in Table 2.

Table. 2. Flow properties of vapor phase of geothermal fluids in pipe.

Transit time, **t (s)**	Distance, **L (m)**	Flow rate, **V** ($m.s^{-1}$)	Molecular diffusion coefficient, **D** ($m2.s^{-1}$)
4.5	50	11	0.5

To sump up, flow rate measurement using ^{85}Kr radiotracer method was able to reveal the character of the vapor flow of geothermal fluid in pipe. Calculation of flow velocity through the concept of MRT gives an accurate result. Simulation of experimental RTD data using the axial dispersion model was able to quantize model parameter, **Pe**, based on the best fitting curve of the RTd model to the experimental RTD data with the error of fitting (RMSE) is very low. The molecular diffusion coefficient of the vapor flow, **D**, is calculated from the obtained Peclet number.

CONCLUSION.

Measurement of vapor phase flow in pipe of Kamojang geothermal field has been carried out successfully and safely for the first time using ^{85}Kr noble gas radioisotope. Through well prepared equipment and appropriate procedure, the difficulties related to the technical aspects such as high temperature and high pressure was able be overcome by work well of injection system. The flow rate of vapor phase of geothermal liquids measured form injection ^{85}Kr radiotracer is 11 $m.s^{-1}$. The Peclet number as big as 223 predicted based on best fitting of the axial dispersion model to the experimental data shows that the vapor flow is dominated by convection transport and the flow tends to follow plug flow. Furthermore, the molecular diffusion coefficient calculated from this model is 0.5 $m^2.s^{-1}$, indicating low diffusion process compared with the convective flow.

ACKNOWLEDGEMENT.

The author thank PT. Pertamina Geothermal Energy, Area Geothermal Energy Kamojang for kind cooperation and provided field work.

ISSN 1978-0176

REFERENCES

1. A. K. Mortensen and G. Axelsson, at 'Short Course on Conceptual Modelling of Geothermal Systems' organized by UNU-GTP and La Geo, in Santa Tecla, El Salvador, February 24 - March 2, 2013
2. D. L. Gallup, Production engineering in geothermal technology: A review. *Geothermics*, vol 38, pp 326 – 334, 2009
3. A.S. Morris, *Measurement and Instrumentation Principles*, 3rd ed., Butterworth Heinemann., Oxford, 2001
4. P.V. Danckwerts, Continuous flow systems, distribution of residence times, *Chem. Eng. Sci*, vol 2, pp. 1 – 13, 1953
5. IAEA, *Radiotracer Applications in Industry – A Guidebook*, Vienna, Austria, 2004
6. P. N. Hirtz, R. J. Kunzman, M. L. Broaddus, J. A. Barbita, Development of tracer flow testing for geothermal production engineering, *Geothermics*, vol 30, pp. 727 – 745, 2001
7. Sugiharto, Wibisono, Kushartono, Achdiyat, B. Azmi, T. Suryantoro, A. Yani and Z. Abidin, Flow characteristic of vapor phase of geothermal fluid in pipe using isotope ^{85}Kr and residence time distribution modeling, *Atom Indonesia* Vol 40 No. 2, pp. 89 – 95, 2014
8. B. G. Lovelock, Steam flow measurement using alcohol tracers, *Geothermics*, vol 30, pp. 641 – 654, 2001
9. Z. Wu and G.Q. Chen, Axial dispersion effect on concentration dispersion, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol 84, pp. 571 – 577, 2015
10. R.S. Abdulmohsin and M.H. Al-Dahhan, Axial dispersion and mixing phenomena of the gas phase in a packed-bed reactor, *Annal of Nuclear Energy*, vol 88, pp. 100 – 111, 2016
11. N.S. Kohle, Y.H. Mirage, A.V. Parwardhan, V.K. Rathod, N.K. Padey, U.K. Mudali and R. Natarajan, CFD and experimental studies of single phase axial dispersion coefficient in pulsed sieve plate column, *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 89, pp. 1909 -1918, 2011
12. A.S. Bongo Njeng, S. Vitu, M. Clausse, J.L. Dirion and M. Debacq, Effect of filter shape and operating parameters on the flow of meterials in a pilot rotary kiln: Part I. Experimental RTD and axial dispersion study, *Powder Technology*, vol. 269, pp. 554 – 565, 2015
13. M. Nemri, S. Charton and E. Climent, Mixing and axial dispersion in Taylor-Couette flows: The effect of the flow regime, *Chemical Engineering Science*, vol. 139, pp. 109 – 124, 2016
14. A. Bittante, J. Garcia-Serma, P. Biasi, F. Sobron and T. Sami, Residence time and axial dispersion of liquid in Tricle Bed Reactor at laboratory scale, *Chemical Engineering Journal*, vol. 250, pp. 99 – 111, 2014
15. J. Roininen, V. Alopaeus, The moment method for one-dimensional of dynamic reactor model with axial dispersion, *Computer and Chemical Engineering*, vol. 35, pp. 423 – 433, 2011
16. Sugiharto, Z. Su'ud, R. Kurniadi, W. Wibisono and Z. Abidin, Radiotracer Method for Residence Time Distribution Study in Multiphase Flow System, *Appl. Radiat. Isot*, vol 67 1445 – 1448, 2009
17. Sugiharto, R. Kurniadi, Z. Abidin, Z. Stegowski and L. Furman, Prediction of separation lenght of turbulent multiphase flow using radiotracer and computational fluid dynamics simulation, *Atom Indonesia*, vol. 39, pp. 32 – 39, 2013
18. Sugiharto, Z. Stegowski, L. Furman, Z. Su'ud, R. Kurniadi, A. Waris and Z. Abidin, Dispersion determination in a turbulent pipe flow using radiotracer data and CFD analysis, *Computer & Fluids*. Vol. 79, pp. 77 – 81, 2013
19. S. Suryadarma, T. Dwikorianto, A. Zuhro and A. Yani, Sustainable development of Kamojang geothermal field, *Geothermics*. Vol. 39, pp. 391 – 399, 2010

20. H. Kasban, O. Zahrtan, B. Arafa, M. El-Kordy, S.M.S. Elaraby, F.E. Abd El-Samie, Laboratory Experiment and modeling for industrial radiotracer application, *App. Radiat. Isot*, vol. 68, pp. 1049 – 1056, 2010
21. IAEA, *Radiotracer Residence Time Distribution Method for Industrial and Environmental Applications, Training Course Series*. Vienna , 2008
22. O. Levenspiel., *Chemical Reaction Engineering*, 2nd ed., New York, John Wiley &Sons., 1972

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

KOMPONEN BIAYA BAHAN BAKAR NUKLIR PADA BIAYA PEMBANGKITAN LISTRIK PLTN BESAR DAN KECIL

Mochamad Nasrullah

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir,
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710 email: nasr@batan.go.id

ABSTRAK

KOMPONEN BIAYA BAHAN BAKAR NUKLIR PADA BIAYA PEMBANGKITAN LISTRIK PLTN BESAR DAN KECIL. Bahan bakar merupakan salah satu komponen penting untuk menghitung biaya pembangkitan listrik. Penelitian menggunakan data capital cost untuk Engineering Procorument Construction PLTN 1000 dan PLTN 100. Biaya operasional dan perawatan menggunakan data pengalaman PLN dan biaya bahan bakar nuklir menggunakan data tahun 2015. Tujuan penelitian untuk menghitung biaya pembangkit listrik PLTN dan mengetahui porsi biaya bakar nuklir baik front-end maupun back end yang menggunakan program LEGECOST. Metodologi yang digunakan adalah membandingkan biaya bahan bakar PLTN ukuran SMR dan besar dengan menggunakan program LEGECOST dari International Atomic Energy Agency (IAEA). Hasil penelitan menunjukkan dengan discount rate 10%, biaya PLTN 1000 dan PLTN 100 menunjukkan biaya investasi PLTN 1000 sebesar 66,08 US$/MWh dengan porsi 74% dan PLTN 100 sebesar 70,91 US$/MWh dengan porsi 69,07% dari keseluruhan biaya PLTN, untuk biaya operasi dan maintenance PLTN 1000 sebesar 14,61 US$/MWh dengan porsi 16,26%, sedangkan untuk PLTN 100 sebesar 24,31 US$/MWh porsi 23,68%. Total biaya bahan bakar PLTN 1000 sebesar 9,14 US$/MWh dengan porsi 10,16%, terdiri atas biaya front end sebesar 5,66 US$/MWh dengan porsi 6,30% dan biaya back end 3,47 US$/MWh dengan porsi 3,86%. Sedangkan hasil perhitungan biaya bahan bakar PLTN 100 ukuran SMR menunjukkan 7,39 US$/MWh dengan porsi 7,20%, terdiri atas biaya front end sebesar 7,24 US$/MWh dan biaya back end sebesar 0,16 US$/MWh. Perbedaan biaya bahan bakar disebabkan kapasitas daya nilai burn-up dari reaktor, harga uranium alam per kg biaya proses (konversi. pengkayaan dan fabrikasi) biaya back end, efisiensi termal, faktor kapasitas, perbedaan gaji dan upah tenaga kerja, pengaruh kenaikan bahan material, struktur spesifikasi konstruksi yang dibuat, peraturan yang terkait dengan PLTN dan masalah lingkungan.

Kata kunci: Biaya pembangkitan listrik, Biaya bahan bakar, PLTN Besar dan Kecil

ABSTRACT

COMPONENTS OF NUCLEAR FUEL COSTS IN GENERATION COSTS LARGE AND SMALL NPP. *Fuel is one of the important components to calculate the cost of power generation. The study uses data capital cost Engineering Procorument Construction of NPP 1000 and NPP 100. Operations and maintenance costs based on PLN experience, and fuel cost of NPP using the data in 2015. The aim of study is to calculate the cost of power generation of nuclear power plants and nuclear fuel cost portion knowing both front-end and back-end using the program LEGECOST. The methodology played to compare fuel cost of NPP large and SMR using LEGECOST program of IAEA. The results showed with discount rate of 10%, generation cost of NPP 1000 and NPP 100 shows investment costs of NPP 1000 is 66,08 US $ / MWh with portion of 74% and NPP 100 is 70,91 US $ / MWh with portion 69,07% of portion NPP, for cost of operation and maintenance of NPP 1000 is 14,61 US $ / MWh with portion 16,26%, while for the 100 NPP is 24,31 US $ / MWh portion of 23,68%. The total fuel cost NPP 1000 is 9,14 US $ / MWh with portion 10.16%, consisting of front end cost is 5,66 US $ / MWh with portion 6,30% and a back end cost is 3,47 US $ / MWh with portion 3,86%. While the results of the calculation of fuel cost NPP 100 showed 7,39 US $ / MWh with portion 7,20%, consisting of front end cost is 7,24 US $ / MWh and a back end cost is 0,16 US $ / MWh. Differences in fuel costs caused power capacity, value of burn-up of the reactor, uranium price per kg cost process (conversion, enrichment and fabrication) costs back end, thermal efficiency, capacity factor, differences in wages and labor costs, the effect of rising materials, structure construction specifications are made, the regulations related to NPP and environmental problems.*

Keywords: Generation costs, Fuel costs, NPP Large and Small.

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Salah satu informasi yang sangat diperlukan oleh calon investor dalam keputusan berinvestasi pada proyek pembangkit listrik energi baru terbarukan adalah masalah biaya pembangkitan listrik teraras atau Levelized Unit Electricity Cost (LUEC) dari energi baru dan terbarukan tersebut. Nilai LUEC ini akan menjadi acuan dalam menentukan besarnya tarif listrik. Salah satu mekanisme pembelian energi listrik yang banyak diterapkan dalam proyek pembangkitan listrik dari energi baru terbarukan adalah mekanisme feed-in tariff [1].

Perhitungan biaya pembangkit listrik terdiri dari tiga komponen. yaitu biaya investasi, bahan bakar serta operasi dan perawatan. Biaya investasi PLTN biasanya disebut biaya sesaat (overnight cost), yaitu biaya yang belum memasukkan tingkat suku bunga selama konstruksi atau Interest During Construction (IDC). Biaya ini terdiri dari biaya EPC (Engineering Procurement Construction), biaya pengembangan (development costs) dan biaya lain-lain (other costs) serta biaya contigency. Bahan bakar nuklir (nuclear fuel) merupakan bahan bakar yang dibutuhkan oleh PLTN untuk dapat beroperasi guna menghasilkan energi listrik selama waktu hidupnya (life time). Biaya operasi dan perawatan merupakan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan operasi rutin PLTN dan besarnya bergantung pada teknologi dan kapasitas daya yang terpasang [2] Dalam studi ini akan di fokuskan pada biaya bahan bakar.

Studi ini bertujuan untuk menghitung biaya pembangkit listrik PLTN dan mengetahui porsi biaya bakar nuklir baik front-end maupun back end yang menggunakan program LEGECOST dengan mempertimbangkan parameter teknis dan ekonomis yang diambil dari berbagai data sekunder dan sumber lainnya. Ruang lingkup studi ini adalah PLTN-1000 yaitu PLTN berkapasitas daya sebesar 2 x 1117 MWe dan PLTN-100, yaitu PLTN berkapasitas daya 100 MWe

Penelitian dilakukan dengan mengambil data sekunder dan menggunakan data terbaru tahun 2015. Untuk biaya investasi menggunakan data dari PLTN 2 x 1117 MWe dan PLTN 1 x 100 MWe. Komponen biaya bahan bakar (front-end costs) disajikan data harga bulanan dari tahun 1968 sampai dengan tahun 2016. dalam kajian ini diambil harga bahan bakar PLTN tahun 2015 rata-rata tahunan. sedangkan komponen biaya penanganan bahan bakar bekas (back-end cost) diambil dari data sekunder yang disesuaikan dengan kondisi tahun 2015. Biaya operasi dan perawatan diasumsikan dari data sekunder dan khusus upah tenaga kerja diambil dari data Indonesia berdasarkan standar gaji PT PLN (Persero) yang telah disesuaikan dengan kondisi tahun 2015.

METODOLOGI

LUEC atau *Levelized Generation Cost (LGC)* adalah biaya pembangkitan listrik yang di-*levelized* sehingga menjadi cost/kWh, yang terdiri dari biaya investasi atau *capital* pembangunan pembangkit, fixed O&M *cost*, variable O&M *cost* dan biaya bahan bakar **[3].** LGC tidak termasuk biaya transmisi, sehingga sering disebut juga *busbar cost.* Perbandingan keekonomian dari jenis pembangkit yang berbeda biasa dilakukan dengan konsep LUEC atau LGC ini. Tujuan perbandingan LUEC antar jenis pembangkitan adalah untuk membantu pengambil keputusan dalam memilih jenis pembangkit yang akan dikembangkan *(resource allocation)*. Formula yang dipakai untuk menghitung LUEC adalah sebagai berikut [3]:

$$\mathbf{LUEC} = \frac{\Sigma t\,(I_t + O\&M_t + F_t + D_t) / (1 + r)^t}{\Sigma t\,((E_t) / (1 + r)^t)}$$

Dimana:
E_t : Listrik yang diproduksi dalam tahun t
r : *discount rate* per tahun
I_t : Biaya Investasi dalam tahun t
$O\&M_t$: Biaya Operasi dan pemeliharaan dalam tahun t
F_t : Biaya bahan bakar dalam tahun t
D_t : Biaya Decommissioning dalam tahun t

KOMPONEN BIAYA PLTN

Biaya investasi PLTN biasanya disebut biaya sesaat *(overnight cost)* yaitu biaya yang belum memasukkan tingkat suku bunga selama konstruksi atau *Interest During Construction* (IDC). Biaya ini terdiri dari biaya EPC *(Engineering Procurement Construction).*

ISSN 1978-0176

biaya pengembangan *(development costs)* dan biaya lain-lain *(other costs)* serta biaya *contigency*. Komposisi biaya kapital untuk EPC terdiri atas biaya *nuclear island*, *conventional island, balance of plant. construction dan erection work. design dan engineering.* Biaya investasi yang dihitung disesuaikan dengan *disbursement* selama masa konstruksi. dan data tersebut diambil dari data terbaru tahun 2015. Secara rinci ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Unit dan Biaya Investasi PLTN [4, 5]

No	Studi Kasus	Jumlah Unit	Unit Kapasitas (MWe)	**Biaya Sesaat Juta US$**	**Biaya sesaat US$/kWe**
1	PLTN SMR-100	1	100	497	4970
2	PLTN 1000	2	1117	9406	4210

Pembangunan PLTN memerlukan dana yang cukup besar sehingga biasanya pemilik modal *(owner)* tidak cukup dana untuk membiayai pembangunan PLTN tersebut. *Owner* biasanya meminjam dana dari lembaga keuangan internasional. dengan demikian ada konsekuensi biaya berupa *interest during construction* (IDC). Biaya sesaat apabila ditambahkan dengan IDC disebut juga dengan biaya investasi. Secara rinci biaya investasi ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Biaya Investasi Termasuk IDC PLTN [4, 5]

No	Studi Kasus	Biaya Sesaat (juta US$)	IDC (juta US$)	Total Biaya Investasi (JutaUS$)	Total Biaya Investasi (US$/kWe)
1	PLTN SMR-100	497	76	573	5734
2	PLTN 1000	9406	2531	11937	5343

Biaya Bahan Bakar Nuklir

Bahan bakar nuklir *(nuclear fuel)* merupakan bahan bakar yang dibutuhkan oleh PLTN untuk dapat beroperasi guna menghasilkan energi listrik selama waktu hidupnya. Daur bahan bakar nuklir mencakup seluruh aktivitas mulai dari eksplorasi. penambangan. penggilingan. pemurnian. pengayaan dan kemudian dilanjutkan dengan fabrikasi menjadi elemen bakar nuklir untuk siap digunakan dalam operasi reaktor dan akhirnya menjadi bahan bakar bekas. Ada dua jenis daur bahan bakar nuklir. yaitu daur terbuka dan daur tertutup.

Pada daur terbuka tidak ada pengolahan bahan bakar nuklir bekas**.** yaitu bahan bakar nuklir bekas diperlakukan sebagai limbah akhir yang akan disimpan sementara dalam penyimpanan 'onsite' yang akan dibongkar bersamaan pada saat dekomisioning. Pada daur tertutup bahan bakar bekas diolah kembali untuk mengambil sisa uranium yang belum 'terbakar' dan plutonium yang dapat dipergunakan kembali sebagai bahan bakar nuklir [6] **.**

Komponen biaya bahan bakar nuklir terdiri atas dua bagian. yaitu *front-end costs* dan *back-end costs*. *Front-end costs* adalah biaya-biaya yang berkaitan dengan proses bahan bakar yang terjadi sebelum bahan bakar masuk reaktor yang meliputi empat tahap. yaitu: biaya pembelian uranium , biaya konversi ke uranium hexafluorida/UF_6, biaya pengayaan dan biaya fabrikasi. *Back-end cost* adalah biaya yang berkaitan dengan proses bahan bakar setelah bahan bakar dipakai dalam reaktor hingga penyimpanan lestari.

a. Front-End Cost

Komponen *front-end costs* diambil dari data rata-rata tahunan tahun 2015 dari komponen *front-end costs* tersebut. Secara rinci ditunjukkan pada Tabel 3. Harga uranium rata-rata tahun 2015 sebesar 36.75 US$/lb. Sedangkan 1 lb setara dengan 0.453592 kg. Pada bulan Juli 2015. perkiraan biaya US $

ISSN 1978-0176

untuk mendapatkan 1 kg dari uranium sebagai UO2 bahan bakar reactor. Pada 60.000 MWd/t burn-up memberikan 460.800 kWh electrical per kg sehingga biaya bahan bakar sebesar 0.43 ¢/kWh [9]

Tabel 3. Rincian Harga Bahan Bakar Nuklir Tahun 2015 [7, 8]

Komponen *front-end Costs*	Faktor Pengali	Harga (US$)	Total (US$)	Harga (%)
Uranium	8,9 kg U_3O_8	81*)	721	36
Conversion	7,5 kg U	11,65	87	4
Enrichment	7,3 SWU	127,17	928	47
Fuel fabrication	per kg (approx)	240	240	12
Total. approx			1977	100

b. Back-end cost

Back-end cost merupakan biaya penanganan bahan bakar bekas sesudah dipakai dan keluar dari reaktor. berupa biaya penyimpanan sementara *on-site* di PLTN dan biaya penyimpanan lestari di *repository* akhir. Untuk daur bahan bakar tertutup biaya *back-end* juga termasuk biaya *reprocessing*. Biaya *back-end* dalam kajian ini tidak dibebankan pada biaya bahan-bakar. tetapi dibebankan kepada biaya tetap operasi dan perawatan setiap tahun sebagai tabungan untuk menghimpun dana agar kelak pada akhir umurnya akan tersedia dana untuk *disposal* lestari. Memperkirakan biaya *back-end cost* sangat sulit. karena nilai *back-end cost* yang dilaporkan oleh negara-negara yang telah memiliki PLTN ternyata sangat bervariasi. Oleh karena itu dalam penelitian ini diasumsikan diambil dari salah satu studi [13], *back end cost* sebesar 1,09 US$/MWh terdiri atas *disposal* sebesar 1,00 US$/MWh dan *waste disposal* sebesar 0,09 US$/MWh semuanya dalam harga tahun 2003. Jika diasumsikan eskalasi sebesar 3% per tahun, maka dihasilkan *back end cost* 1,554 US$/MWh terdiri atas *disposal (nuclear fuel disposal)* sebesar 1,426 US$/MWh dan *waste disposal (temporary on site storage)* sebesar 0,128 US$/MWh semuanya dalam harga estimasi tahun 2015. Di beberapa negara Eropa dan Asia yang mempunyai biaya *back end* rata-rata 2.03 US$/MWh [14]. sedangkan di Amerika Serikat sebesar 1.09 US$/MWh [15]**.** Adanya dua jenis daur bahan bakar terbuka dan tertutup juga dapat mempersulit estimasi *back-end cost,* sedangkan biaya dekomisioning pada penelitian ini diasumsikan rata-rata 320 US$/kWe harga tahun 2007.

c. Burn-up bahan bakar nuklir

Burn-up bahan bakar nuklir merupakan besarnya energi yang dihasilkan oleh reaktor untuk setiap metrik ton U^{235}. Besarnya *burn-up* U^{235} tergantung pada teknologi reaktor yang dari tahun ke tahun terus meningkat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perkembangan *Burn-up* dari tahun ke tahun [10]

Tahun	*Enrichment (%)*	*Burn-Up* (MWd per metrik ton)
1993	3,84	42.000
1998	4,07	46.000
2004	4,39	50.000
2008	4,73	55.000
2018	5,04	60.000

Nilai *burn-up* yang dipakai pada studi ini baik PLTN 1000 MWe maupun PLTN 100 MWe adalah 60.000 MWd per metrik ton uranium. Sedangkan *enrichment* untuk PLTN 1000 MWe sebesar 4.55% dan PLTN 100 MWe sebesar 4.88%. *Plant net Efficiency* untuk PLTN 1000 MWe sebesr 32% dan PLTN 100 MWe sebesar 27%. Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5.

Biaya Operasi Dan Perawatan

Biaya operasi dan perawatan *(O&M Cost)* merupakan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan operasi rutin PLTN. Biaya operasi dan perawatan besarnya bergantung pada teknologi dan kapasitas daya yang terpasang. Biaya operasi dan perawatan dibedakan menjadi dua. yaitu biaya tidak tetap operasi dan perawatan dan biaya tetap operasi dan perawatan.

ISSN 1978-0176

Tabel 5. Data Desain PLTN 1000 MWe dan 100 MWe [11]

Tahun	*Enrichment (%)*		*Burn-Up* (MWd per metrik ton)		*Plant net efficiency (%)*	
	100 MWe	1000 MWe	100 MWe	1000 MWe	100 MWe	1000 MWe
2025	4,88	4,55	60.000	60.000	27	32

a. Biaya tetap operasi dan perawatan

Biaya tetap operasi dan perawatan merupakan biaya operasional rutin yang antara lain meliputi biaya pegawai, *property tax, plant insurance dan life-cycle maintenance*. Rincian biaya tetap operasi dan perawatan diasumsikan diambil dari data Indonesia berdasarkan standar gaji PT PLN (Persero).

Dalam menentukan biaya pegawai dikategorikan menjadi dua. yaitu (1) biaya *general administrative* dan *biaya management.* (2) biaya pegawai langsung yang selanjutnya disebut *labor cost.* Biaya operasi rutin dan perawatan merupakan biaya yang dialokasikan untuk melaksanakan perawatan asset. Total biaya *routine operation* dan *maintenance cost* diambil dari studi *Dominion Energy Inc. Bechtel Power Corp.* tahun 2004 yaitu sebesar US$ 68.411.326 per tahun [11]. Dengan menggunakan eskalasi 3% per tahun akan dihasilkan estimasi total biaya *routine operation* dan *maintenance cost* PLTN 1000 sebesar US$ 19,52 per kWe sedangkan PLTN 100 sebesar US$ 4,36 per kWe. *Property tax* merupakan biaya yang dialokasikan untuk membayar pajak bumi dan bangunan. Total biaya *property tax* adalah sebesar US$ 18.947 untuk semua kasus. Asuransi pembangkit merupakan biaya yang dialokasikan untuk membayar asuransi PLTN yang meliputi reaktor nuklir. *steam generator*. turbin dan peralatan lain dalam sistem PLTN. Biaya asuransi pembangkit diperhitungkan 0.25% dari aset total pada masing-masing kasus.

b. Biaya variabel operasi dan perawatan

Biaya variabel operasi dan Perawatan terdiri dari biaya-biaya untuk Perawatan langsung unit pembangkit. Perawatan gedung pembangkit dan perawatan oleh *outsourcing.* Besarnya biaya variabel O&M diadopsi dari sebuah studi yang dilakukan oleh *Departement of Energy* Amerika Serikat pada tahun 2004. yaitu sebesar US$ 15.000.000 untuk 1 unit AP-1000 atau sebesar US$ 14.286/kWe [11]. Pada penelitian ini diperkirakan tahun 2015 besarnya biaya variabel operasi dan perawatan PLTN 1000 rata-rata sebesar US$ 27, 017 /kWe dan PLTN 100 rata-rata sebesar US $ 6,036 /kWe.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biaya investasi PLTN 1000 sebesar 4.210 US$/kWe dan biaya investasi PLTN 100 sebesar 4.970 US$/kWe, jika ditambah IDC biaya investasi PLTN 1000 menjadi 5.343 US$/kWe dan PLTN 100 menjadi 5.734 US$/kWe. Biaya operasi dan *maintenance* PLTN 1000 terdiri atas *fixed O&M cost* sebesar *120,61 US$/kWa* dan *Variable O&M cost* sebesar 2,79 *mills/KWh.* Demikian juga dengan *PLTN 100, fixed O&M cost* sebesar 170,92 US$/kW.a dan *Variable O&M cost* sebesar 2,79 *mills/KWh.* Total biaya bahan bakar PLTN 1000 sebesar 9,14 US$/MWh, sedangkan biaya bahan bakar PLTN 100 ukuran SMR sebesar 7,39 US$/MWh.

Hasil perhitungan biaya pembangkit listrik PLTN 1000 ukuran *large* dan PLTN 100 ukuran SMR menunjukkan bahwa biaya investasi PLTN 1000 sebesar 66,08 US$/MWh menempati porsi 74% dan PLTN 100 sebesar 70,91 US$/MWh dengan porsi 69,07% dari keseluruhan biaya PLTN, untuk biaya operasi dan *maintenance* PLTN 1000 sebesar 14,61 US$/MWh dengan porsi 16,26%, sedangkan untuk PLTN 100 sebesar 24,31 US$/MWh porsi 23,68%. Total biaya bahan bakar PLTN 1000 sebesar 9,14 US$/MWh dengan porsi 10,16%, terdiri atas biaya *front end* sebesar 5,66 US$/MWh dengan porsi 6,30% dan biaya *back end* 3,47 US$/MWh dengan porsi 3,86%. Sedangkan hasil perhitungan biaya bahan bakar PLTN 100 ukuran SMR menunjukkan 7,39 US$/MWh dengan porsi 7,20%, terdiri atas biaya *front end* sebesar 7,24 US$/MWh dan biaya *back end* sebesar 0,16 US$/MWh.

Hasil perhitungan menunjukkan semakin besar kapasitas daya listriknya maka semakin rendah biaya pembangkitan listriknya. Meskipun harga uranium, biaya konversi, *separative work* dan fabrikasi yang dijadikan referensi sama nilainya antara PLTN 1000 dan PLTN 100, namun total biaya bahan bakar baik untuk biaya *front end* dan *back end*

ISSN 1978-0176

menunjukkan perbedaan, perbedaan biaya bahan bakar disebabkan perbedaan beberapa parameter seperti *enrichment*, *burnup*, *annual fuel feed*. Biaya *decommissioning* dalam beberapa referensi ada yang dimasukkan kedalam biaya investasi, ada juga yang dimasukkan kedalam biaya operasi dan perawatan. Biaya *decommissioning* diambil dari referensi rata-rata sebesar 320 US $/kWe [15], sehingga pada PLTN 1000, biaya *decommissioning* menjadi 715 juta US$ dan biaya *decommissioning* PLTN 100 sebesar 32 juta US $. Secara rinci hasil perhitungan biaya pembangkitan listrik PLTN dari PLTN 1000 MWe dan PLTN 100 MWe dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Biaya Pembangkitan Listrik PLTN

			PLTN 1000		PLTN 100	
No	Keterangan	Satuan	Nilai	Porsi (%)	Nilai	Porsi (%)
1	Biaya Investasi	US$/MWh	66,08	73,52	70,91	69,07
	Decommissioning	US$/MWh	0,05	0,06	0,05	0,05
2	Biaya Operasi dan *Maintenance*	US$/MWh	14,61	16,26	24,31	23,68
3	Biaya Bahan Bakar					
	Komponen *front-end costs*					
	Harga Uranium alam	US$/MWh	2,59	2,88	3,31	3,22
	Biaya Konversi	US$/MWh	0,35	0,39	0,45	0,44
	Biaya *Separative work*	US$/MWh	2,14	2,38	2,79	2,72
	Biaya Fabrikasi	US$/MWh	0,58	0,64	0,69	0,67
	Komponen *back-end costs*					
	Disposal	US$/MWh	3,19	3,54	0,14	0,14
	Temporary on-site storage	US$/MWh	0,29	0,32	0,01	0,01
	Total Biaya Pembangkitan	US$/MWh	89,88	100,00	102,67	100,00

KESIMPULAN

Biaya investasi PLTN 1000 sebesar 4.210 US$/kWe dan biaya investasi PLTN 100 sebesar 4.970 US$/kWe, jika ditambah IDC biaya investasi PLTN 1000 menjadi 5.343 US$/kWe dan PLTN 100 menjadi 5.734 US$/kWe. Hasil perhitungan biaya pembangkit listrik PLTN 1000 ukuran *large* dan PLTN 100 ukuran SMR menunjukkan bahwa biaya investasi PLTN 1000 sebesar 66,08 US$/MWh menempati porsi 74% dan PLTN 100 sebesar 70,91 US$/MWh dengan porsi 69,07% dari keseluruhan biaya PLTN.

Biaya operasi dan *maintenance* PLTN 1000 terdiri atas *fixed O&M cost* sebesar 120,61 US$/kW.a dan *Variable O&M cost* sebesar 2,79 mills/KWh. Sedangkan PLTN 100, *fixed O&M cost* sebesar 170,92 US$/kW.a dan *variable O&M cost* sebesar 2,79 mills/KWh. Biaya operasi dan maintenance PLTN 1000 sebesar 14,61 US$/MWh dengan porsi 16,26%, sedangkan untuk PLTN 100 sebesar 24,31 US$/MWh porsi 23,68%.

Total biaya bahan bakar PLTN 1000 sebesar 9,14 US$/MWh dan PLTN 100 ukuran SMR menunjukkan 7,39 US$/MWh. Total biaya bahan bakar PLTN 1000 sebesar 9,14 US$/MWh dengan porsi 10,16%, terdiri atas biaya *front end* sebesar 5,66 US$/MWh dengan porsi 6,30% dan biaya *back end* 3,47 US$/MWh dengan porsi 3,86%. Sedangkan hasil perhitungan biaya bahan bakar PLTN 100 ukuran SMR menunjukkan 7,39 US$/MWh dengan porsi 7,20%, terdiri atas biaya *front end* sebesar 7,24 US$/MWh dan biaya *back end* sebesar 0,16 US$/MWh.

Perbedaan biaya pembangkitan disebabkan selain ukuran kapasitas daya, nilai *burn-up* dari reaktor, harga uranium alam per kg, biaya proses (konversi. pengkayaan dan fabrikasi), biaya *back end*, efisiensi termal dan faktor kapasitas juga perbedaan gaji dan upah tenaga kerja. pengaruh kenaikan bahan materia, struktur spesifikasi konstruksi yang dibuat, peraturan yang terkait dengan PLTN dan masalah lingkungan.

ISSN 1978-0176

DAFTAR PUSTAKA

1. MOCHAMAD NASRULLAH, NURYANTI, Studi Perbandingan Biaya Pembangkitan Listrik Teraras Pada Pembangkit Energi Terbarukan Dan PLTN. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung, 4 Juli 2013
2. MOCHAMAD NASRULLAH, Studi Perbandingan Harga Dan Tarif Listrik PLTN Dari Berbagai Negara. Laporan Presentasi Ilmiah tanggal Kantor Pusat BATAN 1 Mei 2009
3. EMWG, "User's Manual for G4-ECONS Version 2.0 A Generic EXCEL-Based Modelfor Computation of the Projected Levelized Unit Electricity Cost (LUEC) and/or Levelized non-Electricity Unit Product Cost (LUPC) from Generation IV Systems", EMWG. 2008.
4. NEA (Nuclear Energy Agency). Current Status, Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors; OECD, NEA: Paris, France, 2011
5. THE UNIVERSITY OF CHICAGO, EPIC, Analysis Of GW-Scale Overnight Capital Costs, Technical Paper November. The University Of Chicago, EPIC, 2011
6. IAEA, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 425, IAEA. Vienna 2005
7. THE UX CONSULTING COMPANY, LLC http://www.uxc.com, 2016 Diakses Maret 2016.
8. WNA," Economics of Nuclear Power", WNA. 16 February 2015.
9. PT. PURNA BINA INDONESIA (PBI) BECHTEL, Financing Study for First Indonesia Nuclear Power Plant Project, Final Report- March. PT. Purna Bina Indonesia (PBI) Bechtel. 1997
10. CHRISTOPHER, RADEK SKODA, Comparison of Small Modular Reactor and Large Nuclear Reactor Fuel Cost, 2014.
11. US DOE. "Study of Construction Technologies and Scedules. O&M Staffing and Cost. Decommissioning Costs and Funding Requirements for Advanced Reactor Designs" (Volume 1). prepared by Dominion Energy Inc. Bechtel Power Corp. May 2004. US DOE.
12. THE UNIVERSITY OF CHICAGO, The Economic Future Of Nuclear Power, The University Of Chicago, August 2004
13. WORLD NUCLEAR ORGANISATION, Overall costs of radioactive waste management, including decommissioning, IAEA. Vienna, 2003
14. DEPARTEMENT OF ECONOMICS, UNIVERSITY OF CHICAGO, 'The Economic Future of Nuclear Power', Chicago, Agustus 2004
15. OECD-NEA, Decommissioning Nuclear Power Plant, OECD, NEA 2003

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

SISTEM AKUISISI DATA UNTUK PENGUKURAN VARIABEL PROSES PELARUTAN SERBUK *YELLOW CAKE* MENJADI URANIL NITRAT DI INSTALASI PEMURNIAN DAN KONVERSI

Sugeng Rianto, Triarjo, Meniek Rachmawati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN
Email : sugeng-r@batan.go.id

ABSTRAK

SISTEM AKUISISI DATA UNTUK PENGUKURAN VARIABEL PROSES PELARUTAN SERBUK *YELLOW CAKE* DI INSTALASI PEMURNIAN DAN KONVERSI (PCP). Pelarutan adalah proses untuk merubah uranium bentuk padat yang terdapat dalam yellow cake menjadi uranium bentuk cair dalam larutan uranil nitrat (UNH). Proses pelarutan dilakukan dalam temperatur uap panas (*steam*) dan tekanan dibawah tekanan atmosfer, oleh karena itu diperlukan pemahaman tentang variabel proses yang memadai untuk keperluan pengendalian proses dengan suatu sistem akuisi data yang mampu mengukur dan menyimpan semua variabel proses selama proses pelarutan ini berlangsung. Sistem akuisisi data yang dibangun ini memonitor variabel proses pelarutan yaitu temperatur, tekanan, level dan densitas proses. Hasil akuisisi data varibel proses pada satu siklus proses pelarutan telah diperoleh data variabel proses sebanyak 15.636 sampel data. Untuk parameter temperatur proses terjadi kenaikan sampai suhu pelarutan mencapai 99,325^{o}C. Parameter tekanan ketika proses pelarutan berlangsung terjadi fluktuasi dan stabil pada kisaran -300mmH_2O. Parameter level proses pelarutan naik dari 75% menjadi 85%, dan untuk parameter densitas proses pelarutan terjadi perubahan menjadi 1,6 kg/liter. Data proses ini selanjutnya di gunakan untuk penelitian karakterisasi proses pelarutan lebih lanjut.

Kata kunci: akuisisi data, variabel proses, pelarutan.

ABSTRACT

DATA ACQUISITION SYSTEM FOR MEASUREMENT DISSOLUTION VARIABLE DATA PROCESS YELLOW CAKE POWDER TO URANIL NITRATE IN THE PURIFICATION AND CONVERSION INSTALLATION (PCP). *The dissolution process is changing the solid uranium form yellow cake into uranium in liquid form in a solution of uranyl nitrate (UNH). Dissolution process carried out in a temperature steam heat and pressures below atmospheric pressure, therefore the necessary understanding of the process variables are adequate for the purposes of process control with the data acquisition system capable of measuring and storing all process variables during the dissolution process is underway.This data acquisition system was developed to monitor the dissolution process variables is temperature, pressure, level and density of the process. The results of the acquisition of process variables on the cycle of the leaching process has obtained the necessary process variable data as many as 15.636 samples of process data. Pressure process parameter leaching takes place when there is a fluctuation and stable in the range - 300 mmH_2O. Level process parameter leaching increased from 75% to 85%, and for the dissolution process parameter changes the density to 1.6 kg /liter. The process that can be used for characterization studies further dissolution process.*

Key words: Data acquisition, process variables, Dissolution.

PENDAHULUAN

Program pemerintah dan kajian terhadap penggunaan energi nuklir terus berkembang di Indonesia. Kajian tersebut bertujuan untuk mempelajari kemungkinan penggunaan bahan bakar nuklir sebagai salah satu sumber energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi nasional.

Bahan bakar nuklir sebagai komponen utama dalam pengoperasian reaktor nuklir baik rektor daya (PLTN) maupun reaktor riset, akan memegang peranan penting di masa datang. Hingga saat ini bahan bakar nuklir yang banyak digunakan adalah uranium, dimana bahan uranium tersebut cukup tersedia dalam jangka

ISSN 1978-0176

waktu lama di Indonesia. Uranium tersebut juga dimanfaatkan sebagai penyusun utama di dalam bahan bakar nuklir baik untuk reaktor riset maupun reaktor daya[1].

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN, yang berada di kawasan Puspiptek Serpong mempunyai Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) yang dilengkapi dengan fasilitas konversi yang berfungsi untuk mengolah bahan baku *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 yaitu *Pilot Conversion Plant* (PCP). Fasilitas tersebut terdiri dari beberapa unit proses, salah satunya adalah unit pelarutan (Seksi 300) yang berfungsi untuk melarutkan serbuk *yellow cake* (YC) menjadi larutan Uranil Nitrat/$UO_2(NO_3)_2$ atau (UN)[3].

Proses pelarutan bertujuan untuk merubah uranium bentuk padat yang terdapat dalam *yellow cake* menjadi uranium bentuk cair dalam larutan uranil nitrat (UN) sehingga memudahkan proses pemisahan uranium dengan pengotor-pengotornya pada proses pemurnian. Proses pelarutan serbuk YC dilakukan dengan menggunakan asam nitrat (HNO_3) dengan menggunakan 3 (tiga) parameter proses yaitu konsentrasi asam nitrat, suhu proses pelarutan dan laju pengadukan.

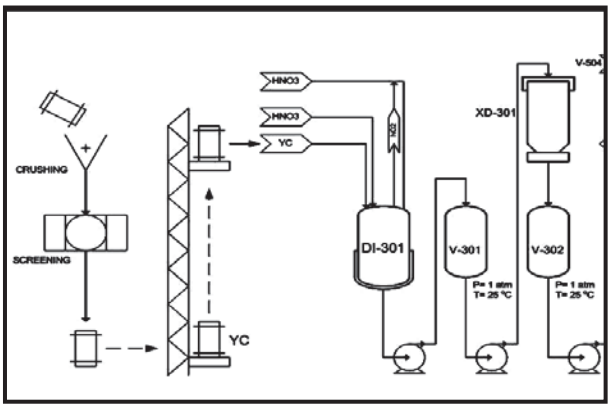
Di alam bebas uranium dalam *yellow cake* terikat dalam bentuk oksida U_3O_8 sehingga jika direaksikan dengan asam nitrat HNO_3 akan menghasilkan larutan uranil nitrat dengan mengikuti persamaan reaksi sbb :

$$U_3O_8+HNO_3 \Longrightarrow UO_2(NO_3)_2+NO_2+H_2O \quad \text{..... (1)}$$

Proses pelarutan dilakukan dalam tangki pelarutan DI-301 (*dissolver tank),* menggunakan sumber panas dari *steam* dan sebagai pengaduk digunakan sistem pengaduk udara tekan (*compressed air*) yang disemburkan/ digelembungkan dari bawah tangki pelarutan [4] .

Proses pelarutan serbuk YC dimulai dari proses *crushing* bertujuan untuk *size reduction*, *sieving*/pengayakan, pengangkutan (*lift elevator*), dan proses pelarutan dengan asam nitrat hingga diperoleh larutan urani nitrat (UN). Selanjutkan dilakukan pemisahan antara lautan uranil nitrat dengan lumpur yang tidak terlarut dengan menggunakan *centrifuge* sehingga diperoleh larutan UN yang bersih. Diagram alir proses seperti diperlihatkan pada Gambar 1[2].

Akuisisi data adalah proses dimana fenomena fisik dari dunia nyata diubah menjadi sinyal listrik yang diukur dan dikonversi menjadi bentuk digital untuk pengolahan, analisis, dan penyimpanan oleh komputer. Dalam beberapa hal akusisi data digital secara online memiliki beberapa keuntungan, diantaranya penyimpanan, pengambilan dan pemrosesan data pasca akuisisi lebih mudah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak analisa data dan pemerosesan sinyal.



Gambar 1.
Diagram alir proses pelarutan YC dalam *dissolver tank* DI-301 seksi 300

Keterangan gambar :
DI-301 : Tangki pelarutan / *dissolver tank*
XD-301: *Centrifuge* / pemisah padatan dan cairan
V-301 : Tangki penampung UN hasil pelarutan
V-302 : Tangki penampung UN hasil centrifuge

Proses pelarutan yang dilakukan pada tangki DI-301 dipengaruhi oleh parameter proses yaitu : temperatur, tekanan, densitas larutan, level tangki, dan laju alir uap panas yang masuk ke jacket tangki DI-301. Oleh karena itu, maka diperlukan pemahaman yang memadai tentang karakteristik proses pelarutan dengan mengetahui dan mempelajari parameter atau variabel prosesnya. Dengan demikian maka akuisisi data seluruh variabel proses yang diperlukan menjadi sangat penting dalam membangun sistem akuisisi data monitoring dan pengendalian proses.

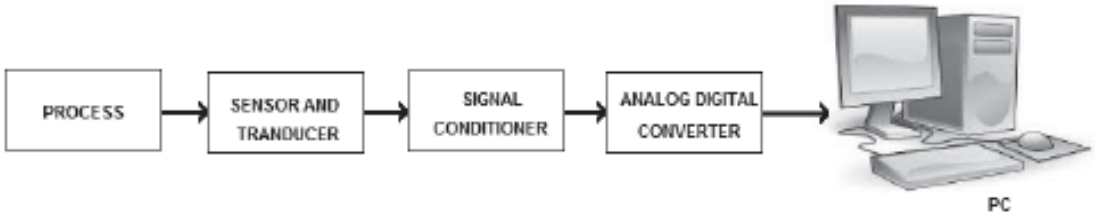
TEORI

Komponen Sistem Akuisisi Data

Terdapat lima komponen dalam sistem akuisisi data. Komponen pertama adalah parameter proses yang merupakan besaran fisis yang akan diukur, yaitu temperatur, tekanan, level dan densitas. Komponen kedua adalah Sensor dan

ISSN 1978-0176

Transduser.Sensor berfungsi untuk mengindra besaran fisis menjadi besaran listrik dan nilai kuantitasnya bisa diukur, sedangkan tranduser mengubah parameter listrik dari sensor tegangan atau arus secara langsung.komponen ketiga adalah adalah rangkaian pengkondisi sinyal yang merupakan rangkaian elektronika yang merubah besaran atau sinyal dari pengukuran ke sinyal standar yang bisa dibaca konverter analog-ke-digital (ADC). Komponen keempat adalah Konverter Analog-ke-digital (ADC). Merupakan rangkaian elektronika di menkonversi sinyal analog ke menjadi digital. Komponen terakhir adalah PC atau komputer yang merupakan bentuk tampilan visual nilai parameter proses dengan perangkat lunak didalamnya. Gambar 2 memperlihatkan sistem akusisi data yang dikembangkan untuk proses secara umum.



Gambar 2. Blok Diagram akuisisi data proses

METODOLOGI

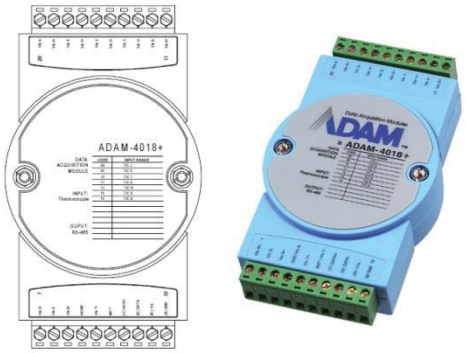
Parameter atau variabel proses pelarutan yang akan di ukur secara online pada saat proses pelarutan berlangsung adalah sebagai berikut:

a) Temperatur proses pelarutan (^oC)
b) Tekanan proses pelarutan (mmH_2O)
c) Level proses pelarutan (%)
d) Densitas proses pelarutan (Kg/liter)

Sensor dan Tranduser

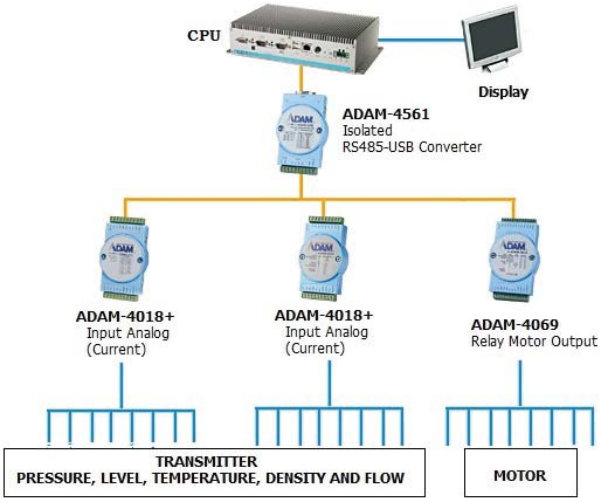
Sensor yang digunakan untuk mengukur temperatur pada proses pelarutan adalah RTD tipe PT-100 dengan rentang pengukuran 0–400^oC. Sensor RTD ini dihubungkan ke rangkaian konverter untuk dikonversi menjadi arus standar 4-20 mA agar bisa dibaca oleh modul input arus (Adam4018+, Advantech Inc). Selanjutnya pada pengukuran tekanan, level dan densitas proses pelarutan digunakan differensial pressure transmitter buatan K-Deltapi dengan range tekanan -600 s/d 0 mmH_2O, level 0 s/d100% dan densitas 0,8 s/d 1,2 Kg/liter. Transmitter diatas dihubungkan dengan modul input arus standar 4-20 mA (Adam4018+, Advantech Inc) yang mempunyai jumlah kanal analog input sebanyak 8 buah[6].

Pengkondisian dan konversi sinyal analog ke digital sudah terintegrasi baik dalam modul input analog ataupun modul input termokopel. Sistem komunikasi antar modul menggunakan komunikasi serial RS-485 , sedangkan untuk komunikasi dengan PC karena port yang tersedia adalah port USB maka digunakan modul konversi dari RS485 ke USB yaitu modul Adam 4561. Modul Adam 4018+ diperlihatkan pada Gambar 3, dan instalasi sistem akuisisi data diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Modul ADAM 4018+ keluaran Advantech Inc

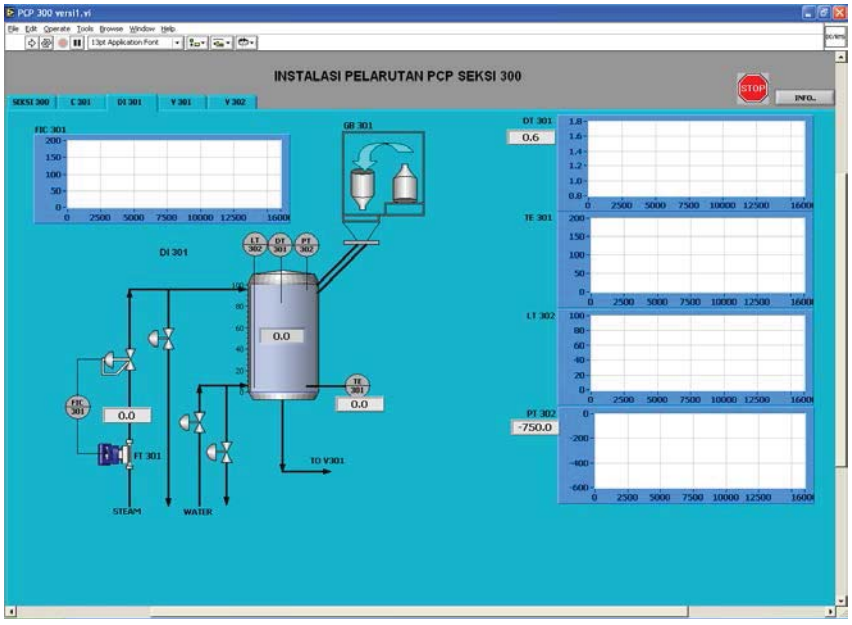
ISSN 1978-0176



Gambar 4. instalasi sistem akuisisi data proses pelarutan PCP

Perangkat Lunak Akuisisi Data

LabVIEW (Buatan National Instrument Inc) merupakan program standar industri yang digunakan untuk otomatisasi, pengujian dan akuisisi data. Program LabVIEW disebut sebagai virtual instruments atau VI karena operasi dan tampilannya meniru instrumen secara fisik. Panel untuk proses akuisisi data pada proses pelarutan yang di disain menggunakan LabVIEW di perlihatkan pada Gambar 5. Setiap tampilan grafis pada panel tersebut menampilkan beberapa data parameter sekaligus dalam satu grafik untuk memungkinkan di tampilkanya semua parameter atau variabel proses pada saat memonitor proses pelarutan, selain dari pada itu ditampilkan juga nilai aktual parameter proses untuk masing-masing sensor. Data variabel proses yang di akusisi oleh sistem akan langsung disimpan dalam file database di dalam PC.



Gambar 5. Tampilan Akuisisi data proses pelarutan tangki DI-301

HASIL DAN PEMBAHASAN

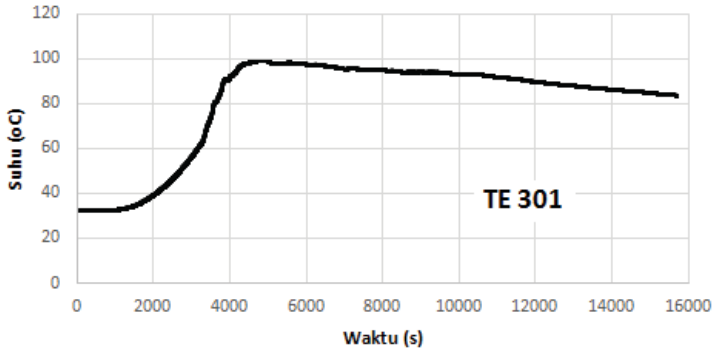
Sistem akuisisi data yang telah diinstalasi sebelum di uji fungsi, dilakukan kalibrisai untuk menentukan tingkat linieritas sistem akuisisi data. Setelah dilakukan kalibriasi selanjutnya sistem dilakukan uji fungsi. Data variabel proses uji fungsi sistem pelarutan dilakukan dengan parameter proses sebagai berikut; laju kenaikan temperatur uap dikendalikan dengan membuka

ISSN 1978-0176

sistem kontrol valve dengan kendali kontroller, temperature uap panas di set pada suhu 80-100°C, ketika suhu sudah tercapai, dimasukan serbuk yellow cake secara catu, hingga proses pelarutan selesai. Kemudian uap panas diberhentikan sehingga proses pendinginan berlangsung secara konvensional/alami.

Data hasil Akuisisi data selama satu siklus proses pelarutan dengan waktu sampling adalah satu detik didapat jumlah sampel data sebanyak 15.636 data.

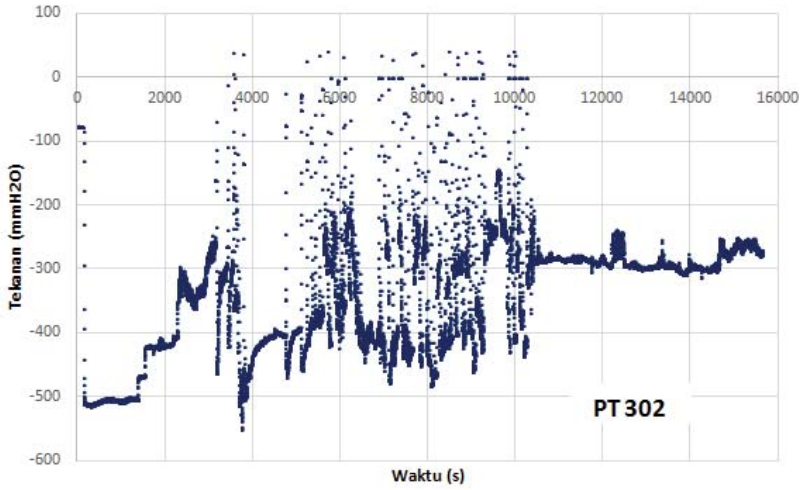
Gambar 6 memperlihatkan data temperatur (TE-301) selama satu siklus proses pelarutan dalam tangki DI-301,



Gambar 6. Temperatur proses pelarutan

Dari gambar diatas temperatur maksimum proses pelarutan mencapai 99,325 ^{o}C dan akan turun kembali setelah proses pelarutan selesai.

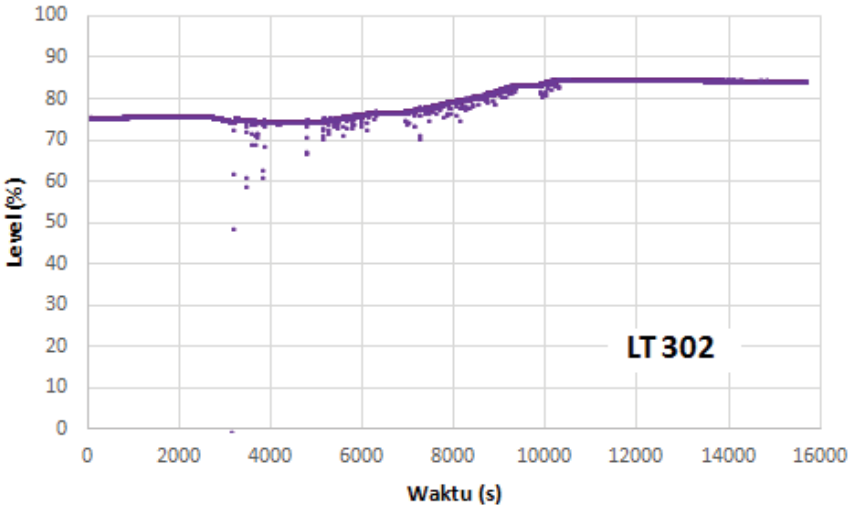
Gambar 7, memperlihatkan fluktuasi tekanan transmitter PT302 pada tangki DI-301 selama satu siklus proses pelarutan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada tahapan awal proses pelarutan terjadi fluktuasi ketika memasukan serbuk yellow cake terjadi perubahan tekanan yang drastis, yang kemudian tekanan akan kembali stabil pada kisaran – 300 mmH_2O.



Gambar 7. Tekanan proses pelarutan

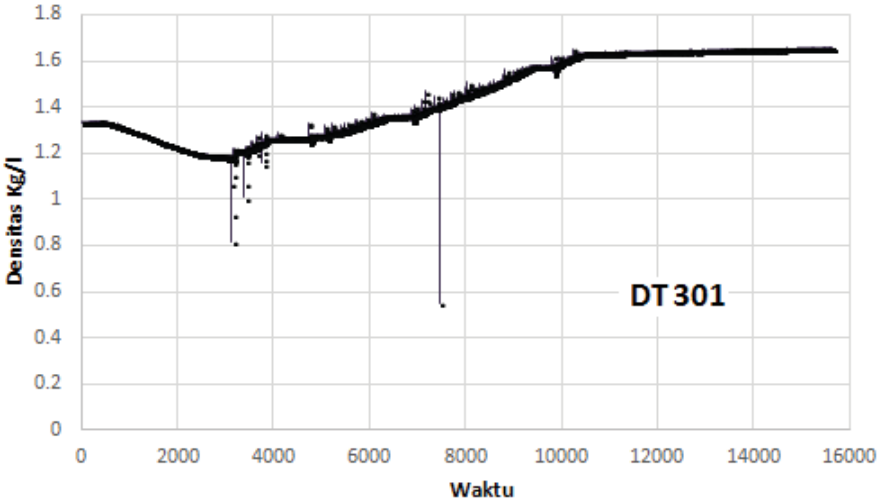
Gambar 8, memperlihatkan data selama satu siklus level tangki DI-301 proses pelaturan yang diukur oleh lever transmitter LT302. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada level relatif stabil pada besaran 75% dan akan naik levelnya menjadi 85% jika proses pelarutan telah selesai, naiknya level ini disebabkan penambahan volume tangki DI-301 akibat ditambahkannya serbuk yellow cake.

ISSN 1978-0176



Gambar 8. Level proses pelarutan

Gambar 9, memperlihatkan data selama satu siklus densitas larutan di tangki DI-301 proses pelaturan yang diukur oleh densitas transmitter DT-301. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada densitas larutan turun, kemudian akan naik nilainya jika proses pelarutan telah selesai, naiknya densitas ini disebabkan tingkat kepekatan dari larutan uranil nitrat lebih tinggi dari larutan asam nitrat sebagai bahan untuk melarutkan serbuk *yellow cake.*



Gambar 9. Densitas proses pelarutan

KESIMPULAN

Telah dilakukan akuisisi data untuk pengukuran variabel proses pelarutan serbuk *yellow cake* menjadi larutan uranil nitrat di instalasi pemurnian dan konversi untuk parameter temperatur, tekanan, level dan densitas. Sistem data akuisisi untuk pengukuran variabel proses pelarutan dikembangkan dengan menggunakan modul data akusisi standar industri yang tersedia di pasaran. Eksperimen untuk akuisisi terhadap semua variabel proses dilakukan secara online ketika proses berlangsung. Hasil akuisisi data terhadap empat parameter proses ini, sistem akuisisi data yang dikembangkan memperlihatkan respon kinerja yang baik dengan tidak terjadi kegagalan atau terhentinya akuisisi data yang di sebabkan oleh kerusakan sistem. Dari data runtun waktu empat variabel proses pelarutan yang diperoleh, sudah cukup memadai untuk digunakan sebagai bahan dalam memahami karakteristik proses pelarutan. .

ISSN 1978-0176

DAFTAR PUSTAKA

1. Benedict, M.Pigford, T.H.Levi,H.W, *Nuclear Chemical Engineering, Second Edition*, McGraw, Hill Book Company, Toronto, 2011.
2. Commissiong Manual Part 2 Pilot Conversion Plant, NIRA, Italia, No. Dok. IND 220 04 Z 0006.
3. Commissiong Manual Part 1 Pilot Conversion Plant, NIRA, Italia, No. Dok. IND 220 04 Z 0005.
4. Operation Manual Part 4 Chemical Process from YC dissolution to UNH concentrate, NIRA, Italia, No. Dok. IND 22004Z0007.
5. Operation Manual Part 2 Yellow Cake handling, NIRA, Italia, No. Dok. IND 22004Z0007
6. ADAM-4000 Series I/O Module User's Manual, Advantech Co., Ltd, 2005.
7. Richard C Dorf, Robet H Bishop, *Modern Control System*, Twelfth Edition, Prentice Hall, 2011.
8. Robert H. Bishop, *Modern Control Systems with LabVIEWTM*, National Technology and Science Press,2012

PERTANYAAN

1. Kenapa terjadi fluktuasi tekanan yang sangat besar ?
2. Apakah fluktuasi tekanan diatas mempengaruhi kualitas produknya ?

JAWABAN :

1. Fluktuasi tekanan yang diperlihatkan pada gambar 7 untuk tekanan proses tangki DI-301 terjadi karena proses pemasukan *Yellow Cake* secara bertahap sedikit demi sedikit, untuk mencegah timbulnya gas NOx. Ketika proses pemasukan *Yellow Cake* dari globe box itulah terjadi perubahan tekanan yang mendadak karena perbedaan tekanan *globe box* dengan tangki DI-301. Justru data perubahan tekanan ini menjadi dasar perhitungan jumlah *Yellow Cake* yang dimasukan ke tangki DI-301 dalam proses pelarutan yang akan diteliti kemudian.
2. Fluktuasi tekanan pada tangki DI-301 ketika proses pelarutan tidak mempengaruhi kualitas produk, karena kualitas produk ditentukan oleh kosentrasi *Yellow Cake* sebagai bahan dasar, Asam Nitrat sebagai bahan pelarut, panas tangki DI-301, dan lama proses pengadukan.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

OPTIMASI WAKTU PADA PROSES PEMBENTUKAN LAPISAN TIPIS PERMUKAAN *BUSH* RANTAI DENGAN metode PLASMA dari CAMPURAN GAS HELIUM METANA TEKANAN 1,6 mBar

Bangun Pribadi, Tjipto Sujitno, Dwi Priyantoro, Anang Dwi Prasojo

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Babarsari PO BOX 6101/YKBB Yogyakarta 55281

INTISARI

Transmisi daya mekanik antar dua roda gigi dapat menggunakan rantai. Bagian dari mata rantai yang bergesekan langsung dengan roda gigi adalah bush rantai. Permukaan bush rantai harus memiliki sifat yang keras agar tidak mudah aus. Pengerasan permukaan bush rantai dapat dilakukan dengan membentuk lapisan tipis dengan metode plasma dari campuran gas He dan metana pada tekanan tertentu. Metode ini sering dsebut metode plasma carburizing dan lapisan tipis yang terbentuk sering dinamakan diamond like carbon (DLC).

Lapisan tipis DLC yang dibentuk dengan metode plasma carburizing dalam penelitian ini dilakukan dari campuran gas helium dan gas metana pada tekanan 1,6 mbar, temperatur 300 ^{0}C, dan waktu perlakuan divariasi 1, 2, 3, 4, dan 5 jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan permukaan bush rantai optimum pada 3 jam dan kekerasan permukaan, naik dari 491 VHN menjadi 650 VHN.

Kata kunci : DLC, plasma carburizing, bush rantai.

ABSTRACT

Mechanical power transmission between two gears can use a chain. Part of the chain rubbing directly with the gears are bush chains. Surface bush chains must have properties that hard to make it easy to wear. Surface hardening bush chains can be done by forming a thin layer by the method of plasma from a gas mixture of He and methane at a certain pressure. This method is often dsebut plasma carburizing method and a thin layer formed often called diamond like carbon (DLC).

DLC thin layer formed by plasma carburizing method in this study is done from a mixture of helium and methane gas at a pressure of 1.6 mbar, temperature 300 0C, and the treatment time varied 1, 2, 3, 4, and 5 hours.

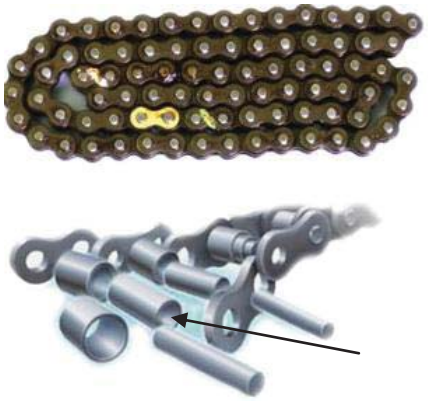
The results showed that the optimum surface hardness bush chains at 3 o'clock and surface hardness, up from 491 to 650 VHN.

Key words: DLC, plasma carburizing, chain roller.

ISSN 1978-0176

Pendahuluan

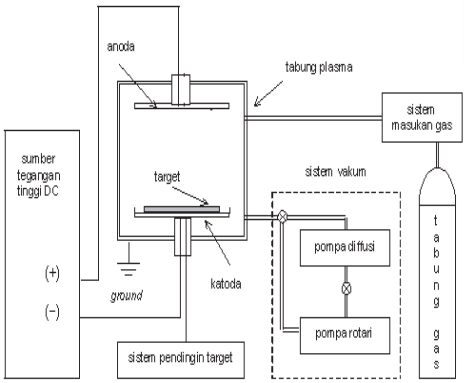
Rantai sering digunakan untuk transmisi daya mekanis[1] antar dua roda gigi. Sebuah rantai seperti tertera pada Gambar 1, tersusun dari beberapa mata rantai yang saling bersambungan satu sama lain. Bagian dari mata rantai yang bersinggungan langsung dengan roda gigi adalah *bush* rantai. bush rantai menumpu beban gesek yang tinggi, oleh karena itu harus memiliki sifat yang keras[1] agar tidak mudah aus.



Gambar 1. Bagian-bagian dari sebuah rantai[2]

Untuk memperkeras permukaan bush[3] rantai dapat dilakukan dengan membentuk lapisan tipis DLC (*diamond like carbon*) pada permukaan tersebut. Proses pengerasan seperti ini masuk kategori *surface treatment*[3] yang mana perubahan sifat hanya terjadi pada permukaan saja sedang bagian dalam sifatnya tidak mengalami perubahan. Lapisan tipis DLC[3,4,5] memiliki sifat yang keras sehingga apabila dilapiskan pada bush rantai maka umur pakai dari rantai dapat lebih panjang.

Lapisan tipis DLC dapat dibentuk dengan metode plasma *carburizing*[3] lucutan pijar DC dari campuran gas helium dan gas metana. Alat yang digunakan adalah reaktor plasma. Skema reaktor plasma lucutan pijar DC terlihat pada Gambar 2. Komporen utama reaktor plasma[3,6] adalah tabung plasma yang dilengkapi dengan sumber tegangan DC, sumber gas helium dan metana, dan pompa hampa. Dalam tabung plasma terdapat anoda dan katoda. Benda kerja atau sering disebut substrat/sampel, diletakkan pada katoda.



Gambar 2. Skema dari sebuah reaktor plasma[3,6]

Proses pembentukan lapisan DLC[3,6]. Mula-mula benda kerja diletakkan pada katoda, selanjutnya tabung plasma dihampakan, diikuti tabung plasma diisi campuran gas helium dan gas metana pada tekanan rendah (1,6 mbar), kemudian tabung plasma diberi tegangan DC melalui anoda dan katoda. Temperatur plasma diset pada 300 ^{0}C dengan mengatur tegangan anoda-katoda. Dengan adanya tegangan ini maka terjadi lucutan elektron dari katoda menuju anoda. Elektron akan menumbuk partikel gas metana sehingga terionisasi membentuk ion positif dari karbon dalam fase plasma. Indikator terbentuknya plasma adalah adanya arus listrik yang mengalir lewat anoda-katoda.

Ion karbon dalam fase plasma ini akan terdeposisi pada permukaan benda-kerja yang telah diletakkan pada katoda. Pendeposisian ini berlangsung terus-menerus sehingga terbentuk lapisan tipis yang disebut lapisan DLC. Lapisan ini memiliki sifat yang sangat keras[3,4,5,6].

ISSN 1978-0176

Kekerasan permukaan benda kerja dapat diukur dengan uji Vikers[3,6,7]. Pertambahan kekerasan permukaan dapat diketahui dari selisih antara kekerasan benda kerja sebelum dan setelah perlakuan plasma carburizing. Bila kekerasan permukaan material asli adalah k_0 dan kekerasan permukaan benda kerja setelah perlakuan plasma carburizing adalah k_1 maka kenaikan kekerasan (Δk) adalah

$$\Delta k = k_1 - k_0 \qquad (1)$$

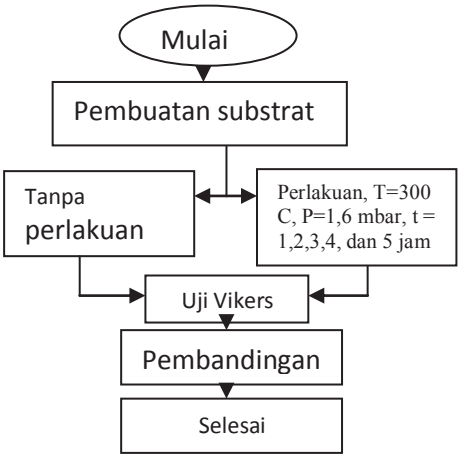
atau peningkatan kekerasan (η) adalah

$$\eta = \frac{\Delta k}{k_0} \times 100\ \% \qquad (2)$$

Untuk melihat keadaan kekerasan permukaan benda kerja yang dikenai perlakuan plasma carburizing, dapat dibuat grafik kekerasan versus waktu. Dari grafik itu dapat diketahui kekerasan maksimum beserta lamanya waktu yang diperlukan untuk proses plasma carburizing.

Metode Penelitian

Pengerasan permukaan bush rantai dengan metode plasma *carburizing*[2,6]. Dalam penelitian ini digunakan campuran gas helium dan metana pada tekanan 1,6 mbar dan temperatur plasma 573 K, sedang waktu perlakuan divariasi : 1 jam; 2 jam; 3 jam; 4 jam; dan 5 jam. Selanjutnya hasil perlakuan plasma *carburizing* pada benda kerja diuji kekerasannya dengan alat uji Vikers. Urutan langkah penelitian[2,6,7] dapat dilihat dari Gambar 3 dengan uraian sebagai berikut:



Gambar 3. Urutan langkan penelitian

Langkah 1. Penyiapan substrat.
Mata rantai dibongkar dan diambil bagian bush rantai. Substrat atau benda kerja, disiapkan dan dipisahkan ke dalam 6 (enam) kelompok yaitu kelompok ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-5, dan ke-6. Benda kerja kelompok ke-1 sampai dengan ke-5 dikenai perlakuan plasma *carburizing*, sedang kelompok ke-6 tidak dikenai perlakuan. Benda kerja kelompok ke-6 ini ditetapkan sebagai material asli.
Langkah 2. Perlakuan carburizing.
Benda kerja kelompok ke-1 sampai dengan ke-5 dikenai perlakuan plasma *carburizing*. Reaktor plasma carburizing dioperasikan sesuai prosedur yang ada. Reaktor plasma diisi benda kerja ke-1, terus dihampakan, diikuti pengisian campuran gas helium dan metana pada tekanan rendah (1,6 mbar), selanjutnya diberikan tegangan tinggi pada anoda-katoda. Tekanan dipertahankan 1,6 mbar. Temperatur dinaikan dari suhu kamar hingga 300 ^{0}C dengan mengatur tegangan tinggi. Meter arus diamati sebagai indikator terjadinya plasma *carburizing*. Kondisi perlakuan ini dipertahankan selama 1 (satu) jam. Selanjunya reaktor plasma dihentikan, terus didinginkan hingga suhu kamar, dan benda kerja ke-1 diambil. Proses yang sama dilakukan terhadap benda

ISSN 1978-0176

kerja ke-2 dengan perlakuan 2 jam, benda kerja ke-3 dengan perlakuan 3 jam, benda kerja ke-4 dengan perlakuan 4 jam, dan bendakerja ke-5 dengan perlakuan 5 jam.

Langkah 3. Pengujian kekerasan.

Pengujian dikenakan pada semua benda kerja, baik yang mendapat perlakuan plasma carburizing (kelompok ke 1 – 5) maupun yang tidak mendapat perlakuan plasma *carburizing* (kelompok ke-6). Hasil pengujian dicatat sebagai hasil penelitian ini.

Langkah 4. Pembandingan.

Pembandingan kekerasan dilakukan antara benda kerja yang telah dikenai perlakuan plasma *carburizing* terhadap material asli. Dengan persamaan (1) dapat dihitung bertambahnya kekerasan dan dengan persamaan (2) dapat dihitung prosentase kenaikan kekerasan terhadap material asli. Selanjutnya dibuat grafik hubungan kekersan versus waktu.

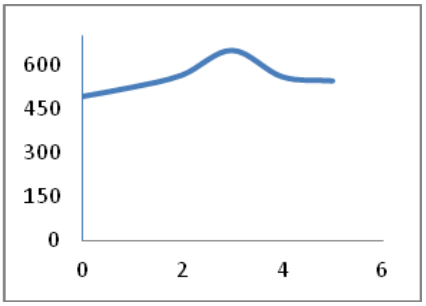
Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian tertera pada Tabel 1. Dalam Tabel 1 dimuat kekerasan lapisan DLC benda kerja kelompok ke-1 sampai dengan ke-5 beserta kekerasan benda kerja kelompok ke-6 yaitu material asli (tanpa perlakuan) dan juga kenaikan kekerasan yang dihitung sesuai persamaan (2).

Tabel 1. Kekerasan benda kerja versus lama waktu perlakuan

Waktu perlakuan	Kekerasan lapisan DLC	Kenaikan kekerasan
1 jam	523 VHN	6.51 %
2 jam	565 VHN	15.07 %
3 jam	650 VHN	32.38 %
4 jam	559 VHN	13.85 %
5 jam	545 VHN	11.00 %
Tanpa perlakuan	491 VHN	0 %

Dari Tabel 1 dapat dibuat grafik nilai kekerasan permukaan benda kerja sebagai fungsi dari waktu proses perlakuan plasma *carburizing*, seperti tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan kekerasan versus waktu.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa prosentase kenaikan nilai kekerasan permukaan bendakrja cenderung naik sejalan dengan bertambahnya waktu perlakuan (yaitu plasma *carburizing*), dan nilai kekerasan cenderung menurun setelah mencapai titik maksimum. Nilai kekerasan berubah dari 276,05 VHN (material awal) menjadi 403,56 VHN (nilai maksimum), dengan waktu perlakuan selama 4 jam. Prosentase kenaikan kekerasan adalah sebesar 46,19 %.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi waktu proses pembentukan lapisan tipis permukaan *bush* rantai 3 jam naik dari 491 VHN menjadi 650 VHN.

Saran

Selain uji kekerasan dipandang perlu dilakukan uji keausan.

DaftarPustaka

1. Robert L. Mott, P.E. 2004, “Machine Elements in Mechanical Design” Universty of Dayton.

2. Sularso, Pradnya ParamitaDasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin

ISSN 1978-0176

3. Anang Dwi Prasojo, 2014, "Optimasi Parameter Proses Pembentukan Lapisan Keras Permukaan Bush rantai dengan Plasma dari Campuran Gas Helium dan Metana", Tugas Akhir STTN – BATAN, Yogyakarta.

4. Suprapto, Tjipto Suyitno, 2005, "Pengerasan Permukaan Baja St 42 dengan Teknik Nitridasi" Pslitbang Teknologi Maju BATAN Yogyakarta.

5. Sehah, 1997, "Pembuatan Lapisan Tipis Karbon Amorf Terhidrogenasi (a-C:H) dengan Teknik Plasma Lucutan Pijar RF", UNDIP, Semarang.

6. Robertson, 2002, "Diamond Like Amorphous Carbon", Cambridge University, Cambridge.

7. Zuhdi Arif Ainun Najib, 2014, "Pengerasan Permukaan Mata Rantai dengan Plasma Lucutan Pijar DC dari Campuran Gas Helium dan Metana", Tugas Akhir STTN – BATAN, Yogyakarta.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

MENYIAPKAN RISET DAN PENGEMBANGAN SISTEM TRANSPORT MATERIAL BERBASIS MAGLEV

Aliq Zuhdi[1] ,Timoteus Setyo Rahmadi[1], Agus Purbhadi[1], Suroso Hadi[1], Arbi Dimyati[2]

Program Studi Elektromekanika Jurusan Teknofisika Nuklir
Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir[1]
Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju[2]
Badan Tenaga Nuklir Nasional

INTISARI

MENYIAPKAN RISET DAN PENGEMBANGAN SISTEM TRANSPORT MATERIAL BERBASIS MAGLEV . Dalam proses *material handling* industri, levitasi magnetik dapat digunakan untuk menggantikan konveyor belt konvensional. Dengan menggantikannya dengan konveyor berbasis levitasi magnetik, diharapkan proses produksi dapat berjalan lebih cepat. Penelitian ini merupakan persiapan dalam pengembangan system transport material bebrbasis Maglev. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi hasil levitasi magnetik dan menghasilkan desain awal sistem levitasi untuk purwarupa *Maglev conveyor* berupa alat penarik magnetik, sehingga dihasilkan levitasi untuk ketinggian dan beban tertentu. Desain sistem levitasi magnetik menggunakan gabungan antara elektromagnet dan magnet permanen yang disusun berdasarkan susunan Halbach. Penelitian awal ini menghasilkan alat peraga dengan gaya angkat magnetik terhadap beban sebesar 1,167 kg pada jarak celah udara sebesar 13 mm, dengan arus sebesar 1,5 A dan beban sebesar 1,134 kg pada jarak celah udara 11 mm, dengan arus masukan sebesar 1,2 A.

Kata kunci: levitasi, maglev, konveyor, transport, material.

ABSTRACT

PREPARING RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATERIAL TRANSPORT BASED ON MAGNETIC LEVITATION TECHNOLOGY*. In the process of material handling industry, magnetic levitation can be used to replace a conventional conveyor belt . By replacing it with a conveyor-based of magnetic levitation, expected the production process can run faster. This research is the first step in preparing the development of material transport system based on magnetic levitation technology. This research aims to know the factors that influence the outcome of magnetic levitation and generate the initial design of the levitation system for prototype Maglev conveyor be attraction magnetic force, so the resulting levitation to a certain altitude and load. Magnetic levitation system design using a combination of permanent magnets and electromagnetic arranged by order of Halbach. This preliminary research produces design with magnetic lift force against the load of 1,167 kg on the distance of the air gap of 13 mm, with the electric current of 1,5 A and the load of 1,134 kg on the distance of the air gap 11 mm, with the current input by 1,2 A.*

***Keyword** : levitation, maglev, conveyor, material transport.*

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Latar belakang

Dalam proses produksi di industri, dikenal istilah *material handling*. *Material handling* merupakan kegiatan transportasi atau pengangkutan jarak pendek yang dilakukan dalam suatu bangunan industri, yang meliputi pengangkutan, penyimpanan, dan kontrol bahan baku, barang setengah jadi, atau barang jadi dari tempat asal ke tempat tujuan yang sudah ditetapkan [1]. Dalam industri dikenal berbagai macam jenis konveyor, salah satu jenis konveyor yang umum digunakan adalah *conveyor belt* atau ban berjalan. Penggunaan ban berjalan memiliki beberapa kekurangan yaitu jalur transportasi masing-masing *belt* hanya dapat dibuat lurus, terdapat gesekan antara permukaan konveyor dengan permukaan barang produksi, dan *belt* yang digunakan ikut menjadi beban bagi motor penggerak [2].

Untuk mengatasi kekurangan pada sistem *material handling* menggunakan konveyor konvensional, dibutuhkan inovasi sehingga kekurangan-kekurangan yang ada dapat dikurangi atau dihilangkan. Inovasi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengubah konveyor umum dengan konveyor Maglev. Maglev merupakan singkatan dari *magnetic levitation* atau levitasi magnetik. Teknologi Maglev dapat mengatasi kekurangan pada konveyor *belt* konvensional.

Untuk membuat gaya levitasi, dibutuhkan interaksi setidaknya dua buah medan magnet sehingga menimbulkan gaya tolak-menolak atau gaya tarik-menarik. Penelitian mengenai levitasi yang pernah dilakukan di Indonesia, merupakan penelitian gaya levitasi yang bersifat tarik-menarik (*attractive*) yang dilakukan pada bola baja magnetik [3]. Penelitian levitasi yang bersifat aplikasi, dilakukan untuk meredam getaran berupa bantalan magnetik pada mesin akselerasi tinggi [4]. Dalam penelitian ini juga menggunakan hasil penemuan rangkaian *Halbach Array* oleh Klaus Halbach untuk dipadukan dengan rancangan yang dibuat menggunakan magnet NdFeB N52.

Penelitian yang dilakukan akan menghasilkan rancangan awal berupa penarik magnetik yang digunakan untuk melawan gaya gravitasi pada kereta pengangkut, sebagai bagian dari sistem konveyor Maglev. Perancangan akan memadukan penggunaan magnet statis dari magnet permanen dan elektromagnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen bersifat konstan, sehingga memberikan keuntungan dari sisi perancangan. Penggunaan elektromagnetik memungkinkan adanya pengaturan besar medan magnet dengan mengubah-ubah arus listrik yang mengalir pada kawat kumparan, sehingga didapatkan besarnya gaya tarik magnet yang dibutuhkan.

Penelitian pendahuluan ini meninjau permasalahan jumlah lilitan dan diameter dari kawat yang mempengaruhi kuat medan magnet dengan kendala timbulnya panas akibat disipasi energi di dalam kawat. Pada penelitian ini, dilakukan desain pengangkat magnetik menggunakan prinsip elektromagnetik dan magnet permanen, untuk menentukan pemilihan diameter kawat terhadap jumlah lilitan kawat dan arus listrik sehingga medan magnet yang dihasilkan mampu mengangkat beban dengan berat total sampai 1 kg. Desain yang digunakan merupakan rangkaian penarik dengan susunan elektromagnetik bolak-balik dan susunan magnet permanen menggunakan *Halbach array*.

DASAR TEORI

Levitasi Magnetik

Levitasi berasal dari bahasa Latin *levis*, ringan, adalah suatu proses dimana sebuah benda terangkat melawan gravitasi dalam posisi stabil oleh sebuah gaya, tanpa kontak fisik [5]. *Magnetic levitation* atau levitasi magnet merupakan metode untuk membuat benda terangkat tanpa bantuan lain kecuali dari medan magnet. Gaya magnetik digunakan untuk melawan efek tarikan percepatan gravitasi dan percepatan lainnya.

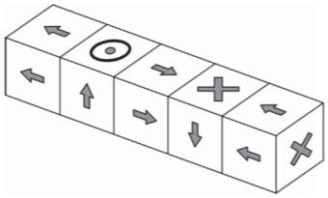
Medan Magnet Solenoida

Kumparan panjang yang terdiri atas banyak lilitan kawat penghantar menyerupai sebuah lilitan pegas disebut dengan solenoida. Solenoida menghasilkan medan magnet seperti pada magnet permanen. Medan magnet yang diproduksi oleh aliran listrik dibentuk oleh material magnetik.

ISSN 1978-0176

Halbach Array

Penemuan material magnet dan *Halbach array* memberikan peningkatan pada gaya angkat atau rasio berat magnet. Magnet permanen memiliki keterbatasan dalam menghasilkan densitas fluks magnet dan dalam perakitan memiliki kesulitan karena menarik bahan feromagnetik seperti baja. Klaus Halbach merupakan seorang peneliti yang berhasil menemukan cara untuk mengatasi kekurangan pada magnet permanen tersebut, dengan menyusun magnet permanen seperti pada Gambar 1. Pada rangkaian *Halbach array* tersebut, akan menghasilkan medan yang kuat pada bagian bawah, sementara medan bagian atas akan teredam, alasan untuk distribusi flux tersebut dapat secara intuitif digambarkan menggunakan diagram asli Mallinson.



Gambar 1. Rangkaian *Halbach array* [6]

Gaya Gerak Magnetik

Gaya gerak magnetik atau *magnetomotive force* (m.m.f.) merupakan besaran yang menunjukkan banyaknya fluks magnet dalam rangkaian elektromagnet. Gaya gerak magnetik dapat diketahui dengan hukum Ohm, melalui persamaan 1 [6].

$$F_m = N.I\ (ampere.lilit) \qquad (1)$$

Dengan *N* adalah jumlah lilitan dan *I* adalah besarnya arus listrik yang melalui kumparan. Nilai *N* untuk kumparan yang memiliki lapisan kawat lebih dari satu lapis, maka dapat dicari menggunakan rumus seperti dalam persamaan 2. Dengan *L* adalah induktansi dan nilai A_l ditetapkan dengan nilai 2200 [7].

$$N = \sqrt[2]{(10^9.L/A_l)} \qquad (2)$$

Nilai induktansi *L* dapat dicari menggunakan persamaan 3 [8].

$$L = n^2M + 2l(log_e\frac{D}{d} + 0{,}11835) \qquad (3)$$

Terdapat hubungan antara gaya gerak magnetik dengan medan magnet yang dihasilkan. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan dalam persamaan 4 [7].

$$B = F_m\mu_0/g \qquad (4)$$

dengan *g* adalah besarnya celah udara antara dua bagian inti besi.

Gaya Tarik Magnet

Gaya tarik magnet merupakan interaksi magnet akibat timbulnya celah udara dengan jarak tertentu terhadap bahan ferromagnetik. Persamaan 5 menunjukkan persamaan gaya tarik Maxwell [7].

$$F = B^2A/(2\mu_0) \qquad (5)$$

dengan μ_0 adalah permeabilitas udara, yang nilainya adalah $4\pi\times10^{-7}$ H/m, dan *A* adalah luas permukaan inti besi.

Dari persamaan 4 dan persamaan 5, dapat disesuaikan pada aplikasi menggunakan inti besi berbentuk U, yang dituliskan pada persamaan 6 [6].

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0}(2pl) \qquad (6)$$

dengan *p* dan *l* adalah panjang dan lebar permukaan inti besi.

Dengan salah satu dari dua bagian inti besi terpasang tetap, maka diperlukan gaya tarik yang dihasilkan oleh fluks magnet yang akan membuat bagian inti besi bebas bergerak menuju inti besi tetap. Oleh sebab itu berdasarkan persamaan 6, dikembangkan menjadi persamaan 7 [6].

$$F_a = \frac{F}{(2p+w)l} = \frac{B^2}{2\mu_0}\left[\frac{1}{1+\frac{w}{2p}}\right] \qquad (7)$$

dengan *w* adalah jarak antara sisi dalam inti besi U.

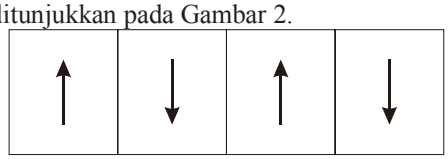
METODE PENELITIAN

Dalam perancangan kumparan elektromagnetik diperlukan adanya pembuatan tempat untuk kumparan kawat atau biasa disebut dengan koker. Bahan

ISSN 1978-0176

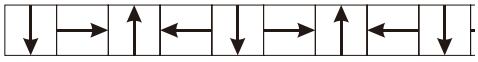
dasar pembuatan koker adalah akrilik dengan ketebalan 2 mm dan 1,5 mm pada bagian samping. Akrilik dengan tebal 2 mm difungsikan sebagai penahan kekuatan mekanik dari luar, sehingga perlu ketebalan yang lebih untuk melindungi kumparan. Akrilik dengan tebal 1,5 mm pada bagian samping difungsikan agar terdapat cukup ruang bagi kumparan, bila bagian samping menggunakan akrilik lebih tebal, maka jumlah kumparan akan berkurang atau akan tersumbat dengan kumparan lainnya.

Kumparan elektromagnet menggunakan kawat enamel berdiameter 0,5 mm tipe PEW. Penggunaan kawat enamel berdiameter 0,5 mm, dikarenakan pada penelitian ini pernah digunakan kawat dengan diameter 0,3 mm yang dapat menghasilkan 1280 lilitan, namun memiliki kekurangan dikarenakan kawat tersebut menghasilkan tahanan dalam yang besar dan menimbulkan panas berlebih bila diberikan arus listrik dalam waktu yang lama. Panas yang terjadi pada kumparan menimbulkan tahanan listrik yang semakin besar dan membuat arus yang melalui kumparan tidak menghasilkan medan magnet secara maksimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka diameter kawat diganti menggunakan kawat berdiameter 0,5 mm dengan jumlah lilitan yang berkurang menjadi setengahnya dibandingkan dengan menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm. Lilitan kawat berjumlah 565 lilitan dengan enam lapisan kumparan, jumlah tersebut merupakan jumlah maksimal lilitan yang dapat dibuat untuk mengisi ruang pada inti besi trafo tipe E yang digunakan. Masukan listrik berupa muatan positif dan negatif dalam kumparan disesuaikan dengan arah kutub atau polaritas yang dibutuhkan. Polaritas elektromagnet disusun secara bolak-balik (*alternating array*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



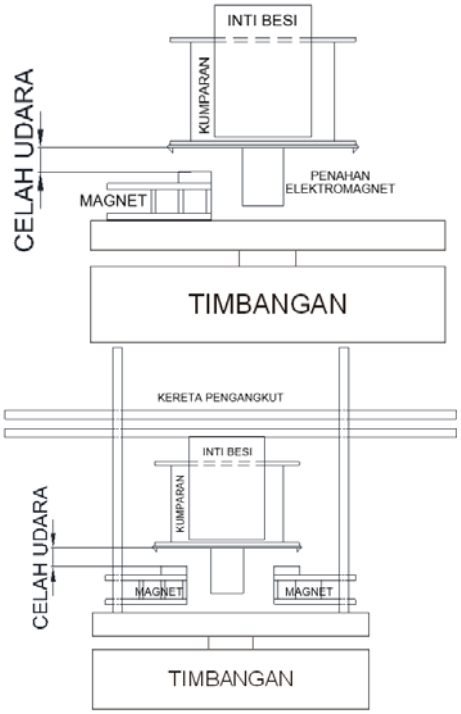
Gambar 2. Penyusunan polaritas elektromagnet

Rangkaian magnet permanen menggunakan susunan *Halbach* dengan 21 buah magnet. Penyusunan pola *Halbach* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyusunan *Halbach array*

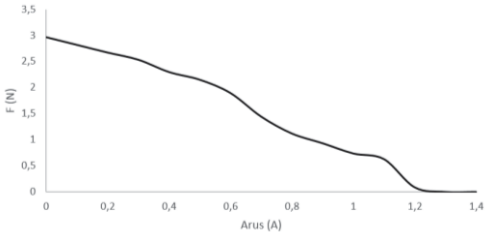
Pengambilan data, dilakukan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Cara penyusunan alat penelitian pendukung (atas) dan penyusunan kereta pengangkut (bawah)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian pendukung yang dilakukan, didapatkan bahwa pada celah udara sebesar 13 mm, pengangkatan sempurna terjadi pada pemberian arus listrik sebesar 1,3 A. Grafik pengujian pada Gambar 5.



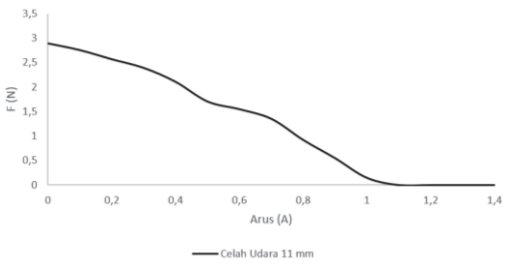
Gambar 5. Grafik percobaan pendahuluan dengan celah udara 13 mm

Dari Gambar 5, gaya angkat yang terjadi pada saat pemberian arus sebesar 1,3 A adalah 2,9596 N. Berat satu rangkaian

ISSN 1978-0176

magnet adalah 319 gram, namun dalam pengukuran yang dilakukan, berat yang ditunjukkan oleh timbangan digital sebesar 302 gram pada saat elektromagnet tidak diberikan arus listrik. Hal tersebut disebabkan oleh gaya angkat yang terjadi karena pengaruh medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen terhadap inti besi elektromagnet. Pengukuran akibat pengurangan sebesar 17 gram tidak berpengaruh terhadap pengambilan data jarak celah udara, karena celah udara diukur pada saat terjadi pengurangan berat tersebut. Penurunan terbesar terjadi pada saat pemberian arus listrik 1,2 A dan 1,3 A, dengan penurunan sebesar 0,539 N dan 0,882 N.

Pengujian lainnya, dilakukan dengan celah udara sebesar 11 mm, dengan pengangkatan sempurna terjadi pada saat pemberian arus listrik sebesar 1,1 A. Dibandingkan dengan celah udara sebesar 13 mm, celah udara 11 mm menghasilkan selisih arus pengangkatan total sebesar 0,2 A.
grafik pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.

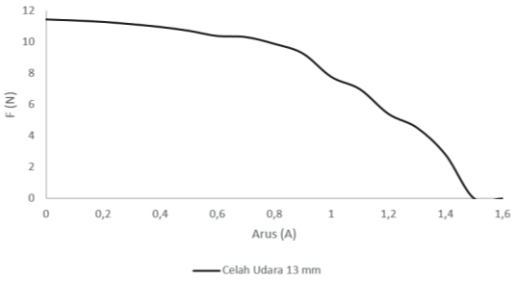


Gambar 6. Grafik percobaan pendahuluan dengan celah udara 11 mm

Gambar 6 menunjukkan penurunan yang besar terjadi pada saat pemberian arus listrik sebesar 0,8 A hingga 1 A dan penurunan berkurang pada saat pemberian arus 1,1 A hingga beban terangkat total.

Dari pengujian pendukung penelitian, dapat diketahui bahwa celah udara sangat mempengaruhi besarnya arus listrik yang diperlukan untuk dapat mengangkat beban secara total, dengan perbedaan celah udara 2 mm dapat mempengaruhi masukan arus listrik sebesar 0,2 A. Pada pengujian dengan celah udara 13 mm, arus listrik sebesar 1,3 A dapat menghasilkan gaya angkat lebih besar dari 2,9596 N, sehingga beban terangkat dan menempel dilangit-langit. Pada pengujian dengan celah udara 11 mm, arus listrik 1,1 A dapat menghasilkan gaya angkat lebih besar dari 2,891 N. Untuk dapat menghasilkan pelayangan atau levitasi magnetik, maka diperlukan gaya tarik yang sama dengan gaya normal beban.

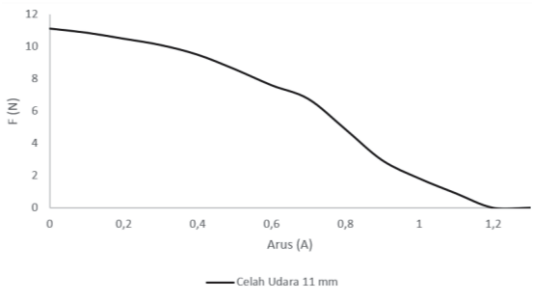
Pengujian menggunakan kereta pengangkut ini dilakukan dengan memasangkan bagian kereta pengangkut dengan dua pasang rangkaian magnet permanen. Pengujian dilakukan pada variasi celah udara 13 mm dan 11 mm. Dari pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa berat total kereta pengangkut adalah 1136 gram, sehingga menghasilkan gaya normal sebesar 11,1328 N. Pengangkatan total terjadi ketika arus yang diberikan pada rangkaian elektromagnet sebesar 1,5 A. Pada grafik Gambar 7, dapat diketahui grafik penurunan yang terjadi pada awal pemberian arus listrik sangat landai dan baru terjadi penurunan yang curam ketika masukan arus sebesar 0,9 A, yang pada tabel menunjukkan penurunan sebesar 1,4994 N. Penurunan yang tajam terjadi hingga pengangkatan total, dengan titik batas penurunan landai pada pemberian arus 0,8 A. Penurunan terbesar terjadi ketika pemberian arus sebesar 1,4 A dengan penurunan sebesar 1,7248 N.



Gambar 7. Grafik pengujian kereta pada celah udara 13 mm

Pengujian menggunakan kereta pengangkut dengan jarak celah udara sebesar 11 mm, mendapatkan hasil pengangkatan total pada pemberian arus sebesar 1,2 A. Grafik pengujian ditunjukkan pada Gambar 8. Dari Gambar 8, penurunan yang curam terjadi dimulai dari pemberian arus 0,7 A hingga 0,9 A. Penurunan yang terbesar terjadi pada saat pemberian arus sebesar 0,8 A, yaitu sebesar 1,9306 N.

ISSN 1978-0176



Gambar 8. Grafik pengujian kereta dengan celah udara 11 mm

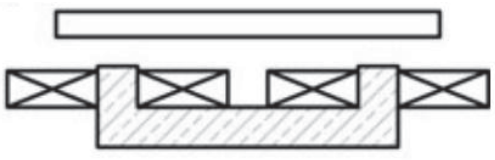
Dari percobaan menggunakan kereta pengangkut, dengan perbedaan celah udara sebesar 2 mm, terjadi selisih arus sebesar 0,3 A untuk dapat mengangkat beban yang sama. Pada pengujian dengan celah udara 13 mm, arus listrik sebesar 1,5 A dapat menghasilkan gaya angkat lebih besar dari 11,4366 N. Pada pengujian dengan celah udara 11 mm, arus listrik sebesar 1,2 A dapat menghasilkan gaya angkat lebih besar dari 11,1132 N. Sehingga selisih gaya tarik adalah 0,3234 N pada perbedaan celah udara sebesar 2 mm.

Pengujian dengan menggunakan bagian kereta dapat mengangkut beban lebih berat tiga kali dibandingkan pada saat pengujian pendukung, hal tersebut diduga disebabkan oleh penggunaan rangkaian magnet permanen yang lebih banyak. Hal tersebut belum dapat dibuktikan, karena penelitian terbatas pada desain awal yang telah dibuat.

Perbandingan Desain

Pengujian dengan menggunakan bagian kereta dapat mengangkut beban lebih berat tiga kali dibandingkan pada saat pengujian pendukung, hal tersebut diduga disebabkan oleh penggunaan rangkaian magnet permanen yang lebih banyak. Hal tersebut belum dapat dibuktikan, karena penelitian terbatas pada desain awal yang telah dibuat.

Dari hasil pengujian alat yang telah dilakukan, akan dibandingkan dengan desain rancangan sistem levitasi magnetik yang hanya menggunakan elektromagnet pada jalur gerak yang bersifat statis terhadap bahan ferromagnetik pada kereta pengangkut. Desain yang dijadikan pembanding, ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Model penarik dengan inti besi tipe U dengan besi plat [6]

Untuk mendapatkan hasil gaya tarik yang terjadi pada model yang ditunjukkan pada Gambar 9, perlu dilakukan perhitungan gaya tarik F_a. Untuk mendapatkan nilai dari besaran-besaran yang ada di dalamnya, dilakukan penggabungan persamaan dari persamaan (1) hingga persamaan (4). Sehingga persamaan (7), menjadi seperti persamaan (8).

$$F_a = \frac{\left(\left(\sqrt[2]{\left[10^9.n^2M+2l(log_e\frac{D}{d}+0{,}11835)\right]/2200}\right).I\right)\mu_0/g\Big)^2}{2\mu_0} \qquad (8)$$

Dari persamaan 8, didapatkan hasil perhitungan untuk jarak celah udara sebesar 13 mm dan arus 1,5 A, F_a = 8,066147219 N, maka didapatkan berat benda yang dapat diangkat dengan cara mengalikan dengan percepatan gravitasi g =9,81 m/s^2, sehingga didapatkan hasil massa beban m yaitu 823,0762468 gram. Dengan cara yang sama, pada celah udara dengan jarak 11 mm dan arus 1,2 A dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 4-1, menghasilkan gaya tarik sebesar 6,0585728 N atau mengangkat beban bermassa sebesar 618,2217143 gram.

Hasil perhitungan yang dilakukan terhadap desain seperti Gambar 9, didapatkan bahwa desain yang dibuat dalam penelitian ini lebih unggul. Pada desain yang diteliti, pada jarak celah udara sebesar 13 mm dan arus sebesar 1,5 A dapat mengangkat beban sebesar 1167 gram. Sehingga dari perhitungan yang dilakukan, maka desain yang diteliti memiliki selisih kapasitas beban pada celah udara 13 mm sebesar 343,9237 gram dibandingkan dengan desain seperti pada Gambar 9. Pada jarak celah udara 11 mm dan arus sebesar 1,2 A, desain yang dibuat dapat mengangkat beban sebesar 1134 gram. Sehingga dari perhitungan yang dilakukan, maka desain yang diteliti memiliki selisih kapasitas beban pada celah udara 11 mm sebesar 515,7782

ISSN 1978-0176

gram dibandingkan dengan desain seperti pada Gambar 9.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat difahami faktor-faktor yang mempengaruhi levitasi magnetik yaitu : (1) jarak celah udara yang berbanding terbalik dengan gaya tarik magnet dan (2) besarnya arus listrik elektromagnet yang berbanding lurus terhadap gaya tarik magnet. Didapatkan alat peraga yang dapat melakukan gaya angkat magnetik terhadap beban sebesar 1,167 kg pada jarak celah udara sebesar 13 mm, dengan arus masukan sebesar 1,5 A dan beban sebesar 1,134 kg pada jarak celah udara sebesar 11 mm dengan arus masukan sebesar 1,2 A.

SARAN

Terdapat beberapa saran untuk penelitian lanjutan, antara lain:

1. Penggunaan bahan yang ringan sebagai kereta pengangkut, sehingga tidak menyebabkan beban berlebih bagi rangkaian elektromagnet untuk menghasilkan gaya angkat magnetik.
2. Diperlukan Gaussmeter dengan kapasitas minimal 1,5 T untuk pengukuran medan magnetik
3. Perlu dilakukannya peningkatan dan pengujian desain kereta dengan menambahkan magnet permanen pada ruang kosong rangkaian magnet permanen yang sudah didesain untuk dilakukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kay, M. G., 2012, *Material Handling Equipment*, North Carolina: Fitts Dept. Of Industrial and Systems Engineering North Carolina State University.

[2] Durowoju, Sangotayo, dan Orowole, 2014, *Performance Evaluation of Friction Belt Apparatus Using Indigenous Materials,* International Journal of Modern Engineering Research (IJMER).

[3] Patriawan, D.A., 2015, *Rancang Bangun dan Pengembangan Ssistem Kendali pada Model Magnetik Levitasi*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

[4] Layyinan, I, dkk, 2015, *Rancang Bangun Model Sistem Pengangkat Magnetik Sebagai Alat Bantu Ajar Praktikum Teknologi Elektromekanik Berbasis Instrumen Virtual*, Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

[5] Gallagher, P.K., 2008, *Hanbook of Thermal Analysis and Calorimetry: Recent Advances, Techniques and Application,* Amsterdam: Elsevier.

[6] Han, H-S & Kim D-S, 2016, *Magnetic Levitation Maglev Technology and Applications*, Dordrecht: Springer Science+Business Media Dordrecht.

[7] Surrey, 2014, *Magnetism: quantities, units and relationship,* (Online) (http://info.ee.surrey.ac.uk, diakses pada 18 Juli 2016)

[8] Maxwell, J. C., 1954, *A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol. 2*, Dover.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

ANALISIS UNSUR-UNSUR PENGOTOR DALAM SERBUK U-ZrH_x DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETER SERAPAN ATOM

Asminar,Yanlinastuti, Slamet Pribadi

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong Tangerang Selatan 15313
email : asmi.hari165@gmail.com

ABSTRAK

ANALISIS UNSUR-UNSUR PENGOTOR DALAM SERBUK U-ZrH_x DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETER SERAPAN ATOM. Penentuan jenis dan kadar unsur-unsur pengotor di dalam bahan bakar U-ZrHx sangat penting agar dapat memenuhi persyaratan bahan bakar reaktor PWRTujuan makalah ini adalah melakukan anailisis mengetahui jenis dan kadar unsur-unsur pengotor dalam bahan bakar U-ZrH_x hasil proses hidriding-dehidring. Sampel yang digunakan berupa bahan bakar serbuk U-35ZrH_x, U-45ZrH_x dan U-55ZrH_x yang dilarutkan dengan asam nitrat sehingga membentuk larutan uranil nitrat (UN). Larutan UN tersebut kemudian dipisahkan dengan cara ekstraksi pelarut menggunakan Tributil Phosfat-Heksan (TBP-Hexan) sebagai pengekstrak dengan perbandingan 70:30%. Hasil analisis diperoleh bahwa unsur-unsur pengotor yang terdapat dalam serbuk UZrH_x yaitu: Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe,Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Sn dan Zn. Kadar unsur- unsur pengotor tersebut diperoleh lebih kecil dari spesifikasi yang diizinkan dalam bahan bakar PWR, kecuali untuk unsur Fe. Kadar unsur Fe, khususnya dalam serbuk U-35ZrH_x diperoleh 382,912(μg/g) lebih besar dari spesifikasi yang dipersyaratkan (250,0 ppm) sehingga perlu dilakukan pengambilan sampel yang lebih homogen dan pengulangan analisis kadar pengotor Fe. Unsur pengotor lainnya masih lebih rendah dari nilai spesifikasi yang ditentukan sehingga bubuk U-ZRX dapat digunakan untuk aplikasi bahan bakar nuklir

Kata kunci : Unsur Pengotor, bahan bakar U-ZrH_x, ekstraksi, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

ABSTRACT

The analysis of impurities in the U-ZrH_x powder by using atomic absorption spectrophotometer (AAS) method. Determination of types and levels of impurity elements in the U-ZrHx fuel is very important in order to meet the requirements of PWR reactor fuel. The purpose of this study is to analyze and define the types and levels of impurity elements in the fuel U-ZrHx from the hidriding-dehidring process results. The sample was used are U-35ZrHx, U-45ZrHx and U-55ZrHx in the form of a powder dissolved in nitric acid to form a solution of uranyl nitrate (UN).. The UN solution then extracted using Tributyl phosphate (TBP)-Hexane solution with a composition of 70%: 30%. The result of analysis showed that the U-ZrH_x powder contains impurities such as Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Sn, and Zn. Levels of impurity elements are obtained is smaller than the specifications are allowed in the PWR fuel, except for the elements Fe. Levels of the Fe impurities, especially in the U-35ZrHx powder obtained 382.912 (μg/g) is greater than the required specifications (250.0 ppm) so we need a more homogenous sampling and repetition impurity analysis for Fe content. The other impurities are still lower than the defined specifications so that the U-ZRX powder can be used for nuclear fuel applications.

Keywords: Impurities, U-ZrHx, extraction, Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

PENDAHULUAN

Pengembangan bahan bakar reaktor daya tengah dilakukan di PTBBN dalam rangka mendapatkan bahan bakar *prototype* elemen bakar PWR dan berkas bahan bakar HWR/Cirene[1]. Bahan bakar reaktor PWR dapat berupa bahan bakar keramik, logam,

ISSN 1978-0176

hidrida atau campuran antara keramik dengan logam. Bahan bakar paduan U-ZrH_x merupakan bahan bakar dengan tipe hidrida dan telah lama digunakan secara luas, seperti bahan bakar reaktor TRIGA (*Training Isotop by General Atomic*) dalam bentuk U-ZrH_x,.*Advance Boiling Water Reactor* (ABWR), FBR (*Fast Bredeer Reaktor*) dan EBR (*Experiment Breeder Reactor*) menggunakan bahan bakar dalam bentuk campuran antara U, Pu dan Zr [2].

Percobaan sebelumnya[1] telah berhasil membuat pelet mentah U-ZrH_x. Pemilihan bahan bakar U-ZrH_x pada percobaan ini karena bahan bakar UZrH_x memiliki kelebihan dari bahan bakar yang lainnya yaitu dalam hal kemampuan menempatkan hidrogen sebagai moderator secara langsung di dalam bahan bakar, yang memungkinkan reaktor dapat beroperasi pada temperatur yang relatif tinggi (hingga 750^oC) serta mempunyai sifat termal lebih baik [3]. Namun agar dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir, maka bahan bakar U-ZrH_x tersebut harus mempunyai kemurnian yang tinggi (*nuclear grade*). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis unsur- unsur pengotor dalam bahan bakar U-ZrH_x yang akan digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor PWR.

Kandungan unsur-unsur pengotor dalam bahan bakar nuklir perlu diketahui jenis dan jumlahnya serta harus memenuhi persyaratan/spesifikasi yang ditentukan untuk bahan bakar karena keberadaan unsur pengotor dapat mengganggu proses yang terjadi dalam reaktor. Bahan bakar U-ZrH_x dapat digunakan sebagai bahan bakar PWR bila telah memenuhi persyaratan yang tercantum dalam spesifikasi bahan bakar nuklir PWR, seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kandungan unsur-unsur pengotor di dalam bahan bakar PWR[5]

No.	Unsur	Kadar (ppm)
1	Al	250,0
2	Ca	200,0
3	Cd	0,2
4	Co	100,0
5	Cr	200,0
6	Cu	250,0
7	Fe	250,0
8	Mg	50,0
9	Mn	250,0
10	Mo	250,0
11	Ni	200,0
12	Pb	250,0
13	Si	300,0
14	Sn	250,0
15	Zn	250,0

TEORI

Beberapa teknik analisis dapat digunakan untuk menentukan kandungan unsur di dalam suatu bahan, diantaranya dengan menggunakan teknik Spektroskopi Serapan Atom (SSA), *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer* (ICP-AES) Plasma 40, X *Ray Flourocency* (XRF), dan UV-Vis. Metode SSA dan ICP-AES biasanya digunakan untuk menentukan unsur pengotor di dalam suatu bahan, metode UV-Vis untuk menentukan kadar uranium, sedangkan X-Ray Fluoresensi (XRF) merupakan salah satu teknik analisis tidak merusak digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Pemilihan metoda uji/analisis didasarkan pada batas deteksi dan kemudahan dalam menganalisis termasuk dalam penyiapan sampel uji. Dalam percobaan ini metoda analisis yang digunakan adalah SSA. Metode SSA memilki keunggulan dalam menganalisis keberadaan unsur pengotor dari pada metode analisis lainnya karena kemudahan metode tersebut dan kemampuan dalam melakukan deteksi unsur-unsur. Percobaan ini bertujuan untuk menentukan unsur pengotor di dalam bahan bakar U-ZrH_x secara kualitatif, kuantitatif dan penguasaan metode analisis unsur-unsur pengotor dalam bahan bakar uranium.

Spektrometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu alat yang digunakan untuk analisis unsur-unsur logam dan paduannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog et al., 2000). Prinsip kerja SSA berdasarkan absorpsi cahaya dengan panjang gelombang tertentu melalui suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang dianalisis maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada pada sel. Hubungan antara absorbansi dengan

konsentrasi berdasarkan dari Hukum *Lambert* yang menyatakan bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorbsi cahaya. Selain hukum *Lambert* juga digunakan hukum *Beer* yang menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi unsur yang menyerap sinar tersebut. Dari kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan: [6,7]

$$\text{Log } I_o/I_t = A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$A = am.b.c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

dengan :

I_o = Intensitas mula-mula
I_t = Intensitas sinar yang diteruskan
am = ekstensi molar %/ (cm x M)
A = absorbansi
b = panjang *burner* (medium yang dilewati radiasi resonansi)
c = kepekatan atom-atom yang mengabsorbsi

Konstanta am dan b merupakan suatu yang tetap, sehingga absorbansi cuplikan dapat langsung dibandingkan dengan absorbansi larutan standar yang telah diketahui konsentrasinya dengan membuat grafik antara konsentrasi dan absorbansi. Besarnya kandungan unsur dalam sampel dapat diketahui dengan mengsubtitusi nilai absorbansi unsur dalam sampel ke dalam grafik hubungan antara konsentrasi dengan menggunakan persamaan linear.[8]

$$y = ax + b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

dengan :

y = absorbansi
a = slope y/x
b = intercept
x = konsentrasi

Pembuatan kurva kalibrasi larutan standar dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan standar pada setiap konsentrasi yang berbeda dan besarnya tingkat ketelitian pengukuran ditunjukan dari nilai koefisien linier regresi yang mendekati 100 % atau 1. Kadar dari masing-masing unsur pengotor dalam cuplikan dapat dihitung dengan mensubtitusikan nilai absorbansi pengukuran pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar unsur} = \frac{A \times V}{B} \ \mu g/g \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

dengan :

A = konsentrasi (hasil interpolasi dari kurva kalibrasi)
V = volume labu untuk pengenceran contoh (mL)
B = berat cuplikan (g)

METODOLOGI

a. Bahan

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah larutan standar, serbuk U-ZrH_x dengan kadar U35ZrH_x, U-45ZrH_x dan U-55ZrH_x, asam nitrat 3 M, asam fluorida 1:1, TBP-Heksan dengan perbandingan 70:30%, udara tekan, gas acetilen, gas nitrogen oksida.

b. Peralatan

Spektrometri Serapan Atom (SSA), corong pemisah, pipet *effendrof*, peralatan gelas, timbangan analitik, almari asam dan pemanas listrik.

c. Cara kerja

Penyiapan larutan sampel paduan U-ZrH_x

Larutan sampel dibuat dengan menimbang ± 1 g serbuk paduan U-ZrH_x dengan kadar U-35ZrH_x ; U-45ZrH_x ; U-55ZrH_x kemudian dimasukkan ke dalam *beaker Teflon*, lalu ditambahkan dengan 10 mL campuran HNO_3 3 M dan HF 1 M (1:1). Campuran larutan tersebut kemudian dipanaskan diatas pemanas listrik sampai agak kering, ditambahkan 10 mL HNO_3 3 M, diuapkan hingga kering. Setelah dingin ditambah 10 mL HNO_3 3 M. Larutan yang terjadi kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditepatkan hingga tanda batas menggunakan HNO_3 3M. Larutan diekstraksi dengan 50 mL campuran TBP-Hexan selama 10 menit, kemudian didiamkan sehingga fasa air dan fasa organik terpisah. Fasa organik dipisahkan dari fasa airnya, dan ekstraksi diulangi dua kali. Fasa air hasil ekstraksi siap dilakukan analisis unsur pengotornya dengan menggunakan peralatan SSA, dengan cara yang sama, dilakukan untuk paduan U-45ZrH_x dan U-55ZrH_x. Langkah terakhir melakukan perhitungan kadar unsur-unsur pengotor dalam sampel.

Penyiapan larutan blanko dan pernyiapan larutan standar.

ISSN 1978-0176

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis unsur-unsur pengotor dalam larutan standar dengan menggunakan metode SSA adalah data absorbansi seperti yang tertuang pada Tabel 2.

Table 2 Konsentrasi dan absorbansi dalam larutan standar

No	Unsur	Konsentrasi (ppm) dan Absorbansi standard				
1	Al	Konsentrasi	0,000	10	20	40
		Absorbansi	-0,0007	0,0313	0,0621	0,1256
2	Ca	Konsentrasi	0,000	0,2	0,4	0,8
		Absorbansi	-0,002	0,0227	0,0448	0,0997
3	Cd	Konsentrasi	0,000	0,025	0,05	0,1
		Absorbansi	0,0004	0,0116	0,0219	0,0436
4	Co	Konsentrasi	0,000	0,1	0,2	0,4
		Absorbansi	0,0005	0,0087	0,0163	0,0320
5	Cr	Konsentrasi	0,000	0,4	0,8	1,6
		Absorbansi	-0,0023	0,04	0,0618	0,1340
6	Cu	Konsentrasi	0,00	0,4	0,8	1,6
		Absorbansi	0,0003	0,0528	0,1046	0,2138
7	Fe	Konsentrasi	0,000	1,0	2,0	4,0
		Absorbansi	-0,0023	0,0870	0,1739	0,3358
8	Mg	Konsentrasi	0,000	0,1	0,2	0,4
		Absorbansi	0,0005	0,1835	0,3263	0,6380
9	Mn	Konsentrasi	0,000	0,1	0,2	0,4
		Absorbansi	-0,0010	0,0249	0,0445	0,0863
10	Mo	Konsentrasi	0,00	5	10	20
		Absorbansi	-0,0001	0,008	0,0241	0,0782
11	Ni	Konsentrasi	0,000	1,0	2,0	4,0
		Absorbansi	-0,0002	0,094	0,1935	0,3263
12	Pb	Konsentrasi	0,00	0,2	0,4	0,8
		Absorbansi	0,0006	0,0056	0,0120	0,0237
13	Si	Konsentrasi	0,00	15	30	60
		Absorbansi	0,0005	0,0343	0,0714	0,1338
14	Sn	Konsentrasi	0,000	5	10	20
		Absorbansi	-0,0005	0,0127	0,0262	0,0502
15	Zn	Konsentrasi	0,000	0,2	0,4	0,8
		Absorbansi	-0,0009	0,0666	0,1312	0,2520

Tabel 2 merupakan data absorbansi unsur-unsur pengotor hasil pengukuran dari konsentrasi standar untuk membuat kurva kalibrasi yang merupakan hubungan konsentrasi dan absorbansi. Kurva kalibrasi akan menghasilkan suatu persamaan regresi linier dengan koefisien regresi. Persaman dan koefisien regresi dari setiap unsur yang dianalisis tercantum pada Tabel 3. Pada Tabel 3 terlihat bahwa semua unsur memiliki koefisien regresi (R^2) dari persamaan garis regresi linear mendekati 1, berkisar antara 0,9815 sampai 0,9999. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran unsur-unsur pengotor dalam serbuk $UZrH_x$ memberikan hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi yang linier.

Table 3. hasil perhitungan linearitas kurva kalibrasi unsur-unsur pengotor dalam standar

No	Unsur	Persamaan garis regresi	R^2
1	Al	Y= 0,0031x+0,0002	0,9999
2	Ca	Y= 0,1481x+0,0176	0,9972
3	Cd	Y= 0,4334x+0,0006	0,9996
4	Co	Y= 0,0313x+0,0007	0,9993
5	Cr	Y= 0,0332x+0,0004	0,9928
6	Cu	Y= 0,1336x-0,0004	0,9999
7	Fe	Y= 0,0843x+0,0012	0,9994

ISSN 1978-0176

8	Mg	Y= 1,574x+0,0118	0,9984
9	Mn	Y= 0,2146x+0,0012	0,9970
10	Mo	Y= 0,0041x+0,0048	0,9815
11	Ni	Y= 0,0814x+0,0109	0,9894
12	Pb	Y= 0,0292x+0,0003	0,9987
13	Si	Y= 0,0022x+0,0013	0,9990
14	Sn	Y= 0,0025x+0,0001	0,9991
15	Zn	Y= 0,13149x+0,0021	0,9993

Persamaan garis regresi linear kemudian digunakan untuk menghitung konsentrasi unsur-unsur pengotor dalam sampel dengan cara mensubtitusi nilai absorbansi unsur dalam sampel ke dalam persamaan tersebut. Salah satu contoh unsur Al yang digunakan untuk mendapatkan persamaan garis regresi linear terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi stándar Al

Hasil analisis unsur-unsur pengotor dalam serbuk U35%ZrH_x, U45%ZrH_x dan U55%ZrH_x adalah data absorbansi dari masing-masing unsur pengotor, yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data absorbansi unsur-unsur pengotor dalam sampel serbuk U-ZrH_x

No	Unsur pengotor	Absorbansi		
		U-35ZrH_X	U-45ZrH_x	U-55ZrH_X
1	Al	0,0182	0,0366	0,0061
2	Ca	0,0604	0,0896	0,0680
3	Cd	0,0009	0,0014	0,0020
4	Co	0,0010	0,0011	0,0200
5	Cr	0,1091	0,1414	0,0620
6	Cu	0,0906	0,1073	0,1542
7	Fe	0,4762	0,5022	0,0336
8	Mg	0,3179	0,3796	0,0905
9	Mn	0,0323	0,0403	0,0806
10	Mo	0,0042	0,0106	0,0108
11	Ni	0,2071	0,2780	0,141
12	Pb	ttd	ttd	ttd
13	Si	0,0092	0,0058	0,0049
14	Sn	0,0026	0,0032	0,0031
15	Zn	0,1074	0,2271	0,0521

Unsur Pb tidak dapat dideteksi (ttd) karena dimungkinkan konsentrasi unsur Pb dalam serbuk U-ZrH_x dibawah limit detekis pengukuran SSA yaitu sebesar 0,015 ppm.

ISSN 1978-0176

Terlihat bahwa unsur pengotor Pb untuk sampel U-ZrH_x tidak dapat ditentukan besaran kadarnya, karena absorbansi yang dihasilkan dibawah limit deteksi pengukuran. Hal ini dimungkinkan karena unsur pengotor Pb tidak terdapat didalam sampel atau kandungan Pb sangat kecil sehingga tidak terdeteksi oleh alat SSA.

Tabel 5. Data hasil pengukuran konsentrasi dalam cuplikan $UZrH_x$

No	Unsur pengotor	Konsentrasi (ppm)		
		U-35ZrH_X	U-45ZrHx	U-55ZrH_X
1	Al	4,070	4,540	2,920
2	Ca	0,509	0,765	0,607
3	Cd	0,002	0,003	0,003
4	Co	0,012	0,013	0,029
5	Cr	1,381	1,6884	0,820
6	Cu	0,677	0,806	1,400
7	Fe	6,57	2,39	2,630
8	Mg	0,1871	0,2275	0,0346
9	Mn	0,136	0,176	0,465
10	Mo	0,6875	1,5781	1,580
11	Ni	2,004	2,787	1,525
12	Pb	ttd	ttd	ttd
13	Si	5,400	3,400	2,920
14	Sn	1,020	1,240	1,230
15	Zn	0,329	0,724	0,176

Setelah diperoleh kandungan unsur-unsur dalam analisis, maka kadar unsur-unsur pengotor dalam cuplikan $UZrH_x$ dapat dihitung menggunakan persamaan 4. Sebagai contoh perhitungan kandungan unsur pengotor Al dalam larutan cuplikan U-35ZrH_X sebesar 4,07 µg/mL diperoleh :

$$\text{Kadar Al (ppm)} = \frac{(4{,}07\ \mu g/mL)(50\ mL)}{0{,}8579\ g} = 237{,}207\ \mu g/g$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk penentuan kandungan unsur-unsur pengotor dalam sampel di dalam serbuk U-ZrH_x yang lainnya . Hasil kandungan unsur-unsur pengotor dalam bahan bakar uranium serbuk U35% ZrH_x, U45%ZrH_x dan U55%ZrH_x ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data kandungan unsur-unsur pengotor di dalam serbuk U-ZrH_x

No	Unsur pengotor	Serbuk U35ZrH_x (µg/g)	Serbuk U45ZrH_x (µg/g)	Serbuk U55ZrH_x (µg/g)
1	Al	237,207	227,136	206,886
2	Ca	29,665	38,273	43,007
3	Cd	0,042	0,101	0,101
4	Co	0,699	0,650	2,055
5	Cr	80,487	84,471	58,098
6	Cu	33,822	40,519	99,192
7	Fe	382,912	119,572	186,339
8	Mg	10,904	11,382	2,452
9	Mn	7,926	8,805	32,946
10	Mo	40,069	78,952	111,953
11	Ni	116,797	139,434	108,049
12	Pb	ttd	ttd	ttd
13	Si	214,722	170,102	206,887
14	Sn	59,447	62,037	87,148
15	Zn	19,181	36,227	4,171

Tabel 6 menunjukan kadar- unsur-unsur pengotor yang diperoleh dengan metode SAA pada bahan bakar $UZrH_x$, khususnya pada serbuk U-35 ZrH_x, U-45ZrH_x dan U-55 ZrH_x

ISSN 1978-0176

diperoleh lebih kecil dari kadar unsur yang dipersyaratkan dalam bahan bakar nuklir PWR. Untuk kadar unsur Fe dalam serbuk U-35ZrH_x diperoleh lebih besar dari yang dipersyaratkan dalam bahan bakar nuklir karena dimungkinkan sampel terkontaminasi unsur Fe yang berasal dari wadah pembuat ingot yang dominan mengandung Fe. Selain itu dimungkinkan karena dalam pengambilan cuplikan yang tidak homogen saat untuk dianalisis. Unsur Pb tidak dapat diketahui kadarnya karena hasil pengukuran unsur Pb dibawah limit yaitu 0,0015 ppm. Hal ini karena diduga unsur Pb tidak terdapat dalam cuplikan $UZrH_x$. Namun dengan demikian penentuan kadar unsur-unsur pengotor tesebut pada umumnya masih dalam batasan spesifikiasi yang diizinkan seperti tercantum pada Tabel 1,

KESIMPULAN

Hasil analisis mendapatkan bahwa unsur-unsur pengotor yang terdapat dalam serbuk $UZrH_x$ yaitu: Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe,Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Sn dan Zn. Kadar unsur- unsur pengotor tersebut diperoleh lebih kecil dari spesifikasi yang diizinkan dalam bahan bakar PWR sehingga memenuhi persyaratan yang diizinkan sesuai spesifikasi. Namun untuk unsur Fe, khusus dalam serbuk U-35ZrH_x diperoleh lebih besar dari spesifikasi yang dipersyaratkan sehingga perlu dilakukan pengambilan sampel yang lebih homogen dan pengulangan analisis kadar Fe.

Hasil análisis untuk unsur-unsur pengotor yang terdapat dalam bahan bakar serbuk U-ZrH_x menggunakan metode SSA telah diperoleh dan memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan, namun untuk unsur pengotor Fe dalam serbuk U35% ZrH_x diperoleh 382,912 (µg/g), hasil analisisi ini melebihi spesifikasi yang dipersyaratkan, sehingga perlu dilakukan pengambilan sampel yang homogen untuk dianalisisi kembali agar mendapatkan hasil yang memenuhi spesifikasi sehingga bahan tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Ir. Masrukan, MT yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini, serta kepada rekan-rekan yang telah membantu kelancaran pelaksanaan kegiatan ini baik secara langsung maupun tidak langsung hingga makalah ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

1. Masrukan, M Husna Al Hasa, Anwar Muchsin, Pembuatan *Green Pellet* U-ZrH_x Untuk Bahan Bakar PWR Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN
2. Http:// en.wikipedia.org/wiki/*Experimental_ Breeder_ Reactor II*. Download: tanggal 4-1-2008.
3. Greenpan, Ehud, (1994). *BWR Fuel Assembly Having Oxide and Hydride Fuel*. US Patent Publication, US 5349618 A.
4. Rosika, Dian A, Agus J, Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 18 November 2010. Hal 273-277. ISSN 1978-0176.
5. ASTM C753-04, (2009), *Standard Specification for Nuclear-Grade*, Sinterable Uranium Dioxide Powder, volume 12.01 Nuclear Energy (I).
6. Septiyani Aris, dkk, (2013), Spektroskopi Serapan Atom (SSA) , Politeknik Kesehatan Banjarmasin. Hal. 8.
7. Farida Jaya1, Any Guntarti1, Zainul Kamal, Penetapan Kadar Pb Pada Shampoo Berbagai Merk, Parmaciana , Vol 3 No 2, 2013: 9-13.
8. Sigit, Laporan Teknis,"*Kajian Pembuatan Bahan Bakar Dupic*", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Kawasan Puspiptek Serpong Tahun 2006.

ISSN 1978-0176

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Apa yang perlu dilakukan agar alat AAS ini bekerja dengan baik (Tria Madesa)
2. Dalam penyiapan sampel U-ZrHx mengapa harus ditambah HNO3 dan HF. Dan bagaimana jika tidak menggunakan HNO3 dan HF serta diganti dengan bahan lain? (Mahasiswa STTN)

Jawaban :

1. Agar alat AAS bekerja dengan baik sebelum bekerja dilakukan kalibrasi masing-masing unsur dari larutan standar unsur-unsur yang digunakan dan diukur dengan AAS hingga diperoleh hasil yang optimum, contohnya unsur Al pada konsentrasi 40 ppm memberikan daya absorbansi sebesar 0,2.
2. Dalam penyiapan sampel digunakan pelarut HNO3 dan HF hal ini dilakukan karena sampel yang digunakan mengandung Si, maka perlu pelarutan menggunakan HF. Jika tidak menggunakan HNO3 dan HF sampel tidak bias larut sempurna.

ISSN 1978-0176

PEMBUATAN SERBUK PADUAN U-35ZrHx U-45ZrHx U-55ZrHx DENGAN PROSES HYDRIDING

Suyoto, Yatno Dwi Agus Susanto
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan Pispiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314
e-mail : su_yoto65@yahoo.co.id

ABSTRAK

PEMBUATAN SERBUK PADUAN U-35ZrHx U-45ZrHx U-55ZrHx DENGAN PROSES HYDRIDING. Pembuatan serbuk U-35ZrHx U-45ZrHx U-55ZrHx telah dilakukan melalui proses *hydriding* dalam rangka pengembangan bahan bakar reaktor riset untuk meningkatkan muatan uranium yang lebih tinggi. Permasalahan utama dari penelitian bahan bakar ini adalah mengubah bentuk paduan yang bersifat ulet menjadi rapuh dan membentuk serbuk. Metode yang akan digunakan untuk pembuatan serbuk malalui teknik *hydriding* didasarkan pada ketersediaan alat dan kemudahan proses. Teknik *hydriding* dilakukan dengan cara mereaksikan potongan ingot paduan U-35Zr U-45Zr U-55Zr dalam suasana gas hidrogen, dengan harapan *zirconium* akan mengikat hidrogen dan membentuk senyawa ZrH_x. Sementara itu logam uranium diharapkan akan memisah dan terdistribusi secara merata di dalam matriks *zirconium hydrid*. Pada proses *hydriding*, paduan U-35Zr U-45Zr U-55Zr dipanaskan di dalam tabung reaksi (*retort*) pada suhu dibawah suhu *euthectik* (± 565^0C) dan dalam kondisi vakum. Proses *hydriding* untuk penyerapan hydrogen hingga merapuhkan ingot paduan U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx dilakukan pada suhu masing-masing 350^0C, 450^0C dan 550^0C dengan tekanan aliran gas hidrogen 3,00 s/d 6,00 psi. Ingot paduan U-35ZrHx lebih mudah rapuh bila dibandingkan dengan paduan U-45ZrHx dan paduan U-55ZrHx. Paduan U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55Zr ZrHx yang telah rapuh berhasil menjadi serbuk butiran partikel berukuran +70 - 125 μm.

Kata kunci: Bahan bakar reaktor riset, ingot paduan U-35Zr U-45Zr U-55Zr, *hydriding* dan serbuk U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx.

ABSTRACT

MAKING POWDER ALLOY U-35ZrHx U-45ZrHx U-55ZrHxTHE PROCESS HYDRIDING. *Pulverizing U-35ZrHx U-45ZrHx U-55ZrHx has been done through the hydrogen process in order to develop a research reactor fuel to increase the uranium charge higher. The main problem of fuel research is changing the form of the alloy that is ductile become brittle and form a powder. The method will be used for the manufacture of powder mall hydriding technique is based on the availability of tools and ease the process. Hydriding technique performed by reacting piece alloy ingot U-35Zr U-45Zr U-55Zr in an atmosphere of hydrogen gas, in the hope of zirconium will bind the hydrogen and form compounds ZrHx. While the uranium metal is expected to be split and distributed uniformly in the matrix of zirconium hydride. In the process of hydrogen, alloy U-35Zr U-45Zr U-55Zr heated in a test tube (retort) at a temperature below the temperature autistic (±565^0C) and under vacuum conditions. Hydrogen process for hydrogen absorption by the alloy ingot thins U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx carried out at each 350^0C, 450^0C and 550^0C with a hydrogen gas flow pressure of 3.00 s/d 6.00 psi. The U-35ZrHx alloy ingot is easier fragile than the U-45ZrHx alloy and alloy U-55ZrHx. Alloy U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55Zr ZrHx who has managed to become brittle granular powder particle size of +70 - 125 μm.*

Keywords: research reactor fuel, U-35Zr alloy ingot U-45Zr U-55 Zr, hydriding and powder U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx.

PENDAHULUAN

Penelitian dan pengembangan bahan bakar reaktor riset bertujuan untuk menaikkan muatan uranium yang lebih tinggi. Beberapa kandidat bahan bakar dewasa ini sudah mengarah ke penggunaan basis paduan U-Mo, U-Zr, dan U-N. Paduan U-Mo adalah kandidat yang memiliki tingkat muat lebih tinggi dibanding U-Zr atau U-N, namun kelemahan dari paduan U-Mo adalah kestabilan panas yang rendah dengan membentuk *swelling*[1]. Walaupun bahan bakar U-Zr mempunyai tingkat muat lebih rendah, namun memiliki tingkat keselamatan yang paling tinggi sebagaimana yang dihasilkan oleh *General Atomic* berupa bahan bakar yang digunakan pada reaktor TRIGA (*Training, Research and Isotope Production by General Atomic*), sedangkan bahan bakar paduan U-N digunakan untuk reaktor generasi ke IV (reaktor maju). Bahan bakar paduan U-Zr untuk reaktor TRIGA berupa tipe dispersi yaitu uranium terdispersi secara homogen sebagai logam bebas didalam matriks *zirconium hydrid*

ISSN 1978-0176

dengan membentuk paduan U-ZrH [1,4]. Bahan bakar berupa paduan U-Zr dikembangkan dengan konsep keselamatan melekat, yaitu dapat mengeliminasi kecelakaan reaktor akibat reaktivitas berlebih (*prompt negative temperature coefficient of reactivity)* yaitu suatu keadaan dimana reaktivitas di dalam reaktor menjadi tak terkendali oleh neutron yang dilahirkan akan secara otomatis menyerap hidrogen pada elevasi suhu, sehingga keadaan reaktor yang lebih buruk dapat dihindarkan. [2].

Bahan bakar logam paduan U-xZr diperoleh dari proses peleburan, logam yang dilebur dipanaskan hingga melebur memiliki karakteristik tertentu. Proses peleburan dilakukan pengaturan komposisi kimia hasil peleburan juga perlu diatur serapan gas, suhu dan inklusi. Proses peleburan umumnya menggunakan kupala dan tanur listrik. Tanur listrik dibagi menjadi dua tipe yaitu tanur induksi dan tanur busur listrik. Peleburan U-xZr dilakukan menggunakan arus listrik 125 Ampere dengan lima kali remelting dengan membalik dan waktu peleburan selama 2 menit. Sampel U-xZr yang berbentuk ingot kemudian ditimbang dan diukur diameter dan dimensi tebal.

Paduan logam untuk bahan bakar nuklir dispersi yang berbentuk padat dan ulet harus diubah kedalam bentuk serbuk hingga butiran partikel ≤ 125 µm. Sifat ulet paduan menyebabkan proses pembuatan serbuk sulit dilakukan dengan cara permesinan/mekanik (*grinding mill/ball mill*), sehingga hal ini merupakan suatu tantangan yang harus diperhatikan dalam pemilihan teknik yang tepat. Teknik pembuatan serbuk dapat dilakukan dengan cara antara lain atomisasi, *cryogenic mechanical crushing*, dan teknik *hydriding-dehydriding* [1,3].

Paduan U-Zr dipilih karena tampang lintang serapan neutron mikroskopik Zr rendah, sifat mekanik dan fisik cukup baik [4], berdensitas tinggi, dan tersedia di dalam negeri. Teknik yang dicoba adalah teknik *hydriding* terhadap logam paduan U-35Zr U-45Zr U-55Zr dalam suasana gas H_2, dengan harapan hidrogen akan mengikat *zirconium* membentuk senyawa ZrH_x sedangkan logam uranium akan memisah dan terdistribusi secara merata didalam matrik *zirconium hydrid*. Pemilihan teknik *hydriding* didasarkan pada ketersediaan alat, kesederhanaan proses, dan mampu menghasilkan serbuk yang lebih homogen. Proses *hydriding* dilakukan dengan cara kimia yaitu mereaksikan paduan dengan gas hidrogen pada suhu dan tekanan tertentu. Dari pemilihan paduan dan teknik yang digunakan diharapkan dapat diperoleh ukuran serbuk yang sesuai persyaratan untuk bahan bakar reaktor riset.

TATA KERJA

Alat :

1. Peralatan Sistem *Hydriding*
2. *Glove Box.*
3. Sendok, Kuas, Pinset.
4. Morter, Penumbuk (alat penggerus)
5. Ayakan ukuran 70 µm dan 125 µm.

Bahan :

1. Potongan ingot paduan U-35Zr, U45Zr, U55Zr
2. Gas Hidrogen.
3. Gas Argon / Helium

CARA KERJA

Potongan ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr dari hasil peleburan ditunjukkan pada Gambar 1. Kemudian potongan ingot dimasukkan pada wadah *pyrex* yang ada di dalam tabung reaksi (*retort*) sistem *hydriding*. Gas argon dialirkan pada tekanan 1,50 s/d 3,50 psi, *flushing* dengan gas argon atau helium untuk mengusir udara yang masuk ke dalam tabung reaksi (*retort*) digunakan untuk melindungi sampel agar tidak terjadi oksidasi



Gambar 1. Potongan ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr

Flushing dengan gas argon atau helium biasanya dilakukan pengulangan tiga kali untuk menjamin tidak ada udara yang terjebak pada tabung reaksi (*retort*). Homogenisasi dilakukan pada suhu 550^0C dengan kenaikan suhu interval 50^0C selama 12 jam dengan tujuan membentuk kisi-kisi pada material agar memudahkan penyerapan gas hidrogen pada saat proses *hydriding*. Selanjutnya proses *hydriding* dilakukan pada suhu masing-masing 350^0C (U-35Zr), 450^0C (U-45Zr) dan 550^0C (U-55Zr) dan ditahan selama 1 jam, kemudian tutup valve dan pompa vakum dimatikan. Gas hidrogen dialirkan dengan tekanan 3,00 s/d 6,00 psi dan

ISSN 1978-0176

diamati serapannya pada manometer tekanan digital, pengisian gas hidrogen bila terjadi serapan dapat dilakukan beberapa kali dan bila dianggap cukup gas hidrogen dimatikan. Peralatan Sistem *Hydriding* yang digunakan untuk penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Untuk melihat ingot paduan yang rapuh di dalam tabung reaksi (*retort*), tungku pemanas diturunkan dengan memutar tuas kearah kiri pada alat dongkrak sampai batas bawah. Keluarkan sampel di dalam tabung reaksi (*retort*) terlebih dahulu dialiri gas argon atau helium pada ruang tabung reaksi (*retort*) diharapkan sampel terhindar dari oksidasi. Selanjutnya sampel dikeluarkan dari tabung reaksi (*retort),* dimasukkan di dalam *glove box***.** Di dalam *glove box* dengan media gas argon atau helium sebagai pelindung, sampel ditumbuk atau digerus dengan alat penumbuk dan morter untuk dihaluskan menjadi serbuk. Serbuk yang sudah digerus, kemudian diayak dengan ayakan +70 - 125 µm dan serbuk yang sudah dihasilkan ditimbang dan diukur densitas oleh unit kerja kendali kualitas.



Gambar 2. Peralatan Sistem *Hydriding*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian proses *hydriding*, tekanan aliran gas hidrogen sangatlah berpengaruh terhadap sampel, agar dapat menyerap dan merapuhkan. Akan tetapi panas pada suhu 350^0C sangatlah mempengaruhi dari regangan pada logam bila dilihat strukturnya. Hasil proses *hydriding* nampak rapuh dan terdapat serbuk, serapan yang diterima oleh sampel biasanya mencapai tekanan minus yaitu -6,34 psi. Pemberian tekanan pada 3,00 s/d 6,00 psi dapat merapuhkan ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr dan membentuk serbuk U-35ZrHx, U-45ZHxr, U-55ZrHx . Ingot paduan U-35Zr hasil proses *hydriding* ditunjukkan pada Tabel 1, Ingot paduan U-45Zr hasil proses *hydriding* ditunjukkan pada Tabel 2 dan Ingot paduan U-55Zr hasil proses *hydriding* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Ingot paduan U-35Zr hasil proses *hydriding* pada suhu 350^0C

Berat Ingot Paduan (gram)	Tekanan Masuk Hidrogen (psi)	Tekanan Penyerapan Hidrogen (psi)	Keterangan
17,5624	3,91	-3,52	Mudah rapuh
18,4980	4,87	-6,34	Mudah rapuh
18,6110	4,09	-0,92	Mudah rapuh
17,8431	4,69	-5,18	Mudah rapuh
16,6204	4,53	-2,81	Mudah rapuh
15,9667	4,61	-6,30	Mudah rapuh
10,7836	4,74	-3,51	Mudah rapuh

Pada Tabel 1 Ingot paduan U-35Zr hasil proses *hydriding* pada suhu 350^0C dihasilkan sampel yang mudah rapuh dan pengaruh suhu terhadap ingot paduan menunjukkan bahwa serapan gas hidrogen cepat diserap oleh sampel dan diperoleh rapuhan serbuk. Dalam preparasi serbuk diperoleh serbuk U-35ZrHx yang lolos ayakan +70 - 125 µm masih banyak.

Tabel 2. Ingot paduan U-45Zr hasil proses *hydriding* pada suhu 450^0C

Berat Ingot Paduan (gram)	Tekanan Masuk Hidrogen (psi)	Tekanan Penyerapan Hidrogen (psi)	Keterangan
17,7835	4,80	0,35	Setengah rapuh
16,7339	4,94	1,62	Setengah rapuh
16,2363	4,77	-1,28	Setengah rapuh
17,5403	4,19	-6,33	Setengah rapuh
13,7536	4,67	-6,31	Setengah rapuh
16,3117	4,46	-4,94	Setengah rapuh
18,3170	4,62	-6,32	Setengah rapuh

Pada Tabel 2 Ingot paduan U-45Zr hasil proses *hydriding* pada suhu 450^0C dihasilkan sampel setengah rapuh dan pengaruh suhu terhadap ingot paduan menunjukkan bahwa serapan gas hidrogen mudah diserap oleh sampel dan diperoleh rapuhan serbuk. Dalam preparasi serbuk diperoleh serbuk U-45ZrHx yang lolos ayakan +70 - 125 µm sedikit sehingga diperlukan siklus waktu yang lebih lama pada saat proses *hydriding*.

ISSN 1978-0176

Tabel 3. Ingot paduan U-55Zr hasil proses *hydriding* pada suhu 550^0C

Berat Ingot Paduan (gram)	Tekanan Masuk Hidrogen (psi)	Tekanan Penyerapan Hidrogen (psi)	Keterangan
21,8310	5,70	3,18	Sedikit rapuh
22,1705	4,81	1,37	Sedikit rapuh
21,0779	3,67	2,18	Sedikit rapuh
15,8050	5,91	1,30	Sedikit rapuh
13,9838	4,83	0,31	Sedikit rapuh
12,7272	5,54	2,37	Sedikit rapuh
11,5617	4,74	3,70	Sedikit rapuh

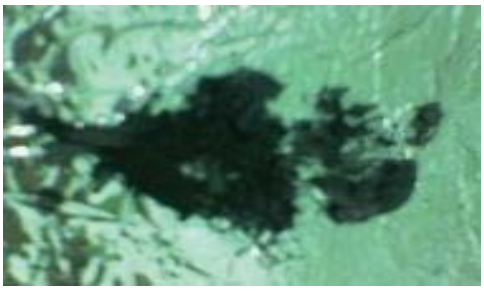
Pada Tabel1 ingot paduan U-55Zr yang dilakukan proses *hydriding* pada suhu 550^0C dihasilkan sampel sedikit rapuh dan pengaruh suhu terhadap ingot paduan menunjukkan bahwa serapan gas hidrogen sangat rendah yang diserap oleh sampel dan diperoleh rapuhan serbuk hanya bagian luarnya saja. Dalam preparasi serbuk diperoleh serbuk U-55ZrHx yang lolos ayakan +70 - 125 µm sedikit sehingga diperlukan siklus waktu yang lebih lama lagi pada saat proses *hydriding*.

Sampel potongan ingot paduan U-35 ZrHx, U-45 ZrHx, U-55ZrHx yang sudah rapuh dapat dilihat secara visual untuk mengetahui apakah terjadi rapuh sebagian atau semuanya, bila perlu dapat dilakukan proses pengulangan beberapa kali agar didapatkan sampel yang benar-benar rapuh. Untuk mengetahui kerapuhan ingot paduan secara detail dapat diamati menggunakan alat mikroskop optik dan gambar dilihat secara makro ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ingot paduan yang rapuh

Ingot paduan U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx yang sudah rapuh dikeluarkan dari tabung reaksi (*retort*), penanganan dilakukan secara hati-hati dalam *glove box* dengan media pelindung gas argon atau helium mengingat sampel merupakan bahan mudah terbakar (peroforik). Hasil proses *hydriding* dari ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr yang berupa rapuhan dan membentuk serbuk ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rapuhan *ingot* paduan membentuk serbuk

Setelah rapuhan ingot paduan yang membentuk serbuk dikeluarkan digerus secara manual dengan menggunakan Morter, Penumbuk (alat penggerus), penggerusan dilakukan di dalam *glove box* dengan suasana gas argon atau helium sebagai gas pelindung material sampel. Penggerusan serbuk paduan U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx ditunjukkan pada Gambar 5. Serbuk yang sudah digerus kemudian diayak dengan menggunakan ayakan ukuran +70 - 125 µm sesuai ukuran spesifikasi yang diinginkan, pengayakan serbuk ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Penggerusan serbuk paduan

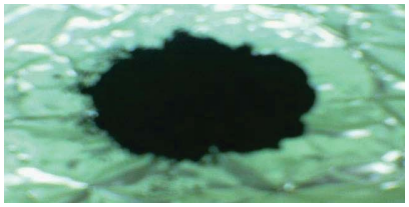


Gambar 6. Pengayakan serbuk paduan

Serbuk U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55 ZrHx yang sudah diayak kemudian dilakukan pengujian dan dianalisa lebih lanjut untuk mendapatkan karakterisasinya. Analisis serbuk meliputi densitas, impuritas dan kadar uranium yang dilakukan di unit kerja kendali kualitas.

ISSN 1978-0176

Serbuk U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx hasil hydriding ditunjukkan pada Gambar 7. Selanjutnya serbuk yang dihasilkan untuk dilakukan pengujian dan analisis berikutnya. .



Gambar 7. Serbuk paduan hasil *hydriding*

KESIMPULAN

Proses *hydriding* untuk penyerapan hydrogen hingga merapuhkan ingot paduan U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55ZrHx dilakukan pada suhu masing-masing 350^0C, 450^0C dan 550^0C dengan tekanan aliran gas hidrogen 3,00 s/d 6,00 psi. Ingot paduan U-35ZrHx lebih mudah rapuh bila dibandingkan dengan paduan U-45ZrHx dan paduan U-55ZrHx. Paduan U-35ZrHx, U-45ZrHx, U-55Zr ZrHx yang telah rapuh berhasil menjadi serbuk butiran partikel berukuran +70 - 125 µm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Masrukan dan teman-teman yang telah membantu dalam penelitian dan pengembangan bahan bakar reaktor riset sehingga dapat ditulis dalam makalah ini.

PUSTAKA

1. SUPARDJO., SUWARNO, H., KADARJONO, A.,"Karakterisasi Paduan U-7%Mo dan U-7%Mo.x%Si (x = 1, 2, dan 3) Hasil Proses Peleburan Dalam Tungku Busur Listrik", ISSN 0852-4777 UraniaVol. 15 No. 4, Oktober 2009: 171 - 232
2. SUWARNO, H., "Karakter Bahan Bakar Reaktor TRIGA", Prosiding Seminar Nasional ke-11 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, ISSN: 0854 – 2910, Malang, 15 September 2005
3. KAUFMANN, A.,"*Nuclear Reactor Fuel Elements: Metallurgy And Fabrications*", US Atomic Energy Commission, New York Interscience Publishers, Jhon Wiley and Sons, 1972.
4. BRETSCHER, M M., MATOS, J E.,"*Neutronics Performance of High Density LEU Fuels In Water-Moderated And Water Reflected Research Reactors*" Argonne National Laboratory 9700, South Cass Avenue, Argonne, Illinois 60439, July 1996.

TANYA JAWAB

1. Diantara suhu 350^0C, 450^0C, 550^0C pada proses *hydriding* manakah yang paling optimum suhunya dan bagaimana pengaruhnya terhadap kualitas serbuk paduan?
   (Nindia P., Mahasiswa Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir - BATAN)
   Jawab:
   Suhu yang paling optimum untuk proses *hydriding* tergantung dari komposisi sampel ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr dari ketiga variasi suhu masing-masing tersebut mampu merapuhkan ingot paduan yang membentuk serbuk dan pengaruhnya terhadap kualitas serbuk hasil hydriding untuk U-35ZrHx serbuk butiran partikel yang lolos ayakan dibawah 70 µm lebih banyak sedangkan U-45ZrHx dan U-55ZrHx serbuk butiran partikel yang lolos ayakan 70 µm lebih sedikit.

2. Pemakaian Gas Hidrogen pada proses *hydriding* diperlukan alat keamanan yang tinggi, apakah pada Peralatan Sistem Hydriding sudah dipasang pengaman?
   (Lilis Windaryati, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN)
   Jawab:
   Gas Hidrogen merupakan gas yang sangat berbahaya, pengamanan pada saat proses *hydriding* dilakukan secara manual yaitu dengan alat Detektor Gas Hidrogen Portable yang dilakukan oleh operator atau personel keselamatan kerja dengan tujuan untuk mencegah adanya kebocoran gas yang termasuk kategori berbahaya.

3. Pada saat homogenisasi (pemanasan) untuk sampel ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr kenapa sampai dilakukan selama 12 jam?
   (Amal Reza Putra, Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka - BATAN)
   Jawab:
   Homogenisasi (pemanasan) untuk sampel ingot paduan U-35Zr, U-45Zr, U-55Zr dilakukan selama 12 jam dengan tujuan untuk membentuk marerial selular agar memudahkan penyerapan Gas Hidrogen pada saat proses *hydriding* berlangsung.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

PENGUJIAN PUPUK UREA LEPAS TERKENDALI (CRF) PADA TANAH GAMBUT KALIMANTAN TERHADAP PRODUKTIVITAS PADI VARIETAS SIDENUK

Ummu Azisah Hasibuan[1], Wijiyono[2]
[1]STTN-BATAN
[2]PSTA-BATAN

Abstrak

Pengujian Pemupukan Urea Lepas Terkendali (Crf) Pada Tanah Gambut Kalimantan Terhadap Produktivitas Padi Varietas *Sidenuk.* Telah dilakukan Pengujian Pemupukan Urea Lepas Terkendali (CRF) Pada Tanah Gambut Kalimantan Terhadap Produktifitas Padi Varietas *Sidenuk. Pengujian dilakukan di Green house STTN-BATAN Langkah langkah dalam percobaan meliputi penentuan daya tumbuh benih padi, pembuatan pesemaian lalu dilanjutkan pembuatan media tumbuh. Media tumbuh dibuat dengan mencampur 1 bagian tanah dan 1 bagian pupuk organik sampai kondisi campuran media homogen. lalu diamkan selama 2-3 hari untuk membantu proses fisiologis media. Pengujian CRF pada jenis tanah Gambut Kalimantan dengan ketentuan dosis pada Perlakuan CRF* : 1.60 gram/tanaman P : 0.80 gram/tanaman K : 0.40 gram/tanaman sementara pada Kontrol NPK dengan dosis N : 1.60 gram/tanaman P : 0.80 gram/tanaman K : 0.40 gram/ tanaman. Berdasarkan hasil percobaan pada perlakuan CRF diperoleh data produksi tertinggi pada tanah Gambut dari Kalimantan : 8.28 ton/ha, sementara pada kontrol NPK : 7.63 ton/ha sedangkan petani rata-rata : 6.2 ton/ha

Abstract

The Effect Of Controlled Release Urea Fertilization (Crf) In Soil Peat Kalimantan Productivity Of Rice Variety Sidenuk. The experiment have been carried Controlled Release Urea Fertilizer (CRF) On Kalimantan Peat Soil Productivity Against Rice Varieties Sidenuk. Testing is done in Green house STTN-BATAN Steps in the trial include determining the ability to grow paddy, manufacture of nursery and then continued manufacture of the growing medium. Growing medium made by mixing 1 part soil and one part organic fertilizer through inhomogeneous media mixed conditions. and let stand for 2-3 days to help the physiological process media. The experiment of CRF on the type of soil Peat Kalimantan with the provisions of the dose in treatment of CRF: 1.60 g / plant P: 0.80 g / plant K: 0:40 gram /plant while the treatment NPK doses of N: 1.60 g / plant P: 0.80 g / plant K: 0:40 grams / plant. Based on the results of experiments on the treatment of CRF data showed the highest production on peat soil of Borneo: 8:28 tons / ha, while in the control NPK: 7.63 tones / ha, while the average farmer: 6.2 tones / ha

ISSN 1978-0176

I. Latar Belakang Masalah

Salah satu usaha untuk mencapai hasil yang maksimal dalam usaha budidaya tanaman padi perlu mengenal klasifikasi dari jenis tanaman padi. Tanaman padi adalah termasuk jenis tanaman rumput-rumputan. Tanaman padi mempunyai klasifikasi sebagai berikut :

- Genus : Oryza , Linn
- Famili : Grammeae (poaceae)
- Spesies : Oryza Sativa, L

Tujuan utama pembudidayaan padi adalah untuk mendapatkan hasil padi yang berkualitas bagus, serta panen yang setinggi-tingginya. Untuk mendapatkan hasil padi sesuai yang diharapkan, maka tanaman yang akan ditanam harus sehat dan subur. Tanaman sehat adalah tanaman yang tidak terserang oleh hama dan penyakit, tidak mengalami defisiensi hara, baik unsur hara yang diperlukan dalam jumlah besar maupun kecil [(1)]. Sedangkan tanaman subur adalah tanaman yang tumbuh dan perkembangannya tidak terhambat, baik karena kondisi biji atau lingkungan tempat tanaman itu tumbuh.

Untuk mendapatkan hasil panen pada padi sawah yang berkualitas bagus serta banyak, diperlukan teknik dan cara-cara tertentu. Apabila tanaman yang kita tanam hanya asal tanam, tanpa perawatan dan pengolahan yang baik, maka hasilnya pun tidak seperti yang diharapkan. Pemeliharaan dan perawatan harus dilakukan mulai dari awal pesemaian sampai tanaman panen. Dalam proses pertumbuhan tanaman hingga berbuah, diperlukan pemeliharaan yang baik, terutama harus diusahakan agar tanaman terhindar dari serangan hama dan penyakit yang sering kali produksinya menurun. Selain usaha perawatan yang baik dan benar perlu dilakukan pemupukan berimbang, dan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan berimbang perlu dilakukan *Pengujian Pelepasan Pupuk Urea Lepas Terkendali (CRF) pada Tanah Gambut Kalimantan Terhadap Produktifitas Padi Varietas Sidenuk.* Selain itu untuk mempertahankan produksi tetap tinggi dan berkualitas harus dipenuhi juga apa yang menjadi syarat tumbuh untuk tanaman padi tersebut.

Meskipun padi adalah tanaman yang mudah ditemukan dimana-mana, namun tanaman padi tidak dapat tumbuh disembarang tempat. Padi memerlukan perlakuan khusus untuk dapat tumbuh serta beberapa dukungan alam, diantaranya iklim dan tanah [(2).] Terkait dengan iklim tanaman padi sangat cocok tumbuh di iklim yang berhawa panas dan banyak mengandung uap air. Keadaan iklim ini, meliputi curah hujan, temperatur, ketinggian tempat, sinar matahari, angin, dan musim. Tanaman padi membutuhkan curah hujan yang baik, rata-rata 200 mm/bulan, dengan distribusi selama 4 bulan. curah hujan yang baik akan memberikan dampak yang baik dalam pengairan, sehingga genangan air yang diperlukan tanaman padi disawah dapat tercukupi. Kemudian temperatur seperti suhu memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman padi. Suhu yang panas merupakan termperatur yang sesuai bagi tanaman padi, misalnya daerah tropika yang dilalui Garis Katulistiwa seperti di negara kita ini. Tanaman padi dapat tumbuh baik pada suhu 23^0C ke atas, sedangkan di Indonesia pengaruh suhu tidak terasa karena suhunya hampir konstan sepanjang tahun. Adapun salah satu pengaruh suhu terhadap tanaman padi adalah kehampaan pada biji. Sementara itu hubungan antara tinggi tempat dengan tanaman padi adalah daerah antara 0-650 m dengan suhu 20^0 C - 22^0 C termasuk 96 % dari luas tanah di Jawa cocok untuk tanaman padi. Sementara itu sinar matahari merupakan sumber kehidupan, termasuk tanaman padi. Sinar matahari diperlukan padi untuk proses fotosintesis, terutama proses **penggembungan** dan kemasakan buah padi akan tergantung terhadap intensitas cahaya matahari [(3)]. Kemudian angin memiliki peranan yang sangat penting terhadap pertumbuhan tanaman padi. Dengan angin tanaman padi dapat melakukan proses penyerbukan dan pembuahan. Selain itu, angin memiliki peran yang negatif terhadap perkembangan padi. Berbagai penyakit, seperti tumbuhnya jamur atau bakteri, ditularkan oleh angin, bahkan angin juga bisa mengakibatkan buah jadi hampa dan tanaman roboh. Sedangkan musim juga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman padi, kita kenal khususnya di Indonesia adalah musim kemarau dan penghujan. Penaman padi pada musim kemarau dan musim penghujan memiliki dampak yang cukup besar terhadap kuantitas dan kualitas padi. Penanaman padi pada musim kemarau akan lebih baik dari pada musim hujan, asalkan sistem pengairan baik [(4)]. Proses penyerbukan dan pembuahan padi pada musim kemarau tidak akan terganggu oleh hujan sehingga padi yang dihasilkan akan optimal. Sedangkan pada musim penghujan proses penyerbukan dan pembuahan pada tanaman padi sering terjadi gangguan hujan sehingga menyebabkan tanaman padi sebagian hampa yang menyebabkan produksi padi menurun.

II. Tata Kerja

Bahan dan Tata Kerja

a. Bahan :
   a) Bibit padi Varietas *Sidenuk*
   b) Pupuk Urea
   c) Pupuk SP-36
   d) Pupuk KCl Kanada
   e) Pestisida Jenis Boldoog
   f) Pestisida jenis Bassa 50 Ec
   g) Herbifarm

ISSN 1978-0176

h) Hand Spayer
i) Tanah Gambut Kalimantan
j) Pupuk organik/kandang

b. Alat :
a) Green House
b) Papan nama dan kode percobaan
c) Dokumentasi
d) Form rekaman data
e) pH meter
f) Kantong plastik klip
g) Timbangan analitik

c. Pelaksanaan Penelitian

Penentuan daya kecambah bibit padi sebelum disemai perlu ditentukan daya kecambahnya dengan ketentuan daya kecambah berkisar antara 80-100 % . Langkah awal yang harus dilakukan dalam budidaya tanam padi ialah dengan membuat pesemaian. Pembuatan pesemaian memerlukan suatu persiapan yang sebaik-baiknya. Hal ini karena pesemaian merupakan tempat untuk melakukan pembenihan. Benih dipesemaian akan menentukan pertumbuhan padi di sawah. Pesemaian harus mendapat perhatian yang lebih, tujuannya untuk mendapatkan bibit yang berkualitas bagus. Benih yang digunakan sebaiknya merupakan benih unggul yang telah disebarluaskan kepada petani dan telah bersertifikat, sehingga kualitas benih dapat dijamin. Media tumbuh pesemaian harus dipersiapkan dengan sebaik-baiknya. Hal ini dimaksudkan supaya diperoleh bibit yang baik. Beberapa hal yang harus diperhatikan untuk media pesemaian, di antaranya sebagai berikut:

a. Tanah harus subur

Tanah yang subur mengandung bunga tanah atau humus dalam lapisan yang dalam dan gembur. Tanah yang berstruktur gembur akan mempermudah penyediaan air.

b. Cahaya matahari

Cahaya matahari dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan bibit agar tetap sehat dan kuat. Bibit harus diupayakan jangan sampai terlindung dari cahaya matahari, untuk menjaga terhadap penyakit etiolasi (bibit memanjang dan lemah).

c. Pengairan

Air dalam pesemaian sangat diperlukan, terutama untuk perkembangan semai (bibit). Kedalaman air pada pesemaian harus diperhatikan. Apabila mengalami kekeringan, pesemaian harus segera diairi. Sebaliknya, jika air terlalu tinggi, harus segera dikurangi/ dialirkan. Hal ini dimaksudkan supaya bibit tetap sehat.

d. Penentuan daya kecambah dan Penaburan benih, terlebih dahulu benih direndam dalam air dengan tujuan sebagai berikut :

1) Seleksi terhadap benih yang kurang baik, benih yang terapung/melayang harus dibuang
2) Agar terjadi proses fisiologis. Proses fisiologis berarti terjadinya perubahan di dalam benih yang akhirnya benih cepat berkecambah. Penyerapan atau masuknya air ke dalam benih akan mempercepat proses fisiologis.
3) Lama perendaman benih
4) Benih direndam dalam air selama 24 jam, kemudian diperam (sebelumnya ditiriskan). Lamanya pemeraman benih diperam selama 48 jam, agar didalam pengeraman tersebut benih berkecambah, Penentukan daya kecambah dengan persamaan sbb

$$\text{Daya kecambah} = \frac{X - Y}{100} \times 100\ \%$$

Dimana :
X : benih berkecambah
Y : benih yang tidak berkecambah

Dari hasil penentuan daya tumbuh benih padi varietas *Sidenuk* sebesar 85 %. seperti pada gambar 1



Gambar 1. Daya tumbuh benih padi varietas *Sidenuk*

5) Pelaksanaan menebar benih
a) Usahakan benih yang telah berkecambah dengan ukuran sekitar 1 mm, benih disebar merata pada pesemaian.
b) Lokasi pesemaian seluas 2 m^2 x 2 m^2 disiapkan.
c) Lokasi pesemaian dibersihkan dari berbagai herba dan gulma.
d) Tanah digemburkan dengan cangkul sambil diairi sampai kondisi tanah rata dan halus Kemudian dibuat petak 2 m^2 x 2 m^2 dengan ketebalan 10-20 cm lalu diamkan selama 3 hari.

ISSN 1978-0176

e) Benih yang sudah berkecambah ditaburkan pada peta pesemaian secara merata.

f) Air dalam pesemaian diperlukan, untuk perkembangan bibit. Kedalaman air pada pesemaian harus diperhatikan. Apabila mengalami kekeringan, pesemaian harus segera diairi. Sebaliknya, jika air terlalu tinggi, harus segera dikurangi. Hal ini supaya bibit tetap sehat. dan setelah berumur 23 hari benih padi siap untuk ditanam sebagai tanaman percobaan.

6) Persiapan media tumbuh dengan menyiapkan bak media sebagai tempat media tumbuh yang berdiameter 40 cm dengan tinggi 40 cm sebanyak 6 buah bak media
7) Siapkan media tanah yang dicampur dengan pupuk organik dengan perbandingan 1 : 1 dan dicampur sampai homogen. Kemudian media tanah dimasukan ke dalam bak media dengan ketebalan 40 cm
8) Masing-masing bak media yang sudah berisi media diberi air dengan kedalaman air 5-7 cm dari permukaan media tanah, lalu diamkan 2-3 hari maka media siap tanam.

Adapun Pesemaian seperti gambar berikut ini:



Gambar 2. Pesemaian Padi Varietas *Sidenuk*

d. Langkah-langkah Penelitian

Setelah media percobaan sudah siap dapat dilakukan dengan langkah-langkah sbb :

- Penanaman bibit dilakukan setelah berumur 2-3 minggu pada pot percobaan masing-masing 3 tan/pot\
- Perlakuan (treatment) terhadap tanaman padi varietas *Sidenuk* seperti pada tabel 1

Tabel 1. Lay Out Percobaan Pengujian Pupuk Urea Lepas Terkendali (CRF) Pada Tanah Gambut Padi Varietas *Sidenuk*

Jenis tanah	Ulangan 1			Ulangan 2			Ulangan 3		
Tanah Gambut	1	2	3	1	2	3	1	2	3
CRF	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NPK	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Keterangan :
N : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
CRF : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
1,2,3 : ulangan percobaan
* : tanaman percobaan

III. Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil Pengujian Pupuk Urea Lepas Terkendali (CRF) Pada Jenis Tanah Gambut dari Kalimantan Terhadap produksi diperoleh data jumlah anakan produktif pada Kontrol NPK dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengamatan Jumlah Anakan Produktif Pengujian CRF Pada Tanah Gambut Kalimatan Terhadap Produksi Padi Varietas *Sidenuk*

Jenis tanah	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
Tanah Gambut	Rata rata anakan produktif	Rata rata anakan produktif	Rata rata anakan produktif
CRF	7	5	5
NPK	6	5	5

Keterangan :
N : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
CRF : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
1,2,3 : ulangan percobaan

Sedangkan pertumbuhan vegetatif kontrol NPK pada gambar 3 berikut ini



Gambar 3. Perlakuan NPK Pengujian CRF Pada Jenis Tanah Gambut Kalimatan

ISSN 1978-0176

Sementara pertumbuhan vegetatif pada perlakuan CRF seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Pengujian CRF Pada Jenis Tanah Gambut Kalimatan

Dari data yang diperoleh bahwa jumlah anakan produksi hampir tidak berbeda. Namun bila dicermati dari pertumbuhan vegetatif nampak berbeda. Seperti terlihat pada perlakuan CRF pada jenis tanah Gambut yang diikuti dengan pertumbuhan vegetatif lebih subur bila dibandingkan dengan kontrol NPK.

Sementara data tinggi tanaman yang paling tinggi pada kontrol NPK : 183 cm dan pada perlakuan CRF : 193 cm. Data hasil pengujian tinggi tanaman dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4 dibawah ini.

Tabel 3 Pengamatan Tinggi Tanaman Pada Pengujian Pupuk Urea Lepas Terkendali (CRF) Pada Tanah Gambut Kalimatan Terhadap Produksi Padi Varietas *Sidenuk*

Perlakuan	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
Tanaman percobaan	Rata rata Tinggi tanaman (cm)	Rata rata Tinggi tanaman (cm)	Rata rata Tinggi tanaman (cm)
CRF	180	183	183
NPK	198	196	190

Keterangan :
N : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
CRF : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
1,2,3: ulangan percobaan

Berdasarkan data produksi pada tabel 4. Menunjukkan bahwa produksi yang paling tinggi pada perlakuan CRF, walaupun jumlah anakan produktif sama, namun secara visual pertumbuhan vegetatif jauh lebih baik bila dibandingkan dengan kontrol NPK. Pertumbuhan vegetatif yang lebih baik mengindikasikan proses potosintesis dapat mencapai optimal sehingga dari hasil proses potosintesis yang ditranlokasikan ke bagian vegetatif relatif lebih sempurna sehingga secara tidak langsung akan mempengaruhi prtumbuhan generatif dalam hal ini produksi padi.

Sehubungan dengan hasil pengujian CRF pada Padi Varietas *Sidenuk,* pada perlakuan NPK, ternyata setelah 3 hari setelah perlakuan, bagian vegetatif seperti pada daun batang dan urat daun tanaman padi sudah kelihatan hijau subur. Namun setelah 3 minggu setelah perlakuan warna bagian vegetatif mulai beransur-ansur menguning. Sementara itu pada perlakuan CRF bagian vegetatif tanaman padi yang berwarna hijau bisa bertahan hingga menjelang awal berbunga. Fenomena ini menggambarkan bahwa pada perlakuan CRF penyerapan unsur Nitrogen dalam Controlling Releaze Fertilization (CRF) terabsorbsi secara perlahan-lahan sesuai dengan kebutuhan dari tanaman padi itu sendiri. Sedangkan sisa unsur nitrogen yang belum terserap terikat oleh CRF sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam pemupukan. Sedangkan sebaliknya terjadi pada perlakuan NPK setelah 3 hari setelah perlakuan tanaman padi sudah mulai napak hijau. Kemudian 2 minggu setelah perlakuan ternyata berannsur-ansur tanaman padi daunnya mulai menguning yang dikarenakan sistem penyerapan unsur hara tanaman padi dapat mencapai maksimal. Kemudian setelah penyerapan Nitrogen mencapai titik optimum yaitu 50 % . Kemudian penyerapan unsur hara Nitrogen akan berhenti atau lambat, sementara unsur hara sudah banyak yang hilang karena penguapan atau larut dalam air pengairan. Walaupun cepat lambatnya penyerapan unsur hara tanaman padi juga ada korelasi dengan intensitas cahaya. Intensitas cahaya maksimal maka penyerapan unsur hara Nitrogen juga akan meningkat yang dikarenakan proses penguapan lewat daun akan berjalan dengan lancar.

Terkait dengan sifat dari berbagai tanaman terhadap kebutuhan unsur hara hanya menyerap sesuai dengan kebutuhan, artinya walaupun cadangan unsur hara cukup melimpah namun tidak akan diserap semuanya dalam waktu relatif cepat, melainkan sesuai kebutuhan seperti penyerapan unsur hara Nitrogen setelah mencapai titik maksimal maka absorbsi unsur hara akan berhenti atau lambat seperti absorbsi unsur Nitrogen akan melemah setelah tercapai 50 % .

Berdasarkan pertumbuhan dan perkembangan vegetatif yang lebih subur akan menentukan pertumbuhan generatif dalam hal ini tentu berpengaruh terhadap produksi padi. Hasil pengamatan produksi dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

ISSN 1978-0176

Tabel 4 Pengamatan Produksi Pengujian CRF Pada Tanah Gambut Terhadap Produksi Padi Varietas Sidenuk

Perlakuan	Ulangan 1 Produksi (gram)	Ulangan 2 Produksi (gram)	Ulangan 3 Produksi (gram)
NPK	5	4	6
CRF	13	13	-

Keterangan
NPK : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman
CRF : 1.60 gram/tanaman
P : 0.80 gram/tanaman
K : 0.40 gram/tanaman



Gambar 5. Kontrol NPK Pengujian CRF Pada Tanah Gambut Terhadap padi Varietas *Sidenuk*

Bila diperhitungkan pada luas 1 ha dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm akan diperoleh produksi. Pada perlakuan CRF : 8.28 ton/ha dan pada kontrol NPK : 7.63 ton/ha sementara yang biasa dilakukan petani rata-rata : 6.0/ ton/ha atau CRF>NPK>Petani.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil Pengujian Pemupukan Lepas Terkendali (CRF) Pada Jenis Tanah Gambut Terhadap Produksi Padi Varietas *Sidenuk* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Produksi paling tinggi dari perlakuan CRF pada jenis tanah Gambut dengan produksi : 8.28 ton/ ha
2. Produksi paling tinggi dari Kontrol NPK pada jenis tanah Gambut dengan produksi : 7.63 ton/ha
3. Rata-rata produksi petani : 6 ton/ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Siva Fausiah anggota tim SINAS 2015 di STTN-BATAN yang telah melakukan tugasnya sebagai asisten pelaksana teknis dilaboratorium.
2. Akbar Juandra anggota tim SINAS 2015 di STTN-BATAN yang telah melakukan tugasnya sebagai asisten pelaksana teknis dilapangan.

DAFTAR ACUAN

1. Ragi, Am, 2006, *Konsepsi Pertanian Berbasis Ekologi Lokakarya Revitalisasi Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
2. *Jurnal of Suytainable 1990*, http/www. Haworthpressinc.com. 10 Agustus 2006.
3. *Pelaksanaan PSO Subsidi Benih dan Pupuk Tahun Anggaran 2010*, Kementerian Pertanian, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2010.
4. *Pemulihan Kesuburan Tanah Pada Lahan Sawah Berkelanjutan*, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2010.

ISSN 1978-0176

LEMBAR TANYA JAWAB:

JUDUL MAKALAH : Pengujian Pupuk UREA Lepas Terkendali (CRF) pada Gambut Kalimantan Terhadap Produktivitas Padi Varietas Sidenuk.
PENULIS : WIJIYONO
PENYAJI : WIJIYONO

PERTANYAAN:

1. Komposisi NPK yang digunakan apa sudah baku ataukah hasil optimasi dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan?

JAWABAN :

1. Sudah baku, tapi bukan hasil dari optimasi percobaan-percobaan, melainkan mengacu pada sistem pemupukan berimbang dari Dinas Pertanian (DIPERTA).

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

PEMUNGUTAN PERAK DARI LARUTAN FIXER PENCUCI FILM RADIOGRAFI BERBASIS REAKSI PERTUKARAN

Pandu Dwi Cahya Perkasa, Noor Anis Kundari , Sugili Putra

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN
Jl. Babarsari Kotak POB 6101/YKBB, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
(0274) 484085

Email: 011100294.pandu@gmail.com

ABSTRAK

PEMUNGUTAN PERAK DARI LARUTAN FIXER PENCUCI FILM RADIOGRAFI BERBASIS REAKSI PERTUKARAN LOGAM. Limbah fixer bekas pencucian film radiografi merupakan masalah bagi industri uji tak merusak menggunakan teknik radiografi dan rumah sakit yang memanfaatkan radiologi untuk diagnosis. Limbah fixer mengandung Ag yang dikategorikan sebagai logam berat yang bila dibuang ke lingkungan akan menyebabkan pencemaran. Namun, kandungan Ag dalam limbah fixer memiliki nilai ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk memungut Ag dalam limbah fixer agar diperoleh perak murni dan menentukan % perak yang dapat dipungut. Disamping itu, juga untuk memperoleh persamaan kecepatan reaksi. Metode yang digunakan meliputi mereaksikan limbah fixer dengan logam Mg, menghasilkan Ag2S, selanjutnya dilakukan konversi menjadi AgNO3 menggunakan asam nitrat (HNO3). Hasil konversi disolidifikasi menggunakan logam tembaga (Cu). Setiap tahapan proses dilakukan analisis menggunakan spektrometri serapan atom untuk mengetahui jumlah produk yang terbentuk. Hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan, proses pemungutan mampu memungut 93,24% perak dari limbah fixer dari konsentrasi awal limbah 3414 ppm, konstanta kinetika reaksi pada reaksi limbah fixer dengan logam Mg adalah 0,2 menit-1 dan order reaksi 1, konversi senyawa Ag2S menjadi AgNO3 mampu mengkonversi 75,02% dari 25 g Ag2S yang diumpankan, solidifikasi yang dilakukan menggunakan logam Cu mampu mengkristalkan 99,44% perak dari 16 g perak yang terdapat dalam AgNO3. Logam perak yang dihasilkan dari proses pemurnian mempunyai kemurnian 99,97%.

Kata kunci: Limbah fixer, Pemungutan Ag, Reaksi pertukaran logam, Pemurnian

ABSTRACT

SILVER RECOVERY FROM FIXER SOLUTION RADIOGRAPHIC FILM WASHER BASED ON METALLIC REPLACEMNT REACTION. *Former fixer waste radiographic film laundering is a problem for non-destructive testing industries that use radiographic techniques and hospitals that use radiology for diagnosis. Fixer waste contains Ag which is categorized as heavy metals when discharged into the environment would cause pollution. However, the content of silver in the fixer waste has economic value. This research aims to make the process of collecting the waste fixer Ag in order to obtain pure silver and determining the percentage of silver that has been recovered. In addition, it is also aim to obtain the reaction rate equation. Methods used include metal combined with Mg fixer waste, which produces Ag_2S, then performed by conversion into silver nitrat using nitric acid (HNO_3). $AgNO_3$ to be solidification conversion results using copper. Each stage of the process performed using atomic absorption spectrometry analysis to determine the amount of product formed in each process. Results of analysis and calculations performed, the process is able to charge a 93.24% covering silver from waste fixer of the initial concentration of 3414 ppm waste, kinetic law of reaction in the reaction fixer waste with Mg metal is first order with kinetic constant is 0,2 minute^{-1}, the conversion Ag_2S be able to convert 75.02% $AgNO_3$ of 25 g Ag_2S feed, solidification is performed using a metal capable of crystallizing 99.44% Cu silver of 16 g of silver contained in the silver nitrat. Silver metal produced from the refining process having a purity of 99.97%.*

Keywords: Fixer waste, Ag recovery, Metallic replacement reactions, Purification

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi nuklir semakin berkembang. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan teknologi yang effisien dan aplikatif, aplikasi teknologi nuklir berkembang berbanding lurus dengan kebutuhan seperti pada bidang; kesehatan, industri, energi, dan pertanian. Dari berbagai aplikasi teknologi nuklir yang sedemikian rupa tersebut, aplikasi teknologi nuklir di bidang industri mengalami perkembangan yang signifikan. Kebutuhan industri akan efisiensi dan kualitas menuntut industri untuk melakukan kontrol kualitas. Pemenuhan tuntutan akan kualitas produk industri tersebut mempengaruhi perkembangan teknologi nuklir di bidang industri khususnya pemanfaatan teknologi nuklir untuk uji tak merusak (NDT).

Perusahaan yang memanfaatkan teknologi nuklir di bidang uji tak merusak mencapai 2250 perusahaan [1]. Data tersebut menunjukkan pemanfaatan teknologi nuklir di bidang uji tak merusak di industri sangat besar. Namun pemanfaatan teknologi nuklir di bidang uji tak merusak, selain mempunyai nilai manfaat yang amat besar juga menimbulkan masalah. Uji tak merusak dengan memakai radiografi yang banyak dipakai oleh industri masih memakai film negatif untuk mengintepretasikan hasil uji. Walaupun pada saat ini sudah ditemukan radiografi menggunakan pembacaan digital, namun uji tak rusak umumnya banyak dilakukan di medan yang berat seperti hutan dan laut, sehingga radiografi digital menjadi kurang efektif bila digunakan. Dalam radiografi industri, untuk membaca hasil yang terekam pada film radiografi harus menggunakan proses pencucian film untuk dapat mengintepretasikan hasil uji. Pada proses pencucian film, AgBr yang tidak terekspose oleh radiasi sinar-X atau gamma dari sumber pengion maupun pesawat sinar-X pada saat proses radiografi dilangsungkan, dilarutkan oleh larutan penetapan (*fixer*), dengan begitu film dapat diintepretasi.

Larutan *fixer* yang telah digunakan untuk mencuci film negatif menjadi masalah tersendiri pada bidang uji tak merusak yang masih memakai film negatif. *Fixer* bekas menjadi masalah karena mengandung logam Ag yang termasuk logam berat dan digolongkan limbah B3. Di lain pihak, logam Ag yang terkandung dalam *fixer* bekas juga mempunyai nilai ekonomi karena logam Ag tergolong logam mulia. Berbagai teknologi digunakan untuk mendapatkan kembali Ag dari limbah larutan *fixer* yang kebanyakan efektif pada batas konsentrasi Ag tertentu. Perak dalam bentuk kompleks anionik tiosulfat $(Ag(S_2O_3)_2)^{3-}$ dapat dipisahkan dari larutannya dengan cara elektrolisis, pertukaran logam (*metallic replacement*), pengendapan, penukar ion, membran cair emulsi (ELM), dan adsorbsi dengan kitin [2].

Teknik elektrolisis dan pertukaran logam merubah senyawa kompleks perak tiosulfat menjadi logam Ag, sedangkan teknik pengendapan akan mengubah kompleks Ag menjadi bentuk endapan dengan penambahan agen pengendap seperti sodium sulfida, sodium borohidrida atau sodium ditionit.

Metode elektrolisis keuntungannya yaitu mendapatkan kemurnian Ag yang besar namun metode ini hanya dapat digunakan pada konsentrasi perak yang tinggi (larutan *fixer*). Metode pengendapan keuntungannya adalah biaya operasionalnya relatif murah namun menghasilkan endapan yang tidak murni sehingga membutuhkan pemurnian lebih lanjut. Selain itu metode ini tidak dapat digunakan pada konsentrasi Ag kurang dari 100 mg/L. Metode resin penukar anion hanya efektif digunakan pada konsentrasi Ag yang kecil yaitu kurang dari 1 mg/L dan biaya operasinya mahal (Songkroah at al., 2003). Salah satu teknik yang dapat dipakai untuk tujuan pemungutan perak adalah metode pertukaran logam. Metode pertukaran logam memanfaatkan reaktivitas logam yang lebih aktif dari pada logam Ag. Perak dalam larutan akan bertukar dengan besi padat melalui reaksi oksidasi-reduksi. Baja wol, partikel besi, atau resin besi *impregnated* digunakan sebagai sumber logam besi [3].

Namun, penggunaan logam Fe pada proses pertukaran logam dinilai kurang menguntungkan karena waktu reaksi yang lama dan tingkat korosi yang sulit diprediksi. Penggunaan logam Mg diharapkan mampu menggantikan logam Fe sebagai reagen pada proses pertukaran logam. Berdasarkan reaksi pertukaran logam tunggal pada pemungutan perak dalam limbah larutan *fixer* logam Mg menggeser logam Ag pada $Ag_2(S_2O_3)$. Hal ini

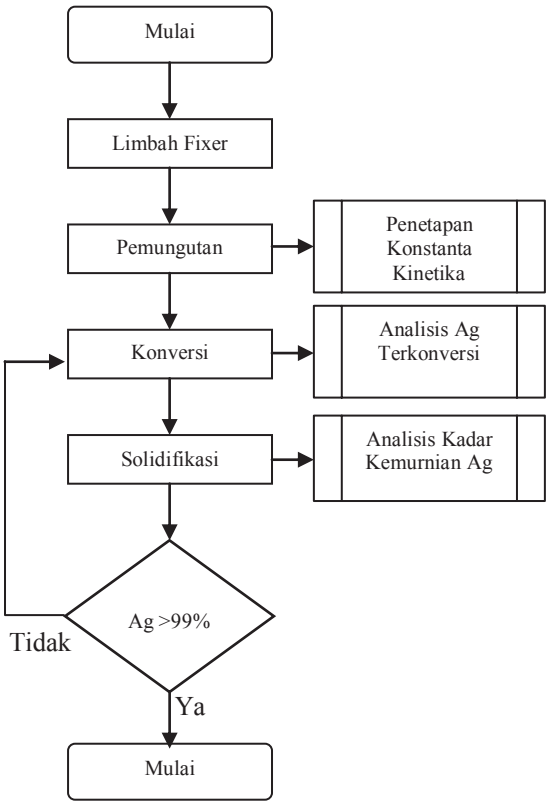
ISSN 1978-0176

dikarenakan logam Mg lebih reaktif dari pada logam Ag, dengan demikian akan terjadi reaksi redoks.

METODOLOGI

Dalam penelitian pemungutan perak dari limbah *fixer* menggunakan reaksi pertukaran logam magnesium digunakan bahan untuk melangsungkan penelitian seperti, Aquadest, Logam Magnesium (Mg), Limbah *Fixer*, Asam Nitrat (HNO_3), Logam Tembaga (Cu). Dalam penelitian pemungutan perak dari limbah *fixer* menggunakan reaksi pertukaran logam magnesium digunakan alat seperti, Gelas Beker, Batang Pengaduk, Hot Plate, Pengaduk Magnet, Termometer, Neraca Analitik, Sendok Sungu, Kaca Arloji, Kertas Saring Whatman 42 dan 41, Oven, Timer, Spektrometri Serapan Atom (SSA).

Diagram alir penelitian sebagai berikut,



Pada penelitian yang dilakukan, ditentukan persamaan kinetika reaksi dengan melakukan pengamatan di laboratorium menggunakan reaktor *batch* isotermal dengan volume konstan. Sisa Ag dalam limbah larutan *fixer* dianalisis menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA).

Proses pemurnian dilakukan dengan mengkonversi Ag_2S hasil pemungutan menggunakan Asam Nitrat (HNO_3). Kebutuhan asam nitrat yang digunakan untuk proses konversi dihitung secara stokiometri. $AgNO_3$ hasil konversi kemudian disolidifikasi menggunakan logam tembaga (Cu). Hasil konversi dilakukan analisis menggunakan spektrometri serapan atom (SSA) untuk mengetahui jumlah Ag yang terkonversi. Kemurnian Ag yang didapat dari proses solidifikasi dianalisis menggunakan spektrometri serapan atom untuk mengetahui kemurnian Ag yang didapatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemungutan perak menggunakan logam magnesium merupakan proses yang memanfaatkan reaksi pertukaran logam tunggal yaitu logam magnesium yang lebih reaktif dari pada logam perak menggantikan posisi logam perak sebagai atom pusat pada komplek Ag2(S2O3). Logam yang digunakan untuk menggantikan posisi unsur pada suatu senyawa berada di sebelah kiri logam yang akan digantikan, karena semakin ke kiri letak logam yang digunakan maka semakin reaktif logam, selain itu dalam suatu reaksi oksidasi dan reduksi dalam elektrokimia akan berlangsung secara spontan jika oksidatornya (zat tereduksi) memiliki potensial reduksi standar lebih besar atau berharga positif. Demikian halnya yang terjadi terhadap reaksi antara senyawa komplek Ag2(S2O3) dengan logam Mg yang mengalami reaksi oksidasi dan reduksi. Logam Ag memiliki standar potensial reduksi 0,80 E°(V) sedangkan Mg memiliki standar potensial reduksi -2,37 E°(V) dari nilai standar potensial reduksi Ag maupun Mg menunjukkan bahwa Ag memiliki standar reduksi bernilai potitif dan terreduksi oleh Mg yang memiliki standar potensial reduksi bernilai negatif. Dengan demikian arah reaksi oksidasi dan reduksi dapat dikatakan terjadi secara spontan. Pada deret volta, logam magnesium terletak di sebelah kiri logam perak sehingga ketika limbah fixer yang mengandung komplek perak tiosulfat direaksikan dengan logam magnesium, terjadi reaksi pertukaran

ISSN 1978-0176

dan menghasilkan endapan perak seperti yang terjadi pada Gambar 1.



Gambar. 1. Proses Pemungutan Ag dari Limbah *Fixer* Menggunakan Mg

Pada Gambar 1 reaksi limbah fixer yang mengandung komplek perak tiosulfat Ag2(S2O3) menghasilkan Ag2S atau biasa disebut tarnish. Perak sulfida terbentuk karena setelah komplek perak tiosulfat bereaksi dengan logam magnesium dan menghasilkan logam perak. Logam perak yang terbentuk bereaksi dengan ion sulfur S+ yang merupakan produk samping dari reaksi Ag2(S2O3) dengan logam Mg seperti pada Persamaan (c). Ion sulfur terbentuk karena Mg memiliki standar potensial reduksi bernilai negatif yang besar sehingga ligan S2O3- ikut tereduksi. Jika standar potensial reduksi terlalu tinggi maka tiosulfat dapat terreduksi mengikuti Pers (1).

$$S_2O_3^{2-} + 2e^- + H^+ \rightarrow 2HS^{2-} + 3H_2O \quad (1)$$

Reaksi yang terjadi membentuk sulfida dan bereaksi dengan perak membentuk perak sulfida Ag2S, karena perak dalam bentuk stabilnya selalu berikatan dengan sulfida [4].
Pada proses pemungutan Ag dari limbah fixer didapatkan Ag yang terpungut sejumlah 93,24% dari larutan limbah *fixer*.

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan laju reaksi limbah fixer yang mengandung Ag2(S2O3) bereaksi dengan logam Mg dengan kondisi pada saat pengamatan seperti Tabel 1.

Tabel. 1. Kondisi pada Saat Pengamatan Laju Reaksi

Parameter	Keterangan	Satuan
Berat Magnesium	1,0013	g
Suhu	31	C
pH	6	
Pengadukan	-	-
Volum Total	500	mL

Untuk menganalisis data yang diperoleh dapat menggunakan metode diferensial maupun metode integal. Metode diferensial memerlukan hubungan konsentrasi dengan waktu. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan variasi waktu reaksi. Konsentrasi awal Ag pada larutan *fixer* merupakan konsentrasi maksimum yang terdeteksi yang diperoleh dalam waktu optimum. Konsentrasi yang terdeteksi dari beberapa waktu reaksi yang lebih pendek dari waktu optimumnya selalu lebih rendah dari konsentrasi maksimum. Berdasarkan kurva konsentrasi dengan waktu dilakukan analisis menggunakan metode diferensial untuk memperoleh orde dan konstanta kecepatan reaksi.

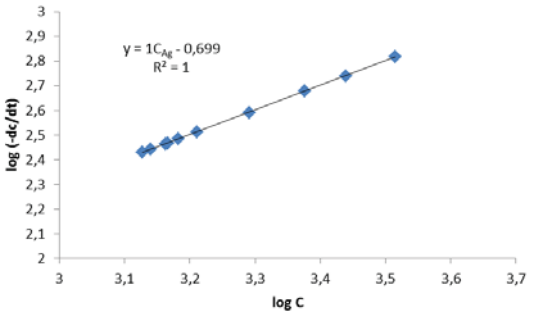
Konsentrasi yang digunakan untuk perhitungan Persamaan kecepatan reaksi berasal dari konsentrasi awal pada waktu 0 menit dikurangi konsentrasi pada setiap variasi waktu. Hasil perhitungan yang diperoleh padat dilihat pada Tabel 2.

Tabel. 2. Hasil Intepretasi Data Metode Diferensiasi

C	Δt	(-dc/dt)	log(-dc/dt)	log(c)
3414	0			
3274	5	654	2,8162	3,5151
2747	5	549	2,7399	3,4388
2379	5	475	2,6774	3,3764
1953	5	390	2,5918	3,2908
1627	5	325	2,5124	3,2114
1522	5	304	2,4834	3,1824
1342	5	268	2,4289	3,1279
1454	5	290	2,4637	3,1627
1466	5	293	2,4673	3,1663
1379	5	275	2,4407	3,1396

Dari Tabel 1 dapat dibuat gafik hubungan log C dengan log (-dC/dt) dan didapat Gambar 2.

ISSN 1978-0176



Gambar. 2. Kurva Hubungan log ($-dC_A/dt$) dengan log C_A

Berdasarkan kurva hubungan log dCA/dt dengan log CA reaksi Ag2S2O3 dengan Mg didapatkan Persamaan kecepatan reaksinya yaitu.

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = 0{,}2\ C_A^{\ 1}\ \frac{mg}{L.menit} \qquad (2)$$

Hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan metode diferensial didapatkan Persamaan kecepatan reaksi untuk reaksi Ag2S2O3 dengan Mg seperti Pers (2).

Untuk memurnikan Ag dari Ag2S maka Ag2S dikonversi terlebih dahulu menjadi larutan AgNO3 menggunakan asam nitrat dengan konsentrasi tertentu. Setelah dilakukan perhitungan untuk kebutuhan asam nitrat untuk proses konversi selanjutnya dilakukan proses konversi dengan kondisi seperti Tabel 3.

Tabel. 3. Jumlah Bahan dan Kondisi Proses Konversi

Keterangan	Nilai	Satuan
Massa Ag_2S	25,0024	g
Volume HNO_3	20,7264	mL
Volume Air	500	mL
Konsentrasi HNO dalam 500 ml	2,6944	%
Pengadukan	800	rpm
Suhu	90	°C

Dari hasil analisis menggunakan sprektrometri serapan atom didapatkan Ag yang terkonversi menjadi $AgNO_3$ disajikan dalam Tabel 4.

Tabel. 4. Hasil Konversi

Nama Bahan	Jumlah	Satuan
Ag_2S	25,0024	g
Ag dalam Ag_2S	21,7497	g
Ag terkonversi	16,3333	g
% Terkonversi	75,0814	%

Dari Tabel 4 diketahui bahwa tidak semua Ag_2S yang terkonversi menjadi $AgNO_3$ dan hanya 75%, padahal pada saat proses konversi sudah dilakukan pengadukan untuk menghomogenisasi padatan Ag_2S dan volume asam nitrat sudah dihitung sesuai stokiometri dan berlebih 20%. Selain itu pada saat proses konversi dilakukan pemanasan pada suhu 90°C yang menjadikan sebagian nitrat menguap karena nitrat menguap pada suhu 83°C dan tidak bereaksi dengan Ag, hal tersebut menyebabkan sebagian dari Ag_2S tidak terkonversi menjadi $AgNO_3$.

Untuk mendapatkan logam perak dari AgNO3 maka, dilakukan pengendapan menggunakan logam tembaga (Cu). Logam Cu dipilih karena memiliki elektro negativitas yang tidak terlalu jauh dari logam perak berdasarkan deret volta, selain itu dipilih logam yg tidak terlalu reaktif karena reaksi berlangsung pada suasana asam kuat. Proses pengendapan Ag dengan logam Cu dilakukan dengan kondisi seperti pada Tabel 5.

Tabel. 5. Kondisi Proses Pengendapan Ag Menggunakan Logam Cu

Keterangan	Nilai	Satuan
Massa logam Cu	9,2339	g
Volume $AgNO_3$	500	mL
Waktu Reaksi	60	menit
Suhu	30	°C

Pada proses pengendapan Ag dengan logam Cu didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.

Tabel. 6. Hasil Pengendapan Ag dari $AgNO_3$ Menggunakan Logam Cu

Keterangan	Jumlah (g)
Massa Cu Akhir	6,3945
Massa Ag	15,91729
Sisa Ag dalam Larutan	0,08944

ISSN 1978-0176

Berdasarkan data pada Tabel 6 dapat dilakukan perhitungan untuk persentase produk Ag yang dihasilkan dan kebutuhan logam Cu yang digunakan selama proses pengendapan, didapatkan persentase Ag mengendap 99,44% dan kebutuhan logam Cu selama proses pengendapan adalah 2,8394 g. Proses pengendapan Ag dari $AgNO_3$ menggunakan logam Cu terjadi karena reaksi pertukaran logam tunggal seperti pada proses pemungutan, reaksi terjadi secara spontan karena logam Cu memiliki nilai elektro negavitas yang bernilai 0,34, nilai tersebut lebih kecil dari pada nilai elektro negativitas Ag yang bernilai 0,85. Reaksi pertukaran logam menghasilkan endapan yang terjadi lewat proses kristalisasi, proses pembentukan kristal perak dapat dilihat dan diamati pada Gambar 3.



Gambar. 3. Proses Pembentukan Kristal Ag



Gambar. 4. Dilihat dengan Mikroskop Perbesaran 20×

Dari Gambar 3 dan 4 dapat diamati pertumbuhan kristal membentuk seperti ranting pohon yang terus tumbuh, kristal pada Gambar 3 dan 4 disebut kristal dendrit yang pada pembentukannya tumbuh menyerupai cabang pohon dan sering dianalogikan sebagai bunga salju. Proses solidifikasi pada metalurgi, kristal yang terbentuk umumnya selalu mengituti bentuk kristal dendrit begitu juga pada proses pembentukan kristal perak pada proses pengendapan Ag dari $AgNO_3$ menggunakan logam Cu. Selama konsentrasi Ag masih ada dan logam Cu masih tersedia dalam proses maka pembentukan kristal Ag masih terus berlanjut sampai konsentrasi Ag mencapai batas minimalnya atau bahkan habis.

Dari proses pengendapan Ag dari $AgNO_3$ menggunakan logam Cu didapatkan produk akhir berupa endapan logam Ag, endapan yang didapat selanjutnya dianalisis menggunakan spektrometri serapan atom dan dihitung kadar kemurniannya. Kadar kemurnian Ag yang diperoleh adalah 99,97% dan dapat digolongkan *very fine* yang artinya sesuai dengan standar layak jual pada pasar logam mulia yang mensyaratkan logam mulia minimal harus memiliki kadar 99,95% menurut acuan dari PT. Aneka Tambang selaku pemegang regulasi sertifikasi logam mulia resmi di Indonesia.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian proses pemungutan Ag dari limbah fixer bekas cucian film radiografi ini dapat disimpulkan. Perak dalam larutan fixer bekas pencuci film radiografi dapat dipungut dengan proses reaksi pertukaran logam magnesium dengan penurunan kadar perak dalam larutan fixer sejumlah 93,24%. Pemurnian perak dari Ag_2S hasil pemungutan dilakukan dengan cara mengkonversi Ag_2S menjadi $AgNO_3$ menggunakan asam nitrat (HNO_3) dan dilakukan solidifikasi logam perak menggunakan logam tembaga (Cu). Pada proses konversi, Ag yang terkonversi sebanyak 75% dan proses solidifikasi dengan logam Cu didapatkan endapan sebanyak 99,44% dan kemurnian Ag logam hasil solidifikasi 99,97%. Kinetika pada proses pemungutan mengetahui reaksi order 1 dengan konstanta kecepatan reaksi 0,2 menit^{-1}.

ISSN 1978-0176

DAFTAR PUSTAKA

1. BAPETEN, 2014, Data Perizinan Bidang FRZR,http://www.bapeten.go.id/?frame=iz in_kota, Selasa 7 April 2015 Pukul 11.10 WIB
2. Songkroah C., Nakbanpote C., and Thiravetyan P., 2003, "Recovery of Silver-Thiosulphate Complexes with Chitin", *Process Biochemistry Journal*, vol. 39, 1553-1559.
3. Vernon L.S., and David J 1980, *Water Chemistry*, by John Wiley & Sons, Inc. USA, 1980.
4. Lawrence K. W., *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, U.S.A, 2004

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

EVALUASI BEBAN BUSBAR BNA/BNB/BNC YANG DICATU OLEH GENSET BRV10/20/30 RSG GA. SIWABESSY

Koes Indrakoesoema[1)], Yayan Andriyanto[1)]

[1)]PRSG, BATAN, Tangerang Selatan, Indonesia,
Email: koes@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI BEBAN BUSBAR BNA/BNB/BNC YANG DICATU OLEH GENSET BRV10/20/30. Catu daya disel pembangkit digunakan sebagai catu daya darurat di RSG GA. Siwabessy. Setiap catu daya darurat atau Genset dari 3 buah yang tersedia (BRV10, BRV20, dan BRV30) melayani beban-beban yang berbeda melalui busbar BNA, BNB, dan BNC. Masing-masing kapasitas Genset adalah 518 kVA dimana pemakaian dayanya belum optimal, bebannya pada Gedung 30 (gedung reactor) dan sebagian ditambah dari gedung operasi (gedung 31). Tujuan penambahan ini juga untuk lebih memberikan rasa aman terhadap catu daya listrik pada gedung operasi dari gangguan PLN. Pada awal Juni 2016 telah dilakukan pengukuran beban riil pada masing-masing Genset saat catu daya PLN diputus dimana secara otomatis ke tiga Genset beroperasi dan melayani beban melalui Busbar BNA, BNB, dan BNC. Tegangan rata-rata tiap-tiap phasa untuk BRV10 adalah V_R = 226 V, $V_S = V_T$ = 227 V, untuk BRV20 adalah $V_R = V_S = V_T$ = 220 V, dan BRV30 adalah $V_R = V_S$ = 228 V, V_T = 229 V. Arus rata-rata tiap phasa untuk BRV10 adalah I_R = 75,4 A, I_S = 59,3 A, I_T = 63,8 A, untuk BRV20 adalah I_R = 189 A, I_S = 169, I_T = 190 A; dan BRV30 adalah I_R = 197 A, I_S = 175 A, I_T = 192 A. Sedangkan daya aktif yang diserap beban untuk BRV10 adalah P = 33,5 kW, BRV20 adalah P = 98 kW, dan BRV30 adalah P = 104 kW. Beban pada masing-masing diesel masih belum optimal, dari daya tiap Genset 518 kVA, daya yang diserap dari BRV10 masih 8,65%, dan yang terbesar dari BRV30, yaitu 24,71%.

Kata kunci : Beban, Genset, Busbar

ABSTRACT

EVALUATION OF LOADS IN BUSBAR BNA/BNB/BNC WHICH SUPPLIED FROM GENSET BRV10/20/30. *The evaluation of the the supply and use of diesel generator power supply has been carried out. The power supply of diesel generator used as an emergency power supply in the RSG GA. Siwabessy. Every emergency power supply (BRV10, BRV20, and BRV30) serve different loads via busbar BNA, BNB, and BNC. Each capacity of the Generator is 518 kVA in which the power consumption is not optimal, the loads are on Building 30 (reactor building) and a portion of the building operations (building 31). The purpose of this addition (some loads from building 31) also to better provide safety against electric power supply to the building operations of PLN disruption. At the beginning of June 2016 have been conducted measuring the real load on each generator when the power supply from PLN is disconnected which automatically the three Genset operate and serve the load through Busbar BNA, BNB, and BNC. The average voltage of each phase to BRV10 is V_R = 226 V, $V_S = V_T$ = 227 V, for BRV20 is $V_R = V_S = V_T$ = 220 V, and BRV30 is $V_R = V_S$ = 228 V, V_T = 229 V. the average current per phase for BRV10 is I_R = 75.4 A, I_S = 59.3 A, I_T = 63.8 A, for BRV20 is I_R = 189 A, I_S = 169, I_T = 190 A; and BRV30 is I_R = 197 A, I_S = 175 A, I_T = 192 A. While active power absorbed load for BRV10 is P = 33.5 kW, BRV20 is P = 98 kW, and BRV30 is P = 104 kW. The load on each diesel has not optimal, the power absorbed from BRV10 was 8.65%, and the largest is BRV30, is 24.71%.*

Key wood : Load, Genset, Busbar

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Gedung RSG GA. Siwabessy (Ged. 30) adalah gedung reaktor beserta fasilitas laboratoriumnya dan Gedung Operasi (Ged. 31) adalah gedung perkantoran tanpa fasilitas laboratorium, dimana kedua gedung tersebut catu dayanya diperoleh dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) melalui 3 buah transformator yang terbagi dalam 3 jalur (busbar), yaitu BHA, BHB, dan BHC. Untuk 3 buah busbar, yaitu BNA, BNB, dan BNC catu dayanya tidak hanya bersumber dari PLN tapi juga dari diesel.

Sejak awal penggunaan Gedung Operasi tahun 1987 sampai dengan pertengahan tahun 2004, catu daya untuk gedung operasi berasal dari PLN, hanya fasilitas penerangan di toilet disetiap lantai, lift dan AHU, catu dayanya berasal dari gedung reaktor yang dipasok juga oleh diesel darurat, bila catu daya PLN mati. Dari kapasitas diesel yang tersedia, yaitu 500 kVA dimana Diesel ini hanya berfungsi saat catu daya dari PLN terputus dan beban yang dicatu tidak termasuk motor pompa pendingin primer dan sekunder, sehingga daya yang dipasok oleh ke tiga diesel tersebut belum optimal.

Beban-beban yang dipasok oleh ke tiga diesel dan melalui ke tiga busbar yang terpisah (BNA, BNB, dan BNC) dikategorikan sebagai catu daya darurat dan hanya mencatu beban-beban yang termasuk dalam Sistem Keselamatan Reaktor, daya yang terbesar adalah berasal dari system ventilasi terkait keselamatan, dan ventilasi pada gedung reaktor. Disamping layanan daya pada gedung reaktor, gedung operasipun harus dapat terjamin pasokan listriknya, dimana untuk itu beban-beban yang dianggap penting seperti ventilasi, lift, dan komputer dilayani oleh busbar darurat yang di catu dari sumber catu daya disel darurat. Untuk mengetahui daya riil yang diserap oleh beban-beban baik di gedung reaktor maupun yang di gedung operasi maka dilakukan pengukuran pada tanggal 3 Juni 2016 saat reactor padam dan catu daya dari PLN diputus. Alat ukur yang digunakan adalah PQA HIOKI 3169-20, masing-masing disel diukur parameter listriknya selama 1 jam dengan interval waktu pengukuran 1 menit.

TEORI

Daya Listrik

Dalam kelistrikan dikenal adanya beberapa jenis daya, yaitu :

- Daya Nyata (S)
- Daya Aktif (P)
- Daya Reaktif (Q)

Daya Nyata

Daya nyata untuk sistem fasa tunggal dengan sirkuit dua kawat adalah perkalian skalar. Daya nyata (S) untuk sistem 3 fasa dinyatakan dengan :

$$S = 3|V|.|I| \quad [VA] \qquad (1)$$

ISSN 1978-0176

Daya Aktif

Daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = \frac{V_{maks}\, I_{maks}}{2} \cos \varphi \qquad (2)$$

Persamaan untuk daya beban tiga fasa yang seimbang dinyatakan oleh

$$P = \sqrt{3}\ |V_{jala\ -\ jala}|\ |I_{jala\ -\ jala}|\ \cos \varphi\ \ [\text{Watt}] \qquad (3)$$

dimana: Vjala = tegangan efektif
Ijala = arus jala efektif

Daya Reaktif

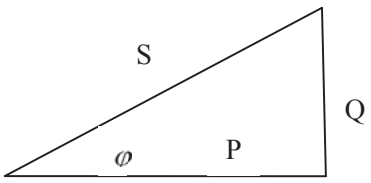
Daya reaktif dituliskan dengan persamaan :

$$Q = \frac{V_{maks}\, I_{maks}}{2} \sin \varphi \qquad (4)$$

$$Q = |V|\ |I|\ \sin \varphi\ \ [\text{VAr}] \qquad (5)$$

Segitiga Daya

Hubungan antara daya nyata (S), daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dikenal dengan istilah segitiga daya. Lihat Gambar 1.



Gambar 1. Segitiga Daya

dimana :

$P = V.I. \cos \varphi$
$S = V.I$
$Q = V.I. \sin \varphi$

Dari gambar di atas

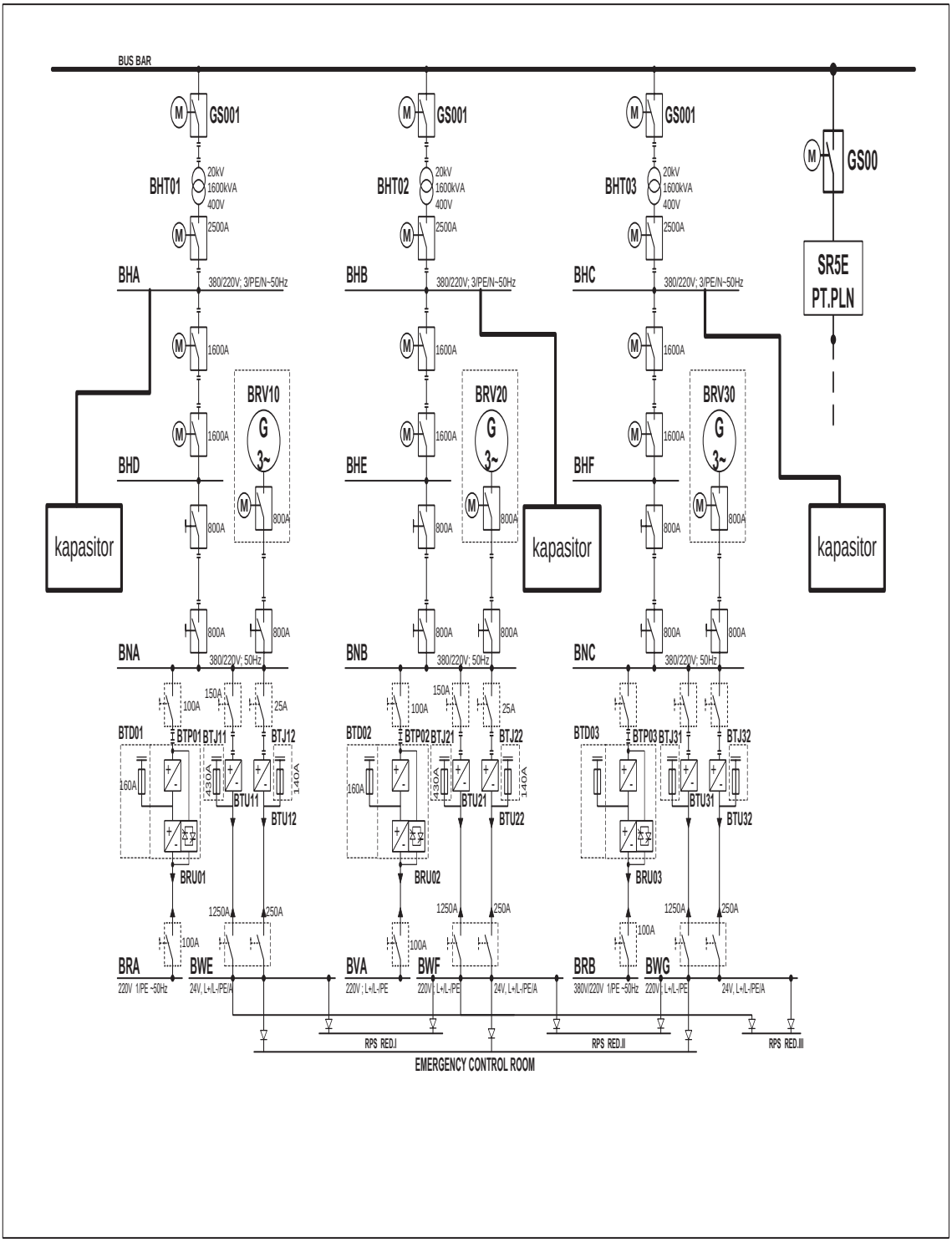
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad (6)$$

atau $P = S \cos \varphi$; $Q = S \sin \varphi$

Catu Daya RSG - GAS

Kapasitas tersedia yang diberikan oleh PLN untuk pasokan catu daya listrik RSG-GAS adalah 3030 kVA. Daya terpasang dari PLN masuk melalui tiga unit transformator daya BHT01, BHT02, dan BHT03 (lihat Gambar 2),

ISSN 1978-0176



Gambar 2. Diagram segaris distribusi daya RSG-GAS

ISSN 1978-0176

masing-masing dengan kapasitas 1600 kVA dan tegangan 380 V AC. Sisi tegangan rendah dari transformer dihubungkan dengan 3 redudan panel distribusi utama 380 V AC (BHA, BHB, dan BHC). Kemudian panel distribusi utama juga mencatu panel distribusi untuk reaktor dengan 3 redudan (BHD, BHE, dan BHF). Pada kondisi operasi normal, 3 distribusi daya disalurkan melalui bus bar BNA, BNB, dan BNC. Dalam hal kegagalan catu daya normal, tiap panel distribusi darurat dicatu oleh unit disel generator yang independen, yaitu BRV10, BRV20, dan BRV30.

Masing-masing disel mempunyai spesifikasi yang sama, yaitu :

- Type : VTA 28 G1
- Kapasitas *stand by* : 569 kVA (455 kW) (operasi 1 – 12 jam)
- Kapasitas normal : 518 kVA (414 kW)
- Tegangan : 400/231 ± 0,5% Volt
- Frekuensi : 50 Hz
- Faktor Daya : 0,8 lag.
- Putaran : 1500 rpm
- Efisiensi : 93,7% (beban 50%)
  93,6% (beban 75%)
  93% (beban 100%)

Kondisi normal adalah kondisi dimana semua sistem kelistrikan dipasok dari catu daya PLN, sedangkan kondisi darurat adalah kondisi dimana pasokan listrik hanya dari disel pembangkit melalui busbar darurat. Dari kondisi normal beralih ke kondisi darurat akan melalui waktu peralihan. Selama waktu peralihan catu daya, untuk sistem-sistem keselamatan yang harus tetap beroperasi, dipasok oleh sistem catu daya tak putus (*UPS*) yang mampu bekerja selama 45 menit. Pengaturan waktu peralihan dari catu daya PLN ke catu daya darurat dilakukan oleh sistem *interlock* pada sistem keselamatan reaktor (*RPS*)

Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 memperlihatkan uraian beban pada busbar BNA, BNB, dan BNC yang dipasok oleh masing-masing unit disel generator.

TATA KERJA

Pengukuran dilakukan pada tanggal 3 Juni 2016 dengan menggunakan PQA HIOKI 3169-20. Pada setiap output Generator, masing-masing fasa diukur selama 1 jam dengan interval waktu 1 menit. Karena PQA hanya 1 buah, maka pengukuran dilakukan secara bergantian saat jam kerja. Lihat Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Pengukuran dengan PQA

ISSN 1978-0176



Gambar 4. Letak pengukuran dengan PQA

Tabel 1. Beban pada busbar BNA

NO	SIST	KOMP	DAYA (KW)	ARUS (A)
1	KBE 02	AA 023	0.06	0.22
2	KBE 02	AA 001	0.06	0.22
3	KLA 60	AA 601	0.06	0.22
4	GHC 01	AA 021	0.06	0.22
5	KBE 01	AA 067	0.06	0.22
6	FAK 01	AA 023	0.06	0.22
7	FAK 01	AA 001	0.06	0.22
8	KLA 40	AN 101	11	22
9	KLK 06	AN 101	0.9	4
10	JNA 10	AN 001	7.5	15.6
11	JNA 10	AN 002	7.5	15.6
12	JNA 10	AP 001	4	8.8
13	KLK 06	CR 001	0.9	4
14	KLK 06	CR 003	0.5	4
15	KLK 01	CR 003	0.9	4
16	KLK 02	CR 002	0.9	4
17	PA 01	CR 001	0.39	1.64
18	KLK	CR 001	0.9	4
19	P.M	-	0.5	1.6
20	KL 00	GS 002	42	100
21	QKJ 00	GS 005	38.5	125
22	QKJ 00	GS 010	38.5	125
23	KLA 00	GS 006	8	16
24	KLE 00	GS 011	12	25
25	UJA 02	GP 201	25	50
26	JKT 01	AE 011	0.25	0.8
27	KLA 40	BC 101	3	5
28	IPL	-	-	0
29	GED OB	-	-	125
TOTAL			**203.56**	**662.58**

Tabel 2. Beban pada busbar BNB

NO	SIST	KOMP	DAYA (KW)	ARUS (A)
1	FAK 01	AA 002	0.06	0.22
2	FAK 01	AA 024	0.06	0.22
3	KBE 01	AA 068	0.06	0.22
4	KBE 02	AA 024	0.06	0.22
5	KBE 02	AA 002	0.06	0.22
6	KLA 60	AA 602	0.06	0.22
7	GHC 01	AA 022	0.06	0.22
8	JBF 01	AP 003	1.1	2.7
9	JNA 20	AP 001	4	8.8
10	JBF 01	AN 001	3.6	7.7
11	KLA 40	AN 201	11	22
12	JNA 20	AN 002	7.5	15.6
13	JNA 10	AN 001	7.5	15.6
14	KL 00	GS 003	36	100
15	QKJ 00	GS 006	38.5	125
16	QKJ 00	GS 007	38.5	125

ISSN 1978-0176

17	KLE 00	GS 012	12	25
18	KL 00	GS 006	8	16
19	JDA 02	-	0.008	0.008
20	JDA 03	-	0.008	0.008
21	JDA 04	-	0.008	0.008
22	JDA 05	-	0.008	0.008
23	JDA 06	-	0.008	0.008
24	JDA 07	-	0.008	0.008
25	JDA 08	-	0.008	0.008
26	JDA 01	-	0.008	0.008
27	KLK	CR 001	0.9	4
28	KLK	CR 002	0.9	4
29	KLK	CR 004	0.9	4
30	PA	CR 001	0.9	4
31	KON TAM AT 2	-	0.5	1.6
32	JKT 01	AE 021	0.25	0.8
33	UJA 09	GP 207	25	50
34	KLA 40	BC 201	3	6
35	IPL	-	-	0
36	GED OB	-	-	250
TOTAL			**200.53**	**539.40**

Tabel 3. Beban pada busbar BNC

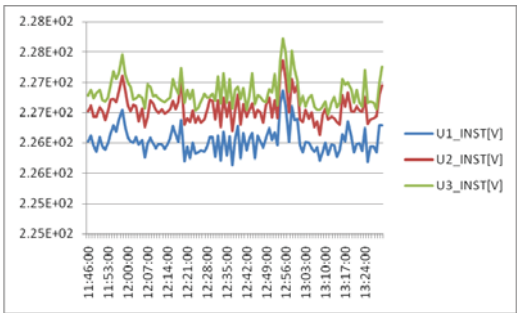
NO	SIST	KOMP	DAYA (KW)	ARUS (A)
1	KLA 40	AN 301	11	22
2	JNA 30	AN 001	7.5	15.6
3	KLK 06	AN 201	0.9	4
4	JNA 30	AN 002	3	4.6
5	JNA	AP	4	8.8
	30	001		
6	QKJ 00	GS 008	38.5	125
7	QKJ 00	GS 009	38.5	125
8	KL 00	GS 006	8	16
9	KL 00	GS 004	36	100
10	KLE 00	GS 013	12	25
11	KLA 40	BC 301	3	6
12	UJA 09	GP 206	30	80
13	UKA 04	GP 201	9	18
14	KLK 06	CR 002	0.9	4
15	KLK 06	CR 005	2.4	10.6
16	KONT AMAT 3	-	0.06	4
17	Gedung kantor	-	40	80
18	IPL	-	0	0
19	GED OB	-	-	125
20	GED OB	-	-	125
TOTAL			**244.76**	**898.60**

Beban-beban yang dicatu melalui busbar BWE, BWF, dan BWG dimana ketiganya adalah catu daya untuk RPS, masing-masing adalah 15,44 kW, 15,54 kW, dan 16,77 kW.

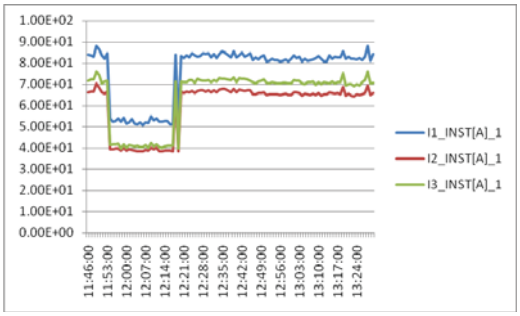
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan, Arus dan Daya riil pada busbar BNA(BRV10) dapat dilihat pada Gambar 5, 6 , dan 7.

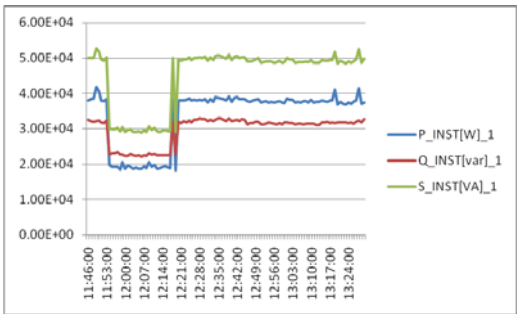
ISSN 1978-0176



Gb.5 Tegangan Busbar BNA



Gb.6 Arus Busbar BNA

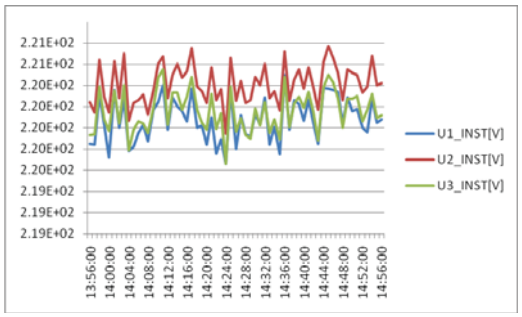


Gb.7 Daya Busbar BNA

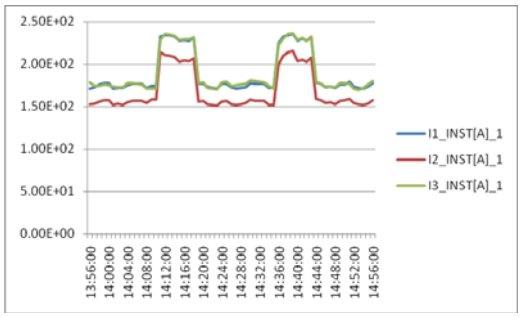
Pada Gambar 5 dapat dilihat tegangan rata-rata untuk phasa R(U_1) = 226 V, S(U_2) = 227 V, dan T(U_3) = 227 V. Arus rata-rata masing-masing phasa seperti terlihat pada Gambar 6 adalah R(I_1) = 75,7A, S(I_2) = 59,6A, dan T(I_3) = 64,1A. Pada jam 11.54 s.d jam 12.19 terjadi penurunan arus, masing-masing menjadi 52,5 A, 38,9 A, dan 41 A.

Daya rata-rata yang diserap oleh Busbar BNA seperti terlihat pada Gambar 7, adalah P = 33,5 kW, Q = 29,6 kVar, dan S = 44,8 kVA.

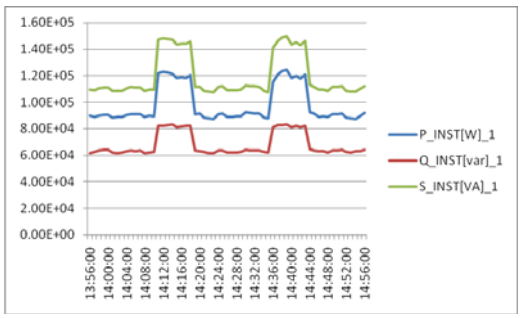
Tegangan, Arus dan Daya riil pada busbar BNB (BRV20) dapat dilihat pada Gambar 8, 9 , dan 10.



Gb.8 Tegangan Busbar BNB



Gb.9 Arus Busbar BNB



Gb.10 Daya Busbar BNB

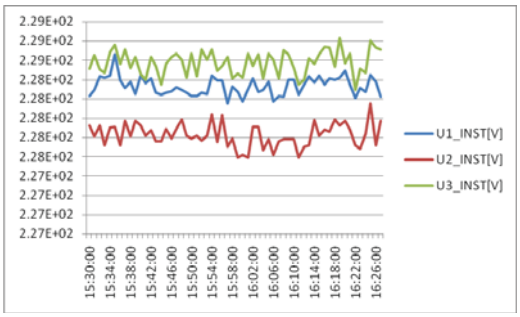
Pada Gambar 8 tegangan rata-rata untuk phasa R, S, dan T adalah 220 V. Arus rata-rata masing-masing phasa seperti terlihat pada Gambar 9 adalah I_R = 189 A, I_S = 169 A, dan I_T = 190 A. Pada jam 14.11 s.d jam 14.18 dan 14.36

ISSN 1978-0176

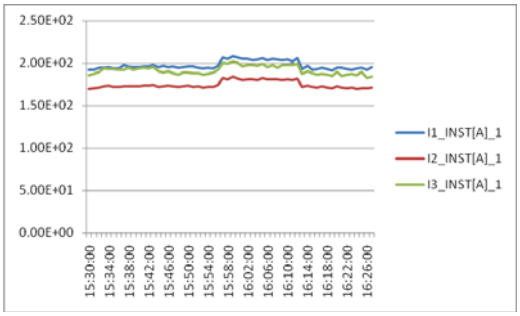
s.d 14.43 terjadi kenaikan arus, menjadi 230 A

Daya rata-rata yang diserap oleh Busbar BNB seperti terlihat pada Gambar 10, adalah P = 98 kW, Q = 68,1 kVar, dan S = 119 kVA.

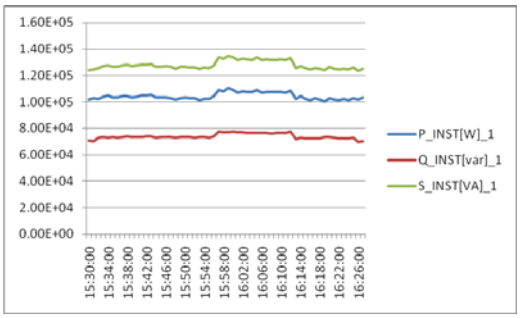
Tegangan, Arus dan Daya riil pada busbar BNC (BRV30) dapat dilihat pada Gambar 11, 12 , dan 13.



Gb.11 Tegangan Busbar BNC



Gb.12 Arus Busbar BNC



Gb.13 Daya Busbar BNC

Pada Gambar 11 tegangan rata-rata untuk phasa R = 228 V, S = 228 V, dan T = 229 V. Arus rata-rata masing-masing phasa seperti terlihat pada Gambar 12 adalah I_R = 197 A, I_S = 175 A, dan I_T = 192 A. Daya rata-rata yang diserap oleh Busbar BNC (BRV30) seperti terlihat pada Gambar 13, adalah P = 104 kW, Q = 74 kVar, dan S = 128 kVA.

Adanya perbedaan tegangan antara busbar BNA, BNB, dan BNC, dimana tegangan pada busbar BNB adalah sesuai dengan tegangan nominal 1 phasa, yaitu 220 V karena diesel BRV20 baru dilakukan semi overhaul. Perbedaan tegangan antara 2 (dua) diesel yang lain dengan BRV20 adalah 4,09% dan perbedaan tegangan maksimum antar phasa pada masing-masing diesel jauh lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan PUIL Th. 2000 sebesar 10%.

Profil arus menunjukkan ketidak seimbangan beban tiap-tiap phasa baik pada beban BRV10, BRV20, dan BRV30 dan arus tertinggi ada pada BRV30, yaitu 197 A pada fasa R.

Profil daya menunjukkan masih belum optimalnya pemakaian daya BRV10, BRV20, dan BRV30. Beban tertinggi ditanggung oleh BRV30 seperti terlihat pada Gambar 13, yaitu 104 kW dan terendah BRV10 (lihat Gambar 7), yaitu 33,5 kW, dan daya nyatanya S = 128 kVA (BRV30) dan 44,8 kVA (BRV10). Kapasitas

ISSN 1978-0176

masing-masing BRV adalah 518 kVA (414 kW), sehingga pemakaian daya hanya 25,12% untuk BRV30 dan 8,09% untuk BRV10.

KESIMPULAN

Pemanfaatan catu daya disel pembangkit untuk gedung RSG-GAS belum optimal. Beban pada masing-masing phasa juga belum merata. Arus tertinggi pada phasa R terdapat pada BRV30, yaitu 197 A dan arus terendah pada phasa S di BRV10, yaitu 59,6 A. Daya yang diserap beban pada busbar BNA masih sangat kecil, yaitu 8,09% dan yang terbesar diserap oleh beban BNC, yaitu 25,12%

DAFTAR PUSTAKA

1. *Diesel Emergency Sets BRV10/20/30*, System Description, INTERATOM, 1986

2. *Safety Analysis Report* RSG-GAS, volume 9, Badan Tenaga Nuklir Nasional

3. PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) 2000, BSN, Jakarta

4. William D., Stevenson, Jr., "Analisis Sistem Tenaga Listrik", 1993, Erlangga, Jakarta.

ISSN 1978-0176

PENGEMBANGAN POLIETILENA OKSIDA-POLIETILENA GLIKOL DIMETAKRILAT HIDROGEL FILM UNTUK APLIKASI PEMBALUT LUKA MELALUI IRADIASI ELEKTRON BEAM

Haryanto[1], Nunuk Aries N[2]

1) Program studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto, Indonesia, harymsl@gmail.com
2) Program studi Farmasi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto, Indonesia, nunuknurulita@yahoo.com

ABSTRAK

PENGEMBANGAN POLIETILENA OKSIDA-POLIETILENA GLIKOL DIMETAKRILAT HIDROGEL FILM UNTUK APLIKASI PEMBALUT LUKA MELALUI IRADIASI ELEKTRON BEAM

Polimer hidrogel adalah merupakan material baru yang penggunaannya sedang berkembang luas pada berbagai bidang diantaranya untuk pengembangan bahan-bahan biomedis, farmasi, obat-obatan dan pertanian. Hidrogel mempunyai kemampuan untuk menyerap dan mempertahankan air yang sangat bermanfaat untuk berbagai aplikasi medis. Polietilene oksida- polietilene glikol dimetakrilat hidrogel film dikembangkan untuk aplikasi pembalut luka dengan menggunakan metode *crosslinking* permanen yaitu menggunakan iradiasi electron beam. Untuk memperoleh kondisi optimum pembuatan hidrogel sebagai pembalut luka, PEGDMA dengan berbagai komposisi PEGDMA/PEO (0%, 5%, 10%, 15% dan 20%) di sinari dengan menggunakan iradiasi elektron beam. Kandungan dari PEGDMA dalam hidrogel akan mempengaruhi fraksi gel, rasio *swelling*, dan juga sifat mekanik serta kecepatan transmisi uap air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 20% PEGDMA hidrogel film memiliki kuat mekanik yang paling tinggi yaitu sebesar 0,65 MPa. 20 % PEGDMA hydrogel film juga menunjukkan fraksi gel yang paling besar yaitu sebesar 76%. Namun sebaliknya, 20% PEGDMA menunjukkan tingkat swelling rasio yang paling kecil yaitu hanya sebesar 235%. Berdasar hasil penelitian, hidrogel film 20% PEGDMA /PEO sangat potensial untuk aplikasi pembalut luka dengan kuat mekanik yang tinggi dan kecepatan transmisi uap air yang ideal.

Kata kunci: hidrogel, pegdma, pembalut luka, elektron beam, sifat mekanik.

ABSTRACT

HYDROGEL FILM OF POLYETHYLENE OXIDE-POLYETHYLENE GLYCOL DIMETACRYLATE BY ELECTRON BEAM IRRADIATION FOR WOUND DRESSING APPLICATION

Hydrogel polymer is a new material which has a broad application for biomedic materials, pharmacy, drugs and agriculture. Hydrogel has an ability to absorb and retain water which is very useful for medical applications.We have developed polyethylene oxide-polyethylene glycol dimetacrylate using permanent crosslinking method via electron beam irradiation for wound dressing application. Various composition of pegdma/peo (0%, 5%, 10%, 15% and 20%) are irradiated with electron beam to get the optimum composition for wound dressing application. The pegdma content in hydrogel influenced the gel fraction, swelling ratio, mechanical properties and water vapor transmition rate.The results shows that 20% pegdma hydrogel film has the highest mechanical strength (0,65 MPa). 20% pegdma hydrogel film also has the highest gel fraction (76%). In contrary it has the lowest swelling ratio (235%). Base on the results, 20% pegdma hydrogel film is very potential for wound dressing application with high mechanical strength and ideal water vapor transmission rate.

Key words: hydrogel, pegdma, wound dressing, electron beam, mechanical properties

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Polimer hidrogel termasuk salah satu material polimer yang relatif masih baru dan banyak digunakan pada berbagai bidang khususnya material biomedis, farmasi, obat-obatan dan pertanian. Salah satu dari biomaterial yang sangat menjanjikan adalah hidrogel. Istilah biomaterial biasanya digunakan untuk material yang dipakai untuk keperluan biomedis. Selama lebih dari puluhan tahun hidrogel telah digunakan pada berbagai aplikasi medis seperti pengantar obat, pembawa sel, pembalut luka, rekayasa jaringan, kontak lensa, bahan anti lengket dan benang jahit yang dapat terserap seperti pada praktek klinik lainnya.

Hidrogel mempunyai kemampuan menyerap air dan menahannya dari puluhan persen sampai ribuan persen dari berat keringnya didalam ruang antara rantai polimer. Hidrogel bisa stabil secara kimia atau bisa juga terdegradasi yang pada akhirnya terdisintegrasi dan larut [1,2].

Hidrogel diklasifikasikan menjadi dua ketegori utama yaitu permanen/kimia gel dan nonpermanent/fisikal gel. Permanen gel adalah jaringan kovalen *crosslin-ked*). Sedangkan non permanen/fisika gel terhubung bersama melalui belitan molekuler dan atau melalui interaksi ion, ikatan hydrogen atau interaksi hidropobik. Didalam gel yang ter*crosslinking* secara fisik, pelarutan dicegah dengan adanya interaksi fisik, yang berada diantara rantai polimer yang berbeda [3].

Didalam radiasi elektron biasanya menggunakan energi tinggi untuk meradiasi objek dengan berbagai tujuan. Penggunaan yang mungkin dari radiasi elektron adalah untuk sterilisasi dan untuk *crosslinking* polimer.

Radiasi elektron menimbulkan radikal bebas yang akan bereaksi secara kimiawi dengan berbagai cara, dan terkadang bereaksi sangat lambat. Radikal bebas dapat terkombinasi bersama membentuk *crosslinks*. Tingkat *crosslinking* tergantung pada jenis polimer itu sendiri dan tingkat radiasi.

Pembalut luka biasanya dipakai untuk mempercepat berbagai tahap penyembuhan luka dan dapat menciptakan kondisi yang lebih baik untuk penyembuhan. Hidrogel yang berbentuk powder umumnya dipakai untuk luka terbuka dan kering dengan tujuan untuk menyerap cairan luka [4]. Kelemahan dari tipe powder seperti ini adalah material yang kering dapat menyebabkan gumpalan dan membentuk gumpalan selama penggunaan pada luka. Disamping itu pelepasan gumpalan dari luka tanpa menyebabkan kerusakan adalah sangat sulit. Pembalut luka seharusnya mudah untuk digunakan, tidak sakit ketika dilepas, dapat menciptakan lingkungan yang optimal untuk peyembuhan luka dan seharusnya membutuhkan lebih sedikit pergantian pembalut yang dapat mengurangi waktu kerja perawat [5]. Karena itu, hidrogel yang memiliki kekuatan mekanik yang lebih baik diharapkan dapat dipakai menjadi pembalut luka yang lebih berkualitas.

Pada beberapa akhir tahun ini, perhatian yang sangat besar telah difokuskan pada penelitian dan pengembangan polimer hydrogel sebagai biomaterial seperti untuk kontak lensa, pembalut luka dan system pengantaran obat [6-8]. Pembalut hydrogel terdiri dari polimer yang tidak larut dengan kandungan air yang tinggi yang membuatnya menjadi ideal sebagai pembalut luka untuk memfasilitasi penghilangan bekas penyembuhan luka [9]. Pembalut luka tipe hydrogel dapat dibentuk dengan *crosslinking* polimer yg larut dalam air seperti polivinil alcohol, poli pirolidone, poli akrilik dan polietilene oksida [10].

Diantara polimer yg larut diair seperti disebutkan diatas, PEO menunjukkan kelebihannya dalam hal tingkat toksisitas yang relative lebih rendah [11,12]. Bagaimanapun juga, PEO hydrogel murni memiliki kuat mekanik yang rendah dan sangat mudah pecah/hancur [13,14]. Polietilene glikol dimetrakilat (PEGDMA) adalah termasuk polimer yang tidak beracun, larut dalam air serta memiliki gugus fungsi akhir yang dapat dipolimerisasi [15]. Oleh karena itu diharapkan *co-crosslinking* antara PEO dan PEGDMA dengan menggunakan radiasi elektron beam dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan densitas *crosslinking*.

EKSPERIMEN

Bahan

PEO (Mn = $6x10^5$) dan PEGDMA (Mn = 550.

ISSN 1978-0176

Pembuatan crosslinked hidrogel dengan iradiasi electron beam

Larutan PEO dengan konsentrasi 5% disiapkan dengan melakukan pengadukan pada suhu kamar selama 24 jam. Komposisi PEGDMA/PEO diubah dari 0/100, 5/100, 10/100, 15/100, 20/100. Lalu sejumlah tertentu larutan dituangkan kedalam petri disk untuk mendapatkan film kering dengan ketebalan 0,3 mm. Larutan dalam petri disk lalu dikeringan didalam oven pada suhu 55°C selama 24 jam. PEO yang telah kering dibungkus dengan plastic dan selanjutnya diradiasi dengan intensitas berkisar 300 kGy [14].

Penentuan fraksi gel

Setelah dilakukan radiasi, bungkus plastik dibuka lalu ditimbang beratnya dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm. Setelah itu, hydrogel yang telah diradiasi dimasukkan kedalam air suling pada suhu 50°C selama 24 jam untuk mengeluarkan bagian yang dapat terlarut. Gel tidak terlarut yang didapatkan lalu dikeringkan dioven pada suhu 50°C selama 24 jam dan kemudian dikeringkan di vakum oven pada suhu yang sama selama 6 jam untuk mendapatkan berat kering yang konstan. Fraksi gel ditentukan dari rasio berat antara gel kering yang tidak terlarut dan berat awal hydrogel.

Fraksi gel = (Wc/Wo) x 100 [%] (1)

Dimana Wc dan Wo adalah berat gel kering tidak terlarut dan berat awal hydrogel kering [16].

Penentuan rasio swelling

Hidrogel yang telah diradiasi dengan berat tertentu (2,5 x 2,5 cm) dimasukkan kedalam aquadest pada suhu kamar. Berat gel yang telah menyerap air diukur beratnya pada waktu waktu tertentu setelah dikeluarkan sisa airnya pada permukaannya dengan menggunakan kertas filter. Hal ini dilakukan terus sampai tidak ada lagi kenaikan berat. RS diukur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ;

RS = Wt/Wo x 100 [%] (2)

Dimana Wt dan Wo adalah berat gel yang telah mengembang pada waktu t dan berat film kering [14].

Penentuan kecepatan transmisi uap air

Kecepatan transmisi uap air diukur dengan menggunakan metode standar JIS. Film kering berbentuk bulat dengan diameter 7 cm ditaruh diatas gelas yang berisi 50 g CaCl2 dan ditempatkan pada incubator dengan humiditas 90% pada 40°C.

WVTR = $((W_2-W_1)/S)$ [g $m^{-2}h^{-1}$] (3)

Dimana W_1 dan W_2 adalah berat seluruh gelas pada jam pertama dan jam kedua serta S adalah luas daerah transmisi [16].

Kuat mekanik

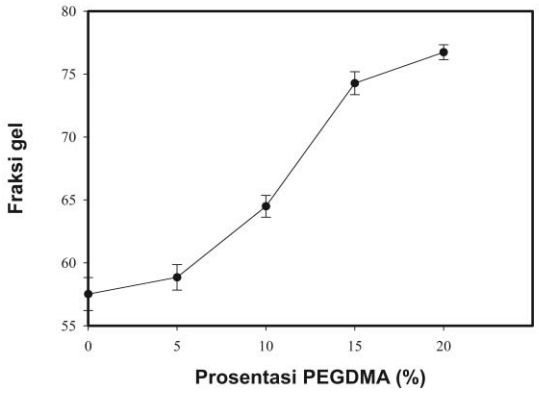
Kuat Tarik dan young modulus dari hydrogel diukur dengan menggunakan mesin kuat Tarik (Instron Machine, USA) dengan kecepatan 50 mm/menit pada suhu kamar.

HASIL DAN DISKUSI

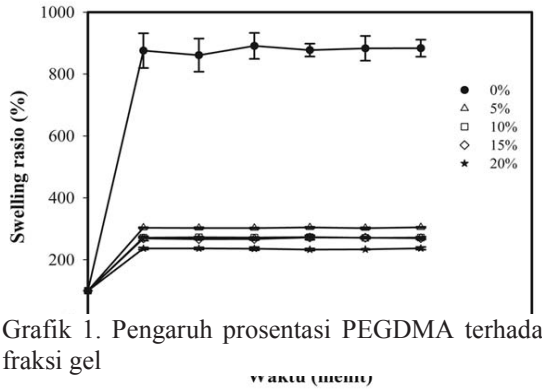
Sejumlah kecil PEGDMA ditambahkan kedalam larutan PEO untuk meningkatkan kekuatan mekanik dari hydrogel. Grafik 1 menunjukkan bahwa fraksi gel dari PEGMDA/PEO hidrogel meningkat secara linier dengan meningkatnya prosentase berat dari PEGDMA didalam campuran. Hal ini dimungkinkan terjadi karena karena meningkatnya jumlah radikal bebas yang terbentuk pada konsentrasi yang lebih tinggi. *Swelling ratio* dari PEGDMA/PEO hidrogel film dengan berbagai komposisi sebagai fungsi dari waktu swelling diperlihatkan pada grafik 2. Hasilnya menunjukkan bahwa hampir semua hidrogel film menyerap air dengan sangat cepat dan mencapai kesetimbangan dalam waktu 10 menit. Swelling rasio menurun dengan naiknya prosentase PEGDMA. Keseimbangan swelling rasio menurun dari 870% pada 0% PEGDMA menjadi 300% pada 5% PEGDMA. Hasil ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi prosentase dari PEGDMA dapat meningkatkan densitas ikatan silang yang mengakibatkan turunnya kapasitas penyerapan air dari hidrogel. Hal ini kemunginan disebabkan oleh adanya *crosslinking* dari PEGDMA bersama dengan radikal bebas pada jaringan utama PEO melalui polimerisasi radikal bebas. Lebih jauh lagi PEGDMA juga telah mendorong terjadinya reaksi *crosslinking* pada PEGDMA/PEO film. Hal ini disebabkan terjadinya penurunan viskositas yang dapat mendorong reaksi kopling mendorong reaksi

ISSN 1978-0176

kopling pada senyawa radikal sebelum senyawa radikal berubah menjadi tidak aktif.



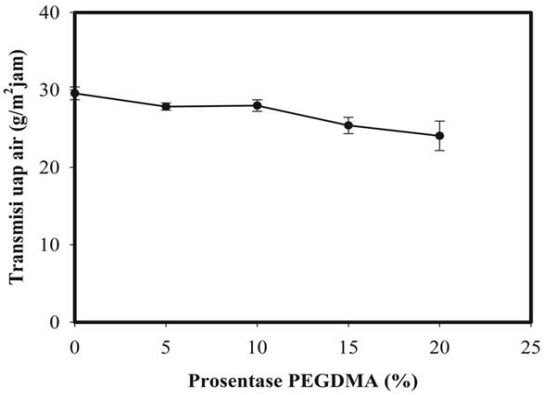
Grafik 1. Pengaruh prosentasi PEGDMA terhadap fraksi gel



Grafik 2. Pengaruh prosentasi PEGDMA terhadap swelling rasio

Pengaruh prosentase PEGDMA terhadap transmisi uap air

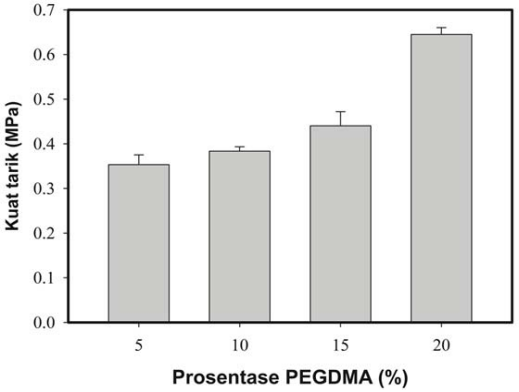
Pengaruh kandungan PEGDMA terhadap kecepatan transmisi uap air hidrogel ditunjukkan pada grafik 3. Grafik ini menunjukkan bahwa nilai kecepatan transmisi uap air hampir konstan untuk semua komposisi. Rata rata kecepatan transmisi uap air adalah sekitar 25 g/m^{2}jam untuk prosentase PEGDMA dari 5% sampai dengan 20%. Bagaimanapun juga untuk komposisi 0% kecepatan transmisi uap air sedikit lebih tinggi yaitu sebesar 29%. Jika kecepatan transmisi uap air terlalu tinggi , luka dapat mengering dengan cepat, dan menghasilkan bekas luka. Dan juga, jika nilai kecepatan transmisi uap air terlalu rendah maka dapat mengakibatkan adanya akumulasi cairan luka yang menyebabkan proses penyembuhan menjadi terhambat dan memungkinkan resiko pertumbuhan bakteri. Penggunaan pembalut luka yang ideal diketahui untuk mengontrol proses penguapan air dari luka pada kecepatan yang optimum.



Grafik 3. Pengaruh prosentase PEGDMA terhadap kecepatan transmisi uap air

Pengaruh prosentase PEGDMA terhadap kuat mekanik hidrogel film

Kuat Tarik dari PEGDMA/PEO hidrogel film sebagai fungsi dari kandungan PEGDMA ditunjukkan pada grafik 4. Dari grafik dapat dilihat bahwa kuat tarik hidrogel film meningkat dengan meningkatnya kandungan PEGDMA, hal ini disebabkan karena meningkatnya densitas crosslinking dan mencapai kuat tarik maksimum pada 20% PEGDMA yaitu sebesar 0,65 MPa. Untuk kuat tarik pada 0% PEGDMA sulit dihitung karena sangat rapuh.



Grafik 4. Pengaruh prosentase PEGDMA terhadap kuat tarik (MPa)

KESIMPULAN

ISSN 1978-0176

Hidrogel film PEGDMA/PEO telah dapat dibuat dengan menggunakan crosslinking dengan metode iradiasi electron beam. Hidrogel film ini *non toxic* karena dalam pembuatannya tidak menggunakan inisiator yang biasanya mengandung zat toxic sehingga film yang terbentukpun biasanya bersifat *toxic*.

Dari hasil pembahasan dapat diketahui bahwa kandungan PEGDMA mempengaruhi karakteristik dari hidrogel film yang terbentuk. Semakin tinggi kandungan PEGDMA didalam film, maka fraksi gel juga semakin tinggi. Tetapi sebaliknya untuk swelling rasio justru semakin berkurang dengan bertambahnya kandungan PEGDMA didalam larutan. Disamping itu, kecepatan transmisi uap air sedikit turun dengan adanya penambahan PEGDMA.

Lebih jauh lagi Kuat mekanik dari hidrogel semakin meningkat dengan bertambahnya prosentase PEGDMA dan diperoleh kuat mekanik paling tinggi pada komposisi 20% PEGDMA. Sedangkan untuk 0% PEGDMA hidrogel film sangat rapuh. Hasil penelitian ini telah membuktikan bahwa penambahan PEGDMA pada hidrogel film dapat meningkatkan kuat mekanik hidrogel film sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai pembalut luka tanpa mengalami kerusakan pada saat proses penyembuhan luka.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Campoccia, P. Doherty, M. Radice, P. Brun, G. Abatangelo, D.F. Williams, Semi Synthetic Resorbable Materials from Hyaluronan Esterification, Biomaterials, vol. 19, pp.2101–2127, 1998.

[2] G.D. Prestwich, D.M. Marecak, J.F. Marecak, K.P. Ver- cruysse, M.R. Ziebell, Controlled Chemical Modification of Hyaluronic Acid, J. Controlled Release, vol. 53, pp. 93–103, 1998.

[3] W.E. Hennink, C.F. van Nostrum, Novel Crosslinking Methods to Design Hydrogels, Adv. Drug Deliv. Rev., vol. 54, pp. 13-36, 2002.

[4] J.V. Cartmell, W.R. Sturtevant, M. Valadez, and M.L. Wolf, *Hydrogel wound dressing product*, US Patent 5059424 (1991).

[5] S. Rajendran and S.C. Anand, *Development in Medical Textiles*, The Textile Institute, Manchester, 2002.

[6] L. Jones, C. Maya, L. Nazar, and T. Simpson, *Contact Lens & Anterior Eye*, vol. 25, 147, 2002.

[7] D.M. Soler, Y. Rodriguez, H.Correa, A. Moreno, L. Carrizales, *Radiat Phys Chem,* vol. 81, 1249, 2012.

[8] M. George, T.E. Abraham, *Pharmaceutics*, vol. 335, 123, 2007.

[9] T. Abdelrahman and H. Newton, *Surgery*, vol. 29, 491, 2011.

[10] Y. Ikada, T. Mita, F. Horii, and I. Sakurada, *Radiat Phys Chem*, vol. 9, 633, 1977.

[11] S.S. Jang, W.A. Goddard, and M.Y.S. Kalani, *J Phys Chem B*, vol. 111, 1729, 2007.

[12] J.S. Park, S.J. Gwon, Y.M. Lim, and Y.C. Nho, *Macromol. Res*, vol. 17, 580, 2009.

[13] F. Yoshi, Y. Zhanshan, K. Isobe, K. Shinozaki, and K. Makuuchi, *Radiat Phys Chem*, vol. 55, 133, 1999.

[14] Haryanto, S.C. Kim, J.H. Kim, J.O. Kim, S.K. Ku, H. Cho, D.H. Han, P. Huh, Macromol. Res. Vol. 22, 131-138, 2014.

[15] X. Zhang, D. Yang, and J. Nie, *Int J Biol Macromol*, vol. 43, 456, 2008.

[16] Haryanto, D. Singh, S.S. Han, J.H. Son, S.C. Kim, *Mater Sci Eng C*, vol 46, 195-201,2015.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

IMPLEMENTASI FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) PADA PERAWATAN TUNGKU REDUKSI ME-11 UNTUK PEMROSESAN GAGALAN PELET SINTER UO_2

Triarjo, Sugeng Rianto, Meniek Rachmawati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, Banten, Indonesia, 15313
Email : triarjo@batan.go.id

ABSTRAK

IMPLEMENTASI *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)* PADA PERAWATAN TUNGKU REDUKSI ME-11 UNTUK GAGALAN PELET SINTER UO_2**.** Kegagalan *(failure)* merupakan sebuah fenomena alamiah dari produk atau proses. Kemunculan kegagalan terkadang sulit untuk diprediksi, sementara dampak yang diakibatkan kegagalan relatif signifikan terhadap unjuk kerja/kinerja produk atau proses. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* merupakan perangkat yang sangat efektif dalam mengelola kegagalan yang umum digunakan di banyak industri. *FMEA* mampu mengidentifikasi potensi kegagalan yang ada di dalam suatu produk atau proses dan kemudian melakukan pembobotan untuk mendapatkan prioritas terhadap potensi kegagalan yang sangat signifikan yang perlu untuk segera ditangani. Tujuan analisis perawatan berbasis *FMEA* ini adalah untuk mereduksi kegagalan dan resiko, khususnya pada peralatan tungku reduksi ME-11 dengan menggunakan metode analisis terhadap kegagalan proses operasi reduksi. Hasil yang didapat dari metode *FMEA* ini adalah tabel struktur analisis yang menghubungkan nilai kritikalitas dan probabilitas dari bentuk kegagalan operasi tungku reduksi ME-11, sehingga penyebab kegagalan dapat diprediksi. Dari hasil analisis yang dilakukan, kegagalan yang menyebabkan dampak yang signikan adalah terjadinya ledakan yang diakibatkan oleh kebocoran hidrogen yang tidak terkontrol/terkendali. Tabel 4. *FMEA form sheet* pada lampiran berguna bagi operator, supervisor, petugas perbaikan/perawatan dalam pengelolaan tungku reduksi ME-11.

Kata kunci: Analisis, Perawatan, Tungku Reduksi, kegagalan

ABSTRACT

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) IMPLEMENTATION ONTREATMENT OF THE REDUCTION FURNACE (ME-11) FOR FAILURE SINTER PELLETS UO2. Failure can be regarded as a natural phenomenon of any product or process. Occurrences of failure sometimes difficult to be predicted, while often impacts resulting from the failure of the concerned, significant relative to the performance of the product or process. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is a highly effective tool in managing failures are commonly used in many industries. FMEA will be able to identify potential failures in a product or process and then perform weighting to obtain priority over very significant potential failures that need to be addressed. Purpose of FMEA-based treatment is to eliminate failures and risks, particularly in the reduction furnace equipment ME-11 using the method of analysis of the failure of the operation process of reduction. The results of the FMEA method is a table structure analysis that linking the value of the criticality and the probability of failure furnace operation reduction forms ME-11, so the cause of the failure can be predicted. From the analysis we found that the failure could lead to a significant impact of the explosion was caused by an uncontrollable hydrogen leaks.Table 4. FMEA form sheet in the appendix useful for operators, supervisors, officersrepairs/maintenance in the management of the reduction furnace ME – 11.

Keywords: Analysis, Treatment, Reduction Furnace, failure

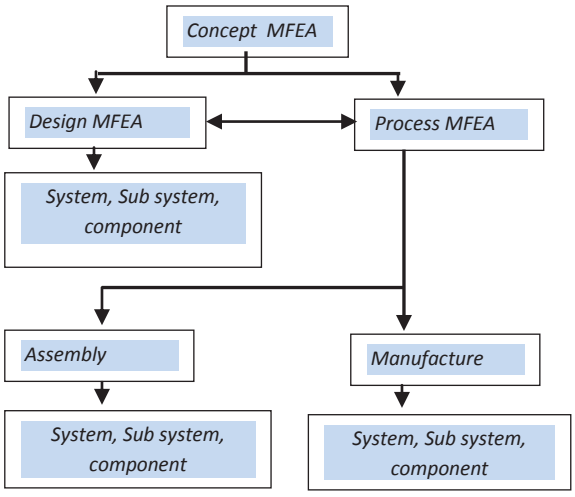
PENDAHULUAN

Perawatan adalah kegiatan pencegahan atau perbaikan yang terorganisasi, baik administratif maupun teknis, untuk mempertahankan struktur, sistem dan/atau komponen agar selalu dapat beroperasi sesuai dengan parameter operasi yang disyaratkan. *Muffle furnace* ME-11 digunakan untuk proses kalsinasi dan reduksi gagalan proses peletisasi UO_2 sebagai bagian dari proses pabrikasi bahan bakar nuklir. Agar operasi proses kalsinasi atau reduksi aman dan selamat, perlu dilakukan perawatan pada alat *Muffle Furnace* ME-11.Sistem perawatan terdiri dari perawatan rutin dan non rutin. Perawatan rutin meliputi

ISSN 1978-0176

perawatan pencegahan dan s*urveilen.* Perawatan non rutin meliputi perawatan perbaikan dan inspeksi. Perawatan bertujuan untuk menjamin keselamatan operasi instalasi (pekerja, masyarakat, dan lingkungan); menjaga dan meningkatkan kemampuan (keandalan) alat; memperpanjang umur penggunaan aset fisik (gedung, alat) serta menjaga dan meningkatkan daya-guna aset non-fisik *(knowledge, skill).[3]*

Failure Mode AndEffect Analysis (FMEA) adalah suatu perangkat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan sistem atau proses, serta mengurangi atau mereduksi peluang terjadinya kegagalan. *FMEA* merupakan *living document* sehingga dokumen perlu di *up date* secara teratur, agar dapat digunakan untuk mencegah dan mengantisipasi terjadinya kegagalan. *FMEA* digolongkan menjadi dua jenis yaitu *Design FMEA* dan *Process FMEA*.[3] *Design FMEA* yaitu perangkat yang digunakan untuk memastikan bahwa *pontential failure modes,* sebab dan akibatnya telah diperhatikan terkait karakteristik desain yang digunakan oleh *Design Responsible Engineer/Team* dan *Process FMEA*, terkait dengan karakteristik proses yang digunakan oleh *Manufacturing Engineer/Team.*



Gambar 1. Konsep dasar *FMEA.*[3]

Design FMEA digunakan untuk menguji fungsi komponen, sub sistem dan sistem. Modus pontensialnya dapat berupa kesalahan pemilihan jenis material, ketidaktepatan spesifikasi yang dilakukan sejak tahapan desain produk awal. *Process FMEA*berfungsi untuk menguji kemampuan proses yang akan digunakan untuk membuat analisa komponen, sub sistem dan sistem. Modus pontensialnya dapat berupa kesalahan operator dalam merakit *part*, adanya variasi proses yang sangat besar sehingga produk diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan serta dilakukan pada waktu desain proses manufaktur. Beberapa alasan perlunyadigunakan *FMEA* dalam analisis kegagalan proses yaitu prinsip bahwa lebih baik mencegah terjadinya kegagalan dari pada memperbaiki kegagalan; untuk meningkatkan peluang dalam mendeteksi terjadinya suatu kegagalan; mengindentifikasi penyebab kegagalan terbesar dan mereduksinya; mengurangi peluang terjadinya kegagalan serta membangun kualitas produk dan proses.

METODOLOGI

Dalam melakukan analisis dan Implementasi *FMEA* pada suatu proses akan dilakukan dengan beberapa tahapan/langkah. Langkah pertama yang dilakukan adalah mendiskripsikan produk/proses dan fungsi tungku *muffle furnace* untuk menganalisa produk/proses yang fungsinya menyimpang dari yang diharapkan. Selanjutnya membuat blok diagram produk/proses untuk menggambarkan komponen-komponen utama dan bentuk hubungan satu sama lain. Langkah berikutnya adalah pembuatan *Form worksheet* yang berisi informasi mengenai *Product/System, Subsystem, Component, Design Lead, Prepared by, Date, Revision Date*, dan informasi lain yang bisa dimodifikasi sesuai proses yang dikehendaki.[1,3]

Langkah berikutnya dalam implementasi *FMEA* adalah pembuatan daftar *failure mode* dan *failure effect. Failure mode* yang terjadi pada satu komponen dapat berpengaruh pada komponen lainnya. Daftar *failure mode*setiap fungsi dari komponen dibuat, dan digunakan untuk identifikasi kemungkinan terjadinya kegagalan sehingga akan diketahui *failure mode* yang berpotensi terjadi secara rinci. *Failure effect* adalah dampak yang dihasilkan oleh *failure mode* pada fungsi produk/proses, baik internal maupun eksternal. Untuk menentukan besar dampak tingkat keparahan digunakan skala dari 1 hingga 10. Makin besar nilai tingkat keparahan, maka dampaknya semakin besar dan serius. *Rating* dapat menentukan prioritas masalah yang harus ditangani lebih dulu. Identifikasi yang dilakukan pada setiap *failure mode* berupa faktor probabilitas atau frekuensi, *Rating Detection* dan *Risk Priority Numbers.[3]* Faktor probabilitas atau frekuensi, adalah ukuran yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan dari sebab tersebut terjadi. *Ratting* dari *Detection*, yakni berapa besar kemungkinan dari kontrol

ISSN 1978-0176

yang ada sekarang dapat mendeteksi sebab dari *failure mode*, atau bahkan *failure mode* itu sendiri. *Risk Priority Numbers* adalah nilai yang merupakan hasil kali antara *ratting, severity, occurrence* dan *detection control*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

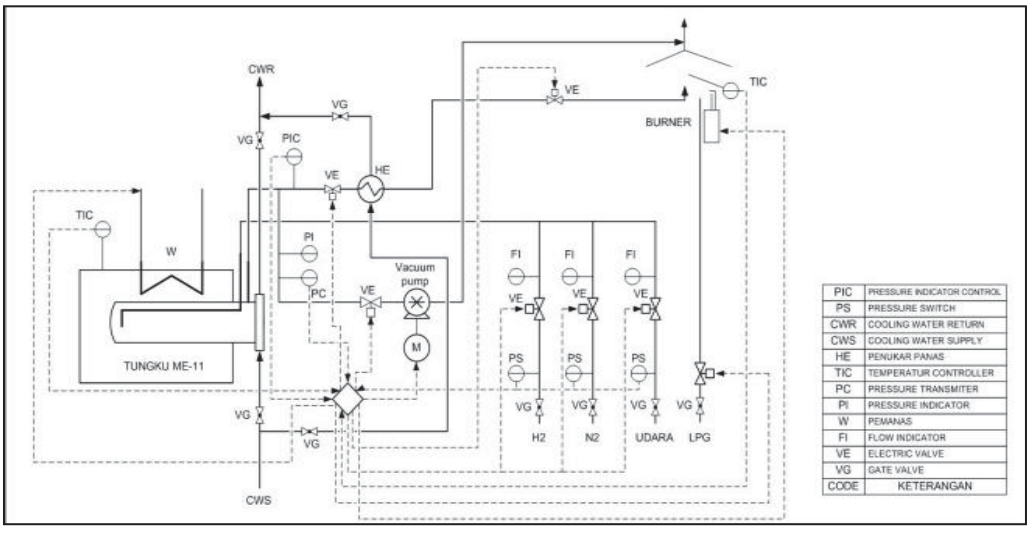
Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) merupakan salah satu langkah menejemen kualitas sekaligus menejemen resiko. Hasil impementasi *FMEA* tidak hanya menurunkan resiko kegagalan melainkan juga untuk meningkatkan kualitas produk/proses. [1,2] Langkah awal Implementasi *failure mode and effect analysis* pada tungku reduksi ME-11 adalah membuat P & I Diagram seperti ditunjukkan pada gambar 2.

Dalam melakukan analisis sistem struktur dan komponen suatu proses diperlukan data kejadian selama operasi proses reduksi.Sistem struktur dan komponen Tungku *Muffle Furnace* ME-11terdiri dari beberapa sub sistem yaitu sub sistem pendingin, sub sistem pemantik, sub sistem vakum, sub sistem pemanas, sub sistem gas dan sub sistem alarm.

Sub sistem pendingin terdiri dari beberapa komponen yaitu motor pompa, katub dan pipa saluran pendingin. Motor pompa mempunyai beberapa komponen yaitu*Rotor, stator*, *seal* dan *bearing*. Katub pada sistem pendingin berfungsi untuk membuka atau menutup aliran pendingin. Pipa saluran berfungsi untuk menyalurkan air pendingin dengan beberapa koneksi/cabang yang berpotensi menimbulkan kebocoran, sehingga perlu dilakukan uji kinerja sebelum dilakukan proses reduksi. Motor pompa pendingin perlu dibuat sistem redundansi, sehingga apabila salah satu pompa rusak bisa diganti dengan pompa yang lain. Peranan pompa pendingin sangat penting karena apabila tungku reduksi beroperasi pada suhu yang relatif tinggi dan sistem pendingin tidak berfungsi secara tiba-tiba, maka dampaknya adalah kerusakan pada *seal* tungku, yang akan menimbulkan kebocoran gas H_2.

Pada sub sistem pemantik terdapat komponen utama thermokopel dan katub solenoid. Sistem pemantik berfungsi untuk membakar gas H_2 sisa proses reduksi. Katub solenoid bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik dan dilakukan uji kinerja. sebelum operasi reduksi dilakukan.Apabila katub solenoid tidak berfungsi maka gas H_2 sisa proses reduksi yang bercampur dengan udara pada komposisi tertentu akan menimbulkan ledakan.

Sub sistem vakum mempunyai dua komponen yaitu pompa vakum dan *pressure switch.*. Pompa vakum berfungsi untuk mengeluarkan udara dalam ruang tungku reduksi untuk menghindari bercampurnya udara dan gas H_2 di dalam ruang tungku.



Gambar 2. *P & I Diagram Muffle Furnace* ME-11. [4]

Pada sub sistem vakum terdapat komponen utama yaitu pompa vakum, *switch* elektrik dan *pressure gauge*. Dari ketiga komponen tersebut yang perlu mendapat perhatian khusus adalah pompa vakum.Oli pompa vakum harus selalu diperiksa sebelum opersi, karena apabila pompa vakum dioperasikan dalam kondisi kosong akan

ISSN 1978-0176

merusak komponen sistem pompa vakum itu sendiri.

Pada bagian sub sistem pemanas terdapat dua komponen utama yaitu *filament* dan thermokopel. Kedua komponen tidak menimbulkan dampak kecelakaan yang serius, dan hanya berdampak pada proses operasi reduksi yang tidak bisa dilanjutkan. Perawatan kedua komponen ini berupa larangan pemanasan dengan laju yang tinggi, karena *filament* akan cepat mengalami kerusakan akibat pemanasan secara tiba-tiba.

Pada sub sistem gas terdapat beberapa komponen yaitu *check valve, pressure switch,* katub solenoid*, flow indicator,* r*egulator* gas. *Check valve* berfungsi untuk membuka atau menutup saluran gas LPG, gas N_2 dan gas H_2 sebelum masuk sistem instalasi tungku reduksi. *Pressure switch* berfungsi untuk membuka atau menutup saluran gas yang akan masuk dengan tekanan yang dipersyaratkan sebelum masuk sistem instalasi tungku reduksi. Katub solenoid berfungsi untuk membuka ataupun menutup aliran gas LPG, gas N_2 dan gas H_2 selama proses reduksi berlangsung. *Flow indicator* berfungsi untuk mengukur besar aliran gas N_2 dan gas H_2 selama proses reduksi berlangsung. *Regulator* gas berfungsi untuk mengatur tekanan gas yang dialirkan kedalam ruang tungku pada proses reduksi. Pada sub sistem gas ini, komponen yang berperan penting adalah katub solenoid yang berfungsi untuk membuka atau menutup aliran gas LPG, N_2 dan H_2. Katub solenoid bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik dan perlu dilakukan uji kinerja sebelum operasi reduksi dilakukan. Apabila solenoid tidak berfungsi, akan berdampak pada proses reduksi yang tidak dapat dilanjutkan.

Pada sistem alarm terdapat modul kendali untuk mengendalikan proses reduksi sesuai dengan parameter proses yang dikehendaki. Sistem alarm berfungsi sebagai tanda kegagalan yang ditimbulkan oleh parameter proses yang tidak dipenuhi. Parameter proses tersebut adalah tekanan suplai gas LPG, N_2 dan H_2 serta tekanan didalam tungku yang sangat tinggi atau sangat rendah. Apabila parameter operasi tersebut tidak dipenuhi maka sistem alarm akan memberikan tanda berupa lampu alarm pada panel yang berkedip dan sirene berbunyi. Alarm ini menghendaki operator untuk mengembalikan nilai parameter operasi agar proses reduksi dapat berjalan normal kembali. Komponen yang terdapat pada sistem alarm ini adalah relai atau kontaktor yang bekerja *"ON"* atau *"OFF"* sesuai *setting* program pada pengendali proses. Perawatan yang dilakukan pada komponen ini adalah pemeriksaan koneksi kabel dan melakukan uji kinerja secara rutin untuk menjaga agar alat selalu siap dioperasikan.

Sub sistem dan komponen mempuyai potensi kegagalan dalam setiap proses kalsinasi maupun reduksi. Proses reduksi gagalan pelet sinter UO_2 menggunakan gas H_2,dan berpotensi menimbulkan ledakan yang berdampak terhadap alat dan pekerja. Dampak ledakan tersebut berupa kebakaran dan kontaminasi serbuk UO_2. Dengan demikian maka perlu dilakukan analisis perawatan yang berbasis *FMEA* untuk menjaga keandalan alat dan melindungi pekerja dan lingkungan dari dampak kontaminasi. Tabel 1 dan tabel 2 adalah tabel yang digunakan untuk mendukung proses analisis berbasis *FMEA.* [3] Tabel tersebut berfungsi untuk mengetahui seberapa buruk dampak yang dapat ditimbulkan, dan penyebab terjadinya kegagalan proses dapat diminimalkan.Tabel 1[3] dan tabel 2 [3] berfungsi untuk memberikan penilaian terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan dan seberapa parah pengaruh yang ditimbulkan. Dari tabel penilaian dampak kegagalan (*severity, probability, detection),* maka dapat dilakukan penilaian tingkat bahaya yang dapat ditimbulkan akibat kegagalan dengan menggunakan *Risk Matrix* seperti ditunjukkan pada tabel 3. [3] Dari table 3 *Risk Matrix* dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *severity dan probabiliy*-nya, makin besar juga kerusakan yang ditimbulkan akibat kegagalan proses (sangat rendah, rendah, moderat, tinggi, sangat tinggi/tidak diterima). Kerusakan yang ditimbulkan bisa berupa kerusakan alat maupun terhadap pekerja.

Tabel 1. *Criticality*/*severity Category.*[3]

Ranking	Kriteria
1	*Negligible severity* (pengaruh buruk yang dapat diabaikan). Pengguna akhir mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan.
2 3	*Mild severity* (pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang ditimbulkan bersifat ringan. Pengguna akhir tidak akan merasakan perubahan kinerja. Perbaikan dapat dikerjakan pada saat pemeliharaan reguler.
4 5 6	*Moderate severity* (pengaruh buruk yang moderat). Pengguna akhir akan merasakan penurunan kinerja, namun masih dalam batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan tidak mahal dan dapat selesai dalam waktu singkat.
7 8	*High severity* (pengaruh buruk yang tinggi). Pengguna akhir akan merasakan akibat buruk yang tidak akan diterima, berada di luar batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan sangat mahal.
9 10	*Potential safetyproblem* (masalah keamanan potensial). Akibat yang ditimbulkan sangat berbahaya dan berpengaruh terhadap keselamatan pengguna. Bertentangan dengan hukum

ISSN 1978-0176

Tabel.2. *Probabolity ofOccurrence Category.* [3]

Rating	Kriteria	Frekuensi kejadian
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan bahwa penyebab mungkin muncul.	0,01 per 1000 item
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah	0,1 per 1000 item
3		0,5 per 1000 item
4	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat moderat. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi	1 per 1000 item
5		2 per 1000 item
6		5 per 1000 item
7	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif, penyebab masih berulang kembali.	10 per 1000 item
8		20 per 1000 item
9	Kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang kembali	50 per 1000 item
10		100 per 1000 item

Tabel. 3. *Risk matrix.*[3]

Severity/ Probability	1 Very unlikly	2 Remote	3 Occasional	4 Probable	5 Frequent
1 -3 Minor					
4 - 6 Moderat					
7- 9 Kritikal					
10 Katastrofik					

Keterangan:

sangat rendah rendah moderat

tinggi sangat tnggi/tidak diterima

Dengan menggunakan pendekatan yang dimulai dari pembuatan blok diagram proses dan analisis sistem struktur dan komponen, maka diperoleh tabel hasil analisis kegagalan. Tabel 4 (terlampir) merupakan tabel analisis kegagalan pada tungku reduksi ME-11.

Dari analisis perawatan berbasis *failure mode and effect analysis*, yang perlu mendapat perhatian khusus adalah sistem pemantik dan sistem pendingin. Apabila sistem pemantik tidak berfungsi/mengalami kegagalan maka gas H_2 yang mengalir akan bercampur dengan udara dan menimbulkan ledakan. Begitu juga dengan sistem pendingin, apabila pendinginan gagal akan dapat merusak *seal* pada ruang tungku yang dapat menimbulkan kebocoran gas H_2 yang berakibat timbul ledakan.

KESIMPULAN

Metode FMEA telah digunakan untuk analisis kegagalan *(failure)* guna meminimalkan kegagalan dan resiko pada operasi tungku reduksi ME-11. Hasil analisis dengan metode *FMEA* menunjukkan bahwa resiko kegagalan operasi yang paling tinggi adalah kebocoran gas hidrogen yang tidak terkendali karena kegagalan sistem pendingin dapat mengakibatkan timbulnya ledakan di dalam tungku. Dengan demikian diperlukan perhatian yang serius dalam pengoperasian tungku reduksi ME-11, terutama dalam hal penanganan gas hidrogen. Tabel 4 *FMEA form sheet* pada lampiran berguna bagi operator, supervisor, petugas perbaikan/perawatan dalam pengelolaan tungku reduksi ME-11.

DAFTAR PUSTAKA

Buku:

1. Whitcomb R. and M. Rioux, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) System Deployment in a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA),* 1994.
2. Chiang-Liang Chang, Chiu-Chi Wei dan Yeong-Hoang Lee. *Failure Mode and Effect Analysis using Fuzzy Method and Grey Theory. Kybernetes,* 1999.
3. Shen-Hsien Teng, Shin-Yann *Failure Mode and Effect Analysis, An Integreted Approach for Product Design and Process Contro,*1996.
4. Suntoro A, Modifikasi Kendali Logik *(switching)* Tungku ME-11: DokumenTeknis Operasi dan Modifikasi, Revisi 1, 2008.

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Gagalan pelet UO_2 yang dimaksud itu gagalan proses atau gagalan produk ?
2. Selain FMEA, metode apa yang bisa digunakan untuk perawatan ?

Jawaban

1. Gagalan yang dimaksud adalah gagalan produk yang di luar spesifikasi untuk proses fabrikasi bahan bakar nuklir.
2. Selain FMEA, metode yang digunakan untuk perawatan adalah Reliability Centered Maintenance (RCM).

ISSN 1978-0176

Lampiran 1. Tabel. 4. *FMEA Form Sheet.*[3]

Control Number	Name	Function	Failure Mode	Failure Efect	Crit	Prob	Prod	MA Code	Maintenance Approach	Remarks/ continue
1	Muffle Furnace	Proses Oksidasi atau Reduksi	1. Power suplai tidak ada (koneksi kabel bermasalah, MCB rusak). 2.Sistem kontrol rusak.	Peralatan tidak dapat dioperasikan	3	3	9	PM, CM	Cek power suplai, cek sistem kontrol	
1.1	Sistem pendingin	1.Melindungi seal pada tutup chamber agar tidak rusak. 2. Kondensasi uap air untuk mendinginkan gas H2	Air pendingin tidak mengalir karena motor pompa rusak	Seal pada chamber rusak, gas H2 dalam chamber dapat keluar dan bisa menyebabkan ledakan	6	3	18	PM, CM	Cek power suplai motor pompa	
1.1.1	Motor Pompa	Mengalirkan air pendingin	Motor tidak dapat dioperasikan	Air pendingin tidak mengalir	5	2	10	PM, CM	Melakukan perbaikan motor, cek stator dan rotor	
1.1.1.1	Stator	Pembangkit medan magnet	Lilitan terbakar	Motor tidak jalan	5	2	10	PM, CM	Cek lilitan stator	
1.1.1.2	Rotor	Menggerakkan poros pada motor	Lilitan terbakar	Motor tidak jalan	5	2	10	PM, CM	Cek lilitan rotor	
1.1.1.3	Bearing	Mengurangi friksi pada poros motor	Pelor bearing rusak	Motor terbakar	5	2	10	PM, CM	Ganti bearing	
1.1.2	Valve	Mengatur aliran air pendingin	Valve macet sehingga tidak dapat dibuka	Air pendingin tidak dapat mengalir	5	2	10	PM, CM	Ganti valve	
1.1.3	Pipa	Tempat aliran air pendingin	bocor, tersumbat	Air pendingin tidak dapat mengalir dengan baik	5	2	10	PM, CM	Cek saluran pipa, ganti pipa	
1.2	Sistem pemantik	Membakar gas H2 pada proses Reduksi	Ignition rusak,Sensor temperatur rusak	Gas buang H2 tidak terbakar, meledak	5	3	15	PM, CM	cek tegangan suplai pemantik	
1.2.1	Thermocouple	Mendeteksi temperatur pada saat api pembakar H2 mati/nyala	Koneksi kabel tidak tersambung dengan baik, Mengalami penurunan unjuk kerja	Tidak dapat mendeteksi temperatur pada pemantik	5	2	10	PM, CM	Cek kabel thermocouple	

ISSN 1978-0176

Control Number	Name	Function	Failure Mode	Failure Efect	Crit	Prob	Prod	MA Code	Maintenance Approach	Remarks/ continues
1.2.2	Solenoid valve (pada saluran gas buang)	Kumparan magnet untuk mebuka/menutup valve	Kumparan putus, terbakar	Tidak dapat mebuka atau menutup valve	5	2	10	PM, CM	Cek kumparan pada solenoid valve	
1..3	Sistem Vakum	Mengeluarkan udara di dalam furnace/chamber	Pompa vakum macet/kempos	Tidak dapat mengeluarkan udara di dalam Chamber	5	2	10	PM, CM	Cek tegangan suplai padamotor, cek oli pompa	
1..3.1	Pompa vakum	Mengeluarkan udara di dalam furnace/chamber	Pompa vacum macet/kempos	Pompa vakum tidak berfungsi sehingga proses vakum tidak dapat dilakukan	5	2	10	PM, CM	Cek tegangan suplai pada motor, cek oli pompa	
1..3.1.1	Motor Pompa	Menjalankan pompa vakum	Lilitan motor terbakar	Pompa vakum tidak berfungsi	5	2	10	PM, CM	Cek tegangan suplai pada motor, cek lilitan motor	
1.3.1.2	Oli pompa	Mengurangi friksi bagian yang bergerak pada pompa	Volume oli pelumas kurang	Merusak pompa pada bagian yang aus	5	2	10	PM, CM	Cek olipompa, ganti oli pompa	
1.4	Sistem pemanas	Menaikkan temparatur di dalam chamber	Koneksi suplai tidak terhubung dengan baik,Filamen putus, Kontrol suhu rusak, Kontaktor rusak	Proses Oksidasi atau Reduksi tidak dapat dilakukan	5	2	10	PM, CM	Cek tegangan suplai pada motor, cek lilitan motor	
1.4.1	Filamen	Merubah arus listrik menjadi panas	Kawat filamen putus	Suhu tungku tidak dapat dinaikkan	5	2	10	PM, CM	Cek filamen, ganti jika rusak	
1.4.2	Thermocouple	Mendeteksi temperatur	Koneksi kabel tidak tersambung dengan baik, Mengalami penurunan unjuk kerja (tidak presisi)	Suhu pemanas tidak sesuai, Terjadi over heating	5	2	10	PM, CM	Ganti thermocoupel	
1.5	Sistem Gas	Udara tekan untuk proses kalsinasi, Gas H2 dan N2 untuk proses Reduksi, LPG untuk membakarH2	Gas bocor, gas tidak mengalir	Oksidasi/ Reduksi tidak sempurna, Terjadi ledakan atau kebakaran jika H2/LPG bocor	7	2	14	PM, CM	Cek saluran suplai gas	

ISSN 1978-0176

Control Number	Name	Function	Failure Mode	Failure Efect	Crit	Prob	Prod	MA Code	Maintenance Approach	Remarks/ continues
1.5.1	Pressure switch	memberikan indikator gas suplai sudah siap	Kontak swicth rusak	Tidak ada aliran gas H2, N2, dan LPG untuk proses Reduksi	5	2	10	PM, CM	Cek titik kontak swicth	
1.5.2	Solenoid valve	Kumparan putus, terbakar	Tidak dapat mebuka atau menutup valve	Tidak ada aliran gas untuk proses Reduksi	5	2	10	PM, CM	Cek kumparan pada solenoid valve, apabila	
1.5.3	Flow indikator	Mengatur dan mengetahui debit gas	Bocor, mampet	Over atau under pressure dalam chamber, Alarm berbunyi, shutdown sistem	5	2	10	PM, CM	Cek saluran gas suplai, jika ada yang bocor dikencangkan	
1.5.4	Valve	Mengatur aliran gas	Rusak, Tersumat, bocor	Gas H2 dan N2 tidak mengalir, Proses Reduksi tidak sempurna	5	2	10	PM, CM	Ganti valve	
1.6	Sistem Alarm	Memberi tanda kegagalan	Lampu indikator putus, Kontak switch kotor	shut down sistem Furnace	5	2	10	PM, CM	ganti lampu indikatop	
1.6.1	Modul sistem kontrol suhu	Mengatur temperatur di dalam chamber	Kontrol suhu rusak	Over heating, heater rusak	5	2	10	PM, CM	Cek tegangan suplai, cek tegangan input dan otput	
1.6.2	Regulator Gas	Mengatur aliran gas di ke chamber melalui pressure switch	Meter rusak, saluran gas bocor	Tidak terjadi Proses Reduksi	5	2	10	PM, CM	Cek regulator gas	

ISSN 1978-0176

RADIOGRAFI Co-60 MENGUJI *BEARING HOUSING*

Djoli Soembogo
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-BATAN, Jakarta, djoli@batan.go.id

ABSTRAK

RADIOGRAFI Co-60 MENGUJI BEARING HOUSING. Aplikasi radiografi menggunakan sumber isotop Co-60 sudah dimanfaatan pada komponen alat berat seperti *Bearing Housing* produksi PT. Texmaco. Komponen alat berat seperti *Bearing Housing* dibuat melalui pengecoran logam *carbonsteel*. Studi ini mencoba pengaplikasian radiografi digital menggunakan sumber isotop Co-60 dan menggunakan media pemindai film positif Epson V700 untuk pendigitalisasian hasil radiografi konvensional film. Radiografi ini menggunakan film AGFA D7 dan AGFA D4 untuk mendapatkan kontras tinggi, kepekaan tinggi dan kualitas bayangan yang tinggi. Tujuan radiografi Co-60 menguji *Bearing Housing* adalah mengetahui/mendeteksi ada /tidaknya indikasi bentuk dan jenis cacat coran sehingga *Bearing Housing* layak digunakan. Radiografi Co-60 telah dilakukan untuk pengujian *Bearing Housing* dengan metoda Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal dan pendigitalisasian hasil radiografi film menggunakan media pemindai film positif Epson V700 dengan parameter pengamatan cacat coran. Waktu paparan radiasi Co-60 adalah 6 menit untuk AGFA D7 dan 18 menit untuk AGFA D4 dengan ketebalan metal coran carbonsteel 57,50 mm, menggunakan aktivitas 30,713 Ci dan jarak tegak lurus sumber ke film 610 mm. Hasil pemindai film positip berupa radiografi digital yang memungkinkan untuk proses transfer data digital atau penyimpanan data digital secara komputerisasi. Radiografi Co-60 menguji *Bearing Housing* dengan metoda Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal menghasilkan parameter cacat coran *Bearing Housing* pada posisi 1A, 1B, 1C; 2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C yang tidak ditemukan cacat yang signifikan sehingga coran *Bearing Housing* dapat diterima sesuai standar yang diacu.

Katakunci: Co-60, *Bearing Housing*, *DIN 1ISO7 Fe*

ABSTRACT

RADIOGRAPHIY OF Co-60 TEST BEARING HOUSING. *The application of radiography using isotope Co-60 source has been used on component of heavy aquipment such as Bearing Housing produced by PT. Texmaco. Components of heavy equipment such as Bearing Housing made through metal casting of carbonsteel. This study tried applying digital radiography are using isotope Co-60 sources and using scanner positive film media of Epson V700 for digitization results of conventional radiographic films. This radiography is using film AGFA D7 and AGFA D4 to obtain a high contrast, high sensitivity and high image quality. The purpose radiographic of Co-60 test Bearing Housing is determine/detecting presence/absence of indications of the shape and type casting defects of Bearing Housing thus fit for use. Radiography of Co-60 has been carried out to test Bearing Housing with Single Wall Single Image method and the results of radiographic films digitization using scanner positive film media of Epson V700 with observation parameters casting defects. Time exposure of Co-60 radiation was 6 menutes for AGFA D7 and 18 menutes for AGFA D4 with metal castings of carbonsteel for thickness 57,50 mm by using activity 30,713 Ci and the perpendicular distance to the source of the film is 610 mm. Scanners positive film results in the form of digital radiography which allow for the transfer of digital data or digital computerized data storage. Radiography of Co-60 test Bearing Housing with Single Wall Single Image method produce casting defects parameter of Bearing Housing in position 1A, 1B, 1C; 2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C are not found significant defects so that casting Bearing Housing acceptable under the standards referred.*

Keywords: Co-60, Bearing Housing, DIN 1ISO7 Fe.

1. PENDAHULUAN

Aplikasi radiografi menggunakan sumber isotop Co-60 pada komponen alat berat sudah dimanfaatkan seperti *Bearing Housing*. Komponen alat berat *Bearing*

ISSN 1978-0176

Housing dibuat melalui pengecoran logam *carbonsteel*. Studi ini dilakukan dalam rangka pengaplikasian radiografi digital menggunakan sumber isotop Co-60 dengan aktivitas 30,713 Ci dan penggunaan media pemindai film positif Epson V700 untuk pendigitalisasian hasil radiografi konvensional film. Pada studi ini digunakan film AGFA D7 dan AGFA D4 untuk mendapatkan kontras tinggi, kepekaan tinggi dan kualitas bayangan (*image*) yang tinggi. Adapun tujuan radiografi Co-60 pada *Bearing Housing* adalah untuk mengetahui/mendeteksi indikasi bentuk dan jenis cacat coran sesuai standar yang diacu sehingga *Bearing Housing* layak digunakan dari segi keselamatan dan fungsi alat.

Radiografi Co-60 telah dilakukan untuk menguji *Bearing Housing* dengan metoda Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal (*Single Wall Single Image*) dan pendigitalisasian hasil radiografi film menggunakan media pemindai film positif Epson V700 dengan parameter pengamatan cacat pada coran, maka kegagalan operasi yang berisiko tinggi yang terjadi pada saat mobilisasi di lapangan dapat ditekan. Cacat atau dikontinuitas coran meliputi porositas, slag inklusi, *shringkage*, retak [1]. Pendigitalisasian hasil radiografi konvensional menggunakan film dengan sumber isotop Co-60 adalah untuk proses transfer data secara digital dan penyimpanan data secara digital.

2. TEORI

Prosedur pengujian radiografi pada metal coran menggunakan film AGFA D7 dan AGFA D4 mengacu pada *ASME section V* [2] untuk teknik radiografi dan *ASME section* VIII, *Division* 1, *Mandatory Appendix* 7, *Examination of Steel Casting* [3]; *ASTM Reference Radiographs for Heavy walled (51 to 114 mm) Steel Castings* [4] atau *ASTM Reference Radiographs for Steel Castings up to 51 mm in thickness* [5] untuk standar penerimaan hasil radiografi. Sesuai dengan persyaratan standar *ASME section* V *article*2 [2], code T-282.1, densitas film radiografi untuk sumber radiasi Co-60 yang terbaca pada alat densitometer mempunyai rentang 2,00 – 4,00 dan mengacu *ASME section* V *article* 2 [2], code T-282.2, densitas bervariasi pada daerah periksa antara minus 15% dan plus 30%, dibandingkan densitas pada daerah *penetrameter*.

3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

Bahan radiografi pada metal coran *Bearing Housing* adalah sebagai berikut :

1. Metal coran jenis material carbonsteel dengan ketebalan 57,50 mm.
2. Larutan pemroses film terdiri dari *developer* 20 liter, air *stopbath* 20 liter, *fixer* 20 liter, air bersih pembilas 30 liter a 1 unit
3. Film kecepatan sedang AGFA D7 ukuran 7 x 17 inci^2 10 lembar
4. Film kecepatan sedang AGFA D4 ukuran 7 x 17 inci^2 10 lembar
5. *Screen* Pb dan kaset plastik 3 set

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Kamera dan sumber isotop Co-60 1unit
2. Pb lembaran tebal 3 mm 2 lembar
3. Penetrameter *DIN 1ISO7 Fe* 3 set
4. *Lead Letter* Pb 1 set
5. *Hanger* 7 x 17” 3 set
6. *Stopwatch* 1 set
7. *Longtang* 1 set
8. *Surveymeter* 1 set
9. *Rollmeter* 1 set
10. Statip pendukung 1 set
11. Pemindai film positip Epson V700 1 set

Radiografi ini menggunakan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal (*Single Wall Single Image (SWSI))* dengan meletakkan 1 *penetrameter 1ISO7 Fe* di posisi senter menghadap sumber (*source side).* Pengujian ini menggunakan langkah-langka kerja seperti diperlihatkan pada gambar 1, Kamera isotop Co-60 dan kolimator diperlihatkan pada gambar 2, Coran *Bearing Housing* diperlihatkan pada gambar 3.

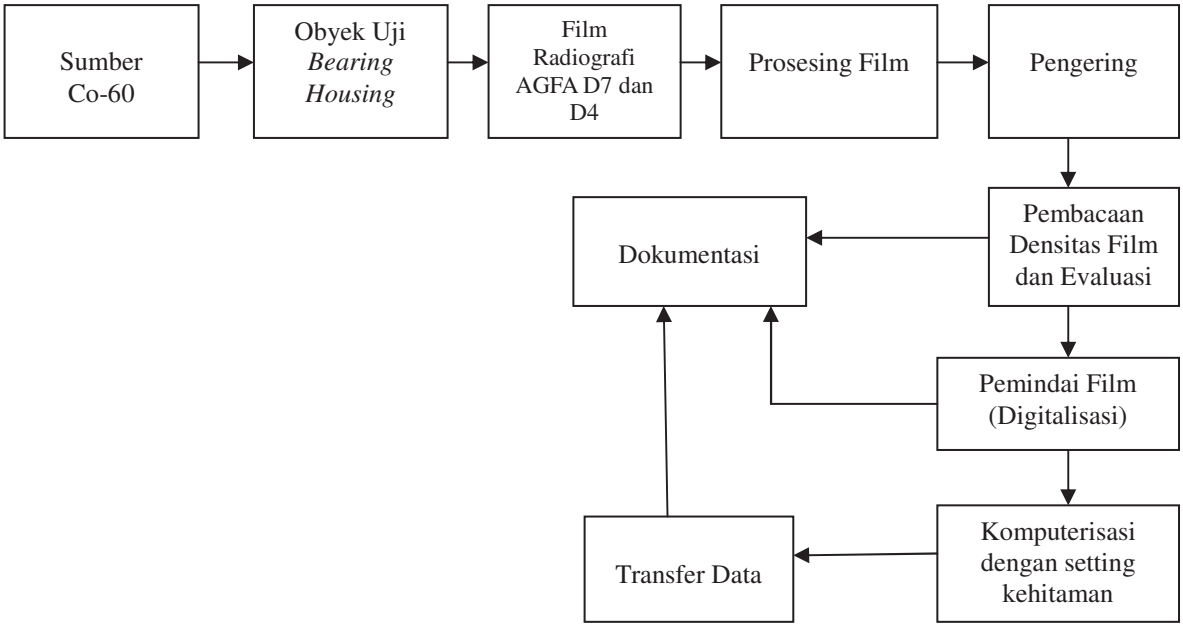
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data pengamatan di lapangan diperoleh bahwa coran *Bearing Housing* terbuat dari bahan *carbonsteel* [6]. Ketebalan material 57,50mm. Berdasarkan ketebalan sampel uji dengan menggunakan kurva paparan Co-60 (Lampiran 1) diperoleh waktu paparan sebesar 6 menit untuk D7 dan 18

ISSN 1978-0176

menit untuk D4 dengan jarak tegak lurus antara sumber dan film *(Source Film Distance* atau *SFD)* adalah 610 mm. Uji radiografi ini menggunakan film AGFA D7 berukuran 7 x 17 inci^2 dan AGFA D4 berukuran 7 x 17 inci^2. Pengujian ini mengamati parameter cacat coran *Bearing Housing*, tingkat kehitaman film radiografi dan tingkat kehitamanan film (densitas film) setelah proses digitalisasi yang bervariasi antara 2,00-4,00 sesuai standar [2], [7], [8],[9]. Hasil radiografi Co-60 menguji *Bearing Housing* dengan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal (*Single Wall Single Image*) dapat dilihat pada tabel 1.

Dari hasil pengujian tidak ditemukan cacat coran yang signifikan dan dikatakan indikasi tidak relevan, oleh karena itu status dapat diterima sesuai standar yang diacu. Tidak ditemukan cacat coran yang signifikan karena keahlian personal pengecoran metal yang berkompetensi, handal dan prosedur kerja yang sudah sesuai standar.



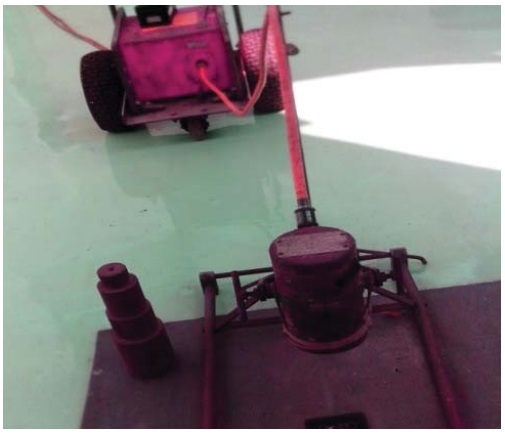
Gambar 1. Langkah-langkah kerja

Tabel 1. Data radiografi Co-60 menguji metal coran *Bearing Housing*.

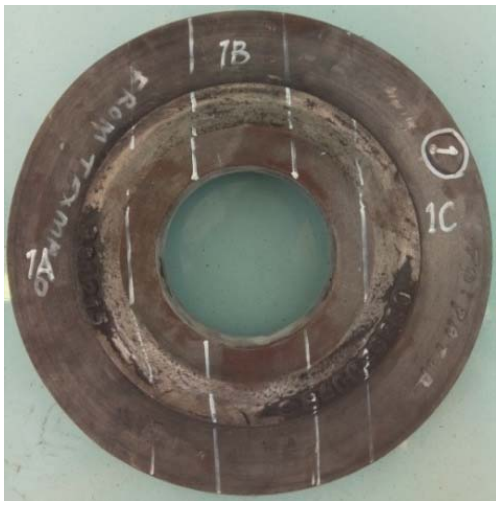
No.	Metode	Posisi	Tipe Cacat dan Level	Level yang diijinkan	status	Keterangan
1	*SWSI*	1A	ITR	2	Dapat diterima	-ITR adalah Indikasi Tidak Relevan
2	*SWSI*	1B	ITR	2	Dapat diterima	
3	*SWSI*	1C	ITR	2	Dapat diterima	
4	*SWSI*	2A	ITR	2	Dapat diterima	
5	*SWSI*	2B	ITR	2	Dapat diterima	
6	*SWSI*	2C	ITR	2	Dapat diterima	
7	*SWSI*	3A	ITR	2	Dapat diterima	
8	*SWSI*	3B	ITR	2	Dapat diterima	
9	*SWSI*	3C	ITR	2	Dapat diterima	

Hasil pengujian radiografi tersebut diatas dilakukan secara konvensional menggunakan *viewer* (pembaca film positif) dan pendigitalisasian menggunakan pemindai film positif yang memperoleh hasil sesuai dengan standar yang diacu. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.

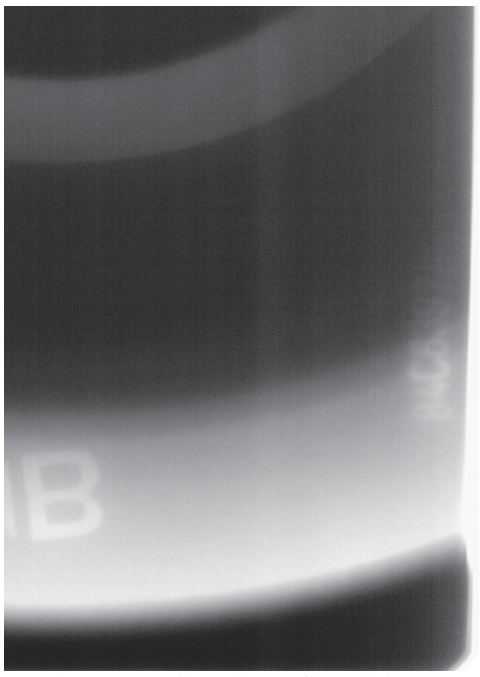
ISSN 1978-0176



Gambar 2. Kamera isotop Co-60 dan Kolimator.



Gambar 3. Coran *Bearing Housing*.



Gambar 4. Hasil radiografi posisi 1B.



Gambar 5. Hasil radiografi posisi 3C.

5. KESIMPULAN.

Data radiografi Co-60 menguji metal coran *Bearing Housing* metode Ketebatalan Tunggal Bayangan Tunggal menggunakan film AGFA D7 dan AGFA D4 ukuran 7 x 14 inci^2 dan ketebalan material las uji 57,50 mm tidak didapat parameter cacat coran *Bearing Housing* pada posisi 1A, 1B, 1C; 2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C yang signifikan sehingga coran *Bearing Housing* dapat diterima sesuai standar yang diacu.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Kelompok Investigasi Tak Merusak dan Diagnosis - PAIR dan PT. Texmaco yang telah berkontribusi terbentuknya makalah ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. PUSDIKLAT BATAN, Radiografi Level II Pengetahuan Material, Jakarta 2012.
2. ASME, ASME *section V, article 2 Radiographic Examination*, New York, 2013.
3. ASME, ASME *section VIII, Division 1, Mandatory Appendix 7*, *Examination of*

ISSN 1978-0176

Steel Casting, New York, 2013.
4. ASTM, ASTM *Reference Radiographs for Heavy walled (51 to 114 mm) Steel Castings*, Philadelphia.
5. ASTM, ASTM *Reference Radiographs for Steel Castings up to 51 mm in thickness*, Philadelphia.
6. Komunikasi internet, http://www.total-materia.com/articles/Art98.htm, tanggal 21 April 2016.
7. IAEA, IAEA/RCA *Regional Training Course on Digital Industrial Radiology and Com-puted Tomography Applications in Industry*, Kajang, Malaysia, 2-6 November 2009.
8. IAEA, IAEA/RCA *Regional Training Course on the Use of Isee and aRTist Software for Digital Industrial Radiography (DIR) Image Analysis and Interpretation*, Kajang, Malaysia, 25-29 July 2011.
9. PUSDIKLAT BATAN, Radiografi Level II Standar dan Petunjuk Praktikum, Jakarta 2013.

Pertanyaan

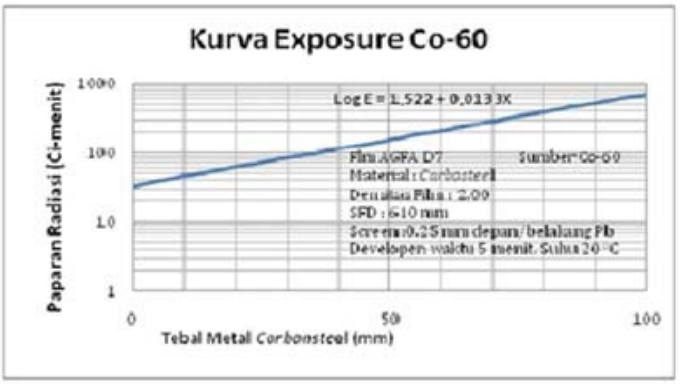
1. Apakah penetrameter dan satuannya (Koes Indrakoesoema)?
2. Berapa intensitas gamma (Haryanto)?

Jawaban

1. Penetrameter adalah indikator sensitivitas film radiografi dan satuan kawat penetrameter dalam mm atau inci.
2. 30,713 Ci

8. LAMPIRAN

Lampiran 1.
Kurva hubungan paparan radiasi Co-60 dan ketebalan metal coran.



ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

RADIOGRAFI SINAR-X MENGUJI *HUB AIR DEFLECTOR*

Djoli Soembogo, Harun Al Rasyid R, Namad Sianta
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-BATAN, Jakarta 12440, djoli@batan.go.id

ABSTRAK

RADIOGRAFI SINAR-X MENGUJI *HUB AIR DEFLECTOR*. Sinar-X dapat diaplikasikan untuk analisis material dengan melihat unsur-unsurnya seperti defraksi sinar-X atau pengujian material dengan cara uji tak rusak seperti radiografi. Radiografi ini menggunakan sumber radiasi dari mesin sinar-X. Radiografi ini menggunakan film AGFA D7 dan AGFA D4 mendapatkan kontras tinggi, kepekaan tinggi, dan kualitas bayangan yang baik. Radiografi sinar-X menguji *Hub Air Deflector* bertujuan untuk mengetahui cacat atau diskontinuitas pada material *Hub Air Deflector* yang beresiko tinggi terjadi kegagalan saat beroperasi jika melebihi yang distandarkan. Radiografi sinar-X telah dilakukan untuk menguji *Hub Air Deflector* dengan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal menggunakan sinar-X dengan parameter pengamatan densitas film radiografi dan bentuk cacat. Waktu paparan sinar-X adalah 40 detik untuk metal *Hub Air Deflector* tebal 10 mm dengan menggunakan tegangan tinggi mesin sinar-X Rigaku sebesar 130 kV dan arus 5 mA dan 170 detik untuk metal *Hub Air Deflector* tebal 22 mm dengan menggunakan tegangan tinggi mesin sinar-X Rigaku sebesar 230 kV dan arus 5 mA. Hasil radiografi sinar-X menguji *Hub Air Deflector* dengan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal didapat parameter densitas film radiografi untuk film AGFA D7 adalah rentang antara 2,00-2,80, penumbra hasil radiografi didapat 0,031 mm untuk posisi 1 sampai dengan posisi 6 dan 0,068 mm untuk posisi 7 dan 8, sensitivitas film radigrafi adalah 2,50% untuk posisi 1 sampai dengan posisi 6 dan 1,50% untuk posisi 7, dan tidak ditemukan cacat yang signifikan. Status radiografi sinar-X dapat diterima karena densitas film sudah sesuai dengan standar yang diacu dan status material *Hub Air Deflector* dapat diterima, karena sudah sesuai dengan standar yang diacu.

Katakunci: Radiografi sinar-X, *Hub Air Deflector, ASTM*

ABSTRACT

***RADIOGRAPHY X-RAY TEST HUB AIR DEFLECTOR**. X-ray can be applied to the analysis of the material by looking at the elements such as X-ray defraction or material testing by means of nondestructive testing such as radiography. This radiography using a source of radiation from X-ray machine. These radiographs using film AGFA D7 and AGFA D4 to get a high contrast, high sensitivity, and good image quality. Radiography X-ray test the Hub Air Deflector aims to find defects or discontinuities in the material Hub Air Deflector that is high risk failure occurs during operation if it exceed standardized. X-ray radiography has been conducted to test the Hub Air Deflector with Single Wall Single Image method using X-ray observations with the parameter radiographic film density and defect type. X-ray exposure time are 40 seconds for a thickness of 10 mm Hub Air Deflector metal by using a high voltage Rigaku X-ray machine at 130 kV and current is 5 mA and 170 seconds for a thickness of 22 mm Hub Air Deflector metal by using a high voltage Rigaku X-ray machine at 230 kV and current is 5 mA. The results of X-ray radiography test Hub Air Deflector with Single Wall Single Image method obtained radiographic film density parameter for the film AGFA D7 was the range between 2.00 to 2.80, penumbra radiographic results obtained 0,031 mm for position 1 to position 6 and 0.068 mm for positions 7 and 8, the sensitivity of the film was 2.50% radigrafi to position 1 to position 6 and 1.50% for positions, and there was not significant defect. Status X-ray radiography can be accepted because the density of the film is in conformity with the standards referred and the material Hub Air Deflector status is acceptable, because it has conformed with the standards referred.*

Keywords: X-ray radiography, Hub Air Deflector, ASTM.

1. PENDAHULUAN

Sinar-X dapat diaplikasikan untuk analisis material dengan melihat unsur-unsurnya seperti defraksi sinar-X atau pengujian material dengan cara uji tak rusak seperti radiografi. Radiografi ini menggunakan sumber radiasi dari mesin

ISSN 1978-0176

sinar-X. Radiografi ini menggunakan film AGFA D7 dan AGFA D4 untuk mendapatkan kontras tinggi, kepekaan tinggi dan kualitas bayangan yang baik. Radiografi sinar-X menguji *Hub Air Deflector* bertujuan untuk mengetahui cacat atau diskontinuitas material *Hub Air Deflector* seperti retak (*crack*), penyusupan benda asing (*slag inclusion)*, porositas, *Shrinkage*, *Insert* yang beresiko tinggi terjadi kegagalan saat beroperasi jika melebihi ketentuan standar.

2. TEORI

Prosedur radiografi pada *Hub Air Deflector* menggunakan film AGFA D7, AGFA D4, dan larutan *Fixer-Developer* AGFA yang mengacu pada *ASME section V* [1] untuk teknik radiografi dan *ASME section* VIII, *Division* 1, *Mandatory Appendix* 7, *Examination of steel casting* [2] atau *ASTM Reference Radiographs for Steel Castings up to* 51 mm in thickness [3] untuk standar penerimaan hasil radiografi. Sesuai dengan persyaratan standar *ASME section* V *article* 2 [1], code T-282.1, densitas film radiografi untuk sumber sinar-X yang terbaca pada alat *densitometer* mempunyai rentang 1,80 – 4,00 dan mengacu *ASME section* V *article* 2 [1], code T-282.2, densitas bervariasi pada daerah periksa antara minus 15% dan plus 30%, dibandingkan densitas pada daerah *penetrameter*.

3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

Bahan untuk radiografi sinar-X pada *Hub Air Deflector* adalah sebagai berikut :

1. *Hub Air Deflector*, jenis material *Carbonsteel* dengan ketebalan bervariasi 9,6 mm sampai dengan 22 mm.
2. Larutan pemroses film terdiri dari *developer* 20 liter, air *stopbath* 20 liter, *fixer* 20, air bersih pembilas 30 liter a 1 unit
3. Film kecepatan sedang AGFA D7 ukuran 4 x 10 inci^2 6 film
4. Film kecepatan sedang AGFA D4 ukuran 7 x 17 inci^2 2 film

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

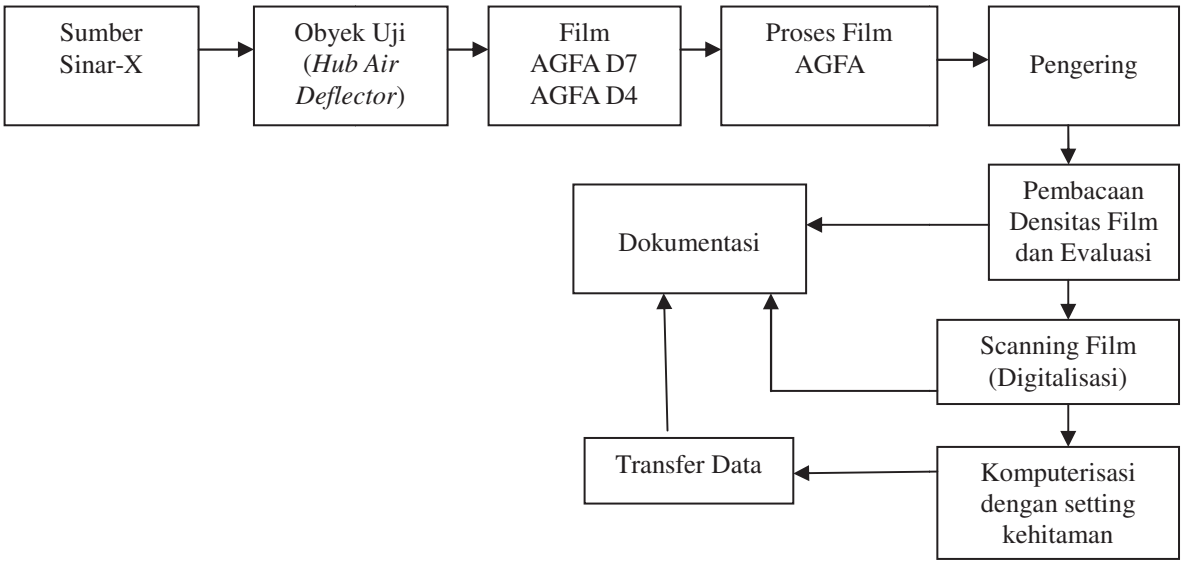
1. Sumber sinar-X dan panel pengendali 1 unit
2. Pb tebal 3mm 2 lembar
3. *Penetrameter ASTM* 1B Fe 2 set
4. *Penetrameter DIN Fe 6ISO12* 1 set
5. *Lead Letter* dan *Lead Number* 1 set
6. *Hanger* 4 x 10” 2 set
7. *Hanger* 7 x 17” 2 set
8. *Stopwatch* 1 set
9. *Longtang* 1 set
10. *Surveymeter* 1 set
11. *Rollmeter* 1 set
12. Statip pendukung 1 set

Pengerjaan proses pengecoran metal secara manual memerlukan keahlian personal pengecoran metal yang handal. Radiografi ini menggunakan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal atau *Single Wall Single Image (SWSI)* dengan 1 penetrameter *ASTM* 1B berlokasi letak di tengah menghadap sumber (*source side)* tegaklurus diatas *Hub Air Deflector*. Jarak tegak lurus antara sumber dan film *(Source Film Distance* atau *SFD)* adalah 825 mm dan dimensi *focalspot* adalah 2,50 mm. Dalam pengujian ini menggunakan langkah-langka kerja seperti diperlihatkan pada gambar 1, *Hub Air Deflector* diperlihatkan pada gambar 2, *Hub Air Deflector* pada ketebalan 9,6 mm diperlihatkan pada gambar 3, Hub Air Deflector pada ketebalan 22 mm diperlihatkan pada gambar 4, posisi radiografi sinar-X pada *Hub Air Deflector* diperlihatkan pada gambar 5, Kontrol Panel mesin sinar-X dan Surveymeter diperlihatkan pada gambar 6.

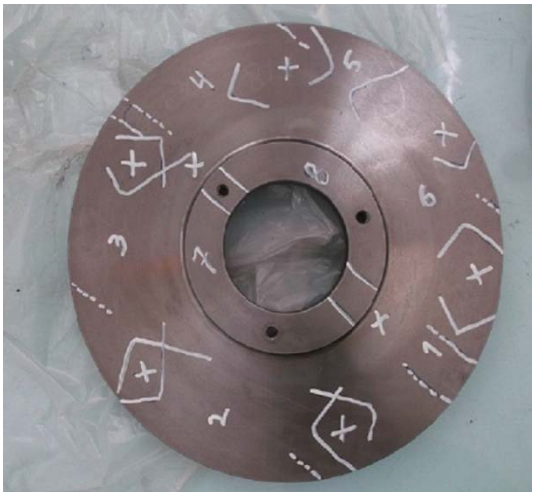
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian radiografi pada *Hub Air Deflector* memperoleh data di lapangan yaitu jenis material *Carbonsteel* [4], ketebalan material *Hub Air Deflector* 9,6 mm dan 22 mm. Berdasarkan tebal spesimen 9,6 mm dengan menggunakan kurva paparan sinar-X bertegangan tinggi 130 kV (Lampiran 1) mendapatkan waktu paparan *trial and error* adalah 40 detik dan tebal spesimen 22 mm dengan menggunakan kurva paparan sinar-X bertegangan tinggi 230 kV (Lampiran 1) mendapatkan waktu paparan *trial and error*

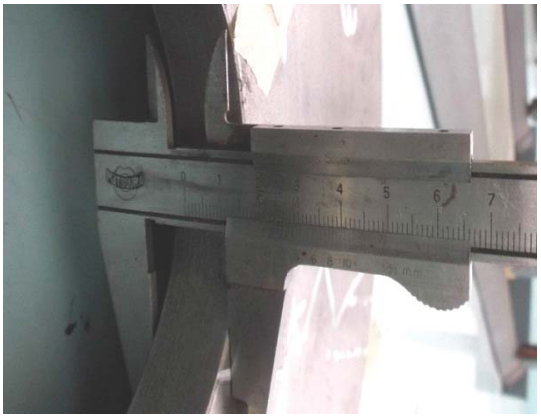
ISSN 1978-0176



Gambar 1. Langkah-langkah kerja



Gambar 2. *Hub Air Deflector*.



Gambar 4. *Hub Air Deflector* pada ketebalan 22 mm.



Gambar 3. *Hub Air Deflector* pada ketebalan 9,6 mm.

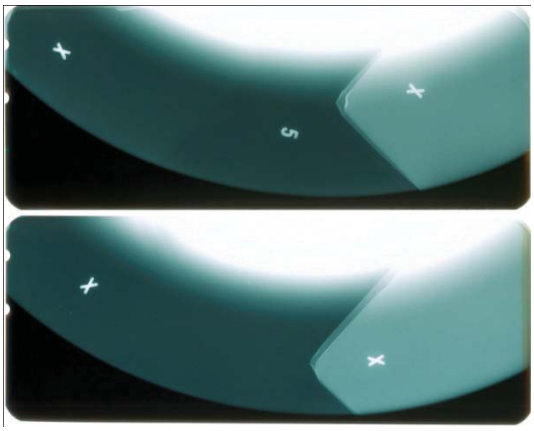


Gambar 5. Posisi radiografi sinar-X pada *Hub Air Deflector*.

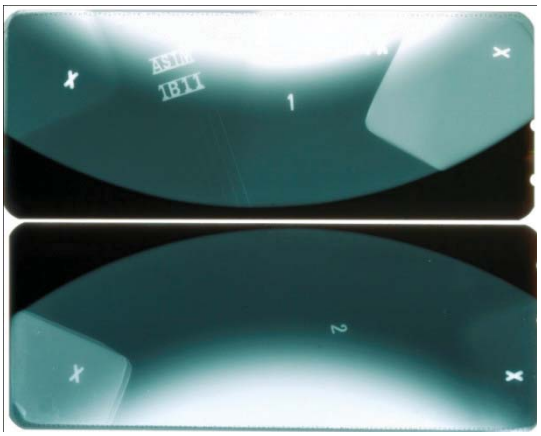
ISSN 1978-0176



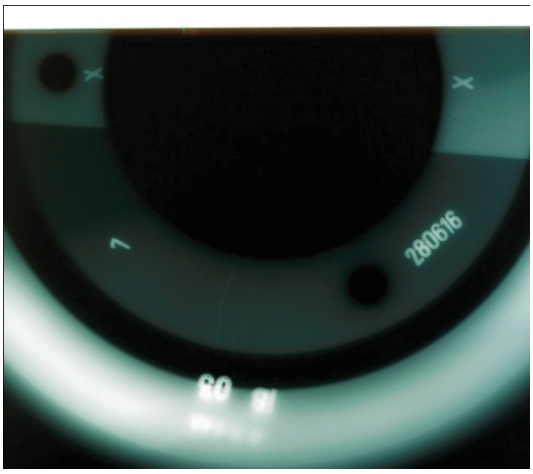
Gambar 6. Kontrol Panel mesin sinar-X dan *Surveymeter*.



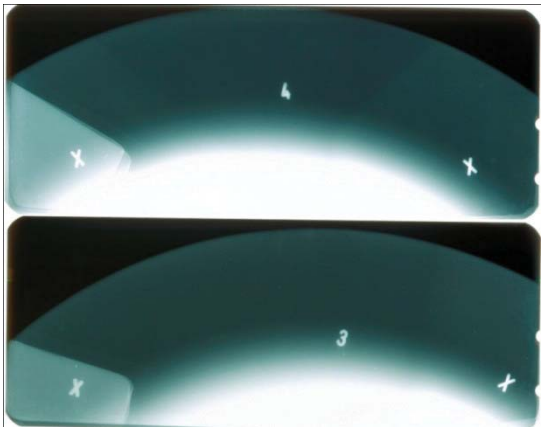
Gambar 9. Pemindaian hasil radiografi posisi 5 dan 6.



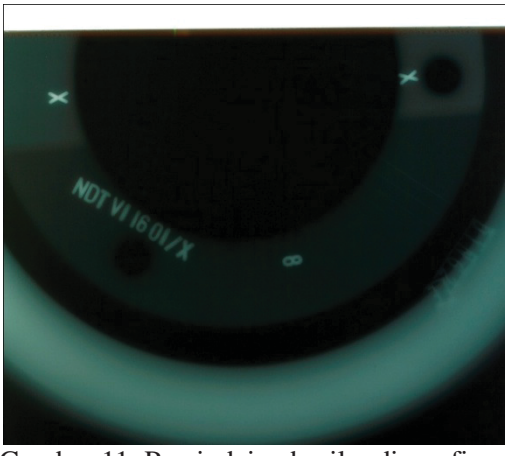
Gambar 7. Pemindaian hasil radiografi posisi 1 dan 2.



Gambar10. Pemindaian hasil radiografi posisi 7.



Gambar 8. Pemindaian hasil radiografi posisi 3 dan 4.



Gambar 11. Pemindaian hasil radiografi posisi 8.

ISSN 1978-0176

adalah 170 detik untuk radiografi metal *Hub Air Deflector* dengan jarak antara sumber dan film *(Source Film Distance)* tegak lurus adalah 825 mm dan dimensi *focalspot* sinar-X adalah 2,5 mm. Dalam hal ini film yang digunakan adalah AGFA D4 berukuran 7 x 17 inci^2 untuk radiografi sinar-X ketebalan 22 mm dan film yang digunakan adalah AGFA D4 berukuran 4 x 10 inci^2 untuk radiografi sinar-X ketebalan 10 mm. Pengujian ini mengamati parameter tingkat kehitaman film radiografi konvensional yang bervariasi antara 1,80 - 4,00 sesuai standar yang diacu [1], [5], [6], [7] dan bentuk cacat metal *Hub Air Deflector*. Pemindaian hasil radiografi posisi 1 dan 2 diperlihatkan pada gambar 7, pemindaian hasil radiografi posisi 3 dan 4 diperlihatkan pada gambar 8, pemindaian hasil radiografi posisi 5 dan 6 diperlihatkan pada gambar 9, pemindaian hasil radiografi posisi 7 diperlihatkan pada gambar 10, pemindaian hasil radiografi posisi 8 diperlihatkan pada gambar 11.

Tabel 1. Hasil radiografi sinar-X menguji *Hub Air Deflector.*

No.	Posisi	Densitas Film D=1,80-4,00	Sensitivitas S (%)	Penumbra Ug (mm)	Jenis cacat	Status	Film
1	1	2,30; 2,25; 2,31	2,50	0,031	ITR	Diterima	AGFA D7
2	2	2,16; 2,24; 2,22	2,50	0,031	ITR	Diterima	AGFA D7
3	3	2,20; 2,26; 2,27	2,50	0,031	ITR	Diterima	AGFA D7
4	4	2,12; 2,18; 2,17	2,50	0,031	ITR	Diterima	AGFA D7
5	5	2,24; 2,22; 2,13	2,50	0,031	ITR	Diterima	AGFA D7
6	6	2,06; 2,07; 2,10	2,50	0,031	ITR	Diterima	AGFA D7
7	7	2,43; 2,31; 2,48	1,50	0,068	ITR	Diterima	AGFA D4
8	8	2,76; 2,36; 2,45	1,50	0,068	ITR	Diterima	AGFA D4

Keterangan : ITR adalah Indikasi Tidak Relevan.

Tabel 1 memperlihatkan hasil radiografi pada pengujian *Hub Air Deflector* (jenis material *Carbonsteel* dengan tebal 9,6 mm dan 22 mm) dengan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal didapat densitas film AGFA D7 dan AGFA D4 adalah rentang antara 2,00-2,80, penumbra hasil radiografi didapat 0,031 mm untuk posisi 1 sampai dengan posisi 6 dan penumbra hasil radiografi didapat 0,068 mm untuk posisi 7 dan 8, sensitivitas film radigrafi adalah 2,50% (terlihat 6 kawat penetrameter *ASTM* 1B, tidak ditemukan cacat material yang signifikan) untuk posisi 1 sampai dengan posisi 6 dan 1,50% (terlihat 5 kawat penetrameter *ASTM* 1B, tidak ditemukan cacat material yang signifikan) untuk posisi 7 dan 8. Hasil radiografi metal *Hub Air Deflector* tidak ditemukan cacat material yang signifikan dan dikatakan indikasi tidak relevan. Dengan data tersebut diatas, maka status metal *Hub Air Deflector* dapat diterima karena tidak melebihi batas maksimal *severity level* yaitu level 2 sesuai standar [2]. Tidak ditemukan cacat material pada *Hub Air Deflector* yang signifikan karena personal pengecoran metal mengikuti prosedur kerja yang standar. Hasil ini berdasarkan pengamatan di *viewer* (pembaca film positip) dan sudah sesuai dengan standar yang diacu.

5. KESIMPULAN

Hasil radiografi sinar-X menguji *Hub Air Deflector* dengan metode Ketebalan Tunggal Bayangan Tunggal didapat parameter densitas film radiografi AGFA D7 dan AGFA D4 adalah rentang antara 2,00-2,80, penumbra hasil radiografi didapat 0,031 mm untuk posisi 1 sampai dengan posisi 6 dan penumbra hasil radiografi didapat 0,068 mm untuk posisi 7 dan 8, sensitivitas film radiografi adalah 2,50% untuk posisi 1 sampai dengan posisi 6 dan 1,50% untuk posisi 7 dan 8, dan tidak ditemukan cacat material yang signifikan. Status densitas film

ISSN 1978-0176

dapat diterima, karena densitas film sesuai dengan standar yang diacu dan status uji radiografi pada *Hub Air Deflector* dapat diterima, karena sudah sesuai dengan standar yang diacu.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

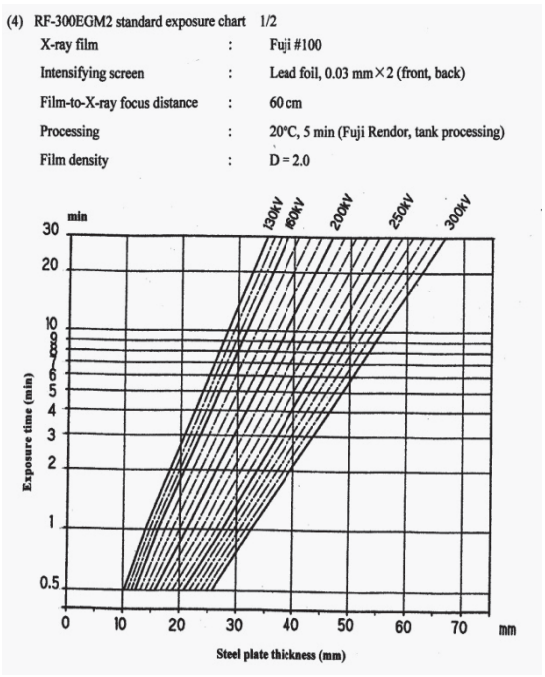
1. Rekan-rekan Kelompok Uji Tak Rusak di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi yang telah membantu terbentuknya makalah ini.
2. PT. Texmaco Perkasa *Engineering*, Kaliwungu, Semarang.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. ***ASME***, *ASME section V*, *article 2 Radiographic Examination*, New York, 2013.
2. ***ASME***, *ASME section VIII*, *Division* 1, *Mandatory Appendix* 7, *Examination of steel casting*, New York, 2013.
3. ***ASTM***, *ASTM Reference Radiographs for Steel Castings up to 51 mm in thickness*, Philadelphia.
4. Komunikasi internet, http://www.total-materia.com/articles/Art98.htm, tanggal 27 Juni 2016.
5. ***IAEA***, *IAEA/RCA Regional Training Course on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography Applications in Industry*, Kajang, Malaysia, 2-6 November 2009.
6. ***IAEA***, *IAEA/RCA Regional Training Course on the Use of Isee and aRTist Software fo Digital Industrial Radiography (DIR) Image Analysis and Interpretation*, Kajang, Malaysia, 25-29 July 2011.
7. **PUSDIKLAT BATAN**, Radiografi Level II Standar dan Petunjuk Praktikum, Jakarta, 2013.

8. LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva hubungan paparan sinar-X dan ketebalan metal coran *carbonsteel* (dari buku manual alat mesin sinar-X Rigaku RF-300EGM2).



Pertanyaan

1. Apakah Sinar-X bisa diterapkan untuk memeriksa tangki reaktor (Koes Indra-koesoema)?
2. Perbedaan gamma (Co-60) dan sinar-X (Haryanto)?

Jawaban

1. Bisa untuk ketebalan antara 10 mm -25 mm dengan tegangan tinggi dari 130 kV – 230 kV, posisi sumber sinar-X dan film memungkinkan di *set up*.
2. Pada energi dan daya penetrasinya.

ISSN 1978-0176

PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA PARAMETER PROSES REAKTOR KARTINI BERBASIS SIMULASI MENGGUNAKAN SUPER PLC T100MD-2424

Lolika Dia Amora[1], Adi Abimanyu[2], Muhtadan[1]

1) Jurusan Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta
lolikadiaamora@gmail.com, muhtadan@batan.go.id
2) Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta
abimanyu.adi@batan.go.id

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA PARAMETER PROSES REAKTOR KARTINI BERBASIS SIMULASI MENGGUNAKAN SUPER PLC T100MD-2424. Pengembangan sistem akuisisi data reaktor Kartini dilakukan dalam usaha untuk mempersiapkan revitalisasi SIK dengan teknologi yang *up to date*, dengan mengaplikasikan Super PLC T100MD-2424 sebagai modul pengolah sinyal dan perangkat lunak LabVIEW 2014 sebagai pengolah data. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem akuisisi data parameter proses reaktor Kartini menggunakan Super PLC T100MD-2424 dengan *input* simulasi sebagai basis data dalam kajian revitalisasi dan *upgrade* Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) reaktor Kartini. Super PLC memiliki karakteristik ADC linier dengan nilai korelasi 1 (sempurna), galat *offset* bernilai 0 dan persentase galat *gain* sebesar 0,32% serta GNLI bernilai 0. *Delay time* optimum untuk menerima data dari modul pengolah sinyal ke modul akuisi dan pengolah data adalah sebesar 39 ms.

Kata kunci: akuisisi data, Super PLC T100MD-2424, parameter proses

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF DATA ACQUISITION SYSTEM PROCESS PARAMETERS KARTINI REACTOR BASED ON SIMULATION USING SUPER PLC T100MD-2424. *Development of a data acquisition system Kartini reactor, done an attempt to prepare for the revitalization of SIK with technology up to date, by applying Super PLC T100MD 2424 as the signal processing module and LabVIEW software as a data processor. The purpose of this research is to develop data acquisition system process parameters in Kartini reactor using Super PLC T100MD 2424 with simulation input as a data base in the research of revitalization and upgrade Instrumentation and Control Systems Kartini reactor. Super PLC has the characteristics of ADC linear with a correlation value is 1 (perfect), offset error value is 0, gain error value is 0.32% and GNLI value is 0. The optimum delay time to receive data from the signal processing module to the data acquisition and processing module is 39 ms.*

Key words: data acquisition, Super PLC T100MD 2424, the process parameters

PENDAHULUAN

Reaktor nuklir merupakan suatu sistem dimana reaksi nuklir yang bernama fisi, yaitu reaksi pembelahan inti secara berantai dimulai. Energi dalam bentuk panas yang dihasilkan oleh reaksi fisi yang kemudian dikelola oleh pendingin yang umumnya ialah air serta menghasilkan uap. Pembangkit listik termal digerakkan oleh batang kendali. Ketika batang kendali digerakkan turun ke inti reaktor, batang kendali menyerap neutron dan daya menurun. Di sisi lain, ketika batang kendali di gerakkan naik ke atas, jumlah fisi dan daya meningkat [1].

Reaktor Kartini adalah reaktor penelitian yang dirancang oleh BATAN dengan daya 250 KW untuk tujuan penelitian, pelatihan dan

ISSN 1978-0176

pendidikan serta beroperasi pada daya 100 KW. Reaktor Kartini merupakan reaktor tipe Triga Mark II dengan kolam terbuka, berpendingin air ringan. Pembangunan reaktor Kartini dimulai akhir tahun 1974, dan mencapai kondisi kritis untuk pertama kalinya pada 25 Januari 1979, diresmikan pada 1 Maret 1979 serta masih dioperasikan hingga dengan sekarang [2].

Sistem akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, kemudian memproses data tersebut untuk menghasilkan data yang diinginkan [3]. Teknologi sistem akuisisi data parameter proses reaktor Kartini pada saat sekarang ini menggunakan slot ISA BUS pada komputer tipe industri dengan modul pengolah sinyal PCL-812PG. Modul pengolah sinyal PCL-812PG berfungsi untuk mengubah masukan sinyal analog menjadi bentuk digital, menerima status sinyal digital, dan menghasilkan sinyal digital. Sinyal analog dan status digital didapatkan dari parameter proses reaktor Kartini yang meliputi: kanal daya linier, kanal daya logaritmik, dan posisi ketiga batang kendali [4].

PLC (*Programmable Logic Controller*) atau kendali logika terprogram merupakan suatu piranti elektronik yang dirancang untuk dapat beroperasi secara digital dengan menggunakan memori sebagai media penyimpanan instruksi-instruksi internal untuk menjalankan fungsi – fungsi logika, seperti fungsi pencacah, fungsi urutan proses, fungsi waktu, fungsi aritmatika, dan fungsi yang lainnya dengan cara memprogramnya [5].

Dibandingkan dengan penggunaan PCL-812PG yang harus menggunakan *interface* slot ISA BUS, penggunaan Super PLC T100MD-2424 dipilih dengan alasan dapat menggunakan komunikasi yang lebih *up to date* dan fleksibel, antara lain *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), RS-485, serta RS-232 untuk tersambung ke komputer personal. Super PLC T100MD-2424 juga memiliki kehandalan yang telah teruji di dunia industri dan mudah didapatkan di pasaran serta memiliki slot I/O yang sesuai dengan kebutuhan.

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka diusulkan suatu penelitian mengenai kajian pengembangan sistem akuisisi data parameter proses reaktor Kartini berbasis simulasi dengan menggunakan Super PLC T100MD-2424 sebagai pengolah sinyal dalam rangka usaha mempersiapkan revitalisasi teknologi Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) reaktor Kartini dengan perkembangan teknologi yang selalu *up to date*. Pengembangan sistem akuisisi data parameter proses reaktor Kartini dilakukan dengan mengaplikasikan Super PLC T100MD-2424 sebagai pengganti modul PCL-812PG.

LANDASAN TEORI

Parameter Proses Reaktor Kartini

Parameter proses operasi reaktor Kartini yang dibahas pada penelitian ini meliputi data daya reaktor dan perioda reaktor serta posisi batang kendali. Pengukuran besarnya daya reaktor dan perioda reaktor menggunakan kanal pengukur daya yang terdiri dari: kanal daya linier (NP-1000) dan kanal daya logaritmis (NLW-2).

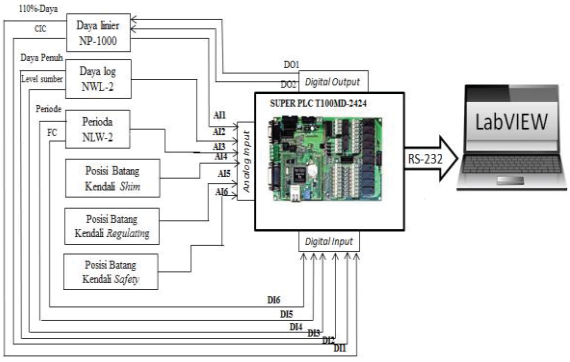
Kanal daya linier memperoleh input arus dari detektor *Compensated Ionization Chambe* (CIC) yang memberi penunjukan daya linier. Sedang untuk kanal daya logaritmis input arus dari detektor *Fission Chamber* (FC), yang memberi penunjukkan % daya logaritmis. Periode laju perubahan daya diperoleh dari differensial % daya logaritmis. Sinyal analog posisi batang kendali berasal dari tegangan *tap* potensiometer yang bervariasi dengan naik atau turunnya batang kendali, dimana potensiometer ini posisinya terpasang seporos dengan motor penggerak sambungan batang kendali. Tegangan potensiometer adalah 5 volt yang ekivalen dengan posisi batang kendali saat ditarik maksimum keatas (38 cm) [3].

METODE PENELITIAN

Pengembangan sistem akuisisi data parameter proses reaktor Kartini berbasis simulasi menggunakan Super PLC T100MD-2424 sebagai pengolah sinyal dan perangkat lunak LabVIEW 2014 sebagai perangkat lunak akuisisi data serta pengolah data. Modul Super PLC T100MD-2424 akan mengambil data sinyal analog maupun digital dari simulasi objek pengukuran sekaligus mengirimkan sinyal ke komputer personal (LabVIEW 2014). Terdapat 6 (enam) buah potensiometer sebagai masukan analog ke channel *Analog to Digital*

ISSN 1978-0176

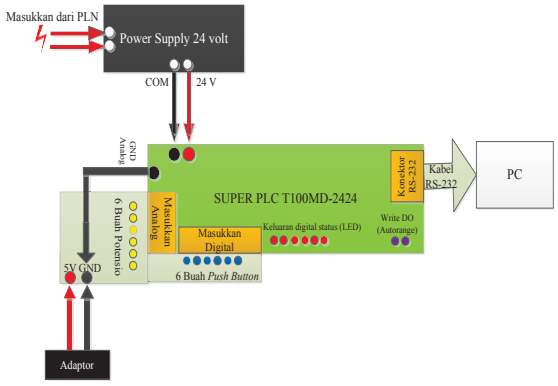
Coverter (ADC) dan terdapat 6 (enam) buah *push button* sebagai masukkan digital ke *channel digital input* (DI). Terdapat juga sinyal keluaran *digital output* (DO) 2 bit sebagai sinyal *autorange* daya NP-1000. Sinyal masukkan akan diakuisisi dan diolah oleh komputer serta disimpan dalam *database* MySQL. Blok diagram pengembangan sistem akuisisi data parameter proses ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Blok diagram pengembangan sistem akuisisi data parameter proses

Pengembangan Modul Pengolah Sinyal

Perancangan simulator pengolah sinyal parameter proses reaktor Kartini ditunjukkan pada Gambar 2.

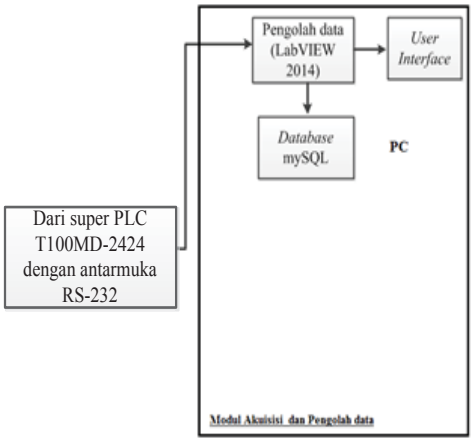


Gambar. 2. Blok diagram perancangan perangkat keras

Super PLC T100MD-2424 mendapatkan *supply* tegangan dari *power supply* 24 volt dikarenakan spesifikasi Super PLC membutuhkan tegangan sebesar 24 volt DC dengan tegangan keluaran 5 volt dan arus 5 ampere. Untuk rangkaian masukan analog dan digital membutuhkan tegangan masukkan 5 volt yang di-*supply* dari luar, yaitu oleh adaptor dengan arus yang lebih kecil dari arus yang dihasilkan oleh Super PLC sendiri dikarenakan hal ini rentan terhadap rangkaian masukkan analog dengan beban masing – masing potensiometer sebesar 1KΩ. Port RS-232 *female* (pada Super PLC) dihubungkan dengan kabel RS-232 *male converter to* USB untuk komunikasi ke *Personal Computer* (PC).

Pengembangan Sistem Akuisisi dan Pengolah Data

Blok diagram modul akuisisi dan pengolah data ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar. 3. Blok diagram modul akuisisi dan pengolah data

Modul akuisisi dan pengolah data merupakan *Human Machine Interface* (HMI) yang memanfaatkan perangkat lunak LabVIEW 2014 sebagai bahasa pemrogramannya. HMI pada komputer digunakan sebagai modul pengakuisisi dan pengolahan data dari perangkat simulasi, penampil indikator parameter proses simulasi, serta informasi disimpan dalam *database* MySQL. Sinyal dari modul Super PLC T100MD-2424 dihubungkan dengan komunikasi serial RS-232 ke komputer.

PENGUJIAN DAN HASIL

Hasil Pengujian Menentukan *Delay Time*

Pengujian *delay time* disini berguna untuk menentukan nilai *delay* minimum *vi read serial* dalam menerima data. Pengujian dilihat dari kesesuaian respon panjang data yang dikirim dari modul pengolah sinyal (PLC) dengan yang diterima modul akuisisi dan pengolah data (LabVIEW). Pengujian dilakukan pada satu *listing* program, yaitu

ISSN 1978-0176

listing program *read* ADC, yang sudah mewakili pengujian *listing* program lainnya. Tabel 1 merupakan tabel hasil pengujian *delay time*.

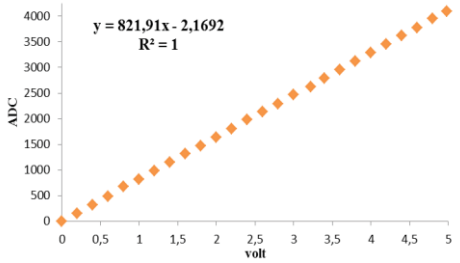
Tabel. 1. Hasil pengujian *delay time*

No	*Delay Time* (ms)	Dikirim		Diterima		Data yang hilang
		Data	*Pan-jang*	*Data*	*Pan-jang*	
1.	40	@01R D0000 000F6 E0788 00A60 09200 572B*	34	@01RD 000000 0F6E07 8800A6 009200 572B*	34	0
2.	39	@01R D0000 000F7 70788 00A60 09700 575D*	34	@01RD 000000 0F7707 8800A6 009700 575D*	34	0
3.	38	@01R D0000 000F7 30788 00A60 08D00 532F*	34	@01RD 000000 0F7307 8800A6 008D00 532F	33	1
4.	37	@01R D0000 000F7 3078D 00A60 09200 5720*	34	@01RD 000000 0F7307 8D00A6 009200	29	5

Nilai *delay time* minimum untuk menerima data dari PLC yang didapatkan ialah sebesar 39 ms. Pada *delay time* 39 ms tidak terdapat pemotongan panjang data (tidak terdapat data yang hilang), sedangkan dengan nilai *delay time* dibawahnya, yaitu 38 ms, penerimaan panjang data oleh vi *read serial function* terjadi pemotongan (kehilangan data). Sehingga dari hasil pengujian dapat ditentukan bahwa nilai *delay time* minimum penerimaan data dari PLC ialah sebesar 39 ms.

Hasil pengujian ADC

Pengujian ADC bertujuan untuk mengetahui linieritas ADC, galat *offset*, galat *gain*, serta *galat non linieritas integral* (GNLI). Galat *offset* didefinisikan sebagai selisih antara titik *offset* nominal dengan titik *offset* aktual. Dengan kata lain, galat *offset* atau disebut juga galat nol (*zero error*) adalah nilai tegangan masukan yang diperlukan untuk menghasilkan keluaran digital nol. Galat bati didefinisikan sebagai selisih antara titik *gain* nonimal dengan titik *gain* aktual. Dengan kata lain, galat *gain* adalah nilai tegangan masukan yang diperlukan untuk menghasilkan keluaran digital skala penuh. Galat non linieritas integral atau yang sering disebut galat linieritas adalah penyimpangan nilai fungsi transfer dari garis lurusnya [6]. Grafik hasil pengujian ADC ditunjukkan pada Gambar 4.

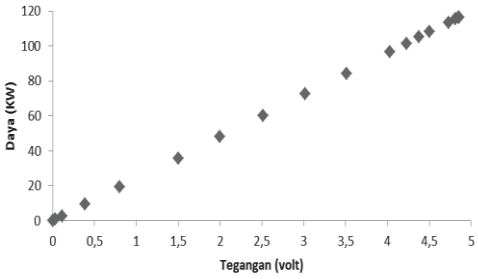


Gambar. 4. Grafik tegangan input vs ADC pada super PLC

Berdasarkan Gambar 4, diketahui nilai korelasi (R), yaitu bernilai 1. Dimana nilai R disini mengidentifikasikan bahwa korelasi antara nilai *x* dan *y* sempurna, dengan kata lain, ADC pada Super PLC memiliki karakteristik linier, sehingga nilai galat non linieritas integralnya (GNLI) otomatis nol. Galat *gain* ADC bernilai 0,016 volt dengan nilai persentase kesalahan sebesar 0,32% serta galat *offset* bernilai nol.

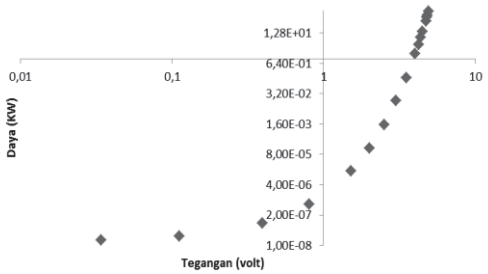
Hasil Pengujian Karakteristik Data Parameter Proses

Hasil pengujian karakteristik data parameter proses untuk daya NP-1000 dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Diketahui bahwa daya NP-1000 dan daya NLW-2 apabila nilai tegangan ADC nya dinaikkan, maka daya akan naik seiring bertambahnya tegangan yang diberikan. Dapat ditarik kesimpulan bahwa daya NP-1000 mempunyai karakteristik linier dan daya NLW2 mempunyai karakteristik logaritmis.



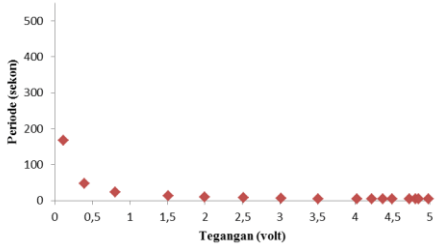
Gambar. 5. Hasil pengujian karakteristik daya NP-1000

ISSN 1978-0176



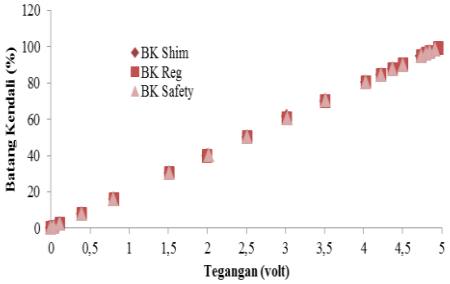
Gambar. 6. Hasil pengujian karakteristik daya NLW-2

Hasil pengujian karakteristik data parameter proses untuk periode dapat dilihat pada Gambar 7. Diketahui apabila nilai tegangan ADC dinaikkan, maka periode akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya nilai tegangan yang diberikan. Dapat ditarik kesimpulan bahwa periode mempunyai karakteristik eksponensial. Hal ini sesuai dengan karakteristik reaktor Kartini, yaitu dengan naiknya flux neutron, hal ini akan memicu naiknya tegangan, dengan naiknya tegangan, maka nilai periode akan menurun.



Gambar. 7. Hasil pengujian karakteristik periode

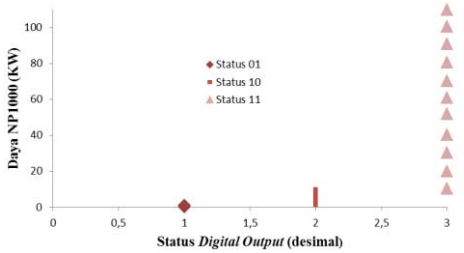
Hasil pengujian karakteristik data parameter proses untuk batang kendali dapat dilihat pada Gambar 8. Diketahui apabila nilai tegangan ADC dinaikkan, maka nilai persentase batang kendali akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya nilai tegangan yang diberikan. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa batang kendali mempunyai karakteristik linier.



Gambar. 8. Hasil pengujian karakteristik batang kendali

Hasil Pengujian *Write* DO

Hasil pengujian kesesuaian *write* DO ditunjukkan pada Gambar 9. Ketika daya NP-1000 antara 0 KW hingga 0,938 KW, status DO yang muncul adalah 01 yang dalam desimal bernilai 1. Saat daya NP-1000 dinaikkan dari 1,152 KW hingga 9,6 KW maka status DO yang muncul adalah 10, yang dalam desimal bernilai 2. Kemudian saat daya kembali dinaikkan antara 10,416 KW hingga 109,8 KW maka status DO menjadi 11, yang dalam desimal bernilai 3.



Gambar. 9. Grafik hasil pengujian kesesuaian *write* DO

Dapat disimpulkan bahwa antara daya yang pada NP-1000 dengan status yang muncul telah sesuai.

Hasil Pengujian *Digital Input Output* (DIO)

Hasil pengujian kesesuaian antara aksi pada *pushbtton* dan indikator keterangannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel. 2. Hasil pengujian kesesuaian DIO

Pushbutton	Aksi	Indikator led pada *box* simulator	Indikator led pada HMI
Trip daya 100% NP-1000	ON	ON	ON
Trip CIC	ON	ON	ON
Trip daya 100% NLW2	ON	ON	ON
Trip level aras sumber	ON	ON	ON
Trip periode <7 sekon	ON	ON	ON
Trip FC	ON	ON	ON

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa antara aksi yang diberikan pada *pushbutton* dengan hasil pada idikatornya telah sesuai.

Hasil Pengujian Keseluruhan

Hasil pengujian secara keseluruhan didapat dari pengoperasian sistem selama

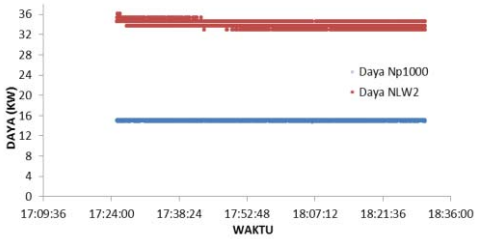
ISSN 1978-0176

kurang lebih satu jam dengan masukkan tetap (tidak diubah – ubah). Hasil pengoperasian yang telah dilakukan pada tanggal 3 Juni 2016 selama kurang lebih satu jam, dari pukul 17:25:18 hingga pukul 18:30:37, diperoleh sebanyak 19.146 data. 19.146 data yang diperoleh ini diwakili oleh 6 data yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel. 3. Data pengujian keseluruhan

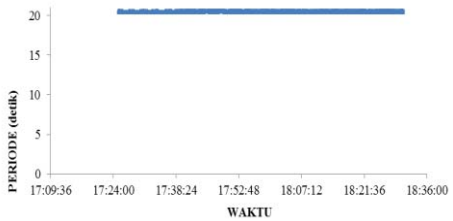
Waktu	Daya NP-1000 (KW)	Daya NLW-2 (KW)	Peri-ode (deti-k)	BK *Shim* (%)	BK *Reg* (%)	BK *Safety* (%)
17:25:18	15	35,32	20,43	24,7	19,14	19,52
17:38:24	15,09	34,52	20,43	24,6	19,14	19,52
17:52:49	14,88	33,73	20,43	25,18	19,14	19,52
18:07:12	15	33,73	20,54	25,08	19,04	19,52
18:21:36	15	33,73	20,54	25,08	19,04	19,52
18:30:37	15,09	33,73	20,54	24,6	19,04	19,52

Hasil pengujian unjuk kerja daya dapat di lihat pada grafik Gambar 10. Diketahui nilai daya NP-1000 dan daya NLW2 konstan. Nilai daya NP-1000 konstan berada pada nilai sekitaran 14,88 KW hingga 15 KW dan nilai daya NLW2 berada pada nilai sekitaran 33,7 KW hingga 35 KW.



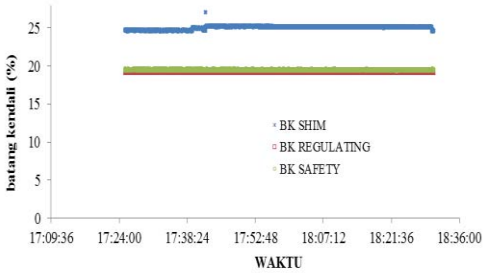
Gambar. 10. Hasil pengujian unjuk kerja daya

Hasil pengujian unjuk kerja periode dapat dilihat pada grafik Gambar 11, diketahui nilai periode selama pengoperasian adalah konstan, berada pada nilai sekitaran 20 detik.



Gambar. 11. Hasil pengujian unjuk kerja periode

Hasil pengujian unjuk kerja batang kendali yang meliputi batang kendali *shim*, *regulating*, serta *safety* dapat dilihat pada grafik Gambar 12. Pada grafik diketahui nilai batang kendali *shim* konstan pada nilai sekitaran 24% hingga 25%, tetapi terdapat kenaikan tegangan secara tiba – tiba pada pukul 17:42:20 selama satu detik yang membuat % batang kendali naik dari 25% menjadi 27%, hal ini dapat ditoleransi dikarenakan kenaikan batang kendali masih kecil, sekitar 2% saja. Nilai batang kendali *regulating* konstan pada nilai sekitaran 19%, serta nilai batang kendali *safety* konstan pada nilai sekitaran 19,50%.

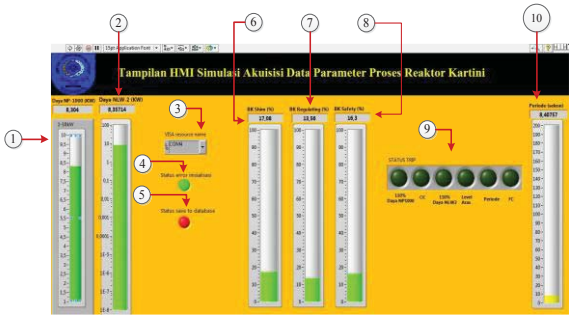


Gambar. 12. Hasil pengujian unjuk kerja batang kendali

Dapat ditarik kesimpulan bahwa unjuk kerja sistem menyatakan sistem masih dapat beroperasi dengan baik selama waktu kurang lebih satu jam dengan nilai yang sangat sedikit sekali perubahannya, dan dapat dianggap sebagai nilai konstan.

Hasil Pengembangan Sistem Penampil

Tampilan HMI sistem simulasi parameter proses reaktor Kartini di tunjukkan pada Gambar 13.



Gambar. 13. Tampilan HMI sistem simulasi

Pada bagian tampilan 1 adalah diagram batang tegak daya linier NP-1000. Penampil informasi berupa batang tegak dibuat auto range, dengan range pertama ialah pada daya 0-1 KW, range kedua pada daya 1-10 KW, serta pada range ketiga pada daya 10-100 KW. Warna bargraph pada daya NP-1000, apabila pada nilai lebih 110 kW otomatis akan berubah

ISSN 1978-0176

berwarna merah, apabila pada nilai kurang dari sama dengan 100 adalah hijau, sedangkan nilai diantara 100 dan 110 adalah kuning. Pada tampilan, daya NP-1000 bernilai 8,3 KW.

Pada bagian tampilan 2 adalah diagram tegak daya logaritmis NLW-2. Pada daya NLW-2, warna normalnya (daya<100kW) adalah hijau, apabila >100kW maka akan berubah menjadi warna merah. Pada tampilan, daya NLW-2 sebesar 8,35 KW.

Pada tampilan 3 adalah port visa serial. Di pilih pertama kali untuk mengkoneksikan antara modul simulasi dengan PC.

Pada tampilan 4 adalah indikator status error inisialisasi. Apabila inisialisasi tidak berhasil, maka led indiktor akan berwarna merah, sedangkan apabila inisialisasi berhasil dilakukan, maka led indikator berwarna hijau.

Pada tampilan 5 adalah indikator status erros koneksi PC dengan database MYSQL pada local server. Apabila koneksi antara PC dengan local server berhasil, led indikator akan berwarna hijau, apabila tidak terkoneksi dengan local server sebagai tempat penyimpanan database, maka led indikator berwara merah.

Pada bagian tampilan 6, 7 dan 8 adalah diagram batang tegak persen batang kendali. Posisi batang kendali normal adalah hijau, tetapi apabila batang kendali berada pada posisi maksimum atas, maka akan berubah menjadi warna violet. Pada tampilan, nilai posisi batang kendali shim, regulating dan safety berturut – turut sebesar 17%, 13%, dan 16%.

Pada bagian tampilan 9, merupakan sinyal trip yang terdiri dari trip daya maksimum saat daya NP-1000 110% atau lebih, trip catu daya kegagalan tegangan tinggi CIC, trip daya NLW-2 110% atau lebih, trip level sumber saat sumber neutron tidak berada pada tempatnya, trip periode kurang dari 7 detik, serta trip kegagalan tegangan tinggi FC.

Pada bagian tampilan 10 adalah diagram tegak periode NLW-2. Periode reaktor warna normalnya hijau, apabila periode reaktor <9 sekon, warna bargraph akan berubah kuning dan bila perioda reaktor <8 sekon maka akan berubah menjadi merah. Pada tampilan, periode NLW-2 sebesar 8,40 detik.

KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat pengembangan sistem akuisisi data paramater proses reaktor Kartini berbasis simulasi dengan memanfaatkan modul Super PLC T100MD-2424 sebagai pengolah sinyal dan perangkat lunak LabVIEW 2014 sebagai modul akuisisi dan pengolah data serta informasi terdokumentasi dalam database MySQL.

Super PLC T100MD-2424 dapat diaplikasikan sebagai pengolah sinyal masukan parameter proses reaktor Kartini dengan karakteristik ADC linier bernilai korelasi 1 (sempurna), galat offset bernilai nol dan persentase nilai galat gain sebesar 0,32% serta nilai GNLI-nya adalah nol. *Delay time* optimum untuk menerima data dari modul pengolah sinyal ke modul akuisisi dan pengolah data adalah sebesar 39.

SARAN

Dikarenakan masukan masih berupa simulasi, ada baiknya segera dilakukan uji coba pada masing – masing *input*-an untuk mengetahui unjuk kerja kerja selanjutnya, terutama pada masukan NP-1000 dan NLW-2.

DAFTAR PUSTAKA

[1] P. K. Bhowmik, S. K. Dhar, and S. Chakraborty, "Operation and Control of TRIGA Research reactor with PLC," *International Journal of Information and Electronics Engineering,* vol. 3, pp. 553-557, 2013.

[2] T. Suhaemi, D. D. Dj., I. K., J. S., and Setyono, "Evaluasi Keselamatan Reaktor Kartini Ditinjau dari Desain Sistem Instrumentasi," ed. Serpong, 2003, pp. 49-60.

[3] A. P. Mandela and H. L. Guntur, "Pengembangan Sistem Akuisisi Data pada Alat Uji Suspensi Seperempat Kendaraan," *Teknik Pomits,* vol. 1, pp. 1-6, 2014.

[4] Prajitno, "Perancangan dan Pengembangan Sistem Akuisisi Data Parameter Proses Reaktor Kartini," *Buku I Prosiding PPI - PDIPTN,* pp. 145-149, 2009.

[5] G. G. Gumilar and Khairurrijal, "*Super Programmable Logic Controller* T100MD-888+," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2006.

ISSN 1978-0176

[6] P. R. Ariawan, "Analog To Digital Converter," Teknik Elektro, Universitas Udayana2010.

TANYA DAN JAWAB

Pertanyaan

1. Parameter proses pada pengembangan sistem ini meliputi apa saja?
2. Pengembangan sistem yang dilakukan apakah memodifikasi model yang sudah tersedia atau membuat model yang baru?
3. Apakah memungkinkan jika Super PLC dengan tipe T100MD-2424 diganti dengan Super PLC tipe lain?

Jawaban

1. Parameter proses daya NP-1000, daya NLW-2, periode, serta perubahan posisi batang kendali (*shim*, *reg*, dan *safety*) serta status sinyal trip reaktor.
2. Pengembangan sistem yang dilakukan yaitu memodifikasi model yang telah ada dengan cara mengganti modul pengolah sinyal yang lama dengan modul pengolah sinyal yang baru, yaitu Super PLC T100MD-2424.
3. Ya, memungkinkan, tetapi harus dilakukan beberapa pengkondisian sesuai dengan modul pengolah sinyal yang akan menggantikannya.

ISSN 1978-0176

SISTEM KENDALI GENERATOR INDUKSI MENGGUNAKAN ARDUINO

Agus Purbhadi[1], Budi Suhendro[2], Abdul Khanan[3]

Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia.[123)]
E-mail : aguspurbhadi@gmail.com[1)]
sudroid@yahoo.com[2)]
khanan@yahoo.com[3)]

ABSTRAK

SISTEM KENDALI GENERATOR INDUKSI MENGGUNAKAN ARDUINO. Telah dilakukan rancang bangun sistem kendali generator induksi (*Induction Generator Controller* / IGC) menggunakan arduino untuk mengatur kestabilan tegangan dan frekuensi generator induksi pada simulator pembangkit listrik di STTN. Sistem kendali ini menstabilkan tegangan dan frekuensi generator induksi dengan cara menjaga kestabilan daya keluaran generator dan mengalirkan daya yang tidak terpakai ke beban komplemen. Penelitian ini terdiri dari perancangan program dan pembuatan hardware. Perancangan program dilaksanakan dengan bantuan software Arduino IDE, sedangkan pembuatan hardware dilaksanakan dengan bantuan Eagle Layout Editor. IGC bekerja berdasarkan tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan dan dibandingkan dengan tegangan referensi serta dikendalikan dengan arduino dengan metode PWM (Pulse Width Modulation). Arduino mengatur besarnya lebar pulsa yang digunakan untuk memicu triac berdasarkan simpangan yang terbaca oleh arduino. Semakin besar simpangan yang terjadi, maka semakin lebar pulsa yang digunakan untuk memicu triac. Besar kecilnya picu triac yang di kendalikan oleh arduino akan mengatur besar kecilnya daya yang disalurkan ke beban komplemen. Pengujian dilakukan, terhadap masing masing komponen sistem kendali generator induksi yang terdiri dari catu daya, sensor tegangan, kendali arduino, dan driver triac memberikan hasil unjuk kerja yang baik. Hasil pengujian motor induksi 3 fasa type AEVBKB04R750FU saat menjadi generator menghasilkan daya keluaran maksimal 260 watt, tegangan generator berkisar antara 230 volt sampai 210 volt dan frekuensi generator berkisar antara 57 Hz sampai 56 Hz. IGC mampu bekerja bekerja pada daya maksimal 880 watt, tegangan maksimal 600 volt, dan arus maksimal 4 Ampere pada suhu maksimal 70° Celcius.

Kata kunci: IGC, Generator Induksi, PWM, Arduino

ABSTRACT

INDUCTION GENERATOR CONTROL SYSTEM USING ARDUINO. *The design of induction generator control system (Induction Generator Controller / IGC) using arduino to regulate the stability of the voltage and frequency induction generator at a STTN power plant simulator has done. This control system stabilize voltage and frequency induction generator by maintaining the stability of output power of generator and discharge the unused power to the complement load. This research program consists of designing and manufacturing of hardware. Designing programs are implemented with the help of the Arduino IDE software, while hardware development carried out with the help of Eagle Layout Editor. IGC works based on the voltage read by a voltage sensor and compared with a reference voltage and is controlled by arduino PWM method (Pulse Width Modulation). Arduino set the size of the pulse width is used to trigger a triac based on the error is read by arduino. The greater the error that occurs, then the width of the pulse is used to trigger the triac. The size of the triac trigger controlled by arduino will adjust the size of the power supplied to the load complements. Tests performed, each component of the induction generator control system consisting of power supply, voltage sensor, arduino controller, and triac drivers provide good performance results. The test results of 3 phase induction motor becomes a generator type AEVBKB04R750FU currently produces a maximum output power of 260 watts, the generator voltage ranging from 230 volts to 210 volts and frequency generator ranges from 57 Hz to 56 Hz. IGC is able to work to work at maximum power of 880 watts, the maximum voltage of 600 volts, and a maximum current 4 Ampere at maximum temperature of 70° Celsius.*

Key words: IGC, induction generator, PWM, Arduino

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Permasalahan yang penting dalam suatu pembangkitan listrik adalah kestabilan tegangan, pada pembangkit yang menggunakan generator induksi akan mengalami pelonjakan tegangan saat terjadi pengurangan beban pada konsumen. Kondisi tersebut akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang ada pada konsumen karena menerima tegangan yang berlebihan (*over voltage*). Untuk mengatasi hal tersebut generator induksi membutuhkan sistem kendali beban yang dapat mengkondisikan tegangan yang stabil akibat fluktuasi beban dengan cara memindah daya yang tidak digunakan ke beban komplemen (*ballast load*).

Sistem kendali yang dibuat adalah kontroler beban yang lazim disebut IGC (*Induction Generator Controller*). Penelitian ini merancang dan membangun sebuah sistem kendali generator induksi menggunakan Arduino sebagai pengendalinya. Sistem kendali generator induksi menggunakan arduino mempunyai respon yang lebih cepat dibanding sistem kendali elektromekanik yang ada.

DASAR TEORI

Generator induksi

Generator induksi adalah motor induksi yang dioperasikan sebagai generator. Agar motor induksi dapat menjadi generator, rotor harus diberi putaran mekanis yang lebih cepat daripada kecepatan sinkronnya sehingga menghasilkan slip negatif. Arus eksitasi generator induksi didapatkan dengan memasang kapasitor eksitasi. Generator induksi biasanya diaplikasikan pada pembangkit listrik mikrohidro, turbin angin, bahkan banyak kincir angin komersial dirancang untuk beroperasi secara paralel dengan sistem listrik yang besar, memasok sebagian kecil dari keseluruhan kebutuhan listrik pelanggan. Dalam operasi tersebut, sistem daya listriknya dapat diandalkan untuk tegangan dan kontrol frekuensi, dan kapasitor statis dapat digunakan untuk koreksi faktor daya.[1]

Saat menjadi motor, apabila sumber tegangan dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan[2] :

$$n_s = \frac{120 f}{p}$$

Dengan:
ns = medan putar stator

f = frekuensi jala jala

p = jumlah kutub

Adanya rugi gesek dan panas menyebabkan putaran rotor (n_r) tidak sama dengan putaran medan statornya. Perbedaan kecepatan antara n_s dan n_r disebut slip (S) dinyatakan dalam persamaan 2 berikut:

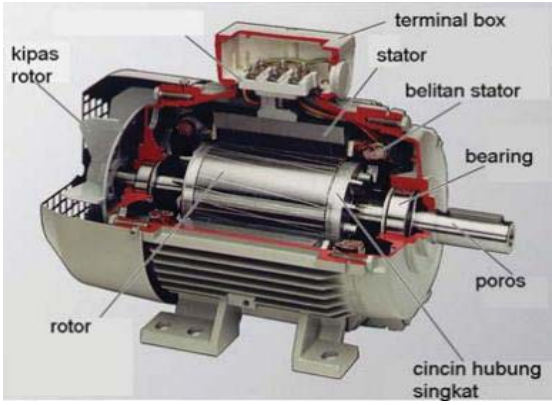
$$S = \frac{(ns - nr)}{ns} .100\%$$

Motor induksi agar dapat diubah menjadi generator induksi adalah dengan cara memutar rotor pada kecepatan diatas kecepatan medan putar statornya ($n_r > n_s$) atau dengan kata lain mesin bekerja pada slip negativ[3].

Komponen generator induksi

Generator atau motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting seperti dalam Gambar 1.

a. Stator : Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
b. Celah : Merupakan celah udara. Tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor.
b. Rotor : Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.



Gambar 1. Komponen generator induksi

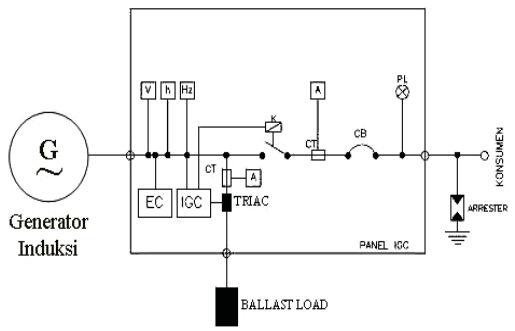
ISSN 1978-0176

Sistem kontrol stabilisasi

Sistem kontrol stabilisasi adalah sistem pengendalian kualitas output pembangkit yaitu berupa tegangan dan frekuensi agar tetap stabil terhadap fluktuasi beban konsumen. Pada generator MISG (motor induksi sebagai generator) kontrol stabilisasi biasa disebut *IGC* (*Induction Generator Controler*)[2], yaitu berfungsi untuk mempertahankan tegangan agar konstan dan frekuensi yang mendekati konstan dengan menjaga beban elektrik yang konstan pada generator. Untuk melakukannya IGC menyambungkan daya yang bukan digunakan konsumen ke beban komplemen (*ballast load*) di mana energi yang tidak digunakan oleh konsumen dibuang menjadi panas oleh *ballast load*. Sehingga daya pada generator induksi akan selalu konstan mengikuti persamaan :

$$P_{Generator} = P_{konsumen} + P_{ballastload} \quad (2.5)$$

IGC sebagai stabilitas tegangan yang dibangkitkan oleh generator induksi terukur dan dibandingkan dengan harga referensi (tegangan nominal). Kemudian jika ada perbedaan, Arduino memberikan perintah ke triac untuk membuka maupun menutup gerbang agar tegangan yang terukur sesuai dengan tegangan referensi. *Triode Alternating Current* (*TRIAC)* sebagai saklar elektronik dapat menggantikan posisi transistor untuk menyalurkan daya listrik arus bolak-balik menuju *ballast load*. Untuk memudahkan pemantauan aktivitas penggunaan daya listrik konsumen maupun memantau pengendalian kualitas generator, IGC dilengkapi dengan alat ukur listrik berupa ampere meter, volt meter, frekuensi meter dan *hour* meter. Skema IGC dengan TRIAC dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Skema IGC menggunakan TRIAC

Detektor tegangan

Detektor tegangan adalah suatu alat atau sensor untuk mendeteksi perubahan tegangan yang terjadi pada terminal output generator induksi. Sensor tegangan yang akan digunakan adalah sensor yang dapat membaca tegangan AC generator dan selanjutnya akan mengkonversinya sebagai output sensor berupa tegangan DC dengan kisaran 0-5 VDC. Tegangan output sensor tersebut selanjutnya menjadi data input untuk diolah oleh arduino sebagai masukan analog. Sensor tegangan yang akan dirancang bangun terdiri dari IC LM741 dan beberapa resistor sebagai pengatur tegangannya.

Tegangan referensi

Tegangan referensi adalah tegangan yang dijadikan acuan untuk dibandingkan dengan tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan AC. Besarnya nilai tegangan referensi bergantung pada nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan pada kondisi tegangan generator stabil. Misalnya generator induksi diasumsikan stabil apabila mengeluarkan tegangan 220 VAC, apabila sensor tegangan mendeteksi tegangan generator 220 VAC dan mengeluarkan output sebesar 2 VDC, maka tegangan sebesar 2 VDC tersebut dikonversi kedalam bilangan desimal dengan tipe *float* pada saat memprogram arduino uno, yang selanjutnya dibandingkan dengan tegangan output sensor tegangan dengan bantuan arduino uno. Besarnya selisih antara tegangan referensi dan tegangan terbaca disebut error,yang selanjutnya berguna untuk menentukan lebar pulsa yang digunakan untuk memicu triac.

Arduino uno

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik **open source** yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai 'otak' yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.

ISSN 1978-0176

Mikrokontroler juga dipakai untuk keperluan mengendalikan robot. Baik robot mainan, maupun robot industri. Karena komponen utama Arduino adalah mikrokontroler, maka Arduino (Gambar 3) dapat diprogram menggunakan komputer sesuai kebutuhan.



Gambar 3. Hardware arduino uno.[4]

Arduino dapat mengenali lingkungan sekitarnya melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengendalikan lampu, motor, dan berbagai jenis aktuator lainnya. Arduino mempunyai banyak jenis, di antaranya Arduino Uno, Arduino Mega 2560, Arduino Fio, dan lainnya. (www.arduino.cc). Arduino uno adalah sebuah board mikrokontroller yang berbasis ATmega328. Arduino uno memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu men-*support* mikrokontroller, dan dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB.

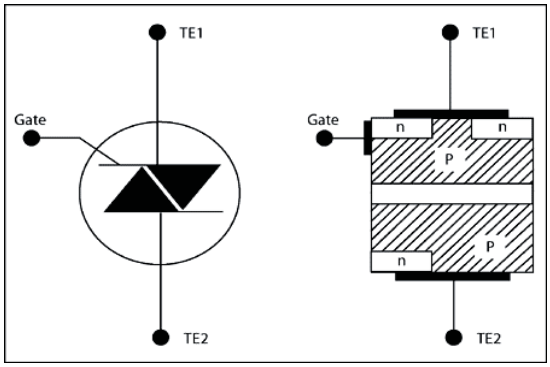
Bahasa C

Salah satu bahasa pemrograman yang dikembangkan atau digunakan dunia pendidikan adalah bahasa C dengan struktur dan kemudahan yang dimilikinya[(5)]. Perkembangan bahasa pemrograman yang dimulai dari bahasa tingkat rendah (bahasa assembly/bahasa mesin) sampai dengan bahasa tingkat tinggi (salah satunya bahasa C). Bagi mikrokontroller bahasa assembly merupakan bahasa yang mudah untuk diterjemahkan bagi prosesornya, sehingga dikatakan sebagai bahasa tingkat rendah. Sedangkan bahasa tingkat tinggi merupakan bahasa yang sulit diterjemahkan oleh prosesor yang ada di dalam mikrokontroller. Pemilihan bahasa C sebagai bahasa pemrograman untuk mikrokontroller dikarenakan mudah dipahami dan diterjemahkan bagi *user* atau *programmer*.

Bahasa C memiliki struktur pemrograman yang khusus, selain itu bahasa C memiliki sifat *case sensitive* yang berarti bahwa penulisan kata/*word* program sangat sensitive dengan mendeteksi perbedaan capital tidaknya huruf yang digunakan. Satu huruf yang berbeda pada satu kata yang diulang, menyebabkan *software* tidak akan bisa men-*compile* seluruh program yang dibuat.

Triac

Triac adalah saklar triode untuk arus bolak-balik. Triac merupakan sub-jenis dari thyristor, piranti berbahan silikon yang umum digunakan sebagai saklar elektronik, disamping transistor dan FET. Triac sebenarnya adalah gabungan dari dua buah SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) atau Thyristor yang dirancang anti paralel dengan 1 buah elektroda gerbang yang menyatu. Triac biasa digunakan untuk mengatur daya dengan memberikan kontrol gelombang penuh. Hal ini memungkinkan tegangan yang akan dikendalikan antara nol hingga tegangan penuh. Triac (Gambar 4.) menyediakan berbagai kontrol yang lebih luas dalam sirkuit AC tanpa perlu komponen tambahan , misalnya rectifier jembatan, dll.



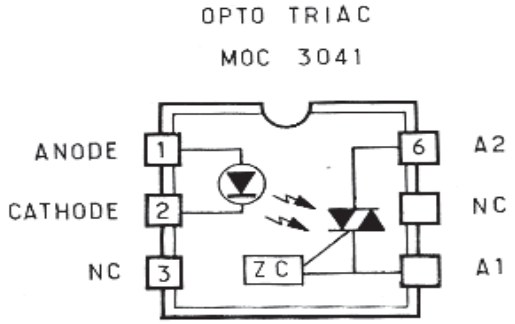
Gambar 4. Simbol dari triac

Optotriac

Prinsip kerja Optotriac adalah memanfaatkan masukan dengan arus yang kecil untuk menghidupkan LED di dalam kemasan IC tersebut yang akan menyulut triac yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat melewatkan arus bolak balik, keluaran optotriac inilah yang akan berhubungan langsung dengan

ISSN 1978-0176

sumber tegangan AC pada beban yang akan dikendalikan. Gambar rangkaian terpadu MOC3041 terlihat pada Gambar 5 :



Gambar 5. Optotriac MOC 3041

Optotriac tipe MOC 3041 ini dilengkapi dengan rangkaian detektor pelintas nol (Zero Crossing Detector) yang mampu membuat optotriac ini mulai akan konduksi pada saat siklus tegangan masukannya pada nol. Hal ini akan mencegah terjadinya lonjakan arus yang besar secara tiba-tiba pada beban yang dikendalikan. Keuntungan dengan menggunakan IC ini adalah lebih terjaminnya keamanan rangkaian pengendali dari hubungan langsung terhadap tegangan jala-jala PLN. Hal ini dikarenakan terpisahnya aliran arus antara beban pengendali dengan penggunaan optotriac. Optotriac MOC3041 bekerja pada level tegangan ac antara 200-400 Vac dengan tegangan masukan pada LED 2,3 VDC sedangkan arus kerjanya 200 mA.

Ballast load

Ballast load sebagai beban penyeimbang agar generator tidak mengalami gangguan *over speed* disebabkan karena tidak adanya beban, yang dapat menyebabkan kerusakan mekanik seperti *bearing*, kopling, puli maupun sabuknya. Oleh karena itu diperlukan penyeimbang beban berupa *ballast load* atau beban tiruan[6]. *Ballast load* ini bekerja berdasarkan kontrol dari IGC, dan *ballast load* yang direncanakan menggunakan lampu pijar.

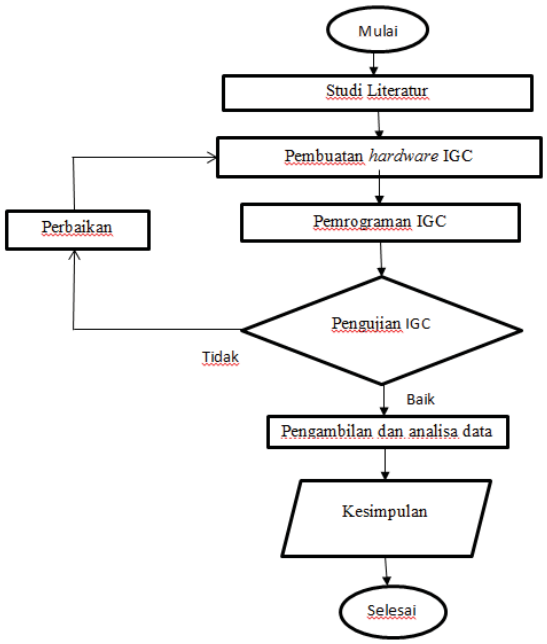
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari langkah langkah seperti berikut:

a. Mempelajari literatur untuk mempersiapkan dan merencanakan sistem kendali generator induksi yang akan dibuat meliputi sensor tegangan AC, driver triac dan kendali triac.
b. Perancangan dan pembuatan perangkat keras sistem kendali IGC yang meliputi : mendesain dan membuat power supply , driver IGC menggunakan *software* Eagle 5.9.0 dan menrakitnya pada papan PCB; mengkalibrasi sensor dengan masukan AC agar bisa ditentukan berapa besar tegangan referensi yang akan digunakan sebagai pembanding tegangan dari generator; merancang bangun instrumen driver triac yang terdiri dari Optotriac tipe MOC 3041 dan beberapa komponen lain dengan bantuan *software* Eagle 5.9.0 untuk menggambar skematik rangkaiannya, kemudian driver triac diuji agar bisa menentukan pengaturan PWM pada arduino.
c. Membuat listing program untuk instrumen sensor tegangan dan driver triac yang dibuat pada software arduino IDE. Setelah listing program berjalan sesuai rencana, kemudian program tersebut di *download* ke arduino dengan bantuan software arduino IDE.
d. Evaluasi program dan kerja dari keseluruhan sistem kendali generator induksi yang meliputi sensor tegangan AC, tegangan referensi, driver triac, dan triac, dengan mengalirkan tegangan AC bervariasi (melakukan pengujian tanpa generator induksi)
e. Apabila pengujian tanpa generator induksi belum berjalan sesuai yang diinginkan, maka listing program dibuat ulang dengan memperbaiki bagian yang kurang sesuai dan didownload lagi seperti pada langkah c sampai langkah d diatas. Apabila pengujian tanpa generator induksi sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka sistem IGC siap diuji dengan generator induksi.
f. Melakukan pengujian generator induksi menggunakan IGC yang telah dibuat, serta membandingkannya dengan pengujian tanpa IGC .
g. Mencatat parameter-parameter pengujian pada pengujian generator induksi berbeban meliputi tegangan output generator, tegangan output sensor tegangan AC, arus pada beban konsumen, arus pada beban komplemen, dan frekuensi generator.
h. Membuat kesimpulan.

Adapun Gambar 6 berikut menunjukkan diagram alir penelitian secara keseluruhan:

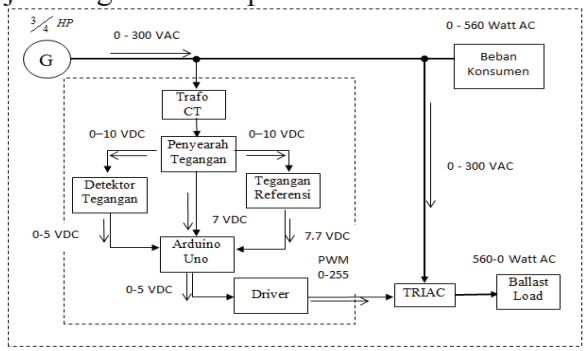
ISSN 1978-0176



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Perancangan *Induction Generator Controller*

Perancangan IGC terdiri dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang terdiri dari *power supply*, sensor tegangan, driver triac. Sedangkan untuk perangkat lunaknya berupa pemrograman arduino uno pada software arduino IDE. Skema IGC yang dibuat secara jelas digambarkan pada Gambar 7.

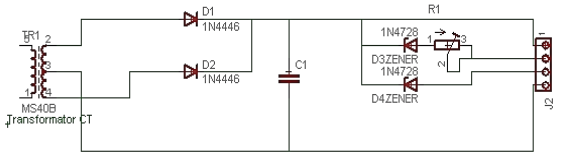


Gambar 7. Skema perancangan IGC dengan arduino

Awalnya tegangan dari generator mensuplai beban konsumen dan masuk ke rangkaian IGC. Tegangan dari generator masuk ke lilitan primer transformator step down, dan keluarannya disearahkan terlebih dahulu dengan rangkaian penyearah tegangan. Keluaran dari penyearah sudah dalam tegangan DC, kemudian tegangan DC ini masuk ke detektor tegangan untuk dibaca besaran tegangannya. Detektor tegangan berfungsi untuk membaca besar tegangan dari generator. Kemudian keluaran dari sensor tegangan ini masuk ke pin analog arduino, yang selanjutnya dibandingkan dengan besarnya tegangan referensi. Selisih antara nilai pembacaan sensor dan tegangan referensi disebut error. Error inilah yang menentukan besarnya pulsa yang dikeluarkan oleh arduino untuk memicu triac. Pemicuan triac ini berfungsi untuk mengalirkan daya ke beban komplemen. Semakin besar nilai error yang dibaca oleh arduino, maka semakin besar pula daya yang dialirkan ke beban komplemen untuk mengembalikan tegangan generator pada tegangan nominal.

Pembuatan *power supply*

Power supply tegangan variable dan keluaran 5 volt digunakan untuk menyuplai keperluan daya dari sistem IGC dan arduino. Tegangan variable dari power supply besarnya berbanding lurus dengan tegangan keluaran generator induksi. Tegangan variable ini nantinya akan masuk ke sensor tegangan dan dibaca oleh sensor tegangan. Sedangkan tegangan 5 volt digunakan untuk suplai daya arduino. Arduino dapat diberi tegangan 4,5 volt sampai 12 volt. Dengan tegangan 5 volt, arduino dapat beroperasi dengan normal. Gambar 8 merupakan skematik rangkaian power supply.



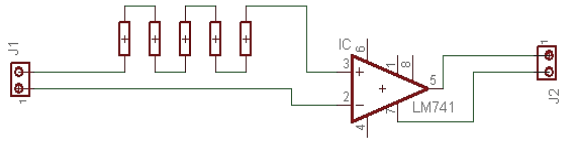
Gambar 8. Skema *power supply*

Pembuatan Detektor Tegangan

Detektor tegangan yang digunakan adalah sensor tegangan tipe LM741. Nilai masukan dan nilai keluaran detektor tegangan ditentukan terlebih dahulu sebelum menanamkan program ke arduino uno, hal ini dilakukan untuk mengetahui besarnya faktor pengali yang akan dimasukkan saat memprogram arduino uno. Detektor tegangan ini mampu membaca tegangan sampai 25 volt. Sensor tegangan ini mendapat masukan dari power supply sebagai indikator tegangan generator induksi. Sedangkan keluarannya sebesar 0-5 volt yang selanjutnya masuk ke pin analog arduino uno. Tegangan keluaran dari sensor tegangan tidak

ISSN 1978-0176

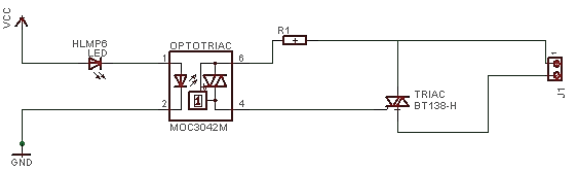
membahayakan arduino, karena pin analog arduino mampu membaca tegangan 0 – vcc. Besar tegangan VCC pada arduino sebesar 4,5 – 5,5 volt. Gambar 9. merupakan skematik sensor tegangan tipe LM741. Keluaran sensor tegangan ini dihubungkan ke pin A0 pada arduino uno.



Gambar 9. Skema sensor tegangan tipe LM741.

Pembuatan driver triac

Mengendalikan beban tegangan AC dengan arduino tidak dapat dilakukan secara langsung karena akan membahayakan device arduino jika langsung terhubung dengan tegangan AC. Maka dari itu, perlu dibuat sebuah driver triac yang dapat menjadi antar muka (interface) antara arduino dengan tegangan AC. Rangkaian driver triac ini memanfaatkan optocoupler MOC 3041. Optocoupler MOC 3041 memungkinkan untuk mengendalikan triac dengan arduino tanpa adanya hubungan konduksi secara langsung. Triac yang digunakan adalah tipe BT 138-H dengan karakteristik daya maksimal 880 watt, tegangan maksimal 600 volt, dan arus maksimal 4 Ampere pada suhu maksimal 70°C. Skematik rangkaian driver triac menggunakan optocoupler MOC 3041 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema driver triac.

Pembuatan program arduino

Pembuatan program arduino uno dilakukan menggunakan software arduino IDE. Berikut pada Gambar 11 merupakan listing program arduino lengkap yang dibuat menggunakan software arduino IDE.

```
float KP=0.26;  //Tipe data yang digunakan adalah tipe float
float TI=1.001; //menentukan nilai TI pada control Integral
float TD=0.012;  //menentukan nilai TD pada kontrol derivative
float error_sblmI=0;
float error_sblmD=0;
float outPID;
float set_point=220;
float Tc=0.01;
float error;
float errorI;
float errorD;
float outP;
float outI;
float outD;
float Kp  =  0.026; //menentukan nilai konstanta proporsional pada kontrol //proporsional
float Ki  =  1.001;
float Kd  =  0.012;
int baca_sensor;   //Tipe data yang digunakan adalah tipe integer
float nilai_sensor;
float data=0;
// void setup adalah program yang hanya dijalankan sekali
void setup() {
pinMode(3,OUTPUT);  //pin 3 digunakan sebagai output membangkitkan PWM
Serial.begin(9600);
Serial.println("Induction Generator Controller");
Serial.println("Voltage: ");
Serial.print("V");
outPID=0; // Pertama kali besar pwm adalah 0
}
// void loop adalah program yang dijalankan berulang ulang (looping)
void loop() {
float temp;
baca_sensor=analogRead(0);  //membaca detektor tegangan yang masuk ke pin  //analog (0) pada arduino
temp=baca_sensor/4.092;  //faktor konversi sensor dr bit ke tegangan
nilai_sensor=(temp/10)*29;  //nilai sensor dikalikan faktor kali detektor tegangan
Serial.print(nilai_sensor);
Serial.print("  ");
 //kendali proporsional
error=set_point-nilai_sensor;
outP=Kp*error;
//kendali integral
errorI=error+error_sblmI;
outI=Ki*errorI*Tc;
```

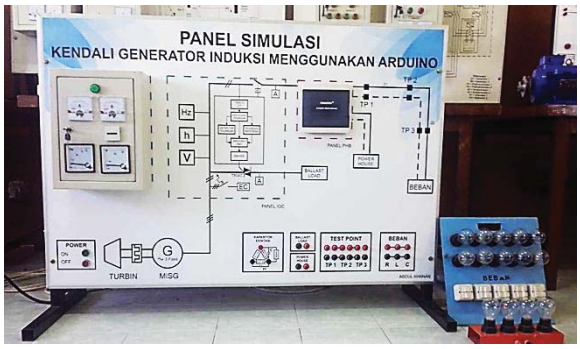
ISSN 1978-0176

```
//error_sblmI=errorI;
//kendali Deferensial
errorD=error-error_sblmI;
outD=(Kd*errorD)/Tc;
//error_sblmD=error;
error_sblmI=error;
//program PID adalah gabungan dari kontroler
proportional, integral, dan derivative
outPID=outP+outI+outD;
data = data - outPID;
if(data>255) data=255;
if(data<0) data=0;
analogWrite (3,data);  //pin 3 mengeluarkan
pwm
Serial.println(data);
delay (10); //waktu tunda 10 milisekon
}
```

Gambar 11. Listing program arduino.

Pembuatan panel pengujian

Panel pengujian IGC dibuat untuk memudahkan mengistalasi IGC dengan generator induksi. Panel pengujian (panel simulasi kendali generator induksi menggunakan arduino) digunakan sebagai modul praktikum di laboratorium listrik arus kuat STTN BATAN Yogyakarta (Gambar 12.).



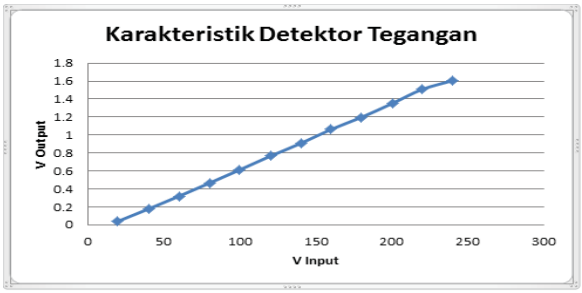
Gambar 12. Panel pengujian IGC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini dilakukan pengujian yang terdiri dari hasil pengujian detektor tegangan, pengujian generator tanpa IGC, dan pengujian generator dengan IGC.

Pengujian detektor tegangan

Pada pengujian detektor tegangan, didapatkan karakteristik detektor tegangan (Gambar 13). Dari grafik tersebut, output sensor tegangan naik seiring kenaikan input tegangan AC. Saat tegangan input 240 VAC, output sensor yang masuk ke pin analog arduino sebesar 1.6 volt. Jika tegangan dari generator naik sampai maksimum 300 volt, maka diasumsikan tegangan yang masuk ke pin analog arduino uno sebesar 2 volt. Dari pengujian ini dapat diasumsikan bahwa tegangan output sensor tegangan tidak membahayakan arduino uno karena pin analog arduino dapat membaca tegangan dari 0 – vcc. Besar vcc arduino sebesar 4.5 – 5.5 volt.



Gambar 13. Karakteristik detektor tegangan

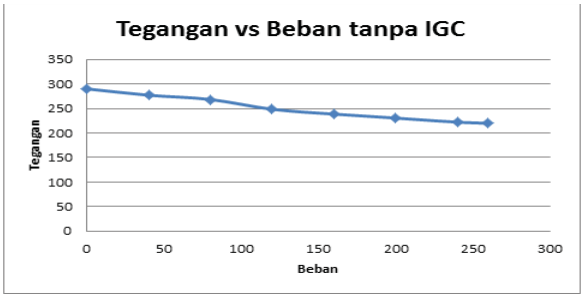
Karakteristik sensor tegangan ini berfungsi untuk menentukan besarnya tegangan referensi yang dipakai dalam membuat program pada arduino uno. Tegangan nominal generator yang ingin dicapai dalam penerapan sistem kendali ini adalah sebesar 220 volt, sedangkan tegangan yang detektor pada saat tegangan generator 220 volt adalah 7,7 volt DC dan besarnya tegangan keluaran dari sensornya sebesar 1.508 volt. Sehingga tegangan referensi pada sistem kontrol ini untuk tegangan 220 volt AC adalah sebesar 7.7 volt DC. Tegangan referensi tersebut digunakan untuk menentukan besarnya error yang terjadi pada sistem. Error adalah besarnya selisih antara tegangan terbaca dengan tegangan referensi. Besarnya tegangan keluaran generator berbanding lurus dengan besar pembacaan detektor tegangan. Semakin besar tegangan terbaca pada sistem, maka semakin besar pula error yang terjadi pada sistem. Sehingga dengan algoritma program, arduino uno dapat menentukan besarnya pwm yang harus dikeluarkan untuk memicu triac dan memodulasi lebar pulsa untuk memberikan aliran daya ke *ballast load*.

Pengujian generator induksi tanpa IGC

Pengujian generator dilakukan menggunakan MISG 3 fasa type AEVBKB04R750FU yang diubah menjadi generator induksi 1 fasa. Dari hasil pengujian

ISSN 1978-0176

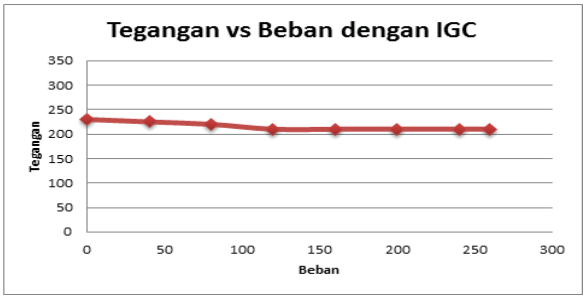
didapatkan karakteristik berbeban generator induksi seperti ditunjukkan pada gambar 14. Pada keadaan tanpa beban tegangan generator mencapai 290 volt, namun saat beban penuh (260 watt) turun hingga 220 volt. Sehingga rentang tegangan saat tanpa beban dan berbeban penuh generator tanpa IGC sebesar 70 volt .



Gambar 14. Karakteristik berbeban generator induksi.

Pengujian generator induksi menggunakan IGC

Pengujian IGC terhadap generator induksi berbeban didapatkan karakteristik IGC terhadap fluktuasi beban generator. Dengan variasi pembebanan yang sama seperti pengujian sebelumnya, yaitu dari 0 hingga maksimum 260 watt dengan interval 40 watt, pada saat tanpa beban tegangan generator sebesar 230 volt dan saat diberi beban penuh (260 watt) tegangan generator mengalami sedikit penurunan yaitu sebesar 210 volt. Seperti terlihat pada Gambar 15, IGC melakukan tugasnya menjaga kestabilan tegangan generator dengan rentang tegangan saat tanpa beban hingga berbeban penuh sebesar 20 volt.

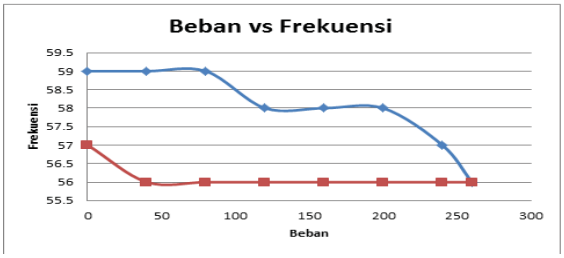


Gambar 15. Karakteristik IGC terhadap fluktuasi beban generator.

Analisa tegangan dan frekuensi terhadap fluktuasi beban

Sistem kontrol generator induksi melakukan pengaturan kestabilan tegangan dengan mengalirkan beban yang tidak terpakai ke ballast load. Menurut keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 063.K / 0594 / DIR / 1995 tentang tegangan-tegangan standar pada pasal 4, variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimal + 5% dan -10% dari tegangan nominal (antara 198 volt sampai 231 volt). Oleh karena itu unjuk kerja IGC yang diuji dapat dikatakan memenuhi syarat tegangan pelayanan karena fluktuasi tegangan generator dengan pengendali IGC hanya berkisar antara 210 - 230 volt.

Pengamatan juga dilakukan terhadap frekuensi generator, frekuensi generator cenderung lebih konstan terhadap perubahan beban saat menggunakan IGC dengan nilai frekuensi 56 Hz sampai 57 Hz. Padahal saat tanpa IGC, frekuensi generator berkisar antara 56 Hz sampai 59 Hz. (Gambar 16).



Gambar 16. Grafik frekuensi generator vs beban

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), standar frekuensi ditetapkan sebesar 50 Hz dengan rentang toleransi antara 47.5 Hz sampai 60 Hz. Berdasarkan Gambar 13 diatas, frekuensi generator menggunakan IGC masih dalam rentang batas toleransi yang diperbolehkan. Selain itu pada kondisi putaran tinggi (*overspeed*) akibat generator dioperasikan tanpa beban, dapat menyebabkan kerusakan pada poros generator, dengan digunakannya IGC hal tersebut dapat dihindari.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

ISSN 1978-0176

1. Sistem kendali generator induksi menggunakan arduino (IGC) bekerja dengan baik saat diuji menggunakan MISG tipe AEVBKB04R750FU daya 260 watt dengan kestabilan tegangan antara 230-210 volt, serta kestabilan frekuensi antara 57-56 Hz.
2. Sesuai karakteristik triac yang digunakan (BT 138-H), IGC dapat digunakan pada batas tegangan maksimum generator 600 volt, arus maksimum 4 ampere, dan pada suhu maksimum 70° C.

SARAN

1. Untuk pengendalian generator induksi dengan daya yang lebih besar, triac yang digunakan harus diganti sesuai dengan daya generator yang digunakan.
2. Untuk menghindari kerusakan pada *Induction Generator Controller* (IGC) terhadap arus lebih perlu diberi pengaman pembatas arus yang sesuai dengan kapasitas generator dan beban konsumen

DAFTAR PUSTAKA

[1] Chapman, Stephan J., "Electric Machinery Fundamentals",Edisi ke-4,McGraw-Hill, New York, 2005.

[2] Zuhal,. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*". Gramedia Jakarta, 1988.

[3] Isnaeni, "Motor Induksi Sebagai Generator (MISG)", *Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan*, Teknik Elektro Fakultas Teknik - Universitas Diponegoro. 2005.

[4] Budiarso, Z., "Rekayasa Sistem Kendali Generator Sinyal XR-2206 Berbasis Arduino UNO R3", Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume 19 No.2, pp.101-111, 2014

[5] Bejo, A., "C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroller ATMega8535", Edisi I, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2008

[6] Sujatno, "Analisis Sistem Kendali Beban Elektronik (ELC) sebagai Stabilisasi Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler", Seminar Nasional VIII SDM Teknologi Nuklir, STTN – BATAN, Yogyakarta, 2013.

TANYA DAN JAWAB

Pertanyaan

1. IGC menggunakan Arduino apakah merupakan stabilizer?
2. Dapatkah sistem diterapkan pada genset untuk catu daya reaktor?

Jawaban

1. Benar, IGC merupakan stabilizer atau sistem kendali untuk menstabilkan tegangan generator induksi.
2. Sistem tersebut (IGC) dapat diterapkan pada genset yang memakai generator induksi, namun biasanya genset menggunakan generator sinkron sehingga sistem kendali yang digunakan untuk genset adalah AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN GENERATOR INDUKSI 1 FASA MENGGUNAKAN MOTOR INDUKSI 3 FASA

Agus Purbhadi[1], Suyatno[2], Ahsanu Qoulan[3]

Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia.[123)]
E-mail : aguspurbhadi@gmail.com[1)]
ontayus@yahoo.com[2)]
karguzari@yahoo.com[3)]

ABSTRAK

RANCANG BANGUN GENERATOR INDUKSI 1 FASA MENGGUNAKAN MOTOR INDUKSI 3 FASA. Simulator pembangkit listrik di STTN membutuhkan generator 1 fasa untuk menghasilkan tenaga listrik. Pada penelitian ini generator 1 fasa dibuat menggunakan motor induksi 3 fasa. Untuk merubah motor induksi 3 fasa menjadi generator 1 fasa diperlukan eksitasi berupa kapasitor dengan hubungan C-2C, rotor diputar melebihi kecepatan sinkronnya, dan lilitan medan stator dihubung secara delta. Generator induksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor induksi 3 fasa dengan daya sebesar 0,55 kW, 1405 rpm, 220/380 V, 50 Hz, dan Cos φ 0,74, dan untuk menstabilkan tegangan keluaran generator digunakan Induction Generator Controller (IGC). Dari hasil perhitungan, pada putaran generator minimum sebesar 1600 rpm, diperoleh nilai kapasitor C-2C yang digunakan sebesar 18μF. Hasil pengujian generator induksi menggunakan penggerak motor listrik, diperoleh daya listrik maksimal sebesar 306,68 watt, efisiensi sebesar 62,78%, dan IGC memberikan kestabilan tegangan rata-rata pada 215,55 volt, dan frekuensi rata-rata 56,11 Hz. Pengujian menggunakan simulator pembangkit listrik dengan turbin open flume dengan head 3 meter menghasilkan daya rata-rata 60,93 watt, pada debit air rata-rata 5,29 liter/detik.

Kata kunci: generator induksi 1 fasa, turbin open flume, IGC

ABSTRACT

DESIGN 1-PHASE INDUCTION GENERATOR USING THE 3-PHASE INDUCTION MOTOR. *Simulator power plant in STTN requires 1 phase generator to produce electricity. In this research 1-phase generator is made using a 3-phase induction motor. To change the 3-phase induction motor becomes 1-phase generator required C-2C-connected excitation capacitor, the rotor is rotated beyond the synchronization speed, and the stator field windings linked by delta connection. Induction generator used in this researc is a 3-phase induction motor with a power of 0.55 kW, 1405 rpm, 220/380 V, 50 Hz, and Cos φ 0.74, and to stabilize the output voltage of the generator is used Induction Generator Controller (IGC) , From the calculation, the minimum generator rotation of 1600 rpm, the value of C-2C capacitor used by 18μF. The test results of induction generator using an electric motor, electric power obtained maximum of 306.68 watts, an efficiency of 62.78%, and the IGC provide average voltage stability at 215.55 volts, and the average frequency of 56.11 Hz. Tests using power plant simulator with open flume turbine produces an average power of 60.93 watts, of the average water discharge 5.29 liter / sec and the head 3 meters.*

Key words:1-phase induksi generator, open flume turbine, IGC

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Salah satu sumber energi terbarukan yang sudah dikembangkan menjadi energi listrik adalah energi air. Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) cocok diterapkan didaerah terpencil karena selain ekonomis, teknologi PLTMh juga ramah lingkungan bila dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Untuk

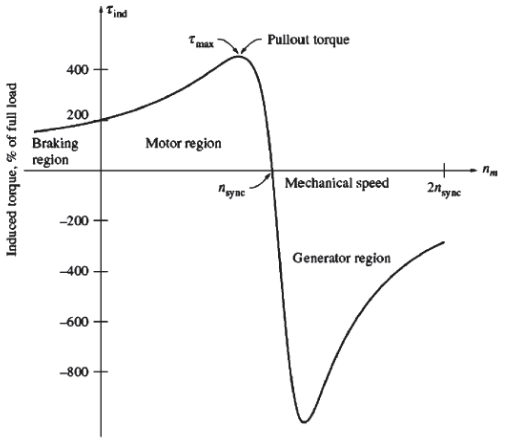
ISSN 1978-0176

pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMh) dengan skala kecil, penggunaan motor induksi sebagai generator (MISG) sangat tepat karena harga unitnya murah, konstuksinya kuat dan sederhana, mudah dalam pengoperasiannya dan memerlukan sedikit perawatan.[1]

Dalam pengoperasiannya selain memiliki beberapa kelebihan yang telah disebutkan di atas, generator induksi juga memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah setiap perubahan pembebanan akan berpengaruh terhadap keluaran generator induksi tersebut. Untuk mengatasi permasalahan itu maka diperlukan adanya sebuah sistem kontrol yang bertujuan untuk mengatur tegangan dan frekuensi hasil keluaran dari generator induksi. Simulator pembangkit listrik di STTN-BATAN Yogyakarta menggunakan MISG 3 fasa sebagai penghasil listriknya dan turbin open flume sebagai penggerak generatornya. MISG 3 fasa memiliki kelemahan harus memiliki seimbangnya beban yang harus di pikul oleh ketiga fasanya. Hal ini mengakibatkan apabila sistem tiga fasa dengan daya yang kecil akan sulit untuk mengantisipasi beban yang tidak seimbang di karenakan kenaikan daya beban yang dihubungkan pada generator induksi akan menyebabkan penurunan tegangan, kecepatan putar dan frekuensinya[2]. Pada penelitian ini akan dibuat sistem 1 fasa pada MISG 3 fasa. Keuntungan yang utama dari sistem fasa tunggal adalah sistem kontrol lebih sederhana karena hanya mengatur 1 fasa saja sehingga lebih ekonomis dari segi pembiayaan sistem kontrol dan beban komplemennya (*dummy load*).

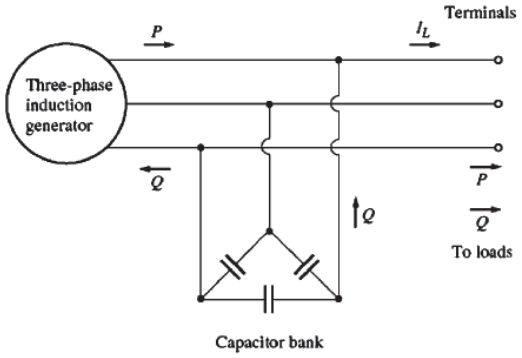
Generator Induksi

Dalam pengoperasiannya, mesin induksi akan memiliki kecepatan medan putar stator (N_S) dan kecepatan medan putar rotor (N_R), adanya perbedaan nilai antara N_S dan N_R akan menimbulkan slip (S). Apabila N_S lebih cepat dari N_R maka slip mesin induksi akan bernilai positif, begitu juga sebaliknya slip akan bernilai negatif ketika N_R lebih cepat dari N_S. Dalam kondisi slip bernilai negatif inilah mesin induksi beroperasi sebagai generator induksi (Gambar 1.).



Gambar 1 Kurva Torsi fungsi kecepatan rotor

Sebagai generator, mesin induksi memiliki kekurangan tidak dapat menghasilkan daya reaktif, bahkan mengkonsumsi daya reaktif. Sehingga untuk mempertahankan medan magnet statornya diperlukan sumber daya reaktif eksternal yang harus selalu terhubung. Sumber daya reaktif eksternal ini berupa kapasitor yang dipasang pada lilitan medan stator generator induksi [3]. Pada Gambar 2 diperlihatkan cara pemasangan kapasitor pada generator induksi penguat sendiri.



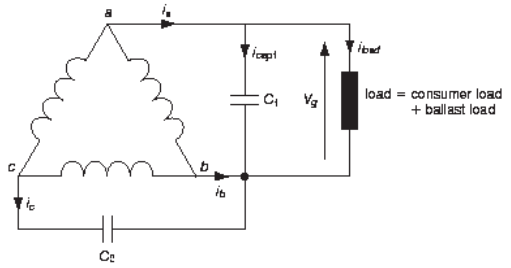
Gambar 2. Pemasangan kapasitor pada generator induksi.

ISSN 1978-0176

Motor induksi 3 fasa sebagai generator 1 fasa

Motor induksi 3 fasa agar dapat berfungsi sebagai generator, disamping slip dibuat negatif atau dengan kata lain kecepatan putar rotor (N_R) dibuat lebih besar dari kecepatan medan putar (N_S) juga dibutuhkan sumber tegangan reaktif yang bersifat kapasitip yang akan menginduksikan arus ke rotor untuk keperluan exitasi. Exitasi rotor menimbulkan medan magnet yang akan memotong belitan konduktor pada stator sehingga menghasilkan tegangan output generator.

Generator induksi tiga phasa dapat dikonversikan menjadi generator satu phasa dan menghasilkan daya sekitar 80% dari rating daya tiga phasa [4]. Untuk menkonversikannya pemasangan kapasitor generator induksi tiga phasa perlu dipasang dengan hubungan C-2C seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemasangan kapasitor hubungan C-2C.[5]

Dari gambar 3 diatas, untuk menentukan besarnya C1[6] dapat diperoleh dari persamaan (1) dan (2) berikut.

$$C_{phase} = \frac{1}{\sqrt{3}\ 2\pi f\ R_{load}} \qquad (1)$$

dimana :

$$R_{load} = \frac{U}{I_g} = \frac{U}{1{,}5\ \ I_{phase}} \qquad (2)$$

Daya keluaran maksimum ($P_{el\ g\ mak}$) dari motor induksi tiga fasa yang dioperasikan sebagai generator sistem satu fasa dapat diperkirakan melalui persamaan (3) sebagai berikut :

$$P_{el\ g\ maks} = \frac{S}{2} \qquad (3)$$

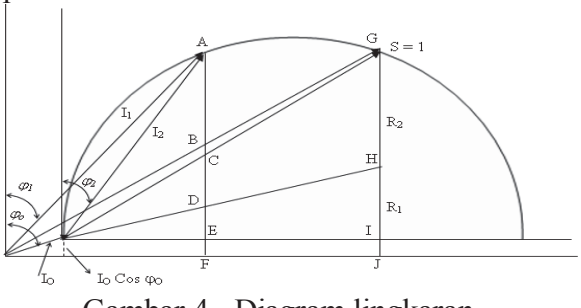
Dimana harga S (daya semu) didapat dari persamaan 4.

$$S = \sqrt{3}\ U_{line}\ I_{line} \qquad (4)$$

Dengan U_{line} dan I_{line} dari *name plate* motor induksi.

Diagram Lingkaran

Diagram lingkaran adalah suatu cara yang bisa menunjukkan unjuk kerja dari sebuah mesin induksi secara lengkap dalam semua operasi baik saat menjadi motor, generator, atau kondisi berhenti. Diagram lingkaran menyediakan informasi misalnya rugi internal (angin, tembaga, dll) yang terjadi. Sering kali motor induksi yang tertera pada *name plate* nya kurang menyajikan informasi yang kita butuhkan. Oleh karena itu dengan membuat diagram lingkaran dari pengujian tanpa beban dan blok rotor, parameter-parameter yang kita butuhkan dapat kita peroleh untuk analisis lebih lanjut. Diagram lingkaran yang menyajikani berbagai parameter yang diperlukan untuk perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4. [7]



Gambar 4. Diagram lingkaran.

IGC (Induction Generator Control)

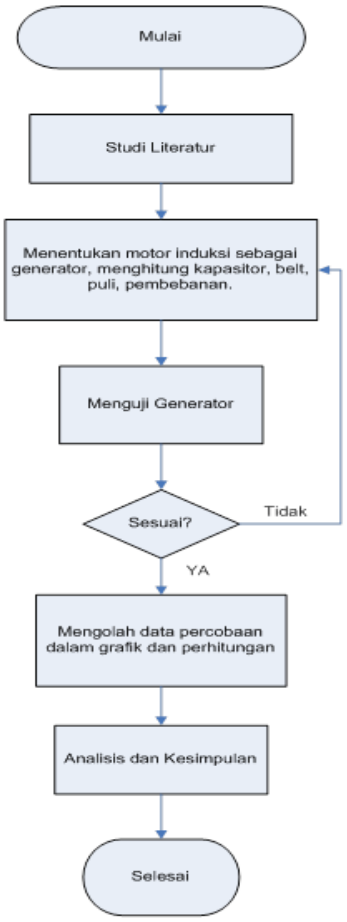
Yang dimaksud kontrol stabilisasi adalah sistem pengendalian kualitas output pembangkit yaitu berupa tegangan dan frekuensi agar tetap stabil terhadap fluktuasi

ISSN 1978-0176

beban konsumen. Pada MISG kontrol stabilisasi disebut *IGC* (*Induction Generator Controler*). Yaitu berfungsi untuk mempertahankan tegangan agar konstan dan frekuensi yang mendekati konstan dengan menjaga beban elektrik yang konstan pada generator. Untuk melakukannya IGC menyambungkan daya yang bukan digunakan konsumen ke beban komplemen (*ballast load*) di mana energi yang tidak digunakan oleh konsumen dibuang menjadi panas oleh *ballast load*. Dengan kata lain dapat dijelaskan bahwa daya generator selalu sama dengan jumlah daya yang diserap konsumen dan *ballast load*.

METODE PENELITIAN

Penelitian rancang bangun generator 1 Fasa dengan menggunakan motor induksi 3 Fasa ini dilakukan mengikuti alur diagram alir penelitian seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Data MISG yang digunakan

Motor induksi 3 fasa akan dijadikan sebagai generator 1 fasa memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Jenis Motor : Motor induksi 3 fasa 4 kutub
Merk/type : Teco Electric
Daya : 0,75 HP
Rpm : 1400 rpm
Tegangan : 220/380 volt
Arus : 2,6 / 1,5 ampere
Cos φ : 0,74
Frekuensi : 50 Hz
Hubungan : Δ / Y
Berat : 16,5 kg.

Membuat diagram lingkaran

Pembuatan diagram lingkaran dilakukan setelah melakukan pengujian terhadap motor induksi 3 Fasa yang akan dijadikan sebagai Generator 1 Fasa. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tanpa beban dan berbeban. Seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 hasil pengujian

No	Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Pf	Θ
1	Tanpa beban	380 V	0,86	0,12	83,10°
2	Blok rotor	100 V	1,72	0,7	45,57°

Dari hasil analisa diagram lingkaran didapatkan nilai sebagai berikut :

P_n motor = 490,76 watt
η_m = 72,97 %
$Cos\ \varphi_m$ = 0,78
Dimana:
P_n = Daya out put mekanik motor,
η_m = Efisiensi motor (%)
$Cos\ \varphi_m$ = Faktor daya motor.

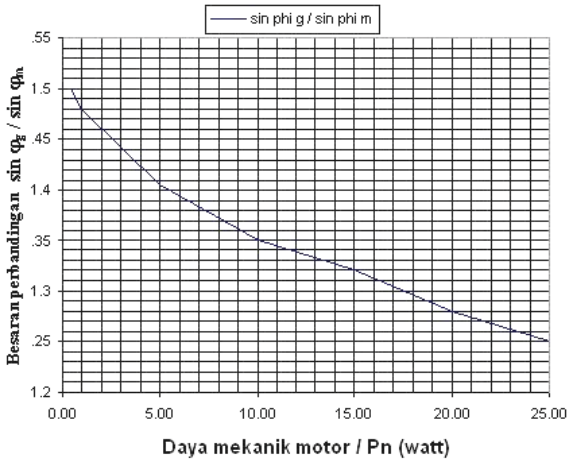
Menghitung kapasitor

Berikut tahap-tahap penghitungan kapasitor :

1. Dari grafik $sin\varphi\ g$ / $sin\ \varphi\ m$ (Gambar 6) didapatkan data besar perbandingan $sin\varphi\ g$

ISSN 1978-0176

/ *sin φ m* = 1,495 (untuk motor berdaya 0,55 kW).



Gambar 6. Grafik penentuan faktor daya generator.[6]

2. Menentukan faktor daya saat menjadi generator.
   $Cos\ \varphi_m$ = 0,78 maka ,
   $Sin\ \varphi_m$ = sin (arc Cos φ_m)
   = 0,625
   $Sin\ Cos\ \varphi_g$ = 0,625 × 1,495
   = 0,934
   φ_g = *arc sin* 0,934 φ_g = 69,12
   $Cos\ \varphi_g$ = 0,356

3. Menentukan daya elektrik generator maksimum.
   $P_{el\ g\ maks}$ = (P_n/η_m) × ($Cos\ \varphi_g$ / $Cos\ \varphi_m$)
   = 306,68 W
4. Menentukan daya penggerak generator maksimum.
   $P_{mek\ g\ maks}$ = $P_{el\ g\ maks}$ + P_n × (1 / η_m -1)
   = 488,47 W
   = 0,65 pk
5. Menentukan effisiensi generator
   Eff_g = $\frac{306,68}{488,47}$ × 100 % = 62,78 %
6. Menentukan daya reaktif yang dibutuhkan generator.
   Q_g = *tan arc (Cos* φ_g*)* × $P_{el\ g\ maks}$
   = 805,02 VAR
7. Kebutuhan kapasitor untuk faktor daya beban generator = 1 (generator 3 fasa).
   Q_g = $3U^2 2\Pi fC$
   $C_{eks\Delta}$ = $\frac{Qg}{3U^2 2\Pi fC} = \frac{805,02}{3\times380^2\times2\times3,14\times50}$
   = $\frac{805,02}{136024800}$ = 5,918 × 10^{-6} F
   = 5,918 µF antar fasa.

8. Menentukan kapasitor hubungan C2C agar generator menjadi 1 fasa.
   C_{phase} = $\frac{1}{\sqrt{3}\ 2\ \pi f Rload}$
   R_{load} = $\frac{U}{Ig} = \frac{U}{1,5\ Iphase}$
   = $\frac{220^2}{1,5\times306,68}$ = 105,21 ohm
   C_{phase} = $\frac{1}{\sqrt{3}\times2\times3,14\times50\times105,21}$
   = 17,47 µF
   ≈18 µF
   Sehingga untuk bagian 2C, nilai kapasitor adalah:

   2C = 2 × 18 μF
   = 36 μF

Menghitung transmisi sabuk dan puli yang diperlukan.

1. Menentukan putaran generator.
   n_r = 1400 rpm
   n_s = 1500 rpm
   Slip = $n_s - n_r$ = 1500 – 1400
   = 100 rpm
   n_g = $n_s + S$ = 1500 + 100
   = 1600 rpm

2. Menentukan diameter puli generator dan penggerak.
   Apabila puli generator yang terpasang adalah 4 inch dan putaran slip generator 1600 rpm sehingga diameter puli penggerak adalah :
   $ng \times \Phi g$ = $np \times \Phi p$
   Φp = $\frac{6400}{1400}$
   Φp = 4,57 inci
   ≈ 4,6 inci
3. Menentukan panjang sabuk (V-Belt).
   Persamaan yang digunakan untuk menghitung panjang belt adalah :

$$L = \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + 2C + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4C}$$

Diketahui
d_1 = 4 inci sehingga r = 2 inci
d_2 = 4,6 inci sehingga r = 2,3 inci
R total = $r_1 + r_2$
R total = 2 inci + 2,3 inci = 4,3 inci

ISSN 1978-0176

Jarak ke dua sisi puli minimal 5 inci sehingga jarak poros ke poros total adalah 4,3 inci + 5 inci = 9,3 inci.

Sabuk yang digunakan tipe B dengan jarak poros (C) 9,3 inci sehingga panjang sabuk (L) adalah :

$$L = \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + 2C + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4C}$$
$$= 32,19 \text{ inci}$$

Pengujian Generator

Pada saat pengujian, generator di beri beban bervariasi berupa lampu pijar. Dan sebagai pengendali stabilitas tegangan generator digunakan alat bantu pengontrol beban yaitu *IGC* dan ballast load.

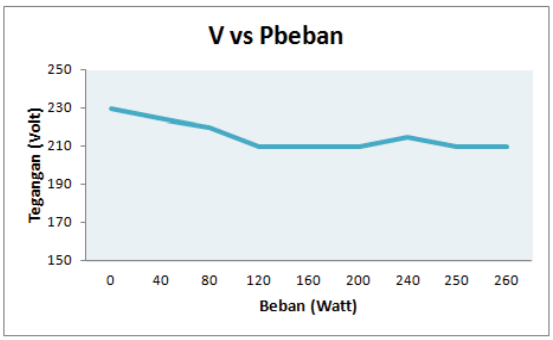
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian generator dengan variasi beban lampu pijar dan IGC, didapatkan hasil pengujian seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian generator dengan IGC

No	Tegangan (Volt)	I (Ampere)	Cos φ	Beban (V x I x Cos φ) (W)	Frekuensi (Hz)
1	230	0	0,999	0	56
2	225	0,14	0,999	31,46	56
3	220	0,29	0,999	63,73	56
4	210	0,66	0,999	138,46	56
5	210	0,84	0,999	176,22	57
6	210	0,99	0,999	207,69	56
7	215	1,17	0,999	245,45	56
8	210	1,19	0,999	249,65	56
9	210	1,33	0,999	279,02	56

Dari data tabel 2 dibuat grafik antara tegangan vs beban seperti Gambar 7.



Gambar 7. Grafik pengujian generator berbeban dengan IGC.

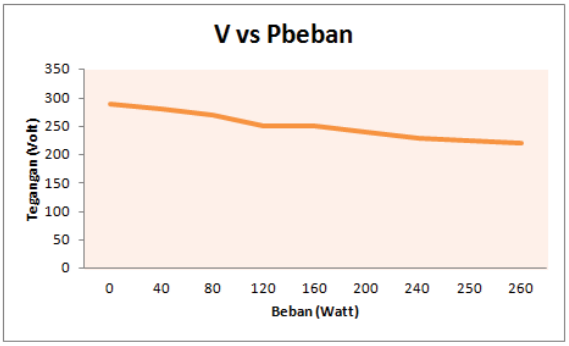
Pada pengujian generator digunakan variasi beban lampu pijar dengan daya mulai 0 – 300 watt. Dari grafik terlihat bahwa relatif stabil dengan tegangan generator berkisar antara 210 - 230 volt dan frekuensi rata rata 56,11 hz.

Tabel 3. Hasil pengujian Generator tanpa IGC

No	Tegangan (Volt)	I (Ampere)	Cos φ	Beban (V x I x Cos φ) (W)	Frekuensi (Hz)
1	290	0	0,999	0	59
2	280	0,16	0,999	44,75	59
3	270	0,33	0,999	89,01	59
4	250	0,76	0,999	189,81	58
5	250	0,92	0,999	229,77	58
6	240	1,07	0,999	256,54	58
7	230	1,21	0,999	278,02	57
8	225	1,30	0,999	292,20	57
9	220	1,38	0,999	303,29	56

Dari data Tabel 3 dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara tegangan dengan variasi beban tanpa menggunakan IGC.

.



Gambar 8. Grafik pengujian tegangan vs beban tanpa IGC

Pengujian yang dilakukan pada prinsipnya sama seperti pengujian dengan IGC. Pada pengujian tanpa IGC terlihat bahwa pada saat tanpa beban tegangan generator tinggi pada 290 volt, dan akan turun seiring pertambahan beban hingga pada saat beban maksimal, tegangan generator sebesar 220 volt. Sehingga selisih rentang tegangan sangat besar yaitu 70 volt. Namun dengan IGC tegangan generator relatif stabil pada tegangan rata-rata 215,55 volt.

ISSN 1978-0176

Pada saat dilakukan pengujian generator pada simulator pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH), didapat hasil pengujian seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data pengujian generator pada simulator PLTMH.

No	I	F (Hz)	V	Beban	Rpm
1	0,22 A	53	190	41,8 W	1920
2	0,42 A	51	125	52,5 W	1980
3	0,59 A	55	150	88,5 W	2300

Dari data pengujian generator pada simulator PLTMH menggunakan turbin *open flume* dengan head 3 meter menghasilkan daya rata-rata 60,93 watt, pada debit air rata-rata 5,29 liter/detik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian rancang bangun generator 1 fasa menggunakan motor induksi 3 fasa berdasarkan hasil pengolahan dan pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dilakukan pembuatan Generator 1 Fasa menggunakan motor induksi 3 fasa dengan spesifikasi motor merk *Teco Electric* daya 0,75 HP, 4 *poles*, 1400 rpm yaitu dengan memasang kapasitor hubungan C-2C, dengan nilai C1 = 18 μF dan nilai C2 = 36μF.
2. Daya keluaran maksimal generator sebesar 306,68 watt, dan dengan pengendali IGC didapatkan kestabilan tegangan rata-rata 215,55 volt dan frekuensi rata-rata 56,11 Hz, dengan efisiensi generator 62,78 %.
3. Generator dapat digunakan sebagai pembangkit listrik pada simulator PLTMH dengan head 3 meter menghasilkan daya rata-rata 60,93 watt, pada debit air rata-rata 5,29 liter/detik.

SARAN

Agar daya generator dapat dimanfaatkan secara maksimal, perlu di perhitungkan kembali debit air dan ketinggian head pada simulator PLTMH. Disesuaikan dengan kebutuhan head dan debit minimum yang diperlukan turbin.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Mahalla, "Evaluasi Kinerja IMAG Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Cokro Tulung Kabupaten Klaten" Media Elektrika, Vol. 6 No. 1, Fakultas Teknik Universitas Muhmammadiyah Semarang, 2013.

[2] Supardi, A.,"Pengaruh Pembebanan terhadap Karakteristik Keluaran Generator Induksi 1 Fase" Jurnal Emitor, Vol. 14 No. 02, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering UMS, Surakarta, 2014.

[3] Chapman, S.J., "Electric Machinery Fundamentals",Edisi ke-4,McGraw-Hill, New York, 2005.

[4] Ekanayake, "Small hydro schems"; Power Engineering Journal, 2002.

[5] Smith, N., "Power Electrical Engineering', Commonwealth and Tyndall Research, Srilanka, 2001.

[6] Isnaeni, "Motor Induksi Sebagai Generator (MISG)", Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan, Teknik Elektro Fakultas Teknik - Universitas Diponegoro, 2005.

[7] Zuhal,. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*". Gramedia Jakarta, 1988.

TANYA DAN JAWAB

Pertanyaan

1. Apa keuntungannya merubah generator 3 fasa menjadi generator 1 fasa?
2. Apakah merubah generator 3 fasa menjadi generator 1 fasa yang dibutuhkan hanya menambah kapasitor?

Jawaban

1. Keuntungan merubah generator 3 fasa menjadi generator 1 fasa ditinjau sistem kontrol (IGC) yang digunakan lebih sederhana, hanya diperlukan pengaturan 1

ISSN 1978-0176

fasa saja. Sehingga dari segi pembiayaan sistem kontrol dan beban komplemen (*dummy load*) lebih ekonomis. Selain itu biasanya generator induksi diterapkan pada pembangkit kecil seperti kincir angin dan PLTMH, sehingga dengan sistem 3 fasa akan kesulitan mengatur keseimbangan bebannya. Karena bila sistem 3 fasa melayani beban yang tidak setimbang akan berpengaruh terhadap output tegangan di ketiga fasanya.

2. Benar. Untuk merubah generator induksi sistem 3 fasa menjadi sistem 1 fasa hanya diperlukan perhitungan ulang kapasitor hubungan C-2C nya. Namun kapasitas daya dan faktor kerja generator yang satu dengan yang lain berbeda, maka kebutuhan daya reaktif generator juga berbeda. Sehingga nilai kapasitor sebagai penyedia daya reaktif yang dipasang juga berbeda tergantung dari kebutuhan daya reaktif masing-masing generator.

ISSN 1978-0176

APLIKASI ISOTOP ALAM SEBAGAI STUDI INTERKONEKSI HIDRAULIK DANAU LIDO DENGAN AIRTANAH SEKITARNYA

Dessy Purbandari

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia,
dessy.purbandari@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

APLIKASI ISOTOP ALAM SEBAGAI STUDI INTERKONEKSI HIDRAULIK DANAU LIDO DENGAN AIRTANAH SEKITARNYA. Pada penelitian ini, interkoneksi hidraulik antara sumur gali dengan sumur bor dan air dari Danau Lido dilakukan menggunakan isotop lingkungan (D dan ^{18}O). Tujuan dari penelitian ini ialah untuk menyelidiki adanya keterkaitan asal-usul airtanah antara danau Lido dengan sumur penduduk yang lokasinya berdekatan dengan Danau Lido menggunakan teknologi isotop alam. Penelitian ini dilakukan karena adanya kekhawatiran dari penduduk sekitar dengan maraknya eksploitasi pariwisata di Danau Lido. Penduduk khawatir eksploitasi menyebabkan pencemaran pada Danau Lido yang berdampak pada sumber airtanah penduduk. Sampel airtanah dari empat lokasi dan air Danau Lido diambil menggunakan botol plastik sebanyak 30 ml; rasio isotop δD dan $\delta^{18}O$ pada sampel air diukur dengan *Liquid-Water Stable Isotope Analyzer* LGR-DLT-100. Komposisi isotop airtanah (δD dan $\delta^{18}O$) dari kelima sampel kemudian diplot ke koordinat garis *Local Meteoric Water Line* (LMWL) 7,55x + 8, 6475 dari Gunung Gede Pangrango, Bogor. Komposisi isotop dari sampel A berimpit atau mendekati garis LMWL Gunung Gede Pangrango. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hampir sebagian besar airtanah sampel A berasal dari air hujan lokal. Sampel-sampel yang diduga memiliki interkoneksi dengan Danau Lido kemudian disimpulkan melalui uji hipotesis *Analysis of variance* (ANOVA) pada tiap nilai rata-rata (*mean)* dari setiap masing-masing populasi deuterium dan oksigen-18. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya sampel airtanah E yang memiliki interkoneksi hidraulik dengan air Danau Lido. Sampel airtanah E diambil dari lokasi yang berjarak sekitar 310 m di sebelah utara Danau Lido.

Kata kunci: Danau Lido, isotop alam, interkoneksi hidraulik

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL ISOTOPE APPLICATION FOR STUDY OF HYDRAULIC INTERCONNECTION BETWEEN LIDO LAKE AND THE SURROUNDING GROUNDWATER. *The hydraulic interconnection between the dug wells with boreholes and Lido Lake water investigated using natural isotopes (D and ^{18}O). The aim of this research is investigate the groundwater genesis between Lido Lake with the wells of people that located near from Lido Lake using environmental isotope technology. This research is done because of feared from people around Lido Lake as the tourism exploitation. The people concern that the exploitation will cause water pollution in Lido Lake and then contaminate the water sources. The groundwater samples from four different locations and Lido Lake water taken using plastic bottles as much as 30 ml; δD and $\delta^{18}O$ isotope ratios of groundwater samples were measured using Liquid-Water Stable Isotope Analyzer LGR-DLT-100. Isotopic composition of groundwater (δD and $\delta^{18}O$) from five different samples are plotted to Local Meteoric Water Line (LMWL) 7,55x + 8, 6475 line coordinate from Gunung Gede Pangrango, Bogor. Isotopic composition from sample A approache the LMWL of Gunung Gede Pangrango. Therefore, it can conclude that most of the groundwater in sample A derived from local rainfall. Samples that are estimated have hydraulic interconnection between Lido Lake were analyzed by hypotheses testing Analysis of variance (ANOVA) for every mean from each population of deuterium and oksigen-18. The result of this research shows that only groundwater from sample E has hydraulic interconnection with Lido Lake water. Groundwater from sample E was taken from location approximately 310 m in the north of Lido Lake.*

Key words: Lido Lake, environmental isotope, hydraulic interconnection

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Kawasan Lido Bogor, Jawa Barat memiliki sebuah danau alami bernama Danau Lido yang dijadikan sebagai salah satu sentra wisata di kawasan Lido Bogor. Di area sentra wisata Danau Lido terdapat hotel dan restoran yang tepat berada di pinggir danau. Di Danau Lido juga terdapat keramba jaring apung dan wisata air.

Masifnya kegiatan pariwisata dan budidaya perikanan melalui keramba jaring apung dikhawatirkan dapat mencemari Danau Lido. Apalagi selama ini pengawasan dari pemerintah terhadap berbagai kegiatan yang ada di Danau Lido masih sangat kurang. Hal tersebut sangat mengkhawatirkan penduduk sekitar, pasalnya kebutuhan air termasuk air minum dipasok dari airtanah menggunakan sumur bor maupun sumur gali milik penduduk. Kekhawatiran tersebut menimbulkan dugaan bahwa pencemaran yang dapat terjadi pada Danau Lido akan mengalir dan ikut mencemari airtanah yang digunakan penduduk sekitar.

Interkoneksi hidraulik antara Danau Lido dengan sumber airtanah dari 5 kelurahan di sekitar Danau Lido, yaitu Kelurahan Srogol, Kelurahan Cigombong, Kelurahan Ciburuy, Kelurahan Wates Jaya dan Desa Padurenan telah diteliti oleh Horiah di tahun 2016 [1]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya terdapat dua sampel dari dua kelurahan yang memiliki interkoneksi hidraulik dengan Danau Lido yaitu sampel sumur gali dari Kelurahan Ciburury (S1) dan sampel mata air dari Desa Ciwaluh Wates Jaya (S2). Sampel S1 memiliki jarak sekitar 1,5 sampai dengan 2 km dari Danau Lido. Sampel S2 berjarak sekitar 1 km dari Danau Lido.

Namun, penelitian oleh Horiah (2016) dirasa kurang memetakan pola interkoneksi air Danau Lido dengan airtanah di sekitarnya, khususnya untuk lokasi yang berdekatan dengan Danau Lido. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai interkoneksi hidraulik antara Danau Lido dengan lokasi yang berdekatan dengan Danau Lido sehingga dapat menjawab kekhawatiran penduduk setempat.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki adanya keterkaitan asal-usul air tanah antara danau Lido dengan sumur penduduk sekitarnya menggunakan teknologi isotop alam. Teknologi isotop alam yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menganalisis kandungan δD dan $\delta^{18}O$ dalam sampel airtanah yang dianalisis.

Teknik isotop alam D/H dan $^{18}O/^{16}O$ dapat memberikan gambaran interkoneksi airtanah yang selama ini tidak dapat ditentukan menggunakan teknik konvensional. Penentuan ini berhubungan erat dengan konservasi dan *renewable resources* airtanah sedangkan penentuan umur airtanah berhubungan dengan potensi atau jumlah deposit airtanah. Teknik isotop alam juga sangat menguntungkan karena aman dan tidak akan memberikan dampak apapun bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan teknik isotop alam didasarkan pada ikutnya isotop ^{18}O dan ^{2}H dalam siklus hidrologi, isotop D/H dan $^{18}O/^{16}O$ dalam senyawa air $^{2}H^{18}O$ dan HDO.

Seperti diketahui bahwa air dengan rumus kimia hidrogen dan oksigen memiliki rumus kimia utama H_2O. Hidrogen memiliki tiga isotop, yaitu protium (^{1}H; 99,985%), deuterium (^{2}H; ~0,015%), tiritum (^{3}H). Sementara oksigen memiliki 3 isotop, yaitu ^{16}O (99,759%), ^{17}O (0,037%), ^{18}O (0,204%) [2].

Keberadaan isotop deuterium dan ^{18}O dalam jumlah kecil dalam air dapat di analisis menggunakan alat spektrometer massa. Air hujan yang turun pada elevasi yang rendah mempunyai nilai δD dan $\delta^{18}O$ lebih *enriched* sedangkan air hujan yang turun pada elevasi tinggi mempunyai nilai δD dan $\delta^{18}O$ yang lebih *depleted*. Komposisi tersebut sangat spesifik dan apabila air hujan pada elevasi tertentu imbuh ke dalam tanah maka komposisi D/H dan $^{18}O/^{16}O$ mirip dengan air komposisi hujannya [3].

Rasio isotop dalam molekul air dikarenakan perbedaan relatif terhadap standar

ISSN 1978-0176

dituliskan dengan lambang δ (delta) dan dinyatakan dalam satuan permil (‰) [4]. Persamaan (1) dan (2) menunjukkan perbandingan rasio isotop sampel dengan rasio isotop standar untuk deuterium dan oksigen-18:

$$\delta D‰ = \frac{(\frac{D}{H})sampel - (\frac{D}{H})SMOW}{(\frac{D}{H})SMOW} x1000 \quad (1)$$

$$\delta^{18}O‰ = \frac{(\frac{^{18}O}{^{16}O})sampel - (\frac{^{18}O}{^{16}O})SMOW}{(\frac{^{18}O}{^{16}O})SMOW} x1000 \quad (2)$$

Banyak penelitian menggunakan teknik isotop alam sebagai studi interkoneksi hidraulik airtanah yang telah dilakukan. Muharini (2011) telah menggunakan isotop alam (D dan ^{18}O) untuk menganalisis kesamaan isotop airtanah di mataair Tirtoadi di Kecamatan Mlati, mataair Demangan di Kecamatan Depok, dan mataair Sibedug di Kecamatan Sayegan. Hasil penelitian menunjukkan adanya kesamaan komposisi isotop deuterium dan ^{18}O pada sampel airtanah yang berasal dari mataair Sibedug dan mataair Tirtoadi, sementara airtanah dari mataair Demangan memiliki komposisi isotop yang berbeda [5].

Penelitian menggunakan isotop alam untuk studi penyebaran rembesan air Danau Batur telah dilakukan. Studi dilakukan dengan menganalisa data komposisi isotop alam deuterium dan oksigen-18 dari air danau, air hujan, dan mataair di sekitar Danau Batur untuk mengetahui arah penyebaran air dari Danau Batur. Hal ini dilakukan karena studi analisis zona batuan di lokasi sulit dilakukan mengingat kondisi lapangan yang telah tertutup tanah (*soil*) dan vegetasi yang tebal. Berdasarkan penelitian disimpulkan bahwa arah penyebaran air Danau Batur menuju ke selatan (daerah Menanga, Rendang) [6].

METODE PENELITIAN

Lokasi Pengambilan dan Penelitian Sampel

Penelitian dilaksanakan dengan metode survey lapangan untuk mengambil sampel airtanah dan menganalisa sampel di laboratorium. Survey lapangan dilakukan dengan membawa *Global Positioning System* yang digunakan untuk mengetahui koordinat lokasi pengambilan sampel airtanah. Data koordinat lokasi pengambilan sampel disajikan dalam Tabel 1. Sementara keterangan mengenai lokasi pengambilan sampel disajikan dalam Tabel 2. Data koordinat lokasi pengambilan sampel kemudian diplot ke dalam aplikasi *Google Earth* sehingga diperoleh Peta Lokasi Pengambilan Sampel Airtanah sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.

Tabel 1. Koordinat lokasi pengambilan sampel

Kode Lokasi	Nama Tempat	Garis Bujur (Timur)	Garis Lintang (Selatan)
A	Rumah Pak Asep (360 m)	106 48' 31,24" E	6 44' 26,55" S
B	Danau Lido	106 48' 31,78 " E	6 44' 39,06" S
C	RT 1 RW 2 (250 m)	106 48' 41,03 E	6 44' 24,24" S
D	RT 2 RW 1 (180 m)	106 48' 38,20" E	6 44' 26,10" S
E	Ketua RT 4 RW 1 (310 m)	106 48' 28,59" E	6 44' 28,67" S

Tabel 2. Keterangan lokasi sampel airtanah

Kode	Kedalaman	Elevasi (m)	*Water Table (m)*
A	-10 m	506	496
B	0	500	500
C	-12 m	519	507
D	-14 m	523	509
E	-12 m	518	506

ISSN 1978-0176



Gambar 1. Citra lokasi pengambilan sampel

Pengambilan sampel airtanah dilakukan pada bulan Mei 2016. Pengambilan sampel airtanah dari sumur gali dan sumur bor dilakukan dengan menimba air menggunakan tali timba maupun dengan cara dipompa kemudian ditampung dalam bak penampung. Perlu diperhatikan bahwa airtanah yang diambil untuk sampel harus merupakan airtanah yang baru ditimba ataupun dipompa. Hal ini untuk menghindari terjadinya evaporasi pada airtanah yang akan mempengaruhi nilai δD dan $\delta^{18}O$ apabila sebelumnya telah didiamkan dalam bak penampung. Sementara untuk sampel air Danau Lido diambil pada kedalaman kurang lebih 1 m di bawah permukaan air.

Sampel airtanah yang diambil kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel yang terbuat dari plastik berukuran 30 ml untuk bahan analisis isotop deuterium (D) dan oksigen-18 (^{18}O). Cara pengambilan sampel dari bak penampung dilakukan dengan menenggelamkan botol sampel sampai tenggelam seluruhnya dan botol terisi penuh oleh air. Setelah botol sampel terisi penuh kemudian botol ditutup rapat di dalam bak penampung. Ujung penutup botol lalu dilapisi dengan selotip untuk menghindari kontaminasi dengan udara.

Analisis rasio isotop δD dan $\delta^{18}O$ dalam sampel airtanah dilakukan di Laboratorium Kebumian dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) BATAN, Jakarta. Analisa rasio isotop δD dan $\delta^{18}O$ dilakukan dengan menggunakan *Liquid Water Stable Isotope Analyzer-LGR DLT-100 system*.

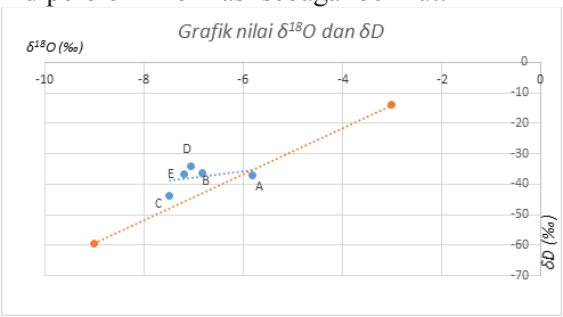
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran rasio isotop δD dan $\delta^{18}O$ disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rasio isotop sampel air

Kode Lokasi	δ ^{18}O (‰)			δ D (‰)		
A	-5.82	±	0.21	-37.2	±	1.7
B	-6.82	±	0.35	-36.3	±	0.9
C	-7.48	±	0.13	-43.8	±	2.7
D	-7.05	±	0.24	-34.2	±	0.5
E	-7.18	±	0.13	-36.5	±	0.6

Data komposisi isotop isotop δD dan $\delta^{18}O$ pada Tabel 3 diplot ke dalam diagram salib sumbu isotop $\delta^{18}O$-δD sehingga menghasilkan Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 diperoleh informasi sebagai berikut.



Gambar 2. Grafik nilai $\delta^{18}O$ dan δD

Komposisi sampel airtanah (isotop δD dan $\delta^{18}O$) dari sampel A berimpit atau mendekati koordinat titik-titik pada garis *Local Meteoric Water Line* (LMWL) 7,55x + 8, 6475 dari Gunung Gede Pangrango, Bogor. Karena LMWL menunjukkan variasi komposisi isotop air hujan sebagai fungsi elevasi dari lokasi yang diteliti, maka berimpitnya koordinat titik sampel airtanah sampel A dengan garis LMWL Gunung Gede Pangrango menunjukkan bahwa hampir sebagian besar airtanah sampel A berasal dari air hujan lokal [7]. Sementara sampel B, C, D, dan E berada jauh dari garis koordinat LMWL Gunung Gede Pangrango sehingga kemungkinan besar airtanah dari

ISSN 1978-0176

keempat sampel tidak berasal dari air hujan lokal.

Sampel-sampel yang diduga memiliki interkoneksi dengan Danau Lido dapat disimpulkan melalui uji hipotesis *Analysis of variance* (ANOVA) pada tiap nilai rata-rata (*mean)* dari setiap masing-masing populasi deuterium dan oksigen-18. Uji ANOVA dilakukan untuk melihat perbedaan *mean* nilai antar Danau Lido (danau b) dengan sampel lainnya. Bila variasi danau b sama dengan sampel lainnya, maka nilai *mean* yang dibandingkan tidak ada perbedaan. Namun, jika variasi danau b dengan sampel lain tidak sama nilainya maka *mean* yang dibandingkan menunjukkan adanya perbedaan. Proses uji ANOVA ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji ANOVA pada sampel

VAR00003	N	Subset for alpha =0.05	
		1	2
Danau a	6	-37.1656	
Danau e	6	-36.4730	
Danau b	6	-36.3329	
Danau d	6		-34.1839
Sig.		.577	1.000

VAR00003	N	Subset for alpha =0.05	
		1	2
Danau e	6	-7.1806	
Danau d	6	-7.0511	
Danau b	6	-6.8230	
Danau a	6		-5.8238
Sig.		.136	1.000

Berdasarkan hasil uji ANOVA deuterium menunjukkan bahwa hanya sampel E yang menunjukkan tidak adanya perbedaan nilai *mean* terhadap Danau Lido. Hal yang sama juga ditunjukkan berdasarkan uji ANOVA oksigen-18 bahwa hanya sampel E yang menunjukkan tidak adanya perbedaan nilai *mean* dengan Danau Lido. Sehingga disimpulkan bahwa sampel yang diduga memiliki interkoneksi dengan Danau Lido dari hasil uji hipotesis menggunakan ANOVA adalah sampel E.

Sampel E adalah sampel yang lokasinya berjarak 310 meter dari Danau Lido. Sampel ini memiliki nilai rasio isotop δD bernilai (-36,5 ± 0,6)‰ dan $\delta^{18}O$ bernilai (-7,18 ± 0,13)‰. Menurut penelitian oleh Horiah (2016), daerah yang memiliki interkoneksi hidraulik dengan Danau Lido adalah lokasi di Kelurahan Ciburuy yang memiliki jarak sekitar 1,5 km arah utara dari Danau Lido dan Desa Ciwaluh Wates Jaya yang berjarak sekitar 1 km arah selatan dari Danau Lido [1].

Sehingga disimpulkan bahwa aliran Danau Lido berasal dari Desa Ciwaluh Wates Jaya di sebelah selatan kemudian mengalir melewati Kelurahan Cigombong kemudian menuju Kelurahan Ciburuy di sebelah utara. Analisa sementara menunjukkan bahwa peta aliran Danau Lido berbentuk hampir lurus memanjang dari selatan menuju daerah utara. Hal ini berdasarkan hasil analisa sampel yang diambil di empat titik terdekat Danau Lido dimana hanya terdapat satu titik lokasi yang memiliki interkoneksi hidraulik dengan Danau Lido (sampel E) dan lokasi tersebut hampir membentuk garis lurus dari arah Desa Ciwaluh Wates Jaya menuju Kelurahan Ciburuy.

KESIMPULAN

Sampel yang memiliki interkoneksi hidraulik dengan Danau Lido adalah Sampel E yang terletak di Rumah ketua RT 4 RW 1 yang berjarak sekitar 310 meter dan berada pada koordinat titik lokasi 106 48' 28,59" E bujur timur dan 6 44' 28,67" S lintang selatan. Sampel E berada di sebelah utara dari Danau Lido, sedangkan sampel lainnya yaitu sampel A, C, dan D tidak terindikasi memiliki interkoneksi dengan Danau Lido. Apabila dianalisa berdasarkan hasil penelitian oleh Horiah (2016) maka disimpulkan bahwa aliran Danau Lido berasal dari Desa Ciwaluh Wates Jaya di sebelah selatan kemudian mengalir melewati Kelurahan Cigombong kemudian menuju Kelurahan Ciburuy di sebelah utara. Sementara peta aliran airtanah Danau Lido

ISSN 1978-0176

cenderung berbentuk lurus memanjang dari selatan ke utara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Siti Horiah atas semua saran dan bimbingannya selama pengerjaan penelitian ini. Juga kepada teman-teman penulis yaitu Muhammad Nur Hidayat, Nur Saadah, dan M. Farid Khandaq yang telah mendukung dan menyukseskan penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik. Dan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Agus Budhie Wijatna, M. Si. Yang telah memberikan koreksi dan saran yang membangun untuk perbaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Horiah, S. “Aplikasi Isotop Alam Untuk Menentukan Pola Interkoneksi Air Danau Lido Dengan Air Sekitarnya Sebagai Studi Awal Pencemaran Pada Airtanah Di Kawasan Lido Bogor, Jawa Barat”. skripsi, UGM, Yogyakarta, 2016.
2. Wijatna, A. B. “Studi Konektivitas Akuifer Antara Sumur Bor Dengan Sumber Daya Air di Bawahnya”. *Jurnal Manusia dan Lingkungan,* Vol. 20, No. 3, 2013..
3. Payne, B., and Y. Yutsever, “Environmental Isotopes as a Hydrological Tool in Nicaragua”, *Isotope Technique in Groundwater Hydrogeology*, Vol. l, 1974.
4. F.d´amore, g.darling, t.Paces, z.Pang, J.Šilar, *Environmental Isotopes in the hydrological cycle vol 1:* IAEA, Vienna , 2000.
5. Muharini A., and Wijatna A.B., “Penggunaan Isotop dan Carbon Dating untuk Studi Keterkaitan antara Mataair Demangan di Kecamatan Depok dengan Water Spring Belt Merapi,” di *Laporan Penelitian DIKs Fakultas Teknik UGM*, 2011.
6. Wibagiyo, Indroyono, Paston S, Zainal A, dan Evarista. “Studi Arah dan Penyebaran Rembesan Air Danau Batur Menggunakan Isotop Alam Deuterium dan Oksigen-18”. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi.* Jakarta, 2000.
7. Kresic. N. and Stevanovic. Z., *Groundwater Hydrology of Springs. Engineering, theory, management, and sustainability*, Elsevier Inc., USA. (3): 91-104, 2010.

PERTANYAAN

1. Apakah metode ini bisa digunakan untuk menganalisa pola aliran air tanah?
2. Artinya jarak dari sampel yang diambil tidak berkorelasi dengan interkoneksi antara airtanah dengan danau Lido?
3. Alasan pemilihan titik-titik sampel lokasi airtanah?

JAWABAN

1. Tidak bisa. Karena metode analisis rasio isotop airtanah menggunakan deuterium hanya dapat digunakan untuk mengetahui genesis (sidik jari) airtanah. Artinya apabila genesisnya sama artinya mereka berasal dari sumber yang sama atau satu aliran. Namun metode ini tidak dapat menganalisa pola aliran airtanah. Apabila ingin menganalisa pola aliran airtanah maka digunakan isotop tritium.
2. Tidak. Karena interkoneksi yang ada antara airtanah tidak disebabkan karena jarak atau lokasi antar sampel.
3. Pada awalnya sampel ingin diambil di sekeliling area danau namun dikarenakan tidak di semua lokasi terdapat perumahan penduduk yang memiliki sumur maka hal tersebut tidak dapat dilakukan. Maka sampel airtanah selain sampel Danau lido kemudian hanya diambil empat sampel saja.

ISSN 1978-0176

PENENTUAN *SPHERICITY* DAN DISTRIBUSI INTENSITAS BERKAS ELEKTRON DARI SUMBER ELEKTRON TIPE PIERCE BERBASIS MATLAB

Achmad Ramadhani[1], Darsono[2], Anwar Budianto[3], Suhartono[4]

1) STTN-BATAN, Yogyakarta, Indonesia, achmad.ramadhani@gmail.com
2) PSTA-BATAN, Yogyakarta, Indonesia, b_darsono@batan.go.id
3) STTN-BATAN,Yogyakarta, Indonesia, taufad@yahoo.com
4) PSTA-BATAN, Yogyakarta, Indonesia, suhartono@gmail.com

ABSTRAK

PENENTUAN *SPHERICITY* DAN DISTRIBUSI INTENSITAS BERKAS ELEKTRON DARI SUMBER ELEKTRON TIPE P IERCE BERBASIS MATLAB. Telah dilakukan penentuan bentuk profil berkas elektron dari sumber elektron tipe *Pierce* berbasis GUI matlab dengan 4 tahapan sub menu aplikasi, yaitu *capture* video, *preprocessing* citra, segmentasi citra, dan penentuan profil berkas elektron. Pembuatan aplikasi digunakan untuk karakterisasi sumber elekton (dioda dan trioda) dari hasil nilai *sphericity,* dan plot distribusi intensitas berkas elektron dengan perubahan pengaturan parameter tegangan pemercepat, dan tegangan pemfokus pada arus tetap. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sumber elektron tipe *Pierce* pada trioda memberikan bentuk profil berkas elektron lebih baik dibandingkan dengan sumber elektron dioda dengan nilai *sphericity* semakin mendekati 1 dan nilai rata-rata distibusi intensitas yang lebih merata secara kuantitatif atau dari hasil visualisasi plot grafik 3D.

Kata Kunci : dioda, distribusi intensitas, matlab, *sphericity*, dan trioda

.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SPHERICITY AND ELECTRON BEAM INTENSITY DISTRIBUTION FROM PIERCE-TYPE ELECTRON SOURCE BASED ON MATLAB. *Has been conducted to determine profile shape of the electron beam pierce-type electron source based on GUI matlab with four stages of sub menu application, that is video capture, image preprocessing, image segmentation, and the determination of the electron beam profile. Creation of applications used to characterization of electron source (diode and triode) from the value of sphericity, and electron beam intensity distribution plot with variation of accelerating voltage and focusing voltage parameter when current constant. The test results showed tha t pierce-type electron source of triode gives electron beam profile with better shape compared to electron source of diode with sphericity value close to 1 and average value of intensity distribution is more even by either quantitatively or with visualitation from 3D graph plot.*

Keywords : diode, matlab, intensity distribution, sphericity, and triode

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Salah satu bagian penting dari Mesin Berkas Elektron (MBE) yaitu sumber elektron (SE) yang berfungsi sebagai penghasil berkas elektron yang akan diradiasikan pada suatu bahan. Karakteristik luaran berkas elektron tidak hanya ditentukan oleh parameter energi kinetik yang berpengaruh terhadap tingkat kedalaman penembusan (*penetration depth*) tetapi parameter berupa profil berkas serta intensitas juga sangat berpengaruh terhadap kualitas luaran berkas elektron yang akan diradiasikan pada suatu bahan.

Pada tahun 2014, PSTA-BATAN telah berhasil mengkonstruksi modul SE 3 elektroda yang didesain berdasarkan elektrode katoda tipe *Pierce*[1]. Tujuannya adalah dihasilkan berkas elektron yang mempunyai kualitas lebih baik yaitu berkas elektron terfokus dibandingkan dengan konstruksi modul SE dioda[2].

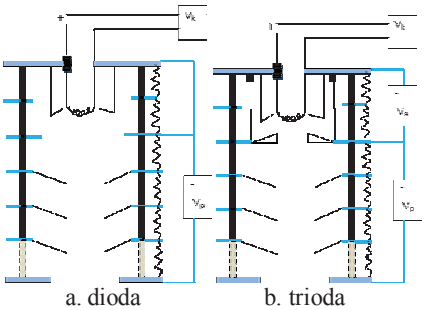
Keterbatasan pengukuran profil berkas elektron dengan metode kertas kalkir[3], foil alumunium, dan *rotating probe*[4], adalah pengukuran profil berkas di atas tidak dapat memberikan informasi pengukuran secara kuantitatif hanya berdasarkan pengamatan secara *visual* dan tidak dapat menampilkan informasi bentuk profil secara langsung. Oleh karena itu, dilakukan perancangan pengukuran profil berkas elektron dengan metode tabung sinar katoda (*cathode ray tube* atau *CRT*) berbasis pengolahan citra digital dengan software Matlab. Hasil pendaran cahaya tampak yang muncul pada layar TV selanjutnya ditangkap dan direkam menggunakan CCTV kamera yang terhubung ke laptop atau komputer melalui perangkat video adaptor dengan koneksi *USB 2.0*. Tangkapan gambar berkas elektron dari CCTV kamera selanjutnya ditampilkan secara langsung pada laptop atau komputer dengan memanfaatkan fasilitas *tool* GUI dari progam Matlab seri R2013a. Progam Matlab selanjutnya mengolah data citra analog dari tangkapan profil berkas elektron untuk dikonversi menjadi citra digital dalam bentuk matriks 2 dimensi. Teknik pengolahan citradigital selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan informasi bentuk *beam profile* dan distribusi nilai intensitas yang terukur dalam tingkat derajat keabuan sebagai representasi dari cahaya tampak yang terdistribusi pada layar tabung CRT. Idealnya hasil dari luaran profil berkas adalah berbentuk geometri bundar dengan distribusi intensitas memuncak ditengah, layaknya kurva *Gaussian*.

Pemilihan perangkat layar tabung *CRT* sebagai penampil citra berkas elektron dan kamera jenis CCTV sebagai penangkap citra digital 3 dimensi (*video*) karena harganya murah dan mudah didapatkan di pasaran.

LANDASAN TEORI

Sumber elektron tipe *Pierce*

Susunan elektroda *Pierce* telah dikenal sebagai suatu susunan elektroda yang dapat membentuk berkas elektron yang lurus atau hampir tidak menyebar dengan kerapatan yang cukup tinggi. Susunan elektroda tersebut terdiri dari katoda yang berfungsi untuk mendorong elektron dari daerah filamen dan anoda yang berfungsi sebagai celah untuk mengekstraksi elektron dari dalam sumber elektron. Berikut adalah skema sumber elektron tipe *Pierce* untuk dioda dan trioda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada SE tipe *Pierce* dioda, anoda ekstraksi (V_a) terletak pada elektroda pemercepat (V_p) yang berdekatan dengan katoda filamen (V_k). Adapun pada SE tipe *Pierce* trioda, elektroda ke tiga yaitu pemfokus(Vf) diletakkan diantara Vk dan Vp yang berfungsi untuk mengatur bentuk berkas elektron yang akan dipercepat.



a. dioda b. trioda

Gambar 1. Sumber elektron tipe *Pierce*[5]

Parameter Luaran Berkas Elektron

Parameter utama luaran berkas elektron[6], yaitu:

- Arus Berkas

ISSN 1978-0176

Parameter yang menentukan arus berkas elektron terkait tipe atau jenis sumber elektron, diantaranya meliputi arus filamen dan tegangan ekstraktor sedangkan yang terkait dengan pembentuk sumber ion elektron, meliputi tegangan ekstraktor, tegangan pemfokus, dan tegangan pemercepat.

✓Energi Berkas

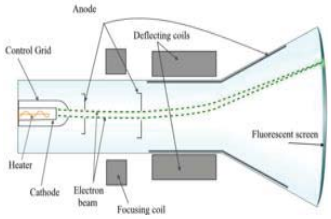
Besarnya energi elektron diperoleh dari tegangan pemercepat yang terpasang pada tabung pemercepat.

✓Profil Berkas

Profil berkas idealnya berbentuk bundar dan homogen dimana distribusi intensitas merata berbentuk *gaussian plot*.

Tabung Sinar Katoda

Bahan layar di bagian dalam CRT yang menghasilkan efek ini adalah fosfor. Fosfor menyerap energi kinetik elektron-elektron pembombardir dan memancarkan kembali energi tersebut pada frekuensi yang lebih rendah dalam spektrum yang dapat dilihat sebagai bentuk visualisasi dari berkas elektron yang dipancarkan dari sumber elektron pada layar tabung CRT. Sifat dari beberapa bahan berkristal seperti fosfor atau oksida seng yang memancarkan cahaya bila dirangsang oleh radiasi disebut *flueresensi*.



Gambar 2. Skema tabung sinar katoda[7]

Kamera CCTV

Closed Circuit Television (CCTV) merupakan sistem kamera video digital untuk menggambil gambar atau *video* yang kemudian ditransmisikan ke penerima tertentu dan ditampilkan dalam seperangkat monitor, ditunjukkan pada gambar 3.

Komponen kamera akan menangkap objek gambar yang akan ditransformasikan menjadi sinyal-sinyal elektronik, dan selanjutnya sinyal-sinyal tersebut akan dikonversikan dari format analog menjadi format digital dan ditransfer melalui sebuah komputer.



Gambar 3. Kamera CCTV

Matlab

Matlab adalah sebuah bahasa dengan (*high-performance*) kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk pakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar[8].

Pengolahan Citra

pengolahan citra terdapat enam jenis operasi pengolahan[9], yaitu :

✓Peningkatan kualitas citra (*image enhancement*)

Jenis operasi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara memanipulasi parameter-parameter citra.

✓Restorasi citra (*image restoration*)

Operasi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra.

✓Kompresi citra (*image compression*)

Jenis operasi ini dilakukan agar citra dapat direpresentasikan dalam bentuk yang lebih kompak sehingga memerlukan memori yang lebih sedikit..

✓Segmentasi citra (*image segmentation*)

Operasi ini adalah suatu tahap pada proses analisis citra yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang ada dalam citra tersebut

✓Analisis citra (*image analysis*)

Jenis operasi ini bertujuan menghitung besaran kuantitatif dari citra untuk menghasilkan deskripsinya.

✓Rekonstruksi citra (*image reconstruction*)

Jenis operasi ini bertujuan untuk membentuk ulang objek beberapa citra hasil proyeksi.

MMO (*Metric Mutual Overlap*)

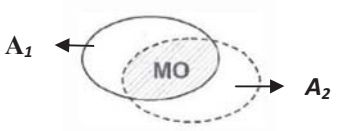
Pendekatan *Mutual overlap* juga dikenal sebagai istilah evaluasi *Dice*. Prinsip kerja dari teknik MMO (*Metric Mu ual Overlap*)

ISSN 1978-0176

berdasarkan teknik komputasi irisan (tumpang tindih) area antara citra "*ground truth*" dan citra dengan *region* yang telah tersegmentasi. MMO dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$M_{MO} = \frac{2MO}{A_1 + A_2}$$

Dimana area yang dinormalisasi adalah total area antara dua *region*, yaitu area yang telah tersegmentasi (A_1), area "*ground truth*"(A_2) dan MO adalah area irian antara A_1dan A_2. Ilustrasi MMO ditunjukkan dengan Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi MMO (Metric Mutual Overlap) [10]

Sphericity

Sphericity adalah ukuran untuk menunjukkan kebulatan suatu objek. Menurut Wadell (1935), *sphericity* dari suatu partikel adalah rasio dari luas permukaan suatu bola yang mempunyai volume yang sama dengan partikel tersebut dengan luas permukaan partikel[11]. Nilai *sphericity* suatu benda semakin mendekati satu (~1) maka semakin menyerupai bola.
Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan *sphericity* citra dalam bentuk 2 dimensi (2D), yaitu diantaranya dengan membandingkan terpendek (D_{min}) dan diameter terpanjang (D_{max}), membandingkan area dengan rumus πr^2, membandingkan perimeter dengan persamaan πr^2, menghitung dengan persamaan modifikasi *Krumbein*, dan menghitung nilai *eccentricity*.

Plot distribsui normal

Distribusi probabilitas normal adalah distribusi probabilitas dari variabel acak kontinyu yang simetris dan mesokurtik. Kurva yang dihasilkan berbentuk lonceng yang simetris kiri dan kanan. Distribusi normal ini disebut juga sebagai distribusi *Gauss*, dimana model *noise Gaussian* tersebar dalam distribusi normal ini. Dua parameter yang menentukan kurva distribusi normal adalah rata-rata (*mean*) dan simpangan baku (*standard deviasi*).
Fungsi yang kita gunakan untuk membuat sebuah grafik 3D adalah *plot.* Fungsi ini memiliki bentuk berbeda tergantung pada argumen input yang kita berikan. Sintaks yang digunakan untuk menampilakan argument input koordinat x,y, dan z adalah *surf*.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam penyusunan tugas akhir ini dibutuhkan beberapa alat dan bahan, yaitu meliputi :

- Perangkat pengujian modul sumber elektron profil berkas elektron;

Sumber DC tegangan tinggi, sumber elektron *Pierce* (dioda dan trioda), tabung pemercepat, pompa vakum, tabung sinar katode (*CRT*)

- Perangkat pengolah citra profil berkas elektron;

Kamera CCTV, video adaptor USB.2.0, kabel *USB- coaxial*, laptop

- *Software* pengolah citra digital;

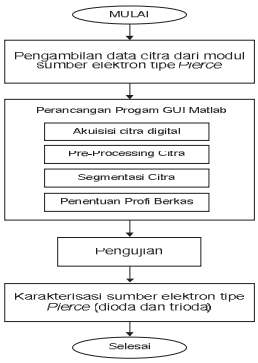
Sistem Operasi Windows XP, Matlab R2013a, Paint

- Perangkat pengukur intensitas cahaya;

Lux Meter

Metode Penelitian

Langkah penelitian ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut:



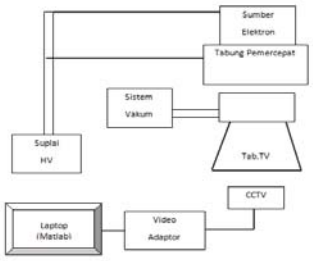
Gambar 5. Diagram alir penelitian

Pengambilan data citra dari modul SE

Pengambilan data citra dari modul sumber elektron dapat ditunjukkan pada skema

ISSN 1978-0176

modul konstruksi pengukuran profil berkas elektron pada Gambar 6.



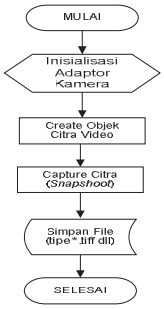
Gambar 6. Skema modul pengukuran profil berkas elektron

Perancangan progam akuisisi data dan pengolahan citra berbasis GUI Matlab

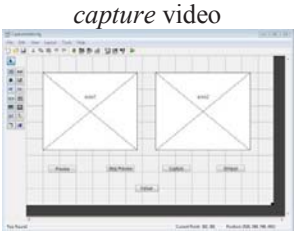
Terdapat 4 tahapan sub menu perancangan aplikasi, yaitu meliputi:

1) Akusisi data *capture* video

Tahapan *capture video* bertujuan untuk mendapatkan informasi citra digital 2 dimensi dari hasil citra video dari tampilan profil berkas elektron pada layar tabung CRT secara langsung (*real time*) dengan memanfaatkan kamera jenis CCTV.



Gambar 7. Flowchart akusisi data *capture* video

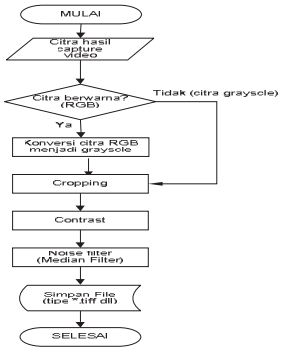


Gambar 8. Perancangan tampilan GUI '*capture* video'

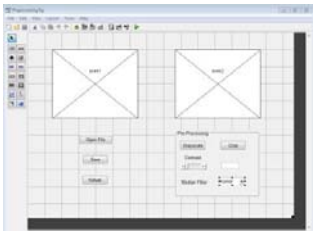
Perencanaan progam GUI *capture* video, yaitu meliputi tahapan inisailisasi adaptor dari kamera untuk memperoleh informasi meliputi informasi jenis adaptor kamera, resolusi kamera, format encoding warna, dan format video. Selanjutnya menampilkan citra video pada layar GUI dan dengan cara *snapshoot* dihasilkan citra 2 dimensi. Hasil *capture* disimpan pada *drive folder* yang dituju dengan file format .*tiff. Gambar 8, ditunjukkan perancangan tampilan GUI *'capture* video*'* .

2) *preprocessing* citra

Tahapan *processing* citra bertujuan untuk mengolah citra digital 2 dimensi dari hasil citra *capture video* sehingga citra dapat diolah lebih lanjut dan mempermudah tahapan proses selanjutnya.



Gambar 9. Flowchart *Preprocessing* citra



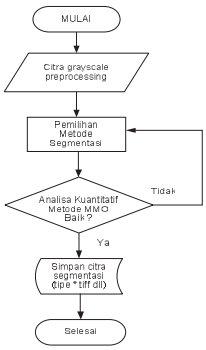
Gambar 10. Perancangan tampilan GUI *'preprocessing* citra'

Tahapan preprocessing citra, yaitu meliputi proses *grayscale*, *cropping*, *contrast*, dan *noise filter* menggunakan teknik *median filter*. Hasilnya disimpan pada *drive folder* dengan file format .*tiff. Gambar 10 , ditunjukkan perancangan tampilan GUI *'preprocessing* video*'* .

3) Segmentasi citra

Segmentasi merupakan tahapan penting untuk mendapatkan daerah (*region*) yang diinginkan sehingga mempermudah analisa dan identifikasi citra pada tahapan selanjutnya.

ISSN 1978-0176



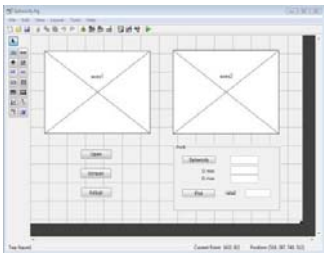
Gambar 11. Flowchart segmentasi citra



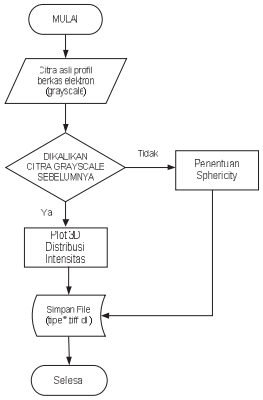
Gambar 12. Perancangan tampilan GUI 'segmentasi citra'

Teknik segmentasi yang digunakan, yaitu meliputi *thresholding*, *region growing*, dan *watershed*. Analisa kuantitatif metode *Metric Mutual Overlap* (MMO) digunakan untuk membandingkan ke-3 teknik segmentasi untuk diperoleh hasil yang terbaik mendekati 1. Hasilnya disimpan pada *drive folder* dengan file format .*tiff. Gambar 12, ditunjukkan perancangan tampilan GUI 'segmentasi video'.

4) Penentuan Profil Berkas Elektron
Tahapan penentuan profil berkas elektron adalah diperoleh hasil *sphericity* atau tingkat kebulatan bentuk geometri citra dan plot distribusi intensitas dari citra profil berkas elektron.



Gambar 13. Perancangan tampilan GUI 'penentuan profil berkas elektron'



Gambar 14/ Flowchart penentuan profil berkas elektron

Penentuan nilai *sphericity* diperoleh dengan membandingkan nilai D_{min} dan D_{max}, (D_{min}/D_{max}) dari bastasan *region* citra berkas elektron. Distribusi intensitas ditampilkan dalam grafik hasil plot 3D dengan metode *surf* dan hasil nilai rata-rata distribusi intensitasnya. Hasilnya disimpan pada *drive folder* dengan file format .*tiff. Gambar 13, ditunjukkan perancangan tampilan GUI 'penentuan profil berkas elektron'.

Karakterisasi sumber elektron tipe *Pierce* (dioda dan trioda)

Karakterisasi sumber elektron tipe *Pierce* (dioda dan trioda) dilakukan dengan cara menganalisa hasil luaran profil citra berkas elektron dari hasil pengaturan pada tiap-tiap parameter pengujian modul sumber elektron, yaitu meliputi arus filamen, tegangan pemfokus, dan tegangan pemercepat dibandingkan dengan nilai hasil penentuan *sphericity* dan distribusi intensitasnya dari hasil plot kurva 3D dengan rata-rata intensitas dari citra uji dengan menggunakan progam GUI matlab yang telah dirancang pada penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian apliklasi GUI matlab

Pada tampilan menu utama berisi sub menu aplikasi, yaitu *capture video*, *preprocessing* citra, segmentasi citra, dan penentuan profil berkas (*sphericity* dan plot distibusi intensitas), ditunjukkan pada Gambar 15.

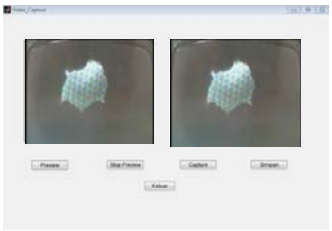
ISSN 1978-0176



Gambar 15. Tampilan menu utama

- Sub menu *capture* video

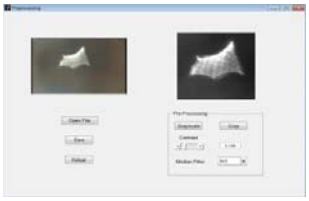
Pada sub menu *capture* video dilakukan pengambilan citra video berkas elektron kemudian di *snapshoot* menjadi citra 2 dimensi selanjutnya disimpan dengan format file *.tiff pada *drive folder* yang ditentukan.



Gambar 16. Tampilan sub menu '*capture* video'

- Sub menu *preprocessing* citra

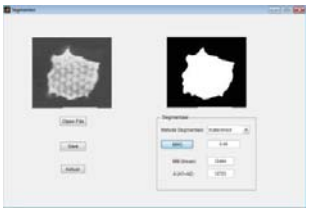
Pada sub menu *preprocessing* citra dilakukan proses perbaikan kualitas citra berkas berwarna (RGB), yaitu meliputi proses *grayscale*, *cropping*, kontras, dan *median filter*.



Gambar 17. Tampilan sub menu *'preprocessing* citra*'*

- Sub menu segmentasi citra

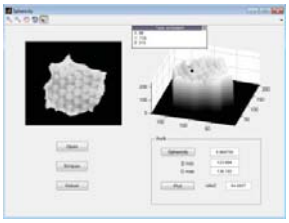
Pada sub menu segmentai citra dilakukan proses penentuan batasan *region* dari citra berkas elektron. Teknik segmentasi yang digunakan, yaitu *thresholding*, *region growing*, dan *watershed*. Hasil segmentasi dibandingkan dengan citra *ground truth* dengan metode MMO (*Mutual Metric Overlap*).



Gambar 18. Tampilan sub menu 'segmentasi citra"

- Sub menu penentuan profil berkas

Pada sub menu penentuan profil berkas dilakukan penentuan nilai sphericity dengan perhitungan D_{min}/D_{max} dan ditampilkan plot 3D dengan nilai rata-rata distribusi intensitas.



Gambar 19. Tampilan sub menu 'penentuan profil berkas"

Hasil penentuan sphericity dan plot 3D distibusi intensitas

Pengujian progam untuk penentunan *sphericity* dan distribusi intensitas sebelumnya dilakukan validasi dengan *file* citra bola.*png* dan citra berkas.tiff.



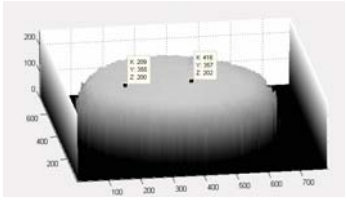
Gambar 20. Citra bola.png



Gambar 21. Citra berkas.tiff

Diperoleh nilai *sphericity* 1 dan plot 3D distibusi intensitas memuncak ditengah dan merata, layaknya *Gaussian*. Ditunjukkan pada Gambar 22.

ISSN 1978-0176

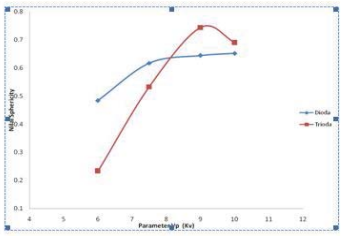


Gambar 22. Plot grafik 3D citra berkas.*tiff*

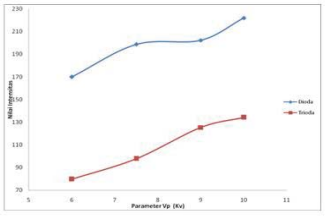
Dari hasil pengujian keseluruhan perancangan progam aplikasi untuk karakterisasi sumber elektron tipe *Pierce* (dioda dan trioda) diperoleh data pengujian sumber elektron dioda dan trioda pada tahun 2015 dan 2016 yang ditampilkan pada grafik, ditunjukkan pada Gambar 20 sampai dengan Gambar 25.

Pada Gambar 23 dan 24 ditunjukkan grafik hubungan perubahan parameter tegangan pemercepat dengan nilai *sphericity* dan nilai rata-rata intensitas antara dioda vs trioda pada arus filemen ($I_{Filamen}$) 14 Ampere dan tegangan pemfokus (Vf_{okus}) 4,5 kiloVolt tetap.

Dari Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 dapat diperoleh jenis dioda dengan pengaturan tegangan pemercepat diperoleh *sphericity* cenderung stabil berkisar 0,6. Nilai *sphericity* jenis trioda lebih baik dibandingkan dengan jenis dioda, sebanding dengan adanya kenaikan tegangan pemercepat sedangkan nilai rata-rata distribusi intensitas pada jenis dioda lebih tinggi dibandingkan dengan jenis trioda.

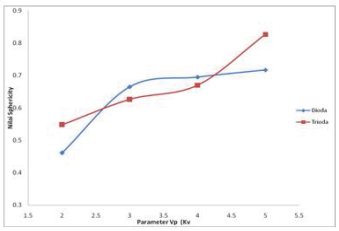


Gambar 23. Hubungan parameter tegangan pemercepat (Vp) dengan nilai *sphericity* antara dioda vstrioda pada tahun 2016

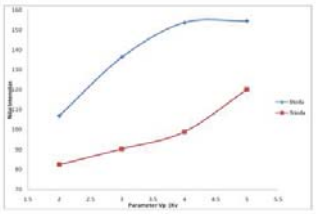


Gambar 24. Hubungan parameter tegangan pemercepat (Vp) dengan nilai intensitas antara dioda vstrioda pada tahun 2016

Pada Gambar 4.25 dan 4.26 ditunjukkan grafik hubungan perubahan parameter tegangan pemercepat dengan nilai *sphericity* dan nilai rata-rata intensitas antara dioda vs trioda pada arus filemen ($I_{Filamen}$) 14 Ampere dan tegangan pemfokus (Vf_{okus}) 9 kiloVolt tetap.



Gambar 25. Hubungan parameter tegangan pemercepat (Vp) dengan nilai *sphericity* antara dioda vs trioda pada tahun 2015



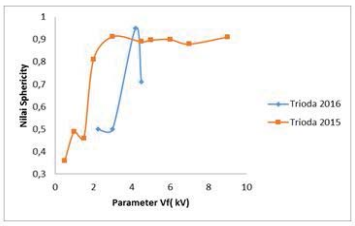
Gambar 26. Hubungan parameter tegangan pemercepat (Vp) dengan nilai intensitas antara dioda vs trioda pada tahun 2015

Dari Gambar 25 dan Gambar 26 dapat diperoleh informasi bahwa jenis dioda dengan pengaturan tegangan pemercepat diperoleh *sphericity* cenderung stabil berkisar 0,6. Nilai rata-rata distribusi intensitas pada jenis dioda dan trioda sebanding dengan perubahan tegangan pemercepat. Nilai *sphericity* jenis trioda lebih baik dibandigkan dengan jenis dioda,,sebanding dengan adanya kenaikan tegangan pemercepat Nilai rata-rata

ISSN 1978-0176

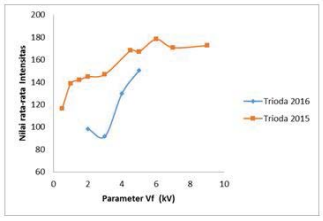
distribusi intensitas pada jenis dioda lebih tinggi dibandingkan dengan jenis trioda.

Pada Gambar 27 dan 28 ditunjukkan grafik perubahan parameter tegangan pemfokus dengan nilai *sphericity* dan nilai rata-rata intensitas jenis sumber elekton trioda pada arus filemen ($I_{Filamen}$) 14 ampere dan tegangan pemercepat (Vp) 10 kiloVolt tetap.



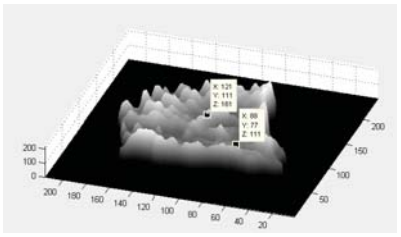
Gambar 27. Hubungan parameter nilai tegangan pemfokus (Vf) dengan nilai *sphericity* antara trioda tahun 2015 vs trioda tahun 2016

Dari Gambar 27 dan 28 diperoleh informasi bahwa ada pengujian trioda tahun 2015, diperoleh hasil *sphericity* lebih baik dan cenderung stabil pada kisaran nilai 0,9 dibandingkan dengan pengujian trioda pada tahun 2106. Nilai rata-rata distibusi intensitas jenis trioda pada tahun 2015 lebih tinggi dibandingkan pada tahun 2016.

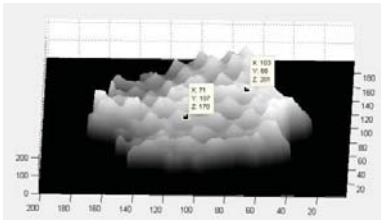


Gambar 28. Hubungan parameter nilai tegangan pemfokus (Vf) dengan nilai intensitas antara trioda tahun 2015 vs trioda tahun 2016

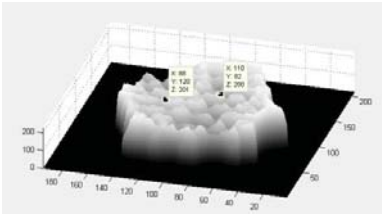
Pada Gambar 4.29 sampai Gambar 4.31 memperlihatkan plot grafik 3D distribusi intensitas yang menunjukkan perubahan *sphericity* yang lebih baik dengan nilai distribusi intensitas yang lebih merata dengan adanya perubahan tegangan pemfokus pada pengujian tahun 2016



Gambar 29. Plot grafik 3D dari citra trioda pada V_f = 0,5 kV, V_f = 10 kV, dan I_F= 14 A datasheet tahun 2016



Gambar 30. Plot grafik 3D dari citra trioda pada V_f = 3 kV, V_p = 10 kV, dan I_F = 14 A datasheet tahun 2016



Gambar 31. Plot grafik 3D dari citra trioda pada V_f = 9 kV, V_p = 10 kV, dan I_F = 14 A datasheet tahun 2016

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Telah berhasil dirancang aplikasi progam GUI berbasis Matlab untuk karakterisasi sumber elektron (dioda dan trioda) dengan aplikasi memiliki 4 tahapan, yaitu *capture* video, *preprocessing* citra, segmentasi, dan penentuan profil berkas untuk mendapatkan sphericity dan plot grafik 3D dengan nilai rata-rata distribusi intensitas.
2. Teknik segmentasi *watershed* pada perhitungan MMO (*Metric Mutual Overlap*) diperoleh nilai prosentasi terbaik secara kuantitatif dibandingkan dengan teknik segmentasi *threshold* dan *region growing*.

ISSN 1978-0176

3. Parameter perubahan tegangan pemercepat dan tegangan pemfokus pada arus filamen tetap berpengaruh terhadap nilai *sphericity* dan nilai rata-rata distribusi intensitas pada sumber elektron jenis dioda dan trioda. Jenis dioda memiliki nilai rata-rata intensitas lebih tinggi dengan distribusi intensitas tidak merata dibandingkan dengan jenis trioda sedangkan jenis trioda memiliki nilai *sphericity* lebih baik dengan nilai rata-rata distibusi intensitas merata dibandingkan jenis dioda.

Saran

1. Perlu dikembangkan lagi pemilihan teknik segmentasi yang lebih baik untuk mendapatkan batasan citra berkas elektron mendekati batasan visual mata manusia.
2. Perlu dikembangkan *embedded system*, yaitu meliputi kesatuan perangkat hardware dan software yang mampu mengolah dan memproses berkas elektron yang menampilkan nilai *sphericity* dan plot distibusi intensitas secara langsung dan dapat dipakai secara *portable* oleh *user* sehingga memiliki nilai jual untuk dikomersilkan.
3. Alternatif software lain yang berbasis *open source* bias menjadi pilihan untuk pengembangan pemrogaman pengolahan citra digital.
4. Perlu dikembangkan perancangan progam GUI matlab secara otomatis untuk mengolah input data citra berkas sehingga diperoleh hasil *sphericity* dan distribusi intensitas secara langsung tanpa memakan waktu pemrosesan dan meminimalisir keterlibatan *user* sebagai operator.

Daftar Pustaka

1. Suprapto, Djoko SP., Djasiman. 2007. *Karakterisasi Sumber Elektron MBE Untuk Industri Lateks*. Laporan teknis di PTAPB-BATAN,Yogyakarta
2. Suprapto, Djoko SP., Djasiman. 2001. Rekonstruksi *Sumber Elektron Termionik Dengan Elektrode Pierce Untuk MBE 500 keV/10 mA*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi NuklirP3TM – BATAN,Yogyakarta.
3. Darsono, Suhartono, Elin N, dan Sutadi. 2013. *Optimasi Operasi Sistem Pemayar MNE Lateks 300 keV/20 mA*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya PTAPB – BATAN,Yogyakarta.
4. Suhartono. 2002. *Karakterisasai Sumber Elektron Termionik Model Elektrode Pierce Pada Mesin Berkas Elektron (MBE) P3TM*. Jurusan Teknik Fisika Nuklir STTN – BATAN, Yogyakarta.
5. Darsono, Suhartono, Suprapto, dan Elin N. 2015. *Pengukuran Bentuk Profil Berkas Elektron Tipe Pierce Menggunakan Sensor Tabung TV*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi NuklirPSTA – BATAN, Yogyakarta.
6. Suprapto. 2004. *Pengembangan Rancangbangun Sumber Elektron Untuk Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA P3TM-BATAN*. Laporan Presentasi Ilmiah P3TM – BATAN, Yogyakarta.
7. Tatik Yuniati, Copyright © 2008-2014 ilmuti.org
8. Wijaya, Marvin Ch. Dan Prijono, Agus. 2007. *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab*. Bandung: Informatika Bandung.
9. Siahaan, Meilinda. 2009. Implementasi Segmentasi Citra Menggunakan Metode Graph Yang Efesien. Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.
10. Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Bayle. 2008. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. United State of America: Thomson.
11. Kharina Ns, D. Andiwijayakusuma. 2012. Komputasi Sphericity Berbasis Image Processing Pada Kernel Bahan Bakar HTGR. Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir, Pusat Pengembangan Informatika Nuklir - BATAN, Serpong.

ISSN 1978-0176

TANYA-JAWAB

Tanya :

- Mengapa hasil *sphericity* pada dioda diperoleh nilai 0,6l lebih rendah dibandingkan pada trioda dengan nilai 0,9?

Jawab :

- Karena perbedaan penyusun komponen pada bentuk geometri pada trioda dibandingkan dengan dioda, yaitu adanya elektroda pemfokus yang berfungsi untuk memfokuskan hasil luaran berkas elektron.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGUKURAN PARAMETER TERMOHIDROLIKA BERBASIS LABVIEW PADA UNTAI FASSIP

Sumantri Hatmoko[1], Sudarno[2], Djiwo Harsino[3]
[1](STTN-BATAN, Yogyakarta, Indonesia, sumantri5455@batan.go.id)
[2](PTKRN, BATAN, Serpong, Indonesia, sudarno@batan.go.id)
[3](STTN-BATAN, Yogyakarta, Indonesia, djiwo@batan.go.id)

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PARAMETER TERMOHIDROLIKA BERBASIS LABVIEW PADA UNTAI FASSIP. Kecelakaan PLTN yang pernah terjadi pada PLTN jenis PWR Three Mile Island dan PLTN jenis BWR Fukushima Daiichi sebagian besar diakibatkan oleh kegagalan manajemen termal pasca kecelakaan sehingga perlu dilakukan penelitian keselamatan PLTN berbasis pada hukum alam. Metode tersebut disebut sistem pasif. Pada lab temohidrolika PTKRN BATAN telah dibuat fasilitas eksperimen untuk fenomena tersebut yang disebut untai FASSIP. Pada Untai FASSIP ada beberapa parameter yang diukur yaitu temperatur dan laju alir. Parameter yang diukur agar dapat diolah, disimpan dan ditampilkan dalam bentuk data *realtime* maka perlu dibuat sistem monitoring dan pengukuran parameter termohidrolika berbasis labview. Untuk mengetahui perubahan temperatur pada untai FASSIP menggunakan termokopel tipe K yang dikoneksikan dengan modul *NI* 9213. Untuk mengetahui perubahan laju alir menggunakan menggunakan sensor flow meter yang di koneksikan dengan modul *NI* 9203. Hasil penelitian ini adalah terbangunnya sistem monitoring yang dapat menyimpan data hasil akuisisi secara komputerisasi dan *realtime* agar dapat diolah lebih lanjut untuk memudahkan analisis data.

Kata Kunci FASSIP, Labview, parameter termohidrolika.

ABSTRACT

SYSTEM MONITORING MEASURING PARAMETERS TERMOHIDROLIKA BASED ON LABVIEW strand FASSIP. Nuclear power accident ever occurred at the nuclear power plant Three Mile Island PWR and BWR types Fukushima Daiichi nuclear power plant largely due to the failure of the thermal management so we need a post-crash safety research of nuclear power plants based on natural law. The method is called a passive system. In lab temohidrolika PTKRN BATAN has made experimental facilities for the phenomenon called strand FASSIP. On strand FASSIP there are some parameters that are measured are the temperature and flow rate. Parameters measured in order to be processed, stored and displayed in the form of real-time data monitoring system needs to be created and measurement parameters based termohidrolika labview. To determine the temperature change on the strand FASSIP using K type thermocouple module is connected with the NI 9213. To determine changes in flow rate using a flow meter uses a sensor that connect with NI module 9203. Result of this study is the establishment of a monitoring system that can store data acquisitions realtime computerized and can be processed further in order to facilitate analysis of data.

Keywords : FASSIP, Labview, Thermohidrolika parameter,

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Konsep keselamatan reaktor nuklir menjadi pilar utama dalam pengoperasian dan penanganan pasca kecelakaan suatu pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Kecelakaan PLTN yang pernah terjadi dan masuk kategori kecelakaan parah seperti kecelakaan pada PLTN jenis pressurized water reaktor (PWR) Three Mile Island Unit 2 (TMI- 2) tahun 1979 dan PLTN jenis boiling water reaktor (BWR) Fukushima Daiichi tahun 2011 sebagian besar diakibatkan oleh kegagalan dalam manajemen termal pasca kecelakaan[(1)]. Sehingga, penelitian dan pengembangan pada bidang termohidrolika reaktor untuk mencegah kegagalan manajemen termal pada PLTN perlu dilakukan dengan berbasis pada hukum-hukum alam. Metode perlakuan terhadap termal tersebut disebut sistem pasif.

Pada lab temohidrolika PTKRN BATAN telah didesain dan konstruksi fasilitas eksperimen yang dibuat untuk fenomena tersebut yang disebut untai FASSIP (Fasilitas Simulasi Sistem Pasif). Pada Untai FASSIP ada beberapa parameter penting yang terlibat dalam fenomena sirkulasi alamiah yaitu parameter termohidrolika temperatur, tekanan dan laju aliran fluida[(2)]. Maka untuk menentukan pengukuran pada parameter termohirolika temperatur dan laju aliran fluida disuatu fasilitas eksperimen sistem pasif (FASSIP) agar dapat diolah, disimpan dan ditampilkan dalam bentuk data dan pengukuran parameter termohidrolika berbasis labview pada untai FASSIP dan dapat di tampilkan melalui *PC (Personal Computer*.

Labview merupakan graphical programming environment terbuka yang ditetapkan oleh standar industri untuk aplikasi pengujian pengukuran, otomasi, pengumpulan data dan fleksibel sehingga dapat di hubungkan ke perangkat lainnya seperti modul *National Instrument, PLC dan PAC*[(3)]. Oleh sebab itu maka labview sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan dalam penelitian ini.

Pada pengembangan monitoring dan pengukuran parameter termohidrolika berbasis labview pada untai FASSIP untuk mengetahui perubahan temperature pada untai FASSIP menggunakan sensor temperatur termokopel yang dikoneksikan dengan modul *Instruments(NI)* 9213 dengan *port chassis DAQ NI 9188*. Untuk mengetahui perubahan laju aliran menggunakan menggunakan sensor flow meter yang di koneksikan dengan modul *NI* 9203 dengan *port chassis cDAQ NI 9188*. Menggunakan cDAQ 9188 sebagai sistem). Untuk modul Komunikasi antara *signal conditioning* dengan *display* menggunakan koneksi Kabel *LAN*. Untuk menampilkan *visual* pada layar monitor pada pengembangan monitoring dan pengukuran parameter termohidrolika ini menggunakan *labview*.

Dasar Teori

Termohidrolika

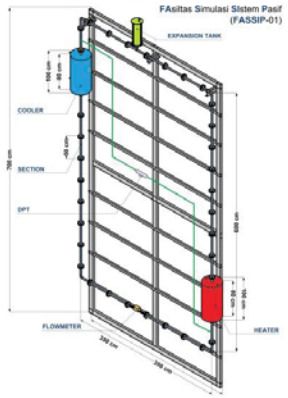
Termohidrolika reaktor adalah studi mengenal *transport* energi dari massa dalam pemanfaatan energi reaksi fisi di dalam teras reaktor [(4)]. Parameter termohidrolika pada meliputi parameter tekanan, laju alir dan temperatur. Pada aspek termohidrolika menjelaskan tentang distribusi temperatur dan parameter aliran yang merupakan parameter utama dari desain termohidrolika. Dalam perancangan alat penukar panas di analisis aliran dalam teras reaktor nuklir, salah satu aspek yang penting untuk diperhatikan adalah aspek termohidrolik. Hal ini tidak saja karena aspek termohidrolik berkaitan erat dengan efektivitas perpindahan panas, tetapi yang lebih penting lagi adalah keamanan suatu reaktor sangat bergantung pada dua pendekatan yang digunakan dalam mendefinisikan volume atur subbuluh dengan pusat fluida pendingin (*the coolant centered subchannel)* dan subbuluhpusat batang bahan bakar (*the rod centered subchannel*

Fasilitas Eksperimen Untai Fassip

Fasilitas untai FASSIP (Fasilitas sistem pasif) adalah fasilitas eksperimen yang terdapat pada PTKRN BATAN yang digunakan untuk mensimulasikan investigasi fenomena aliran sirkulasi alamiah pada pengembangan sistem keselamatan PLTN baik pada kondisi kecelakaan maupun pada kondisi operasi[(2)]. Bagian utama dari fasilitas eksperimen adalah Fasilitas Simulasi Sistem Pasif FASSIP terdiri dari:

ISSN 1978-0176

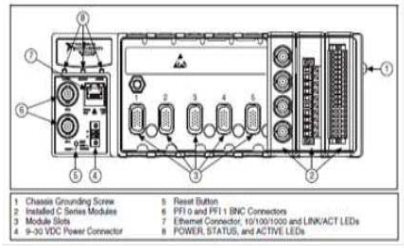
1. . Heater tank, bahan: SS304, geometri: dia. 16inch Sch.40, heater water 10 kW (setiap heater 2,5 kW - ada 4 buah heater water).
2. Cooler tank, bahan: SS304, geometri: dia. 16 inch Sch.40, terdapat saluran air pendingin dari sistem heat sink dengan refrigerant dan terkoneksi dengan Untai Uji BETA (UUB).
3. Expansion Tank, bahan akrilik dan SS316L, untuk mengkompensasi kelebihan dan fluktuasi tekanan di dalam loop.
4. Untai Rectangular (Rectangular Loop) FASSIP terdiri dari sistem pemipaan menggunakan section (dia. 1 inch) dan flange dengan panjang maksimal 50 cm berbahan SS304. Bagian-bagian kecil penyusun untai rektangular FASSIP disebut "section".
5. Flow meter menggunakan flow meter jenis kincir.



Gambar 1. Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP)

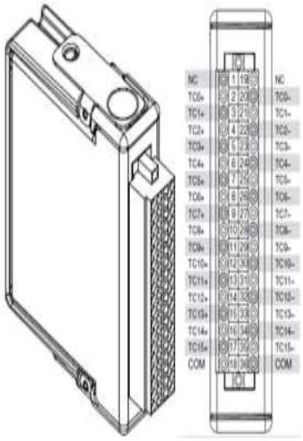
Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data dapat mengukur, meyimpan, menampilkan dan menganalisa informasi yang dikumpulkan dari berbagai perangkat. Pada dasarnya sistem akuisisi data terdiri dari sejumlah elemen atau komponen yang saling berhubungan satu dengan yang lain hingga dapat melakukan kerja berupa pencatatan dan perekaman data secara cepat, realtime dan akurat. Modul *Data Acquisition* (DAQ) berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran modul *signal conditioning* menjadi sinyal digital, dimana sinyal digital tersebut diterima komputer dan diproses berdasarkan program aplikasi sehingga data pengukuran dapat ditampilkan menjadi informasi yang diperlukan[5]. Modul akuisisi data NI Compact DAQ 9188 adalah modul buatan National Instrument berbasi Ethernet dengan kecepatan perekaman 200.000 data/detik. Secara lengkap konfigurasi modul NI Compact DAQ 9188 seperti gambar 2.



Gambar 2. Data akuisisi NI Compact DAQ 9188

Modul pengkondisi sinyal NI 9213 adalah modul input termokopel yang dimasukkan ke sistem akuisisi data untuk diolah dan ditampilkan pengukurannya. Modul tersebut mempunyai input sebanyak 16 kanal seperti ditunjukkan pada gambar 3.



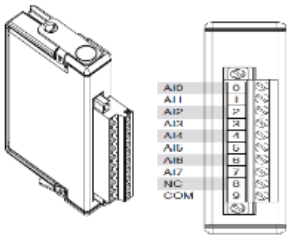
Gambar 3. NI 9213

Ujung kabel pada ujung kabel positif termokopel dihubungkan ke terminal TC+ dan ujung kabel negatif dari termokopel ke terminal TC-. NI 9213 juga memiliki dua terminal COM, yang secara internal terhubung ke isolasi graund referensi modul.. NI 9213 memiliki saluran autozero internal untuk mengkompensasi kesalahan offset.

Modul NI 9203 merupakan modul input analog 16 bit, $\pm$ 20 mA, terdiri dari 8 channel yang berfungsi untuk pengkondisi sinyal yang masuk kedalam modul tersebut dan mempunyai 10 terminal terdiri dari AI0-

ISSN 1978-0176

AI8, NC dan COM seperti yang ditunjukkan pada gambar 4



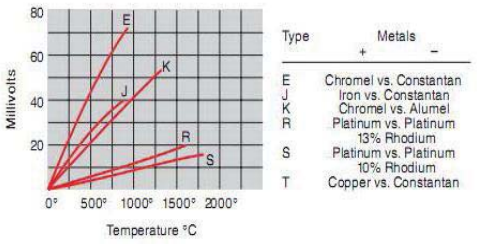
Gambar 4. Modul NI 9203

Beberapa terminal pada Analog input (AI) dapat tekoneksi dengan sinyal arus. Pada penelitian ini dihgunakan sebagai sinyal masukakkan arus pada flowmeter.

Setiap modul pengkondisi 9203 dan 9213 tersebut terhubung pada sebuah slot cDAQ-9188 yang keseluruhannya menyediakan 8 slot.

Termokopel

Termokopel adalah sepasang kawat logam jenis yang tidak sama jenisnya dihubungkan bersama-sama yang apabila kedua ujungnya masing-masing dimasukkan kedalam dua tempat yang berbeda suhunya, maka timbul gaya gerak listrik temperature antara kedua ujungnya[6]. Tegangan gerak listrik dipengaruhi oleh sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan Efek *Thermo-electric* pada. Efek *Thermo-electric* Termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (junction) ini dinamakan dengan Efek "*Seeback*". Hubungan tegangan dan termokopel dapat ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan termokopel dan tegangan

Dari grafik gambar 5. bahwa hubungan suhu temperature pada termokopel dan tegangan linear.

Flow Meter FLR 1000

Flow meter adalah sensor untuk mengukur laju alir pada cairan dari omega dan mampu mengukur laju alir serendah 13-100 ml / menit atau setinggi 1-10 l/min[7]. Didukung dengan poros yang sangat kecil dan terdapat posisi duabantalan. Sebagai aliran melewati sensor, presisi mesin nozzle mengarahkan cairan ke gigi yang sangat kecil dari roda mikro-turbin. Flow meter FLR 1000 di tunjukkan pada Gambar 6.

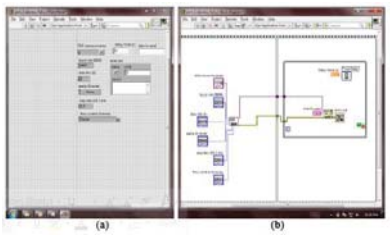


Gambar 6. Flow meter

Software labview

Program *labview* terdiri dari blok diagram dan *front panel*. *Front panel* menyediakan *interface* untuk pengguna yang akan mensimulasikan panel untuk instrumen seperti knop, tombol, dan saklar. Masukan pada *front panel* disebut control [5]. Keluaran yang terdiri dari grafik, LED, dan meter disebut indikator. Untuk membuat file simulasi baru dalam *labview*, pasti akan tertampil 2 *windows* yang muncul secara otomatis, yaitu *windows front panel* dan *windows block diagram*.

ISSN 1978-0176



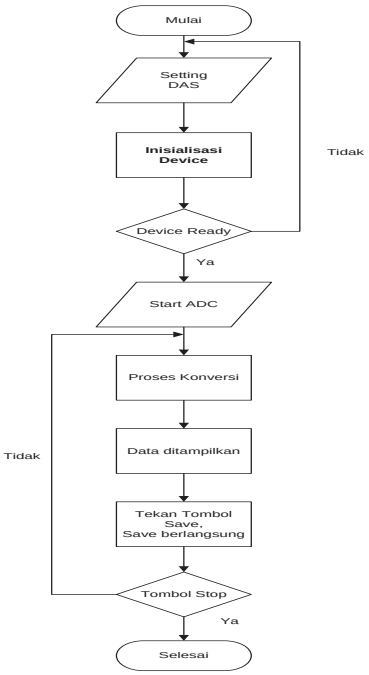
Gambar 7. Tampilan *front panel* dan *block diagram*. (a.) Tampilan *front panel*. (b.) Tampilan *block diagram*

Metodelogi

Metodelogi sistem monitoring dan pengukuran parameter termohidrolika berbasis labview pada untai FASSIP sebagai berikut :

1. Kalibrasi Sensor temperatur dan Flow meter. Kalibrasi dilakukan dengan kalibrator jofra.
2. Menentukan titik pengukuran temperatur dan laju alir titik pengukuran pada fasilitas sistem FASSIP.
3. Menghubungkan modul *NI* 9203 dan *NI* 9213 ke sasis modul akusisi data *NI cDAQ 9188 Ethernet*.
4. Menghubungkan modul akusisi data *NI cDAQ 9188 Ethernet* ke komputer PC dengan kabel LAN *Ethernet*.
5. Mengatur koneksi LAN *ethernet* di PC dengan modul akusisi data *NI cDAQ 9188 Ethernet.*
6. Menghubungkan termokopel ke kanal *NI* 9213.
7. Menghubungkan Flow meter ke modul *NI* 9203.
8. Panggil program *labview* yang sudah di program untuk mengukur temperatur dan laju alir.

Perancangan perangkat Lunak



Gambar 8. Perancangan perangkat lunak

Setelah membuat flowchart lalu menentukan tampilan indikator yang akan diukur yaitu Temperatur sebanyak 53 buah (TC01A-TC01F, TC19A-TC19F, TC02B-TC35B, TC10A, TC13A, TC17A,TC18A, TC35A, TC36, Tudara, Tair dan 1 buah indikator Laju Alir (Flow), pembuatan user interface, front panel pada labview dan menentukan program blok diagram pada labview.

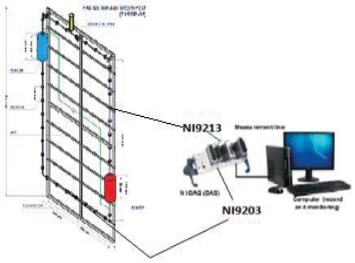
PEMBAHASAN

Hasil Koneksi sistem monitoring

Dari hasil koneksi sistem monitoring telah terpasang 53 termokopel dan 1 Flow meter yang terpasang di fasilitas sistem FASSIP. Termokopel terkoneksi dengan modul NI 9213 dan flowmeter terkoneksi dengan modul *NI* 9203. Modul *NI* 9213 dan 9203 terhubung ke *NI CDAQ* 9188. Untuk modul *NI* 9213 untuk membaca temperatur dan modul NI 9203 untuk membaca laju alir. Pada modul NI CDAQ 9188 dikoneksikan dengsn kabel LAN untuk

ISSN 1978-0176

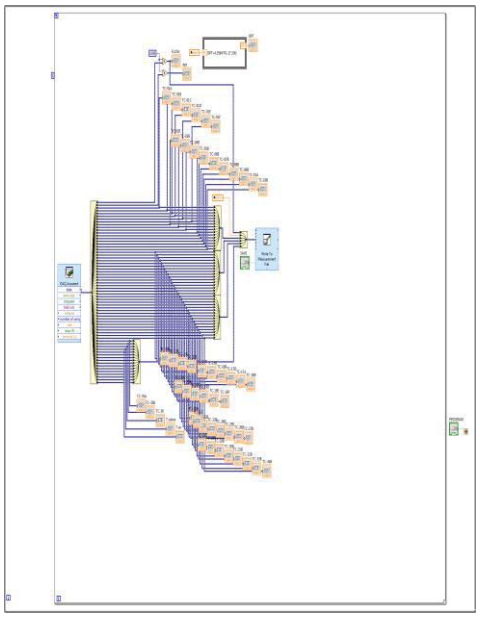
terkoneksi dengan komputer yang sudah terpasang *software Labview*.



Gambar 9. Hasil koneksi sisiem monitoring

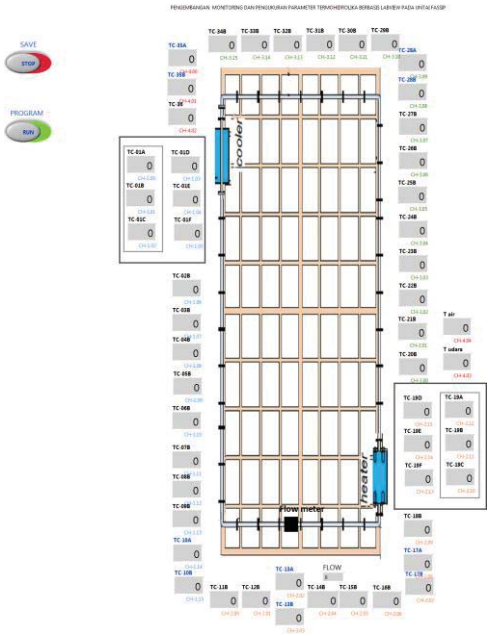
Tampilan Program

Tampilan sistem monitoring dan pengukuran parameter termohidrolika berbasis labview pada untai FASSIP dibuat dengan dengan cara memasukkan terlebih dahulu variabel Input dan output block diagram perangkat lunak labview, setelah semua variabel untuk tampilan selesai dimasukkan selanjutnya dilakukan pengaturan posisi indikator di mana letak dan posisinya Pada Fasilitas sistem Fassip. Blok diagram untuk tampilan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Blok diagram tampilan indikator

Sedangkan untuk tamoilan user interface pada perangkat lunak sebagai berikut :



Gambar 11. Hasil tampilan

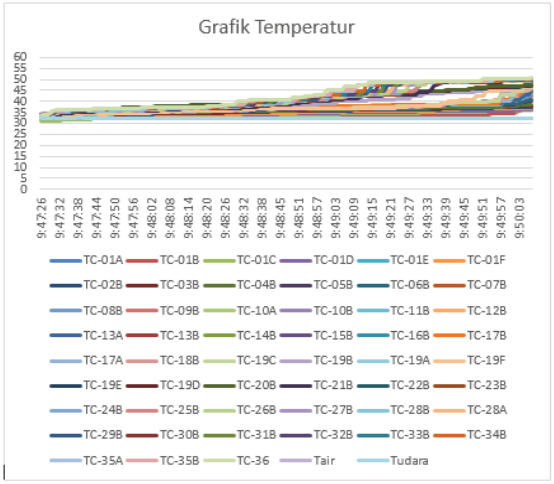
Pada tampilan program terdapat indikator run program untuk menjalankan program pada saat program labview di run. Indikator save digunakan untuk menyimpan data realtime pada saat program di run yang kemudian hasil simpan datanya disimpan melalui sebuah folder berupa data file .csv yang dapat di buka melalui excel. Pada tampilan program terdapat indikator pembacaan temperatur dan laju alir untuk memonitoring suhu dan laju alir yang terpasang pada fasilitas sistem FASSIP.

Hasil Pengujian Program

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan performa pengukuran dan instrumentasi, khususnya temperatur pada setiap titik termokopel diseluh fasilutas sistem FASSIP dan laju alir. Pengujian dilakukan dengan menyalakan daya baik untuk heater , pompa hss dan pre cooler. Pengujian pada program penyimpan file dilakukan dengan menampilkan data hasil pengukuran.

ISSN 1978-0176

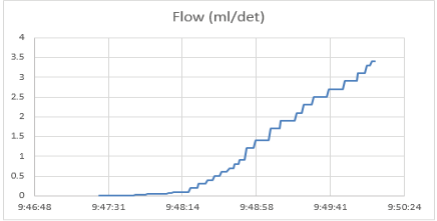
Dari data hasil pengukuran temperatur dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 12. Grafik pengukuran temperatur

Terlihat bahwa suhu pada temperatur naik, kenaikan terjadi karena adanya pemanasan dari heater yang terdapat pada fasilitas sistem fassip. Dari hasil grafik temperatur naik cepat terjadi pada termokopel yang terpasang di dekat heater dan kenaikan terendah terdapat pada pre cooler. Perubahan nilai temperatur terhadap waktu selama proses pemanasan merupakan pemanasan secara konveksi. Konveksi terjadi akibat perpindahan panas melaui suatu zat yang disertai dengan perpindahan bagian-bagian yang dilaluinya. Konveksi yang terjadi pada eksperimen pengukuran temperatur pada fasilitas sistem fassip adalah konveksi zat cair dan syarat terjadinya konveksi pada zat cair adalah terjadinya pemanasan. Hal ini disebakan partikel zat cair ikut berpindah.

Dari hasil rekaman data yang diperoleh pada file .csv pada hasil output pengukuran laju alir pada software labview, maka dapat diperolah grafik pengukuran laju alir sebagai sebagai berikut :



Gambar 13. Grafik laju alir

Dari hasil grafik dapat terlihat sensor laju alir mendeteksi kenaikan laju alir ketika pomp hss dinyalakan pada fasilitas sistem fassip. Dari grafik menunjukkan hubungan waktu terhadap laju alir. Semakin cepat kecepatan aliran pompa hss maka laju alir yang terdeteksi pada flowmeter semakin besar. Kecepatan laju alir maksimal pada hasil pengukuran adalah 3.4 mL/det.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Telah dilakukan pengembangan sistem monitoring dan pengukuran parameter termohidrolika pada sistem FASSIP menggunakan labview 2011 yang dapat menampilkan parameter termohidrolika berupa temperature dan laju alir.
2. Sistem ini dapat menyimpan data hasil akuisisi secara komputerisasi dan realtime ke dalam *harddisk* dalam bentuk *file* dan dapat diolah lebih lanjut untuk memudahkan analisis data.
3. Menampilkan data digital sehingga memudahkan dalam pembacaan data pengukuran.

Daftar Pustaka

1. Broughton, James M., P. Kuan, A. David, Petti, and E. L. Tolman, A Scenario of the Three Mile Island Unit 2 Accident, Nuclear Technology, 87 (1) (1989) p. 34-53.

2. Juarsa, Mulya.2015. Laporan Penelitian Studi Eksperimental Fenomena Sirkulasi Alamiah Aliran Satu-Fasa untuk Pengembangan PRHRS Menggunakan Untai FASSIP-01, Serpong.

3. Budiono, Eka. 2007. Programmable Automation Control (PAC) dengan labview. Gava Media, Yogyakarta.
4. Masaki Ucihda. Thermal Hidrolic of Nuclear Reactor, Tokai Training Center, JAERI.

5. L/K Well and J.Travis.1996. LabView for everyone: Graphical Programming Made Even Easier, 2nd Edition.

6. Irvan S, Muhammad.2009. Teknik Kalibrasi Termokopel tipe K di PT Inalu

ISSN 1978-0176

Muara Kujang. Tugas Akhir Diploma IV Teknologi Instrumentasi Pabrik Universitas Sumatra Utara. Medan.

7. Datasheet Flow meter FLR 1000, Omega.

ISSN 1978-0176

ANALISIS UNSUR PADA LUMPUR ENDAPAN PENAMPUNG LIMBAH CAIR KOLAM DRAINASE RSG-GAS

Nugraha Luhur [1)], Rohidi [1)], Mashudi [1)]

1) PRSG-BATAN, Tangerang Selatan, Indonesia, nugrahal@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS UNSUR PADA LUMPUR ENDAPAN PENAMPUNG LIMBAH CAIR KOLAM DRAINASE RSG-GAS. Telah dilakukan analisis kandungan unsur zat radioaktif pada lumpur endapan pada kolam drainase penampungan limbah cair RSG-GAS. Kolam drainase di rancang untuk fungsi penampungan air pendingin primer yaitu air kolam reaktor, air kolam penyimpanan bahan bakar bekas, dan air pada pemipaan sistem pendingin primer. Saat ini kolam drainase di pergunakan untuk penampungan sementara limbah-limbah cair RSG-GAS, jika sistem penampungan limbah yang ada seluruhnya penuh dan belum dilakukan pengiriman ke Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif yang di kelola oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Pada bulan Oktober 2015 kolam drainase dilakukan pengurasan dan pembersihan dalam rangka perawatan temporer untuk mendukung infrastruktur kesiapsiagaan nuklir. Pada kolam drainase terkumpul kotoran berupa lumpur endapan dan dilakukan analasis kandungan unsur radioaktif untuk menentukan langkah pengelolaan limbah lebih lanjut. Metode yang digunakan dalam analisis limbah lumpur endapan kolam drainase adalah dengan melakukan pengambilan tiga cuplikan lumpur endapan pada kolam di tiga titik yang berbeda dan dua cuplikan pada endapan air kurasan yang di tampung dalam tangki. Cuplikan tersebut kemudian dilakukan preparasi pada tabung marineli volume satu liter kemudian dilakukan pencacahan menggunakan spektrometer gamma untuk dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis diperoleh unsur Na-24 (24,836 Bq/l), Mn-54 (25,458 Bq/l), Zn-65 (370,518 Bq/l), Co-60 (535,368 Bq/l), dan Fe-59 (5,09 Bq/l) dengan jumlah limbah sebanyak 100 liter dan dikemas ke dalam wadah drum 100 liter dan siap di kirim ke PTLR.

Kata kunci: lumpur, penampung, kbb

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELEMENTS IN SLUDGE DEPOSITS WASTE WATER DRAINAGE POOL RSG-GAS. We analyzed the element content of radioactive substances in the sludge sediment ponds holding liquid waste drainage pool RSG-GAS. Drainage pool designed for water storage function of primary cooling water reactor pool, the water spent fuel storage pool, and the water in the primary coolant system piping. Currently in use for the drainage pool temporary shelter liquid wastes RSG-GAS, if the waste containment system that is completely full and has not done delivery to the Radioactive Waste Treatment Plant which is managed by the Center for Technology of Radioactive Waste. In October 2015 drainage pool draining and cleaning is done in temporary maintenance of order to support the infrastructure nuclear preparedness. In the drainage pool basin sediment accumulated impurities such as mud and do analasis content of radioactive elements to determine the waste management step further. The method used in the analysis of sewage sludge pond sludge drainage is by taking three samples sludge sediment ponds at three different points and two samples on sediment of waste water which is contained in the tank. These samples are then carried out on the tube preparation marineli volume of one liter and then enumeration using gamma spectrometer to be analyzed qualitatively and quantitatively. The results obtained by analysis of the elements is Na-24 (24,836 Bq/l), Mn-54 (25,458 Bq/l), Zn-65 (370,518 Bq/l), Co-60 (535,368 Bq/l), dan Fe-59 (5,09 Bq/l) with the amount of waste as much as 100 liters and packed into drum containers 100 liter volume and ready to send to the Radioactive Waste Treatment Plant.

Keywords: slug, container, kbb

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) dibangun berdasarkan konsep reaktor kolam terbuka dengan menggunakan air sebagai pendingin dan moderator serta menggunakan Beryllium sebagai reflektor. Fasilitas RSG-GAS didesain dengan prinsip paparan minimum terhadap masyarakat dan operator RSG-GAS selama operasi normal dan kondisi kecelakaan serta didesain dengan daya termal nominal 30 MW dan fluks neutron maksimum sebesar $5{,}38 \times 10^{14}$ n/cm^2s. Penggunaan RSG-GAS tidak hanya untuk penelitian dan pengembangan dalam bidang Ilmu dan Teknologi Nuklir, tetapi juga untuk melayani kegiatan iradiasi nuklir. Penelitian di bidang teknologi nuklir dititik beratkan pada penelitian di bidang bahan bakar nuklir, fisika reaktor, dan pelatihan operator reaktor. Sedangkan pelayanan kegiatan iradiasi dilakukan untuk penelitian uji material dan produksi isotop. Konsekuensi dari pengoperasian fasilitas nuklir seperti Reaktor Serba Guna GA.Siwabessy (RSG-GAS) akan menimbulkan bahan radioaktif atau bahan terkontaminasi yang pada akhirnya harus diperlakukan sebagai limbah radioaktif. Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan atau bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi [1]. Limbah radioaktif mempunyai potensi bahaya radiasi sehingga dalam pengelolaannya harus memperhatikan aspek keselamatan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Pengelolaan limbah radioaktif merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi pengumpulan, pengelompokan, penyimpanan, dan pengiriman atau pengangkutan ke Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif yang di kelola oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR).

Dalam pengelolaan limbah radioaktif maka limbah harus diklasifikasikan berdasarkan sifat-sifat dari limbah tersebut untuk membantu dalam proses pengelolaan limbah radioaktif selanjutnya. Secara sederhana untuk keperluan pengelolaan limbah radioaktif klasifikasi limbah dapat dilakukan berdasar sifat fisika (padat, cair, dan gas). Akan tetapi untuk keperluan proteksi radiasi klasifikasi limbah radioaktif dominan berdasarkan sifat radiologi dari limbah. Berdasarkan Peratura Pemerintah No.61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif memberikan klasifikasi limbah radioaktif dalam tiga tingkatan sebagai berikut [2]:

1. Limbah radioaktif tingkat rendah
2. Limbah radioaktiftingkat sedang
3. Limbah radioaktif tingkat tinggi

Untuk limbah radioaktif kelas rendah dan sedang yaitu berupa zat radioaktif terbuka, zat radioaktif terbungkus, bahan dan peralatan terkontaminasi dan atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi. Sedangkan limbah radioaktif tingkat tinggi yaitu bahan bakar nuuklir bekas. Limbah radioaktif yang di timbulkan oleh RSG-GAS meliputi limbah padat, gas, cair, dan semi cair. Pada tulisan ini akan dibahas tentang limbah radioaktif semi cair berupa lumpur endapan pada kolam drainase yang disebut dengan kolam KBB01. Berdasarkan Laporan Analisis Keselamatan (LAK-RSG-GAS) kolam drainase KBB01 ini berfungsi untuk menampung air pendingin primer yaitu air yang berada di kolam reaktor, air kolam penyimpanan bahan bakar bekas, air di ruang tunda dan air pada pemipaan pipa sistem pendingin primer jika kolam-kolam tersebut harus dikosongkan untuk keperluan perbaikan atau jika terjadi kecelakaan sehingga air dalam kolam terbuang. Dari uraian tersebut dapat dikatakan bahwa air yang terkumul atau ditampung pada kolam drainase KBB01 merupakan air bersih dan air tersebut dapat dikembalikan ke kolam reaktor dan kolam penyimpanan bahan bakar bekas. Sejak RSG-GAS beroperasi kolam drainase KBB01 pernah di pergunakan untuk menampungan air kolam reaktor yang di kosongkan untuk keperluan perbaikan sistem pada tahun 1988 dan masih di lakukan oleh pihak *InterAtom* sebagai pihak yang melakukan pembangunan RSG-GAS dan setelah kegiatan tersebut RSG-GAS dikelola oleh Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG).

Di RSG-GAS terdapat beberapa tempat penampung limbah cair dengan fungsi yang berbeda-beda yaitu tangki penampung limbah drainase komponen primer (tangki KTA01), bak penampung limbah tumpahan dan limbah

ISSN 1978-0176

bocoran air di lantai gedung (bak KTF01), tangki penampung limbah cair aktivitas sedang (tangki KPK02) dan tangki penampung limbah cair aktivitas rendah (tangki KPK01). Penampungan akhir dari semua limbah cair dari tempat-tempat penampunan limbah cair tersebut bermuara di tangki KPK01 yang kemudian dari Tangki KPK01 tersebut limbah cair akan dikirim/ diangkut ke Instalasi Pengelohan Limbah Radioaktif yang dikelola oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Sejak RSG-GAS di kelola oleh PRSG kolam drainase KBB01 di fungsikan sebagai penampungan sementara limbah-limbah cair RSG-GAS, jika sistem penampungan limbah yang ada seluruhnya penuh dan belum dilakukan pengiriman ke PTLR. Yang di maksud dengan penyimpanan sementara adalah jika tangki penampungan akhir KPK01 telah kosong maka limbah cair yang berada di kolam drainase KBB01 akan dipindahkan ke tangki penampungan KPK01. Sehingga di dalam kolam drainase tersebut semakin lama semakin kotor dan terakumulasi endapan kotoran berbentuk lumpur endapan. Pada bulan Oktober 2015 kolam drainase KBB01 dilakukan pengurasan dan pembersihan dalam rangka perawatan temporer untuk menunjang infrastruktur kesiapsiagaan nuklir. Kumpulan kotoran berupa lumpur endapan tersebut diperlakukan sebagai limbah radioaktif semi cair sehingga harus dilakukan analasis untuk menentukan langkah lebih lanjut.

Analisis kualitatif dan kuantitatif terhadap limbah lumpur endapan diperlukan untuk mengetahui tingkat radioaktivitas limbah untuk menentukan langkah pengolahan limbah lebih lanjut. Hasil analisis juga dapat dipergunakan sebagai bahan kajian dan usulan metode yang lebih baik (menguntungkan) dalam pengelolaan limbah cair yang ada di RSG-GAS untuk menjawab kekurangan yang ditemukan. Metode yang digunakan dalam analisis limbah lumpur kolam drainase KBB01 adalah dengan melakukan pengambilan cuplikan lumpur endapan kolam di tiga titik yang berbeda dan dua cuplikan pada hasil. Cuplikan tersebut kemudian dilakukan preparasi pada tabung marineli volume satu liter kemudian dilakukan pencacahan menggunakan spektrometer gamma untuk dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

DESKRIPSI

1. SISTEM PENAMPUNGAN LIMBAH CAIR RSG-GAS

Sistem pengelolaan limbah cair RSG-GAS terintegrasi dalam satu sistem pengelolaan limbah cair RSG-GAS yang dihubungkan melalui jalur pipa tahan karat dan dilengkapi dengan katup-katup untuk pengaturan pengelolaan limbah. Dalam melakukan pengelolaan limbah dilakukan dengan cara pengumpulan, pengelompokan, penyimpanan sementara dan pengangkutan (pengiriman). Limbah cair yang ditimbulkan dari operasi RSG-GAS dibagi dalam dua katagori yaitu limbah cair aktivitas rendah dan aktivitas menengah. Dua sistem terpisah dipasang di gedung reaktor untuk menampung limbah cair yaitu limbah cair aktivitas rendah dan limbah cair aktivitas menengah.

a. Sistem Penampungan limbah cair aktivitas rendah (tangki KPK01)

Terdapat dua buah tangki untuk penampungan limbah cair aktivitas rendah yaitu tangki 1 (KPK01 BB01) dan tangki 2 (KPK01 BB02) masing-masing mempunyai kapasitas 20 m^3. Limbah cair pada tangki penampungan KPK01 sebagian besar berasal dari air bekas cucian termasuk air bekas dekomentasi dan air kondensasi dari sistem ventilasi dalam gedung reaktor.

b. Sistem Penampungan drainase komponen primer (Tangki KTA01)

Limbah cair pada tangki penampungan KTA01 berasal dari air buangan dari sistem dan komponen pendingin primer yaitu pada saat pengudaraan maupun pengosongan untuk keperluan perbaikan dan lain-lain. Air berasal dari sumber tidak aktif atau aktif rendah (kurang dari 10^{-2} Ci/m^3) dan disalurkan melalui header ke dalam tangki drainase komponen primer [3]. Sebagian besar berasal dari air buangan sistem-sistem pemurnian air pendingin

ISSN 1978-0176

primer setelah filter resin pada saat perawatan atau perbaikian filter mekanik.

c. Sistem Penampungan drainase lantai gedung (Bak Pengumpul KTF01).

Limbah cair pada bak penampungan KTF01 berasal dari air bocoran dan tumpahan air pada lantai di daerah kendali. Jumlah dan frekuensi pengeluaran air limbah bervariasi bergantung masing-masing sumbernya. Selain itu limbah cair pada bak pengumpul ini berasal dari air buangan dari sistem pendingin sekunder ketika pengosongan air dari sistem penukar panas kemudian berasal dari air limbah laboratorium yang sebagian besar tidak aktif. Sumber yang koninyu berasal dari air kondensasi sistem ventilasi dengan laju alir ±120 ℓ/jam.

d. Sistem Penampungan limbah drainase (kolam KBB01).

Limbah cair pada kolam drainase KBB01 digunakan untuk menampung air kolam reaktor, air kolam penyimpan elemen bakar bekas, air tangki tunda dan air pada pemipaan system pendingin primer. Kolam drainase KBB01 mempunyai kapasitas 500 m^3 dilengkapi dengan pompa limbah tegak yang digunakan untuk pengisian kembali ke sistem pendingin primer. Jika air kolam drainase KBB01 akan diisikan kembali ke sistem primer, air harus dibersihkan dengan mengoperasikan sistem pemurnian, sebelum elemen bakar teriradiasi dimasukkan kembali ke teras reaktor.

e. Sistem Penampungan limbah cair aktivitas sedang (tangki KPK02)

Limbah cair aktivitas sedang berasal dari pengudaraan dan pengosongan sistem berkas neutron (*beam tube)*, sistem purifikasi, dan sistem pemindah resin. Sebagian besar limbah cair pada tangki KPK02 berasal dari tabung berkas neutron. Terdapat 6 buah sistem berkas neutron yang masing-masing tabung berkas diisi dengan air sebanyak ± 50 liter yang berfungsi sebagai perisai radiasi. Jika tabung berkas tidak dipergunakan untuk eksperimen, air dibuang dan dialirkan ke tangki penampung limbah aktivitas sedang KPK02.

2. ANALISIS MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA

Spektrometri Gamma dapat diartikan sebagai suatu cara pengukuran dan identifikasi zat-zat radioaktif dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi foton gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif kepada detektor**.** Pengukuran menggunakan spektrometri gamma merupakan metoda pengukuran bersifat relatif sehingga sebelum digunakan dalam pengukuran untuk keperluan analisis, sistem spektrometer gamma harus dilakukan kalibrasi agar dapat digunakan untuk analisis. Ada 2 macam kalibrasi yang perlu dilakukan, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif, sedangkan kalibrasi efisiensi untuk tujuan analisis kuantitatif [5]. Kalibrasi energi digunakan untuk mengetahui jenis radioanuklida yang terdapat dalam cuplikan. Dari hasil kalibrasi energi menggunakan sumber standard didapat spektrum dengan nomor kanal *(channel)* tertentu, hubungan antara energi dengan nomor kanal dari sumber standar tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan energi puncak spektrum sumber lain yang merupakan cuplikan limbah lumpur endapan. Dari posisi nomor kanal tertentu, dapat ditentukan energi dari puncak spektrum-spektrum yang terukur (tercacah) dan dapat diidentifikasi kandungan radionuklida dalam cuplikan limbah limbah lumpur endapan. Kalibrasi effisiensi digunakan untuk menghitung aktivitas sumber radioaktif yang terukur dalam limbah lumpur endapan. Sumber radioaktif memancarkan radiasi ke segala arah, sedangkan cuplikan sumber radioaktif (limbah lumpur endapan) diukur pada jarak tertentu dari detektor, sehingga hasil pencacahan belum mencerminkan aktivitas yang sesungguhnya dari sumber tersebut. Pada pengukuran secara spektrometri dimana pengukuran ditujukan kepada salah satu

ISSN 1978-0176

energi atau salah satu spektrum radionuklida dari sejumlah spektrum radionuklida yang terukur sehingga aktivitas radionuklida ditentukan oleh effisiensi deteksi dan intensitas mutlak dari energi sumber gamma yang sedang diukur. Perlakuan dan kondisi cuplikan saat pencacahan harus sama dengan saat kalibrasi.

METODE PENELITIAN

1. **Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah**

   a. Cuplikan limbah lumpur endapan.
   b. Tabung Marinelli
   c. Nitrogen cair
   d. Sumber Standar Eu-152, Co -60, Cs-137

2. **Alat yang digunakan adalah**

   Alat yang digunakan adalah spektrometer gamma yang terdiri atas detektor semikonduktor (HP Ge), sumber tegangan tinggi *(High Voltage)*, penguat awal *(preamplifier)*, penguat *(amplifier)*, penganalisis saluran ganda spektrum *(Multi Channel Analizer)* dengan perangkat lunak program Maestro.

3. **Cara Kerja**

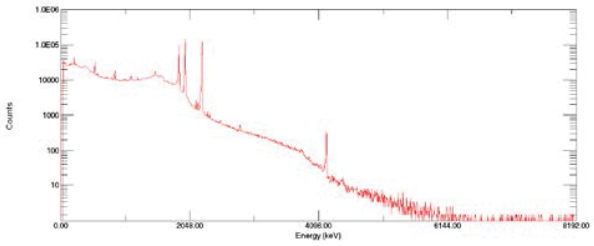
   Pengukuran dilakukan dengan cara sebagai berikut:
   a. Cuplikan limbah lumpur diambil diambil pada 3 titik yang berbeda dan 2 dari proses pengendapan
   b. Cuplikan limbah lumpur dimasukkan ke dalam tabung-tabung marinelli untuk preparasi.
   c. Sistem spektroskopi gamma dihidupkan untuk pemanasan agar kinerja sistem spektroskopi stabil
   d. Sistem spektroskopi di kalibrasi energi dan dikalibrasi effisiensi menggunakan sumber standar Eu-152, Co60 dan Cs 137 berbentuk tabung marinelli.
   e. Dilakukan pencacahan selama 2 jam dari Cuplikan yang telah dipreparasi pada tabung marinelli.
   f. Data spektrum pencacahan disimpan ke dalam hard disk
   g. Langkah 4 dan langkah 5 diulangi untuk cuplikan-cuplikan limbah lumpur endapan yang lainnya
   h. Dilakukan analisis dan pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian pembuangan limbah cair RSG-GAS dalam rangka pengelolaan limbah cair secara desain terpusat (bermuara) di tangki penampungan limbah cair aktivitas rendah KPK01. Jika salah satu dari tangki penampungan limbah KPK 01 penuh kemudian dilakukan analisis unsur radioakti. Jika aktivitas di bawah 2000 Bq/liter maka limbah cair di pindahkan ke saluran Pantauan Buangan Terpadu (PBT) dan jika aktivitas limbah diatas di atas 2000 q/liter limbah cair di kirim ke PTLR. Tangki penampungan limbah cair KTA01 dan KPK02 adalah tangki penampungan limbah cair aktivitas sedang. Dalam tangki ini limbah diluruhkan, tetapi jika tangki tersebut penuh maka limbah di pindahkan ke tangki penampungan limbah aktivitas rendah KPK 01. Sedangkan kolam penampungan KTF01 yang kapasitasnya relative kecil jika penuh secara otomatis limbah akan di pindahkan ke tangki KPK01 menggunakan pompa yang pengoperasiannya dikendalikan oleh control level ketinggian limbah cair. Kendala yang di hadapi adalah jika seluruh tangki penampungan limbah penuh dan limbah belum dapat dilakukan pengiriman ke jalur PBT ataupun di kirim ke PTLR, sedangkan reaktor harus dioperasikan dengan persyaratan salah satu tangki dari tangki penampungan KPK01 harus kosong maka untuk keperluan teknis dalam rangka untuk mendukung kelancaran operasi reaktor, limbah-limbah cair dipindahkan sementara ke kolam drainase KBB01 untuk penampungan sementara limbah cair RSG-GAS. Jika tangki penampungan KPK01 telah kosong maka limbah cair yang ada di kolam drainase KBB01 di pindahkan kembali ke tangki KPK01. Pola pengendalian limbah seperti tersebut diatas berjalan terus sehingga kolam drainase KBB01 menjadi kotor dan terdeposi dan terakumulasi limbah lumpur endapan. Dalam rangka

ISSN 1978-0176

perawatan dan untuk mendukung infrastruktur kesiapsiagaan nuklir pada bulan tahun oktober 2015 kolam drainase KBB01 dilakukan pengurasan dan pembersihan. Limbah lumpur endapan dari kolam KBB01 dilakukan analisis kandungan unsur radioaktif untuk menentukan langkah pengendalian limbah selanjutnya. Dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif menggunakan perangkat spectrometer gamma. Untuk melakukan pengamatan data, spektrum hasil pencacahan spectrometer gamma harus diolah ke dalam angka yang dapat menginformasikan jumlah cacahan. Spektrum hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Spektrum hasil pencacahan

Tabel 1. Nuklida-nuklida yang teridentifikasi dalam limbah lumpur endapan

No	Radionuklida	Energi (keV)	Umur Paroh
1.	Na-24	441,56	15 Jam
2.	Mn-54	834,81	312,5 hari
3.	Zn-65	1115,52	244,1 hari
4.	Co-60	1332,51	5,3 tahun
5.	Fe-59	1691,04	44,6 hari

Tabel 2.Hasil Korosi Teraktivasi dari Bahan Struktur di Dalam Pendingin Primer

Radio Nuklida	Umur paruh	Sumber yang paling berpeng aruh		Aktivitas (Ci/m^3)		
		A	B	Air dari dalam	Lapisan hangat	Balai reaktor
Na-24	15 jam	X		2,4 (-3)*	1,5 (-3)*	1,3 (-11)*
Na-25	1 menit	X		7 (-9)	---	---**
Al-28	2,3 menit		X	1,5 (-3)	---	---
Mg-27	9,5 menit	X		5,0 (-5)	---	---
Cr-51	27,8 hari	X		1,0 (-3)	1,0 (-3)	---
Mn-54	312,5 hari	X		6,8 (-7)	6,8 (-7)	---
Mn-56	2,58 jam		X	1,5 (-5)	1,0 (-6)	---
Co-58	70,8 hari	X		3,4 (-6)	3,4 (-6)	---
Co-60	5,27 thn	X		5,7 (-6)	5,7 (-6)	---
Zn-65	2,56 jam		X	1,4 (-5)	9,3 (-7)	---
Fe=59	44,6 hari	X		6,3 (-6)	6,3 (-6)	---

Dari hasil analisis kualitatif didapatkan (terukur) radionuklida Na-24, Mn-54, Zn-65, Co-60, dan Fe-59. Jika di tinjau dari umur paroh radionuklida tersebut sebagian besar zat radioaktif berumur paroh pendek, hal ini menunjukkan bahwa limbah radioaktif di tangki drainase kolam KBB01 berasal dari air pendingin primer. Hal ini didukung hasil analisis pada kumpulan hasil laporan limbah-limbah cair bahwa radionuklida Na-24, Mn-54, Zn-65, Co-60, dan Fe-59 tedeteksi pada air limbah dari tangki limbah KPK02, dimana sumber limbah yang di tampung pada tangki limbah KPK02 berasal dari air pendingin primer. Sedangkan hasil analisis hasil dari air limbah dari tangki KPK01 jarang terdeteksi Na-24, Mn-54, Zn-65, dan Fe-59 dikarenakan sumber air limbah yang ditampung pada tangki KPK01 sebagian besar berasal air kondensasi sistem ventilasi dan air bekas cuci pada ruang dekontaminasi yang sebagian besar tidak aktif.

Hasil analisis kuantitatif zat radioaktif pada lumpur endapan kolam drainase KBB01 ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Aktivitas cuplikan-cuplikan limbah lumpur endapan

Kode Cuplikan	Aktivitas Nuklida (Bq/liter)				
	Na-24	Mn-54	Zn-65	Co-60	Fe-59
Lmp 001	28.17	25.83	447,62	587.34	4.84
Lmp 002	30,93	23.22	333.5	500.21	7.27
Lmp 003	22.27	25.01	489.12	486.99	3.18
Lmp 004	36.85	27.45	522.11	569.01	4.81
Lmp 005	36.89	25.78	507.86	533.29	5.35
Jumlah	124.18	127.29	1852.59	2676.84	25.45
rata-rata	24.836	25.458	370.518	535.368	5.09
Total	1496.638				

ISSN 1978-0176

Dari data hasil analisis kualitatif dan kuantitatif yang telah dilakukan unsur-unsur yang terdeteksi dan aktivitas radionuklida yang terdeteksi antara cuplikan yang satu dengan yang lain relatif sama, hal ini menunjukkan bahwa unsur-unsur radioaktif pada lumpur endapan terdistribusi merata di dalam lumpur endapan. Dilihat dari unsur-unsur dari hasil analisis yaitu Radionuklida Mn-54, Zn 65, Co-60, dan Sb-124 dihasilkan dari korosi bahan struktur pendukung reaktor yang teraktivasi neutron dan terbawa air pendingin primer [5]. Radionuklida tersebut sesuai dengan data yang ada pada Laporan Analisis Kecelakaan (LAK) RSG-GAS Bab 12.

Limbah terkumpul sebanyak ± 100 liter dan di kemas kedalam wadah drum volume @ 100 liter dengan kategori limbah radioaktif aktivitas rendah dan siap dikirim ke PTLR. Aktivitas radionuklida terbesar 535.368 Bq/liter yaitu sumber Co-60 dengan waktu paroh 5,3 tahun. Limbah tersebut dapat diolah dengan metode di keringkan melalui proses penguapan sehingga dapat menjadi jenis limbah radioaktif padat tak terbakar dan dapat dilakukan pengolahan imobilisasi.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis kualitatif dan kuantitatif limbah lumpur endapan kolam drainase KBB01 menggunakan spektrometer gamma dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan radionuklida dalam limbah lumpur endapan telah sesuai dengan perkiraan radionuklida pada Laporan Analisis Kecelakaan RSG-GAS yaitu radionuklida Na-24, Mn-54, Zn-65, Co-60, dan Fe-59 yang merupakan unsur hasil korosi bahan struktur pendukung yang berada di kolam reaktor
2. Limbah lumpur yang terkumpul sebanyak 100 liter dan dikemas ke dalam drum volume liter dengan identifikasi limbah sebagai berikut:

aktivitas Total	: 1496,638	MBq
paparan kontak	: 5,36	µSv/Jam
paparan 1 m	:1,12	µSv/Jam

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIMOUS. UNDANG-UNDANG KETENAGANUKLIRAN No 10 tahun 1997.
2. ANONIMOUS. PUSAT PENDIDIKAN DAN LATIHAN. “PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF DAN ASPEK KESELAMATANNYA. PELATIHAN PROTEKSI RADIASI. PUSDIKLAT. BATAN. 2007.
3. ANONIMOUS. PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA No.61 Tahun 2013 TENTANG PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF.
4. ANONIMOUS. PUSAT REAKTOR SERBA GUNA. “Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy revisi 9 PRSG Serpong. 2007.
5. Diyah Erlina Lestari. STUD AWAL RADIONUKLIDA HASIL KOROSI PADA AIR PENDINGIN PRIMER RSG-GAS. Proseding Seminar Hasil Penelitian PRSG Tahun 1997/1998.
6. ANONIMOUS. Kumpulan Laporan Analisis air limbah cair RSG-GAS.
7. WISNU SUSETYO. Drs.. SPEKTROMETRI GAMMA DAN PENERAPANNYA DALAM ANALISIS PENGAKTIFAN NEUTRON. Gadjah Mada University Press. 1988.
8. Mulyono Daryoko dan Gunandjar. INVENTARISASI RADIONUKLIDA DALAM KOMPONEN REAKTOR NUKLIR. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah. PTLR. Volume 6 Nomor 1 Juni 2003.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN ALAT MONITOR KADAR KARBON DIOKSIDA DI PERMUKAAN TROPOSFER BERBASIS ANDROID

Fauzy Fatahillah[1], Ginaldi Ari Nugroho[2], Nugroho Tri Sayoto[3]
Program Studi Elektronika Instrumentasi, Jurusan Teknofisika Nuklir,
STTN-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta 55281
Email: trisanyotonugroho@yahoo.co.id

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT MONITOR KADAR KARBON DIOKSIDA DI PERMUKAAN TROPOSFER BERBASIS ANDROID. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat monitor kadar karbondioksida menggunakan aplikasi pada smartphone berbasis android. Proses pengiriman data menggunakan protokol MQTT. Alat monitor karbondioksida ini terdiri dari Arduino Mega 2560 sebagai board mikrokontroler, Arduino Shield Ethernet sebagai modul pengiriman data dan Sensor K-33. Dari hasil pengujian, sistem yang telah dibuat mempunyai nilai koefisien korelasi rata-rata terhadap sistem lain sebesar 0,9055 serta data nilai karbon dioksida dapat tertampil di aplikasi android.

Kata kunci: Karbon dioksida, Sensor K-33, MQTT, Android.

ABSTRACT

DESIGN OFCARBON DIOXIDE LEVELMONITORING TOOL IN THE TROPOSPHERE SURFACE BASED ON ANDROID.. *This research aims to create a monitoring carbon dioxide levels tool using the android-based apps. The process of sending data using MQTT protocols. The equipment consists of Arduino Mega 2560 as a microcontroller board, Arduino Shield Ethernet as a data transmission module, and K-33 sensor. As the result, those system has a value of the average correlation coefficient to other systems of 0.9055 and the carbon dioxide value data can be displayed on the android app.*

Keywords: carbon dioxide, K-33 sensor, MQTT, Android.

[1] Mahasiswa
[2] Dosen pembimbing I(Lapan Bandung)
[3] Dosen pembimbing II(Sttn Batan)

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

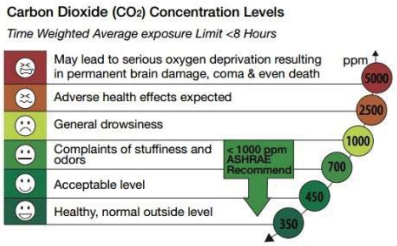
Pemanasan global adalah peningkatan suhu rata rata bumi yang disebabkan dari pembangunan yang menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida. Pembakaran bahan bakar yang masih menggunakan bahan fosil seperti minyak bumi batu bara, dan gas alam lainnya akan menghasilkan gas karbon dioksida kemudian melepaskan gas emisi karbon dioksida ke atmosfer. Perubahan iklim di bumi merupakan akibat dari pemanasan global yang semakin tahun semakin bertambah besar, tercatat pada tahun 2002 the Inter-Govermental Panel on Climate Change (IPCC) mengeluarkan the third assessment report yang menyatakan bahwa peningkatan pemanasan global yang disebabkan oleh ulah manusia. Diperkirakan kedepan masih akan terjadi peningkatan suhu global antara 1,4 sampai 5,8 derajat celcius pada abad ini. Hal ini terbukti dari penelitian yang dilakukan dalam lima tahun terakhir.

Dampak polusi udara pada kesehatan manusia sangat komplek, selain dampak pada manusia, polusi udara juga berdampak pada kerusakan lingkungan, seperti tumbuhan, binatang, material, terjadinya gangguan kabut smog fotokimia, material dan konstruksi. Kerusakan lingkungan akibat polusi udara akhirnya juga berdampak pada kenyamanan hidup manusia. Jadi secara langsung maupun tidak langsung polusi udara berdampak pada kesehatan dan kenyamanan kehidupan manusia. Sehingga perlu pemantauan kandungan kadar karbondioksida di udara agar dapat dilakukan pencegahan, penambahan kadar karbon dioksida yang berlebihan di udara, karena akan membahayakan kehidupan Oleh karena itu diperlukan adanya alat monitor kadar karbon dioksida agar dapat mengetahui kadar karbon dioksida di udara pada suatu tempat.

Android merupakan sistem operasi pada smartphone yang berbasis java dan XML. Android memiliki kemampuan multitasking yang lebih baik, serta harga smartphone yang semakin terjangkau menyebabkan hampir setiap orang tidak lepas lagi dengan penggunaan smartphone seperti untuk komunikasi, sosial media, browsing dan lain-lain (Hermawan, 2011).

Karbon dioksida

Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuhan, manusia, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Oleh karena itu, karbon dioksida merupakan komponen penting dalam siklus karbon. Karbon dioksida tidak mempunyai bentuk cair pada tekanan dibawah 5,1 atm namun langsung menjadi padat pada temperatur di bawah -78°C. Dalam bentuk padat, karbon dioksida umumnya disebut sebagai es kering. Konsentrasi yang lebih dari 5.000 ppm tidak baik untuk kesehatan, sedangkan konsentrasi lebih dari 50.000 ppm dapat membahayakan kehidupan hewan. Kandungan karbon dioksida di udara segar bervariasi antara 0,03% (300ppm) sampai 0,06 (600ppm), jumlah ini bisa bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu. Konsentrasi karbon dioksida antara (300-2.500) ppm digunakan sebagai indikator kualitas udara dalam ruangan. Nilai kadar karbon dioksida di udara ditunjukan pada Gambar 1 (www.co2meter.com/products).



Gambar 1 Nilai Batas Karbon dioksida

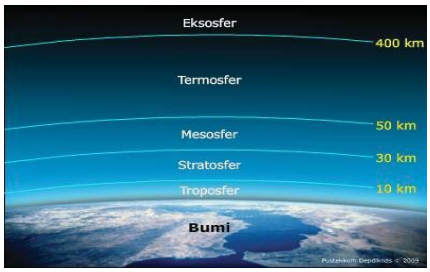
Atmosfer

Atmosfer adalah lapisan gas yang melingkupi sebuah planet, termasuk bumi, dari permukaan planet tersebut sampai jauh di luar angkasa. Di Bumi, atmosfer terdapat dari ketinggian 0 km di atas permukaan tanah, sampai dengan sekitar 560 km dari atas permukaan Bumi. Atmosfer tersusun atas beberapa lapisan, yang dinamai menurut fenomena yang terjadi di lapisan tersebut. Transisi antara lapisan yang satu dengan yang lain berlangsung bertahap.

Troposfer merupakan lapisan atmosfer yang paling dekat dan berinterakasi langsung dengan permukaan bumi. Posisi ini menyebabkan dinamika pada keduanya, baik di permukaan bumi maupun di *troposfer*, akan saling mempengaruhi satu sama lain.

ISSN 1978-0176

Perubahan tekanan atau suhu di troposfer akan berpengaruh pada dan juga dipengaruhi oleh permukaan bumi. Lapisan atmosfer ditunjukan pada Gambar 2.

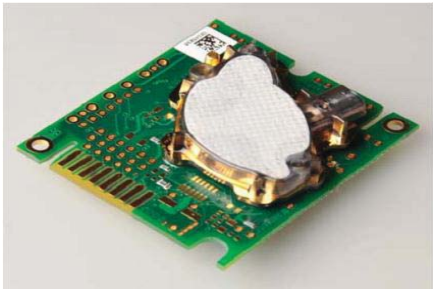


Gambar2.LapisanAtmosfer(Anonim, 2014).

Sensor K-33

K-33 adalah sensor karbon dioksida, yang dirancang untuk mengukur kadar karbon dioksida, suhu dan kelembaban udara di suatu lokasi. K-33 dilengkapi dengan amplifier internal yang mengubah photo-current ke tegangan tergantung kadar karbon dioksida yang diterima. Fitur unik ini menawarkan antarmuka yang mudah untuk sirkuit eksternal seperti ADC. Adapun kelebihan dari sensor K-33 bukan hanya dapat mengukur kadar karbon dioksida tetapi dapat mengukur kelembaban serta temperatur udara.

Sensor ini dapat ditempatkan di lapangan terbuka dengan batas kerja sensor K-33 ini sampai dengan rentang pengukuran 10.000 ppm. Sensor ini dapat bekerja dengan beberapa masukan dan pilihan keluaran dengan didukung I2C dan protokol modul tingkat TTL. Sensor K-33 ini menggabungkan kualitas inframerah NDIR. Sensor K-33 ditunjukan pada Gambar 3.



(Gambar 3. Sensor K-33 ANONIM. 2015)

Arduino Board dan Arduino IDE.

Mikrokontroler adalah komputer yang berukuran mikro dalam satu chip IC (integrated circuit) yang terdiri dari prosesor, memori, dan antarmuka yang bisa diprogram. IC tersebut dapat dikontrol dengan memberikan program. Arduino merupakan board mikrokontroler yang bersifat open source, yaitu Arduino dapat dikembangkan dan digunakan untuk proyek dan alat-alat lainnya. Terdapat berbagai jenis Arduino, salah satunya adalah Arduino Mega 2560.(Arduino, 2016)

Switch dan Power over Ethernet (*PoE)*

Switch adalah suatu perangkat atau device yang berfungsi sebagai pengatur dan pembagi sinyal data dari suatu komputer ke komputer lainyang terhubung pada perangkat tersebut. Switch bisa melakukan pengaturan berupa proses filter paket data. Biasanya masing-masing port pada switch bisa disetting sehingga bisa ditentukan port mana saja yang bisa saling terhubung. Switch beroperasi pada OSI layer paket ke dua. Dalam switch terdapat banyak port yang digunakan untuk menghubungkan komputer ke komputer lain.

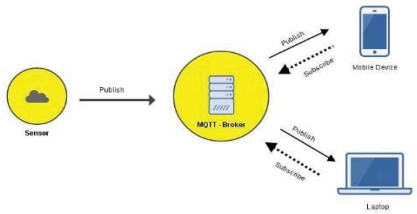
Power over Ethernet (PoE) teknologi adalah sistem yang memanfaatkan kabel UTP twisted pair untuk mentransmisikan daya (power) melalui pair yang tidak terpakai. Teknologi PoE seperti ini telah banyak didukung oleh perangkat perangkat saat ini, seperti Switch dan Wireless Access Point. Sehingga tidak diperlukan lagi catu daya terpisah cukup sebuah kabel UTP saja yang terpasang antara switch dan access point. Produsen seperti D-Link, Linksys, TP-Link, dan lain-lain juga mempunyai produk-produk switch ataupun access point yang terdapat fasilitas PoE.

MQTT

Protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) adalah protokol yang berjalan pada diatas stack TCP/IP dan mempunyai ukuran paket data dengan low overhead yang kecil (minimum 2 bytes) sehingga berefek pada konsumsi catu daya yang juga cukup kecil.

ISSN 1978-0176

Protokol ini adalah jenis protokol data-agnostic yang artinya bisa mengirimkan data apapun seperti data binary, text bahkan XML ataupun JSON dan protokol ini memakai model publish/subscribe daripada model client-server. Alur kerja MQTT dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur kerja MQTT

Sistem umum MQTT seperti pada gambar diatas membutuhkan dua komponent perangkat lunak utama yaitu:

- MQTT Client yang nantinya akan di install di device. Untuk Arduino anda bisa memakai pubsubclient, pustaka seperti mqtt.js bisa dipakai pada platform Node.js di Raspberry Pi ataupun laptop.
- MQTT Broker yang berfungsi untuk menangani publish dan subscribe data. Untuk platform Node.js anda bisa memakai broker mosca sedangkan untuk platform yg lain banyak broker tersedia seperti mosquitto, HiveMQ dll.

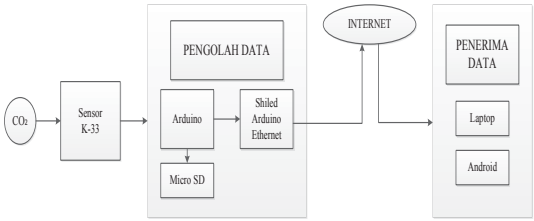
Android

Android adalah sistem operasi yang dikembangkan untuk perangkat *mobile* berbasis linux. Pada awalnya sistem operasi ini dikembangkan oleh Android Inc, yang kemudian dibeli oleh Google pada tahun 2005. Android merupakan OS Mobile yang tumbuh ditengah OS lainnya yang berkembang dewasa ini. OS lainnya seperti Windows Mobile, i-Phone OS, Symbian, dan masih banyak lagi juga menawarkan kekayaan isi dan ke optimalan berjalan diatas perangkat hardware yang ada. (Hermawan, 2011).

Java merupakan bahasa pemograman untuk membangun aplikasi pada sistem operasi Android. Oleh karena itu, untuk membangun aplikasi pada sistem operasi ini diperlukan dasar tentang pemograman java. Java merupakan pemograman berorientasi objek. Oleh karena itu, setiap konsep yang akan di implementasikan dalam java berbentuk dalam kelas. Kelas ini memiliki kesamaan perilaku dan keadaan. Pada java terdapat kumpulan kelas standar yang dikenal dengan *Application Progamming Interface (API)* java, selain itu dapat juga dideskripsikan kelas sendiri sesuai kebutuhan. (Hernawan, 2011)

PERANCANGAN SISTEM

Penelitian pengukuran dan monitor kadar karbon dioksida pada permukaan troposfer ini disusun dari beberapa modul. Modul ini terdiri atas modul sensor karbon dioksida menggunakan sensor K-33, modul pengolah data menggunakan Arduino, Micro SD, Arduino shiled Ethernet dan modul penerima data menggunakan laptop dan smartphone berbasis android. Blok diagram alat monitor kadar karbon dioksida pada smartphone berbasis android pada Gambar5



Gambar 5. Blok Diagram penelitian.

Pada Gambar 5. Terlihat bahwa setelah kadar karbon dioksida terdeteksi oleh sensor K-33, maka keluaran sensor akan diolah dipengolah data Arduino, setelah data kadar karbon dioksida diolah lalu dipublish ke server dengan menggunakan modul adruino shiled Ethernet, data keluaran sensor tersebut akan di simpan pada micro sd. Langkah selanjutnya adalah server menerima data dari pengolah data, apabila server telah menerima data maka data tersebut akan di publish kembali ke penerima data, data akan kembali diolah dipenerima data agar dapat ditampilkan pada sistem penerima data yang berupa aplikasi android sebagai penampil.

Sistem pengolahan data data :

Adapun langkah-langkah yang harus di lakukan pada sistem pengolah data dan penerimaan data sebagai berikut :

1. Mengolah Data Sensor

sensor menjadi Setelah sensor mendeteksi kadar karbon dioksida, sensor akan diolah pada *software Arduino IDE*. Nilai kadar karbondioksida yang terdeteksi oleh sensor

ISSN 1978-0176

berupa nilai hexsa tetapi diolah dipengolah data agar nilai keluaran digital.

2.SettingIPAddress.

Selanjutnya adalah setting IP Address pada sistem pengolah data, langkah pertama ialah mengaktifkan server mosquito pada komputer dengan memanggil pustaka yang telah di unduh, mengaktifkan server mosquitto dapat dilakukan dengan melakukan instruksi pada *command prompt* dengan memasukan input karakter "*Mosquitto\mosquitto.exe*".

Setelah server telah di aktifkan. Langkah selanjutnya adalah mengetahui *IP Address* server *mosquitto*, untuk melihat *IP Address* server mosquitto dapat di lihat pada command prompt dengan memasukan input "ping test.mosquitto.org". setelah mengetahui IP Adrress server, selanjutnya mengsetting IP Address Shield Arduino Ethernet agar dapat mengirim data ke server melalui jaringan intrenet dengan cara membuat jaringan lokal dengan komputer, untuk melihat IP Address Shield Ethernet dapat dilihat pada *command prompt* dengan memasukan perintah "ipconfig". Setelah IP Address server dan IP Address Ethernet diketahui, maka alamat tersebut dimasukan pada program *software* pengolah data *Arduino IDE*.

3. Topik Data

Langkah selanjutnya adalah memasukan topik data pada pemograman *Arduino IDE* yang nantinya akan dikirim keserver, dengan tujuan agar data yang dikirim bisa dibedakan dengan data lain yang masuk ke server mosquitto, dengan menggunakan protokol MQTT, topik data ini di setting pada pengolah dengan nama topik "test/json".

4. Publish Data.

Setelah data sensor telah diolah dan IP Address server, IP Address Ethernet dan topik data telah di setting pada pemograman pengolah data, maka selanjutnya, data akan di publish ke server dengan memakai protokol MQTT, protokol MQTT akan mempublish data dari pengolah data ke server dengan memprogram pada software di Arduino IDE, dengan menginisialisaikan pengolah data sebagai client publish, dimana pengolah data ini hanya dapat mengirim kan data saja ke server. Data yang nantinya diterima pada server berbentuk format data JSON. Setelah itu server akan mensubscribe data yang telah dikirim oleh pengolah data dengan format data JSON yang diterima. Untuk dapat melihat proses pengiriman dapat dilihat pada serial moitor Arduino

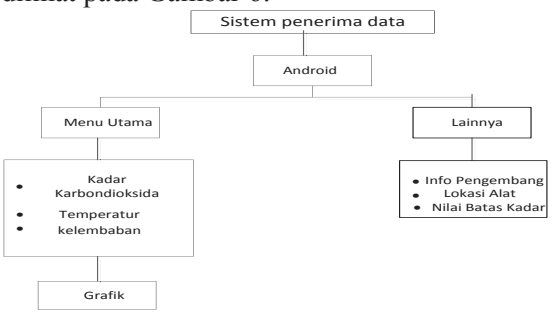
5. Proses Penerimaan Data Pada Server

Pada penerima data yang dapat di akses pada komputer menggunakan aplikasi MQTTLens yang dapat di unduh pada google chrome web store, data yang masuk ke server dapat dilihat pada MQTTLens.

Untuk melihat data yang diterima terlebih dahulu membuat akun koneksi di MQTTLens. Pada kolom connection name dapat diisi dengan nama server yang digunakan "test.mosquitto.org" seperti pada program pengolah data khususnya pada pengiriman data, sedangkan pada kolom hostname, di isi dengan IP Address server mosquito "85.119.83.194" yang telah di set pada pengolah data untuk mengirim data ke alamat server. Pada kolom port diisi dengan port switch jaringan yang terkoneksi dengan internet, sebelumnya port ini di set pada pengaturan switch "1883". Untuk kolom client id, keep alive, username dan password tidak perlu diisi karena tidak diintruksikan pada program pengolah data.

6. Pembuatan Aplikasi Penerima Data

Diagram perancangan penerima data dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Perancangan Penerima Data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang Bangun Alat Monitor Kadar Karbon dioksida di Permukaan Troposfer Berbasis Android ini melalui beberapa tahapan. Setelah dilakukan perancangan dan pembuatan alat, baik pada sistem pengolah data maupun penerima data dilakukan beberapa pengujian dan pengamatan. Hasil pengujian ini digunakan sebagai dasar pembahasan untuk memastikan hasil yang sudah diperoleh apakah sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil pengujian berdasarkan perancangan sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan tahapan,

ISSN 1978-0176

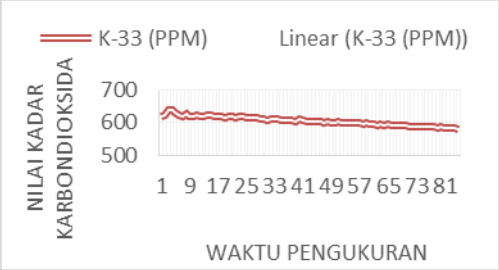
pengujian sensor dengan gas standart, pengujian perbandingan nilai keluaran sensor dengan sensor Vaisala GMM-22, pengujian Aplikasi. Hasil pembuatan pengolah data dibagi menjadi dua bagian yaitu, bagian hardware dan aplikasi pada android. Hasil pembuatan hardware ditunjukan pada Gambar 7



Gambar 7. Hasil Pembuatan Hardware

Pengujian Sensor Dengan Gas Standar.

Hasil pengujian data keluaran sensor berupa kadar karbon dioksida berupa grafik perbandingan dan grafik relasi sensor dengan gas standar karbon dioksida 600 PPM**.** Pengujian sensor dengan gas standar ini dilakukan selama 45 menit, waktu sampling pengukuran per 30 detik. Grafik hasil pengujian dengan gas standar dapat dilihat pada Gambar 8.

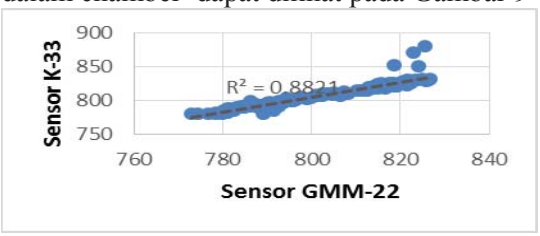


Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Gas Standar

Hasil pembacaan sensor yang ditunjukan pada Gambar 13 dimana sensor K-33 mampu merespon gas standar dengan pembacaan nilai konsentrasi sekitar 630-580 ppm. Sementara waktu respon untuk mencapai nilai konsentrasi 600 ppm sekitar ± 10 menit. Waktu respon yang lama kemungkinan disebabkan adanya perantara antara gas standar dengan sensor sehingga waktu yang diperlukan untuk gas standar cukup lama. Dilihat dari sfesifikasi sensor, mempunya nilai simpangan ± 40 PPM, dan dari nilai korelasi didapat sebesar 0.9662. Hal ini menunjukan bahwa sistem yang telah dibuat layak untuk digunakan.

Pada pengujian ini dilakukan dengan dua metode. Metode pertama dengan membandingkan hasil pengukuran sensor di dalam Chamber.

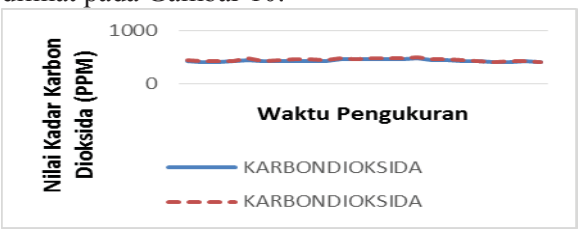
Pengujian sensor terhadap nilai kadar karbon dioksida pada chamber ini dilakukan selama 3 jam 45 menit, waktu sampling pengukuran per 1 menit. Grafik hasil pengujian sensor terhadap nilai kadar karbon dioksida di dalam chamber dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 9. Grafik Hasil Nilai Karbondioksida Pada Chamber.

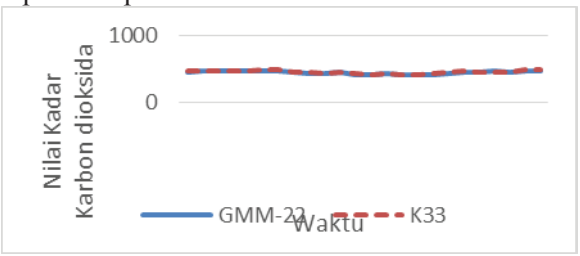
Pada Gambar 9, menunjukan relasi hasil pengujian sensor terhadap nilai karbon dioksida di dalam Chamber. Nilai korelasi yang di dapat sebesar 0.8821.

Hasil pengujian selanjutnya pada metode ke dua, dengan membandingkan nilai keluaran sensor pada lapisan troposfer dengan ketinggian 14 meter. Adapun gambar grafik hasil pengujian nilai kadar karbon dioksida pada lapisan troposfer pada hari pertama dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hasil Perbandingan Hari Pertama

Pada Gambar 11 Menunjukan hasil perbandingan nilai kadar karbondioksida pada lapisan troposfer hari kedua.



Gambar 11 Grafik Hasil Perbandingan Hari Kedua

Hasil perbandingan kedua metode dalam perbandingan sensor terhadap nilai kadar karbon dioksida didapat nilai korelasi korelasi dari masing masing metode. Nilai rata-

ISSN 1978-0176

rata korelasi kadar karbon dioksida dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Korelasi Perbandingan Karbon dioksida

Nilai Korelasi Terukur	
Dalam Chamber	0.8821
Hari Pertama	0.902
Hari Kedua	0.9326
Rata-rata	0.9055

Dari hasil pengujian perbandingan sensor, dapat dilihat nilai yang dibaca sensor GMM-22 dengan sensor K-33 tidak menunjukan nilai yang sama, tetapi mempunyai pola yang sama, hal ini disebabkan karena sensitivitas sensor yang berbeda. Sensor K-33 membutuhkan waktu ±5 menit untuk mendapat data yang stabil. Tetapi dengan nilai korelasi kadar karbon dioksida sebesar 0,9055, nilai korelasi temperatur sebesar 0,8757 dan juga nilai korelasi kelembaban sebesar 0,9557. Hasil semua kolerasi menunjukan sensor layak untuk digunakan.

Hasil Pengujian Aplikasi

Pengujian penerimaan data kadar karbondioksida pada aplikasi dilakukan dengan menguji aplikasi *monitorCO2Bandung* pada *smartphone,* yaitu dengan memastikan data yang dapat diterima pada aplikasi. Pengujian aplikasi selanjutnya dilakukan dengan menjalankan aplikasi pada beberapa OS Android yang berbeda versi seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian aplikasi pada beberapa OS Android

No	*Smartphone*	Versi	Keterangan
1	Andromax R	4.4.4 (Lollipop)	Bisa Digunakan
2	Samsung Galaxy A8	5.0 (Lollipop)	Bisa Digunakan
3	Xiaomi red mi note 2	4.4.4 (Kit Kat)	Bisa Digunakan
4	Samsung Galaxy S7	4.4.2 (Kit Kat)	Bisa Digunakan
5	Asus	5.0.2 (Kit Kat)	Bisa Digunakan

Berdasarkan Tabel 2 pengujian aplikasi dapat dinyatakan baik yaitu aplikasi dapat di-*install* dan semua fitur dapat bekerja dengan semestinya.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, yaitu tentang Rancang Bangun Alat Monitor Kadar Karbon dioksida di Permukaan Troposfer Berbasis Android di PSTA-LAPAN Bandung, diperoleh beberapa kesimpulan :

1) Telah dibuat Alat monitor kadar karbon dioksida di permukaan troposfer menggunakan sensor K-33
2) Telah dibuat aplikasi monitor kadar karbon dioksida yang dapat digunakan pada smartphone berbasis android.
3) Sistem yang telah dibuat mempunyai koefisien korelasi rata-rata terhadap sistem standar sebesar 0,9055 untuk nilai kadar karbon dioksida.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM.2014. *CO2 Measurement Specialists* [Online]. Available: www.co2meter.com/products/tim10-desktop-co2-temp-humidity-monitor [Accessed 22 Februari 2016].
2. ANONIM. 2015. *Sensor K-33* [Online].Available: www.co2meters.com/documentation /Datasheets/DS33-ELG-01%20-20%K33%20ELG% [Accessed 22 Februari 2016].
3. HERMAWAN, S., 2011. *Mudah Membuat Aplikasi Android.* Salatiga: ANDI Yogyakarta.
4. KUSMININGRUM, N. 2008. Potensi Tanaman Dalam Menyerap CO2 Dan Untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. Jurnal Permukiman 3.
5. *NUGROHO G. A. 2012. Alat Ukur Karbon dioksida Vertical Menggunakan Sensor GMM-22. LAPAN-Bandung.*
6. WINNER, A. 2010. Rancang Bangun Alat Monitor Gas CO2 Pada Mesin Anestesi. D4, STTN-BATAN.

Pertanyaan :
1. Acmad Ramadani:
Komunikasi jaringan yang dipakai ?
Jawab:
Menggunakan Protokol MQTT.

Pertanyaan :
2. Nugroho Luhur:
Mengapa pola grafik tidak sama ?
***Jawab** :*
karena sensor K33 punya kelemahan akan stabil setelah 15mnt.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

RANCANG BANGUN *MECHANIC CUTTING* BERBASIS ARDUINO DENGAN TIGA DERAJAT KEBEBASAN

Aryanda Lukmana[1], Suroso[2], Nugroho Tri Sanyoto[3]

Jurusan Teknofisika Nuklir, STTN-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta 55281
Telp: (0274) 484085, 489716
Fax: (0274) 489715

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *MECHANIC CUTTING* BERBASIS ARDUINO DENGAN TIGA DERAJAT KEBEBASAN. Telah dilakukan rancangbangun mesin potong dengan tiga derajad kebebasan. Tujuan dari rancangbangun ini adalah untuk membantu manusia untuk melakukan pekerjaan berulang dan mengurangi kesalahan dalam melakukan pengolahan material lembaran, serta dapat digunakan sebagai alat potong dalam pengolahan material lembaran. Alat potong mekanik ini dibuat dengan *ballscrew*, *linear guideway* pada bagian mekanis serta motor *stepper*, *driver* TB6560, dan arduino sebagai pengendali pada bagian elektronik. Alat ini mampu bergerak horizontal (sumbu X) ke kanan dan ke kiri dengan jarak maksimum 300 mm dengan kecepatan geser rata-rata 5 mm/s, gerakan vertikal (sumbu Y) menghasilkan gerakan ke depan dan ke belakang dengan jarak maksimum 200mm dengan kecepatan geser rata-rata 5 mm/s dan gerak sumbu Z naik dan turun dengan jarak maksimum 75mm dengan kecepatan geser 12,5mm/s. Pada percobaan alat mampu melakukan uji menggambar dengan hasil identik dengan data yang dikirimkan ke pengendali dan mampu melakukan pemotongan material sterofoam dengan ketebalan 10mm .

kata kunci : *mechanic cutting,ballscrew,linear guideway,* motor *stepper,* arduino

ABSTRACT

Has done cutting machine with three degrees of freedom. The purpose of this is to help people to perform repetitive work and reduce errors in the processing of sheet material, and can be used as a cutting tool in the processingofsheetmaterial.

This mechanical cutting tools made with ballscrew, linear guideway on mechanical parts as well as stepper motors, drivers TB6560, and arduino as controlling the electronic parts. This tool is able to move the horizontal (X axis) to the right and to the left with a maximum distance of 300 mm at a speed of sliding average of 5 mm / s, the vertical movement (Y axis) generates movement forward and backward with a maximum distance of 200mm with a speed slide an average of 5 mm / s and Z axis motion up and down with a maximum distance of 75mm at sliding speeds 12,5mm / s. In the experimental apparatus were able to test the drawing with identical results with the data transmitted to the controller and is able to cut the Styrofoam material with a thickness of 10mm with.
keywords: mechanic cutting, ballscrew, linear guideway, stepper motors, arduino

[1] Mahasiswa
[2,3] Dosen

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Untuk membantu manusia melakukan pekerjaan berulang secara terus menerus dan mengurangi kesalahan manusia dalam melakukan pengolahan material lembaran, kebutuhan alat potong mekanis yang bersifat otomatis menjadi meningkat.

Adapun. Alat potong mekanis yang yang tersedia di pasaran masih terbilang sangat mahal dan bentuk alatnya yang besar membuatnya sulit untuk dilakukan mobilisasi. Serta alat ptong yang sudah ada, seperti *laser cutting,* belum bisa melakukan proses pemotongan untuk material tertentu karena cara pemotongan maupun sifat material yang akan dipotong tidak sesuai dengan sifat laser.

Demi mengatasi masalah ini, dilakukanlah penelitian mengenai rancang bangun *mechanic cutting* menggunakan *ballscrew* berbasis kendali arduino dengan tiga derajat kebebasan yang memanfaatkan prinsip kerja motor stepper dan sistem mekanik berupa *ballscrew* dan *linear guideway*. Penelitian ini bermanfaat sebagai alat bantu sistem otomasi dan penggabungan mekanik dari kontrol robotika dan dapat menjadi referensi untuk membuat alat bantu potong yang dapat digunakan di dunia industri.

DASAR TEORI

Ballscrew

Ballscrew disebut juga dengan *ball bearing screw*, yang terdiri atas *spindle screw* dan *nut. Ballscrew* adalah tipe yang paling umum digunakan dalam aktuator permesinan dan mesin pengukuran. Fungsi yang paling utama dari *ballscrew* adalah untuk merubah dari gerakan rotasi menjadi gerakan lurus dan sebaliknya, dengan kestabilan tinggi, *reversibility* dan efisiensi tinggi jika dibandingkan dengan *leadscrew*.[1]

Linear Guideway

Linear Guideway adalah salah satu mekanisme yang memudahkan untuk gerakan linear. *Linear guideway* memanfaatkan *rolling elements* seperti bola-bola yang kecil agar koefisien gesek semakin kecil. Dengan memanfaatkan sirkulasi ulang *rolling element* antara *rail* dan *block*, *linear guideway* dapat mencapai gerakan lurus yang presisi jika dibandingkan dengan *slide* yang tradisional.[2]

Motor Stepper

Stepper motor adalah motor yang bergerak tiap stepnya atas penerimaan perubahan frekuensi sinyal atau sering disebut dengan pulsa. Gerakan langkah demi langkah dinyatakan dalam sudut, misalkan 1 step = 0.9°, 1 step = 1.8°, ada juga 1 step = 7.5°. Motor stepper dapat diputar searah dengan jarum jam atau sebaliknya, oleh karena itu cocok untuk macam- macam control dan posisi dalam dunia industri.

Arduino Uno

ArduinoUno adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 pin digital masukan / keluaran (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi *USB*, dan tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel *USB* atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya.

Driver Motor Stepper TB6560

Merupakan driver motor *stepper* sebagai penerjemah untuk pengoperasian motor *stepper* dengan mudah . Perangkat dirancang untuk mengoperasikan motor *stepper* bipolar dengan langkah *full , half , eight* (1/8) dan *sixteenth* (1/16) *depending mode* dan diatur oleh SW1, SW2, SW3, dan S1.

Modul ini sangat mudah digunakan, tidak memerlukan instruksi karena semua pengaturan telah tercetak di papan modul dan dirancang agar mudah melepas panas. Tegangan masukan sebesar 10-35V DC dan dapat menggerakkan motor *stepper* sampai dengan 3 Ampere[3].

Arduino IDE

Perangkat lunak Arduino yang akan digunakan adalah IDE. IDE Arduino adalah perangkat lunak yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino

ISSN 1978-0176

terdiri dari *editor* program yaitu sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*, *compiler* yaitu sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *processing*) menjadi kode biner dan *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memory di dalam papan Arduino.

Kode G

Kode G adalah nama umum dari ISO 6983, merupakan bahasa pemograman untuk mengontrol mesin-mesin *Computed Numerical Control* (*CNC*). Kode G berorientasi pada mesin yang mana terfokus pada jejak titik pusat pahat pada sumbu mesin untuk pemogramannya (UNY.2004).

Inkscape

Merupakan aplikasi *opensource* yang digunakan untuk membuat desain gambar berbasis vektor dan mengubahnya menjadi kode G. Inkscape juga dapat mengubah gambar citra bitmap menjadi kode G dengan mengubahnya terlebih dahulu ke citra vektor.

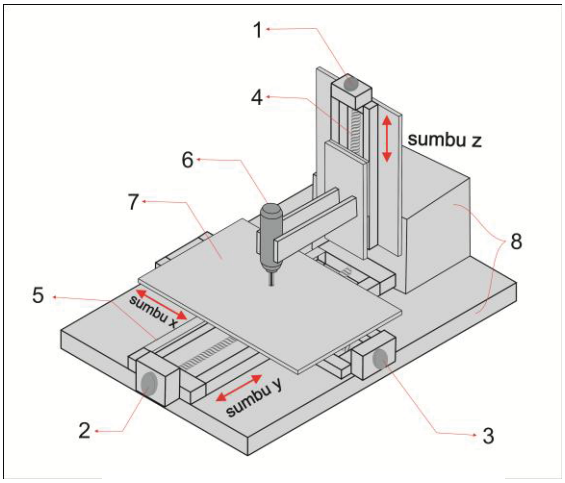
Universal G-Code Sender

Universal G-Code Sender adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk mengirim kode G untuk mesin CNC. Perangkat lunak ini telah dioptimalkan untuk mengirim kode G ke arduino yang merupakan jenis kontroler standar. *Universal G-Code Sender* dapat bekerja pada Windows , Mac , dan Linux.

PERANCANGAN ALAT

Desain Sistem Mekanik

Desain awal sistem mekanik terdapat pada gambar 1. Dalam perancangan terdapat komponen-komponen penyusun alat berupa kerangka utama, 3 set *ballscrew* dan *linear guideway* masing-masing pada sumbu X, Y, dan Z, motor stepper 3 buah, bor DC dan meja kerja.



Keterangan:
1. Motor Stepper Z
2. Motor Stepper Y
3. Motor stepper X
4. B*allscrew*
5. *Linear Guideway*
6. Bor DC
7. Meja kerja
8. Kerangka

Gambar 1. Desain sistem mekanik

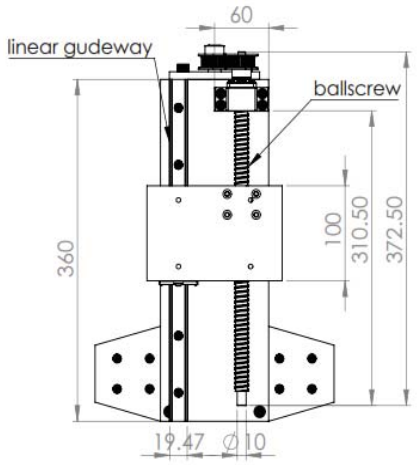
Spesifikasi Ballscrew dan Motor Stepper yang Dibutuhkan dan yang Digunakan

Tabel 1. *Ballscrew* dan motor *stepper* yang dibutuhkan dan yang dipakai

Sumbu/ Unit	x	y	z
Diameter *Ballscrew* yang dibutuhkan(mm)	3,2	5	2,2
Diameter *Ballscrew* yang dipakai(mm)	6	6	10
Daya motor *stepper* yang dibutuhkan (Watt)	2,43	24,3	3,89
Daya motor *stepper* yang dibutuhkan (Watt)	12	36	14,4

ISSN 1978-0176

Desain Dudukan Sumbu Z

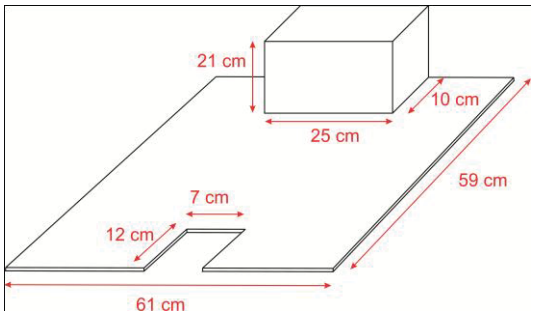


Gambar 2. Desain dudukan sumbu z[3]

Desain Kerangka Utama

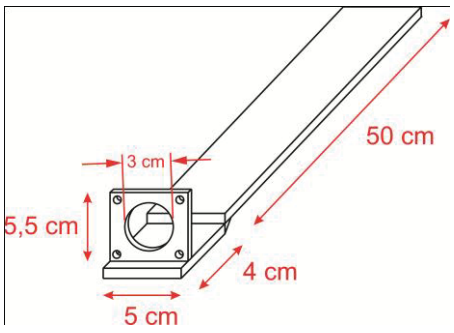
Desain kerangka utama berfungsi sebagai dudukan *ballscrew* dan tempat rangkaian elektronika.

Bahan yang digunakan untuk membuat kerangka utama adalah besi tuang dengan ketebalan 8mm.



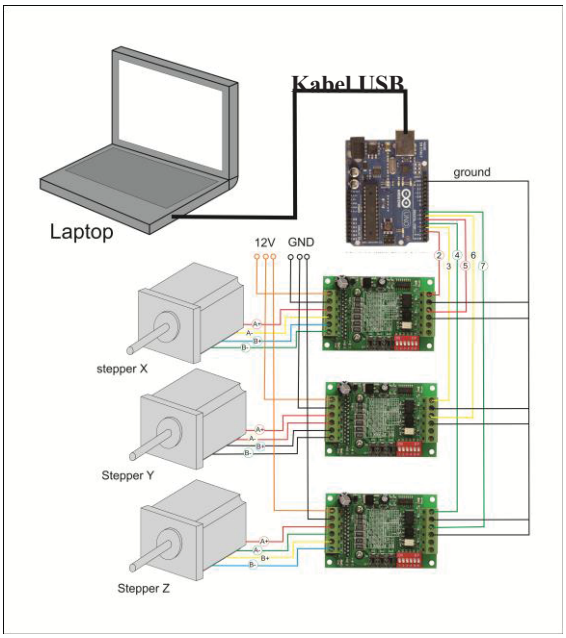
Gambar 3. Desain kerangka utama

Desain Dudukan Sumbu X



Gambar 4. Desain dudukan sumbu x

Desain Rangkaian Elektronika



Gambar 5. Desain rangkaian elektronika

Arduino terkoneksi dengan laptop/ komputer melalui kabel *USB*. Kemudian pin 2,3, dan 4 terkoneksi ke pin CWK+ masing-masing TB6560. Pin 5,6,dan 7 terkoneksi ke pin CW+. Pin CWK- dan CW- terkoneksi ke ground arduino. Untuk motor stepper masing-masing terkoneksi pada pin A+, A-, B+, dan B- pada TB6560. Pemasangan pin A dan B tidak boleh tertukar. TB6560 masing-masing terhubung ke *power supply* 12V.

Program Arduino

Program library arduino yang digunakan adalah sebagai berikut:

```
#include <config.h>
#include <coolant_control.h>
#include <cpu_map.h>
#include <defaults.h>
#include <eeprom.h>
#include <gcode.h>
#include <grbl.h>
#include <limits.h>
#include <motion_control.h>
#include <nuts_bolts.h>
#include <planner.h>
#include <print.h>
#include <probe.h>
#include <protocol.h>
#include <report.h>
#include <serial.h>
#include <settings.h>
```

ISSN 1978-0176

```
#include <spindle_control.h>
#include <stepper.h>
#include <system.h>
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Konfigurasi Universal G-Code Sender

Konfigurasi *universal g-code sender* dilakukan dengan mengetikkan $$ pada kolom *command.* Parameter penting yang diatur adalah jumlah langkah motor stepper yang diperlukan untuk menempuh jarak 1mm, kecepatan geser alat dalam mm/menit, dan nilai jarak maksimum dalam mm untuk masing-masing sumbu x, y, dan z. Apabila tidak menggunakan limit switch, maka pengaturan konfigurasi *universal g-code sender* dibiarkan pada settingan *default*-nya.

HASIL PENELITIAN

Hasil rancang bangun pada penelitian ini terdapat pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil rancang bangun *mechanic cutting*

Uji Kestabilan dan Keakurasian

Pengujian kestabilan dilakukan dengan mengukur waktu tempuh alat untuk bergerak pada jarak tertentu. Pengujian keakurasian yaitu dengan memberikan input nilai pada alat lalu mengukur jarak nyata yang ditempuh benda. Pengujian dilakukan dengan menggunkan fitur *machine control* pada *universal g-code sender.*

Tabel 2. Pengujian Kestabilan sumbu x

No	Jarak (mm)	Waktu (detik)	Kecepatan geser (mm/detik)	Putaran (rpm)
1.	100	20	5	50,4
2.	150	30	5	50,4
3.	200	40,5	4,9	50,4
4.	250	49,5	5,05	50,4
5.	300	60	5	50,4

Tabel 3. Pengujian Keakurasian sumbu x

jarak yang diberikan (mm)	jarak terukur (mm)	Tingkat akurasi (%)
60	59,5	99,2
120	120	100
180	180	100
240	240	100
300	300	100

Tabel 4. Pengujian Kestabilan sumbu y

No	Jarak (mm)	Waktu (detik)	Kecepatan geser (mm/detik)	Putaran (rpm)
1.	40	7,95	5,03	30
2.	80	16	5	30
3.	120	24	5	30
4.	160	32	5	30
5.	200	40,2	4,98	30

ISSN 1978-0176

Tabel 5. Pengujian Keakurasian sumbu Y

jarak yang diberikan (mm)	jarak terukur (mm)	Tingkat akurasi (%)
40	40	100
80	80	100
120	120	100
160	160	100
200	200	100

Tabel 6. Pengujian Kestabilan sumbu Z

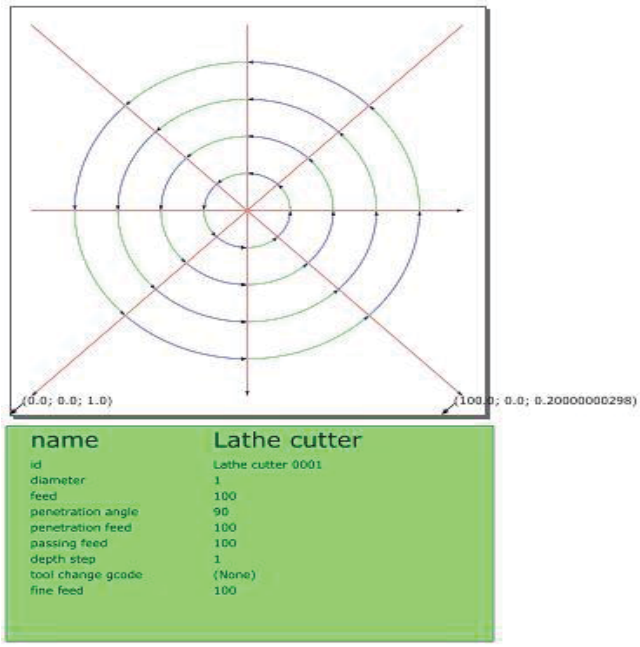
No	Jarak (mm)	Waktu (detik)	Kecepatan geser (mm/detik)	Putaran (rpm)
1.	15	1,19	12,6	50
2.	30	2,4	12,5	50
3.	45	3,6	12,5	50
4.	60	4,8	12,5	50
5.	75	6	12,5	50

Tabel 7. Pengujian Keakurasian sumbu Z

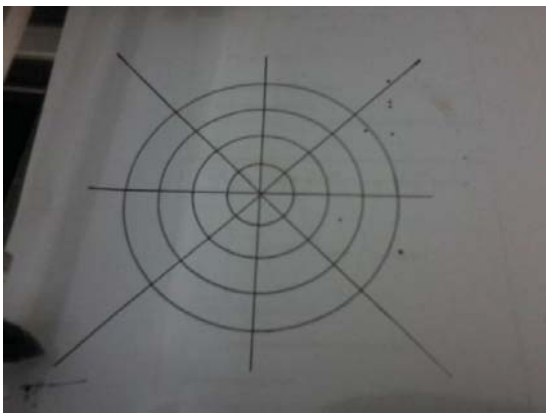
jarak yang diberikan (mm)	jarak terukur (mm)	Tingkat akurasi (%)
15	15	100
30	30	100
45	45	100
60	60	100
75	75	100

Uji Menggambar

Pengujian dengan tes menggambar dilakukan sebagai simulasi alat ketika akan digunakan untuk memotong material. Caranya dengan memasang sebuah pena pada dudukan aktuator dengan media gambar berupa kertas. Gambar yang akan dieksekusi berupa garis vertikal, horizontal dan diagonal yang berpotongan pada titik tengah serta 4 lingkaran masing-masing dengan diameter 2cm, 4cm, 6cm dan 8cm.



Gambar 7. Gambar yang akan dieksekusi

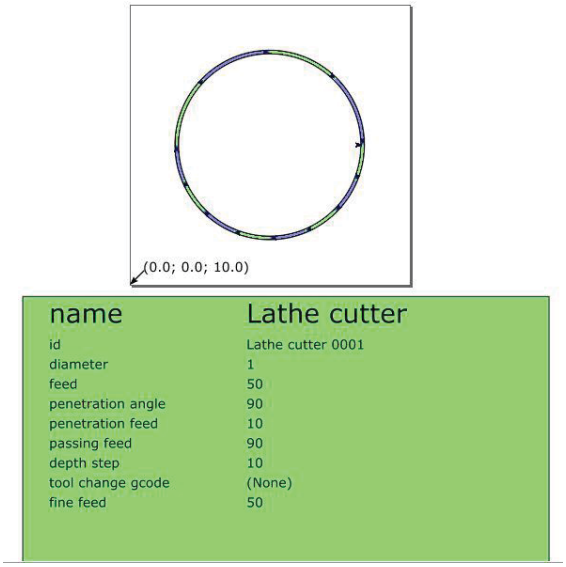


Gambar 8. Gambar hasil eksekusi

Uji Memotong Material

Pengujian pemotongan material dilakukan dengan menggunakan bor dc dengan diameter mata potong sebesar 2,2mm sebagai pemotong dan bahan yang akan dipotong berupa sterofoam dengan ketebalan 10mm. Bentuk yang akan dibuat berupa lingkaran dengan diameter 40mm. Kecepatan makan diatur sebesar 50mm/menit. Gambar 9 adalah pola yang akan dibuat dan Gambar 10 adalah hasilnya.

ISSN 1978-0176



Gambar 9. Pola yang akan dibuat



Gambar 10. Hasil pemotongan sterofoam

KESIMPULAN

Telah dibuat *mechanic cutting* berbasis arduino dengan 3 derajat kebebasan dan diperoleh hasil :

Gerakan horizontal (sumbu X) sejauh 300 mm ke kanan dan ke kiri dengan putaran motor *stepper* 50,4 rpm dan kecepatan geser rata-rata 5 mm/s, Gerakan vertikal (sumbu Y) sejauh 200 mm ke depan dan ke belakang dengan putaran motor *stepper* 30 rpm didapatkan kecepatan geser rata-rata 5 mm/s Gerakan (sumbu Z) sejauh 75 mm gerakan naik maupun turun dengan putaran motor *stepper* 50 rpm didapatkan kecepatan geser rata-rata 12,5mm/s. Alat telah mampu melaksanakan gerak bolak-balik tanpa kehilangan kestabilan dan presisi. Setelah diujicoba alat telah mampu menggambar dengan data gambar yang dibuat di komputer, serta mampu melakukan pemotongan bahan berupa sterofoam dengan ketebalan 10mm.

DAFTAR PUSTAKA

1. Tambati, Ruci Gelar. 2015. *Rancang Bangun Sistem Mekanik Ballscrew Dua Derajat Kebebasan Dengan Kendali Berbasis Arduino*. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir: Yogyakarta
2. http://*www.hiwin.com* (diakses 28 Desember 2015)
3. Syahrul. 2011. *Motor Stepper: Teknologi, Metoda Dan Rangkaian Kontrol.* Majalah ilmiah. Jurusan Teknik Komputer Universitas Komputer Indonesia.
4. Tim Fakultas teknik UNY.2004. *memprogram mesin CNC*.Univer

Pertanyaan :

1. Nugroho luhur :
   Bagaimana solusinya untuk memperoler error yang lebih kecil?

Jawab :

Menggunakan aplikasi yang lebih Baik dalam membentuk kode G dan menggunakan mata potong yang lebih kecil/sesuai.

ISSN 1978-0176

ISSN 1978-0176

MODIFIKASI SISTEM KENDALI *SIMULATOR* LENGAN ROBOT PEMINDAH BARANGMENJADI SISTEM KENDALI BERBASIS ARDUINO

Yadi Yunus[1], Dayu Dymas Ilham Perkasa[2], Budi Suhendro[3]
STTN-BATAN, Jl.Babarsari POB 6101 YKBB Yogyakarta 55281 Indonesia
Tilp.0274-484085 Fax. 0274-489715
yadiyunus@batan.go.id

ABSTRAK

MODIFIKASI SISTEM KENDALI *SIMULATOR* LENGAN ROBOT PEMINDAH BARANG MENJADI SISTEM KENDALIBERBASIS ARDUINO. Di Lab. Instrumentasi Kendali dan Mekatronika STTN-BATAN terdapat 2 unit alat peraga praktikum "Simulator Lengan Robot Pemindah Barang berbasis Mikrokontroller AT-MEGA16". Salah satu dari alat ini dalam kondisi rusak sehingga tidak dapat dioeprasikan dengan baik dan bila tidak rusak pun dalam sistem operasinya masih secara manual. Guna memfungsikan kembali dan menambah variasi model praktikum serta meningkatkan kehandalan alat maka dilakukan perbaikan dan modifikasi alat tersebut. Modifikasi yang dilakukan terutama pada system kendali yang semula menggunakan mikrokontroler *ATMega 16* beralih menggunakan mikrokontroler Arduino *Mega 2560*, dan sistem operasi yang semula hanya secara manual, sekarang ada opsi operasi secara otomatis. Dari hasil pengujian, alat simulasi ini dapat dioperasikan kembali baik secara manual maupun otomatis.

Kata kunci: system kendali, simulator lengan robot, mikrokontroler Arduino.

MODIFICATION OF CONTROL SYSTEM OF GOODS MOVERS ROBOT ARMS SIMULATOR BEING CONTROL SYSTEM BASED ON ARDUINO

YadiYunus[1], Dayu Dymas Ilham Perkasa[2], Budi Suhendro[3]
STTN-BATAN, Jl.Babarsari POB 6101 YKBB Yogyakarta 55281 Indonesia
Tilp.0274-484085 Fax. 0274-489715
yadiyunus@batan.go.id

ABSTRACT

MODIFICATION OF CONTROL SYSTEM OF GOODS MOVERS ROBOT ARMS SIMULATOR BEING CONTROL SYSTEM BASED ON ARDUINO. *In the Lab. Instrumentation Control and Mechatronics STTN-BATAN there are 2 units of props practicum "Robot Arm Simulator Goods Movers Microcomputer based AT-MEGA16". One of these tools is damaged so it could not operate well and even if it is not broken in the operating system is stillmanual only. To add a practical model variations and improve the function and reliability of tools so then do to repair and modification of the tool. Modifications were done primarily on the original control system using microcontroller AT Mega 16 to Arduino Mega 2560, and the operating system that was originally only manually, now there is an option of manual and automatic operation. From the test results, this simulation tool can be operated again either manually or automatically.*

Keywords: control systems, robotic arm simulator, Arduino microcontroller.

ISSN 1978-0176

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Di dalam industri, robot merupakan alat yang dapat digunakan sebagai alat bantu manusia yang memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan tersebut salah satunya adalah dapat digunakan pada tempat-tempat yang tidak dimungkinkan untuk dijangkau atau berbahaya bagi manusia.Seperti pekerja radiasi yang harus terjaga jarak, waktu dan perlu perisai saat bekerja.Selain itu penggunaan robot dalam industri juga dapat meningkatkan kualitas dan menghemat biaya produksi. Robot diprogram agar mampu mengerjakan suatu pekerjaan dengan jangka waktu tertentu tanpa mengenal lelah dan tanpa kesalahan, sehingga mutu produksi tetap terjaga dan biaya produksi dapat ditekan.

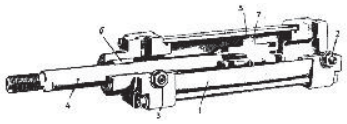
Saat ini di Lab. Sistem Instrumentasi Kendali dan Mekatronika STTN-BATAN terdapat 2 unit alat peraga untuk praktikum "Simulator Lengan Robot Pemindah Barang berbasis Mikrokontroller AT-MEGA16". Salah satu dari alat ini dalam kondisi rusak sehingga tidak dapat dioeprasikan dengan baik dan bila tidak rusak pun dalam sistem operasinya masih secara manual menggunakan tombol. Kerusakan dialami di bagian sistem kendali yang mengakibatkan lengan robot sering bergerak tidak terkendali sehingga dapat menimbulkan potensi bahaya bagi operator dan peralatan yang berada di sekitarnya.

Dengan adanya permasalahan tersebut, serta guna menambah variasi model praktikum dan meningkatkan fungsi serta kehandalan alat maka perlu dilakukan perbaikan dan modifikasi alat tersebut baik dari segi *hardware* maupun *software*. Sehingga diharapkan alat tersebut dapat digunakan sebagai modul praktikum yang lebih aman, handal, variatif dan fleksibel, karena rangkaian pengawatan dan programnya dapat dirubah sesuai dengan keinginan yaitu opsi manual atau otomatis.

DASAR TEORI

Lengan Robot

Robot manipulator adalah robot berbentuk lengan manusia, yang terdiri dari tangan, pergelangan tangan, dan ujung tangan yang dapat diberi peralatan yang sesuai dengan kegunaannya [1]. Pada robot lengan sebagai sumber gaya gerak mekanik dapat dari motor, hydrolik ataupun pneumatik. Dalam penelitian ini gaya gerak yang digunakan terutama adalah pneumatik dan sebagian motor listrik. Pneumatik pada prinsipnya adalah teknik pengubahan gaya tekan fluida gas (udara) mampat menjadi gaya gerak lurus dengan aktuator silinder pneumatik atau gerak putar dengan aktuator motor pneumatik. Gambar 1 adalah contoh visual silinder neumatik.



Keterangan gambar :
1. Silinder
2. Lubang *in*
3. Lubang *out*
4. Batang silinder
5. Ring seal silinder
6. Axial bearing
7. Piston

Gambar 1. Bentuk visual silinder pneumatik yang dibuka[2]

Gerakan lurus maju mundur batang silinder diperoleh ketika udara mampat/bertekanan masuk dan keluar melalui lubang *in* dan *out* dari silinder tersebut. Gerakan lurus maju mundur batang silinder inilah yang dapat digunakan untuk menggerakkan lengan robot yang terdapat pada robot lengan pneumatik. Untuk menentukan arah dan kecepatan gerak langkah maju mundurnya batang silinder pneumatic diperlukan adanya katup*(valve)* yang dapat dibuka dan ditutup secara manual dengan tangan disebut *hand valve* atau secara otomatis dengan listrik disebut *solenoid valve* [2].

Robot lengan yang penggeraknya dengan motor secara prinsip gerakan diperoleh dengan memperlambat gerak putaran motor hingga putaran motor yang kadang sampai ribuan kali dalam satu menit menjadi tinggal < dari satu putaran per menit. Motor listrik yang sudah banyak diproduksi saat ini banyak sekali jenisnya. Menurut sumber listrik yang diperlukan motor listrik ada motor listrik DC dan motor listrik AC. Motor listrik DC dibagi lagi menjadi bermacam-macam, diantaranya ada motor DC kutup magnet permanen, motor DC dengan penguat sendiri, motor DC penguat luar dan lain-lain. Untuk mengatur kecepatan putar motor DC pada prinsipnya adalah dengan mengatur tegangan masukan atau mengatur fluks medan magnet [3] mengikuti persamaan 1.

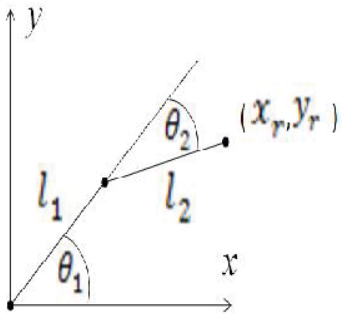
$$n = \frac{E}{C \cdot \phi} \qquad (1)$$

dimana: *n* adalah putaran
E tegangan masukan
C adalah konstanta
*Φ*adalah fluks medan magnet

Untuk menentukan jarak ataupun sudut langkah pemindahan pada robot lengan dapat menggunakan persamaan *Forward kinematics.* Persamaan ini didapatkan berdasarkan jumlah derajat kebebasan (*DOF*) dari lengan tersebut [2]. Jika terdapat manipulator dengan dua lengan dan dihubungkan dengan 3 DOF seperti pada Gambar 2, dan juga

ISSN 1978-0176

diketahui sudut θ_1 dan θ_2 serta panjang lengan 1 (l_1) dan lengan 2 (l_2),maka



Gambar 2. Manipulator 2 sendi

letak*end-effector*pada posisi x_r ; y_r dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$x_r = l_1 \cos\theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$
$$y_r = l_1 \sin\theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

Sistem Kendali

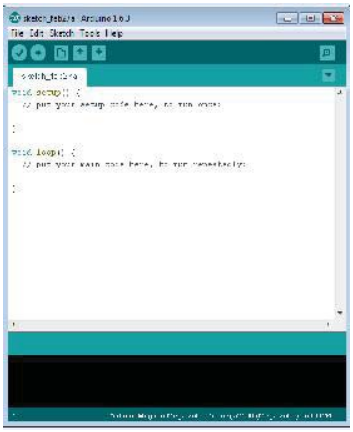
Sistem kendali adalah suatu sistem yang tersusun atas beberapa komponen fisik yang saling terhubung atau terkait secara sistematik sehinga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur sehingga suatu sistem tersebut dapat beroperasi dan berfungsi sesuai dengan setting yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada robot lengan yang dibahas dalam penelitian sistem kendalinya menggunakan IC mikrokontroller Arduino Mega 2560 sebagai otaknya. Arduino Mega 2560 merupakan sebuah *board* mikrokontroler yang berbasis pada IC ATMega 2560.IC ini memiliki 54 buah pin digital yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output*. Dari 54 buah pin tersebut, 15 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation* (PWM), memiliki 16 buah pin *analog input*, 4 buah pin UART yang berfungai sebagai *port* serial *hardware*, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah *jack female* untuk koneksi USB, *jack female* adaptor, dan sebuah tombol *reset*.[4] Bentuk dari *Arduino Mega 2560* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3.*Board* Arduino Mega 2560.[4]

Untuk menuliskan kode program dan mengirimkan kode tersebut ke papan Arduino telah disediakan aplikasi ArduinoIDE (*Integrated Development Environment*). Aplikasi ini bisa digunakan untuk semua papan *Arduino*.[4] Pada aplikasi ini juga terdapat beberapa contoh kode dasar, seperti *Basics*, *Digital*, *Analog*, *Display*, dan sebagainya. Tampilan aplikasi Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan aplikasi Arduino IDE.[4]

Dalam operasinya rata-rata IC termasuk IC Arduino tegangan listrik yang digunakan baik di sisi input maupun output adalah 5 VDC. Sedangkan di bagian daya yang dikendalikan tegangan yang digunakan biasanya lebih dari itu bisa 12 V, 24 V, 50 V, bahkan 220 V atau 380 V. Guna mengatasi hal itu maka dapat menerapkan rangkaian perantara *(interface)* yang juga merupakan penguat yang komponennya dapat berupa relay maupun komponen semikonduktor seperti transistor atau thyristor.

Relay itu sendiri adalah saklar elektromekanik yang coil elektromagnet penggeraknya ada yang dapat dioperasikan dengan tegangan 5 VDC sedangkan bagian kontaktornya bisa untuk tegangan yang lebih dari itu sebagaimana telah disebutkan di atas. Kontaktor-kontaktor pada relay terdiri dari kontak *Normally Open* (NO/membuka) kontak *Normally Closed* (NC/menyambung).[5]

Transistor adalah komponen dari bahan semikonduktor maka termasuk komponen elektronika yang aktif. Komponen ini memiliki 3 pin atau kaki masing-masing dinamakan Emitor (E), Basis (B) dan Colector (C). Sifat transistor, jika pada B diberi sinyal listrik maka antara E dan C akan terkonduksi/tersambung dengan nilai konduktansinya proporsional dengan tinggi rendahnya arus/tegangan sinyal yang ada di kaki B. Jadi transistor seolah-olah sebuah saklar yang dapat kontak ON dan OFF antara

ISSN 1978-0176

E dan C dengan pencet tombol menggunakan sinyal pada kaki B.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan,

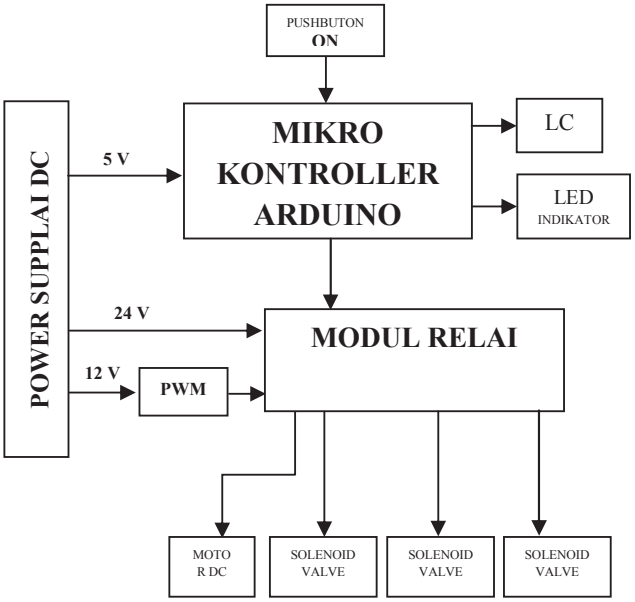
1. Mempelajari dan mengamati secara rinci terhadap fungsi dan cara kerja Simulator Robot Lengan yang akan dimodifikasi sekaligus merencanakan perbaikan dan modifikasi.
2. Setelah diketahui dan dipahami hal no 1 maka dirancang susunan rangkaian sistem kerja alat simulasi tersebut sesuai dengan yang diinginkan, sehingga Simulator Robot Lengan dapat digunakan/dioperasikan kembali bahkan bisa dioperasikan secara manual dan otomatis dengan tombol-tombol yang lebih halus. Yaitu membuat dan atau menentukan susunan rangkaian masing-masing blok sesuai dengan fungsi dan kerjanya.
3. Membuat dan melakukan uji fungsi masing-masing blok rangkaian yang telah berhasil dibuat.
4. Menyusun atau merangkai seluruh blok rangkaian yang telah dibuat di no 3.
5. Melakukan uji fungsi dan operasi terhadap hasil susunan seluruh blok rangkaian no 4.
6. Pengambilan dan pengumpulan data atas hasil pengujian no 6.
7. Analisa dan pembahasan serta kesimpulan atas data-data no 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil pengamatan dan pemahaman

Setelah diamati dan dipelajari ternyata kondisi Simulator Robot Lengan yang ada sudah tidak dapat difungsikan dengan baik. Dilihat dari susunan rangkaian berbagai komponen yang ada Robot Lengan ini bila kondisi normal hanya dapat dijalankan secara manual yakni dengan tangan menekan tombol *(pushbutton switch)* yang tersedia maka aktuator bergerak, lampu indikator menyala LCD aktif menampilkan keterangan kerja. Adapun mekanisme kerja rangkaian yaitu dengan menekan tombol berarti memasukkan sinyal ke sisi input mikrokontrol, kemudian sinyal diproses hingga output mikrokontrol mengaktifkan relay kemudian relay mengaktifkan solenoid valve hingga valvenya membuka untuk mengalirkan udara mampat/tekan ke silinder aktuator untuk menggerakkan batang silinder aktuator. Selain itu saat menekan satu tombol tersebut output mikronkontrol juga mengaktifkan LCD dan lampu indikator penampil gerakan aktuator. Dari tombol-tombol yang digunakan nampak kurang sesuai/kasar bila dibanding dengan komponen-komponen kontrol dan aktuator yang digunakan, mestinya tombol cukup yang kecil, halus tetapi peka, disesuaikan dengan kontrol elektronik (mikro kontroller AT-Mega 16) yang digunakan.

2. Simulator Robot Lengan yang diinginkan adalah dapat dioperasikan dan difungsikan lagi dengan lebih baik, dapat dioperasikan secara manual dan juga bisa otomatis. Sistem kendali elektronik semula dengan IC mikro kontrol AT Mega 16 diganti dengan IC mikro kontrol Arduino Mega 2560. Papan panel dan tombol-tombol diganti dengan yang lebih representatif, komunikatif dan sensitif. Secara garis besar sistem kendali Robot Lengan dirancang dan dibuat seperti diagram blok seperti Gambar 6.



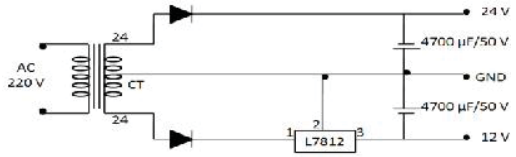
Gambar 6. Diagram blok sistem kendali *Simulator* Robot Lengan berbasis Arduino

ISSN 1978-0176

3. **Membuat dan atau menentukan susunan rangkaian masing-masing blok** sesuai dengan fungsi dan kerjanya.

a. Sumber Tegangan

Pertama dirancang dan dibuat sumber/power penyuplai daya listrik ke seluruh sistem kendali dan daya Robot Lengan yaitu dibuatkan rangakaian seperti Gambar 7.

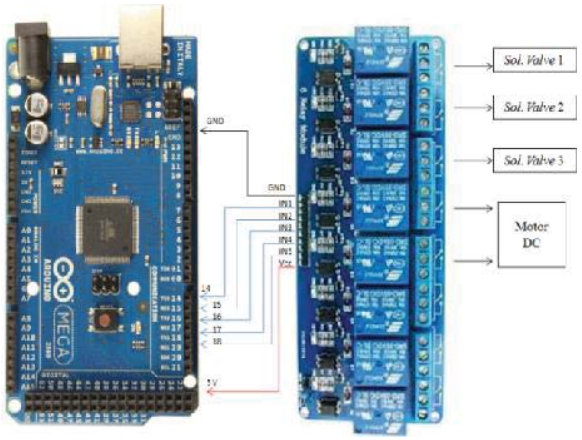


Gambar 7. Rangkaian sumber tegangan 12 VDC dan 24 VDC 5 A

Sumber tegangan ini digunakan untuk mengaktifkan *solenoid valve* dan motor DC serta untuk power suplai rangkaian sistem kendali elektronik mikro kontrol Arduino. Rangkaian ini menggunakan IC regulator tegangan L7812 hingga tegangan terregulasi secara otomatis sesuai kebutuhan antara 5 - 12 VDC.

b. Kendali Modul *Relay*

Pembuatan Rangkaian Modul *Relay* dengan Arduino seperti Gambar 8. Rangkaian mikro kontrol Arduino ini berfungsi untuk mengendalikan Modul *Relay*, sehingga r*elay-relay* dapat aktif dan tidak aktif sesuai dengan program yang telah dibuat dan diunggah ke papan *(board*) mikrokontrol Arduino. Selanjutnya *relai-relai* itu mengaktifkan *solenoid valve* dan kemudian aktuator silinder aktif menggerakkan lengan robot sesuai perintah yang keluar dari mikro kontrol Arduino.



Gambar 8. Rangkaian Modul *Relay* dengan Arduino

Program dalam Arduino dapat diprogram ulang untuk pemilihan program yang dinginkan apakah manual atau ototmatis.

LED dan tampilan LCD sebagai indikator posisi dari lengan robot rangkaian pengkabelannya ditempatkan pada pin-pin Arduino pada pin 7 untuk LED dengan diseri Resistor 220 Ω sebagai pereduksi arus yang mengalir di LED tersebut. Sedangkan dari Arduino menuju LCD dilewatkan IC 12 Module sebagai *interface*, dengan 4 buah kabel yang dipasang di pin 20, 21 dan 22 serta ground *(Gnd)* Arduino, sehingga menyederhanakan proses perangkaian. Dari LCD dapat ditampilkan posisi dan keterangan lengan robot (naik, turun, kanan, kiri dsb).

c. c. Perangkaian dan Pengujian Blok Pengaturan Kecepatan Motor DC

Untuk gerakan memutar lengan robot digunakan motor DC. Ketika belum dimodifikasi gerak langkah putar hanya dibatasi menggunakan waktu *(time setting)* pada program IC mikro kontrol, sedangkan kecepatan tidak diatur sehingga gerakan putar lengan amat cepat dan sering terjadi lengan robot menumbuk benda-benda atau operator yang ada di dekatnya hingga rusak. Dengan modifikasi dimana gerak langkah putar dibatasi dengan *limit switch* mekanik dan kecepatan diatur dengan pengaturan *dutycicle* tegangan supplai motornya menggunakan PWM modul. Dari hasil pengujian putaran motor dapat diperlambat hingga 0 s/d 900 rpm. Sehingga tidak terjadi lagi lengan robot menabrak benda-benda di sekitarnya karena putaran motor yang terlalu cepat dan kelebihan langkah.

d. Pengujian Program Sistem Kendali *Manipulator Robotic Trainer* Berbasis Arduino Mega 2560 Secara Manual.

Setelah seluruh blok-blok rangkaian digabung menjadi satu unit rangkaian sistem kendali robot lengan, maka dilakukan pengujian sistem kendali secara manual. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan papan Arduino Mega 2560 ke laptop menggunakan kabel USB dan pastikan panel dalam keadaan mati. Kemudian mengunggah program ke papan Arduino menggunakan Arduino IDE.

Hasil pengujian sistem kendali *Manipulator Robotic Trainer* berbasis Arduino secara manual dapat dilihat pada Tabel 1.

ISSN 1978-0176

Tabel 1. Hasil pengujian sistem kendali *Manipulator Robotic Trainer* berbasis Arduino secara manual

No.	Kondisi *Push On*	Keterangan
1..	Hanya *push on* 1 yang ditekan	lengan robot posisi *Up*, LED 1 menyala, LED 2 mati, tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua ter tulis "*Up*"
2.	Hanya *push on* 2 yang ditekan	lengan robot posisi *Down*, LED 2 menyala, LED 1 mati, tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua tertulis "*Down*"
3.	Hanya *push on* 3 yang ditekan	lengan robot posisi *Forward*, LED 3 menyala, LED 4 mati, tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua tertulis "*Forward*"
4.	Hanya *push on* 4 yang ditekan	Lengan robot posisi *Reverse*, LED 4 menyala, LED 3 mati, dan tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua tertulis "*Reverse*"
5.	Hanya *push on* 5 yang ditekan	*gripper* lengan robot posisi tertutup, LED 5 menyala, LED 6 mati, dan tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua tertulis "Capit"
6.	Hanya *push on* 6 yang ditekan	*gripper* lengan robot posisi terbuka, LED 6 menyala, LED 5 mati, dan tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua tertulis "Lepas".
7.	Hanya *push on* 7 yang ditekan	lengan robot berputar ke arah kiri, LED 7 menyala, LED 8 mati, dan tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" dan baris kedua tertulis "*Left*"
8.	Hanya *push on* 8 yang ditekan	lengan robot berputar ke arah kiri, LED 8 menyala, LED 7 mati, dan tampilan LCD baris pertama tertulis "Lengan Robot" danbaris kedua tertulis "*Right*"

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa pergerakan *Manipulator Robotic Trainer*, tampilan LED, dan LCD sudah sesuai dengan kode masing-masing. Berarti program sistem kendali secara manual sudah berfungsi sesuai dengan program IDE yang ada dalam papan Arduino.

a. Pengujian Program Sistem Kendali *Manipulator Robotic Trainer* Berbasis Arduino Secara Otomatis

Pengujian program sistem kendali *Manipulator Robotic Trainer* secara otomatis bertujuan untuk mengetahui apakah program sistem kendali secara otomatis sudah sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan papan Arduino Mega 2560 ke laptop menggunakan kabel USB dan pastikan panel dalam keadaan mati. Kemudian mengunggah program ke Arduino menggunakan Arduino IDE.

Hasil pengujian sistem kendali *Manipulator Robotic Trainer* berbasis Arduino secara otomatis dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem kendali *Manipulator Robotic Trainer* berbasis Arduino secara otomatis

No.	Kondisi *Manipulator Robotic Trainer*	Sesuai	Tidak Sesuai
0.	**Sebelum menekan tombol *Push On* 1** Posisi Lengan Robot: Up, Forward, Gripper tertutup, LED 1-8 Mati LCD tertulis: "Lengan Robot" "Reset"	**V**	
	Setelah menekan tombol *Push On* 1 maka robot terus bergerak		
1.	Posisi Lengan Robot: Up, Forward, Gripper terbuka LED 6 Hidup LCD tertulis: "Lengan Robot" "Lepas"	V	
2.	Posisi Lengan Robot: Up, Forward, Gripper terbuka, dan berputar ke kiri LED 7 Hidup LCD tertulis: "Lengan Robot" "Kiri"	V	

ISSN 1978-0176

Lanjutan Tabel 2.

No.	Kondisi *Manipulator Robotic Trainer*	Sesuai	Tidak Sesuai
3.	Posisi Lengan Robot: Down, Forward, dan Gripper terbuka LED 2 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Down"	V	
4.	Posisi Lengan Robot: Down, Forward, dan Gripper tertutup LED 5 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Capit"	V	
5.	Posisi Lengan Robot: Up, Forward, dan Gripper tertutup LED 1 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Up"	V	
6.	Posisi Lengan Robot: Up, Reverse, dan Gripper tertutup LED 4 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Reverse"	V	
7.	Posisi Lengan Robot: Up, Reverse, Gripper tertutup, dan berputar ke kanan LED 8 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Kanan"	V	
8.	Posisi Lengan Robot: Up, Reverse, dan Gripper terbuka LED 6 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Lepas"	V	
9.	Posisi Lengan Robot: Up, Reverse, Gripper terbuka, dan berputar ke kiri LED 1,2,3,4,5,6,7,8 menyala LCD tertulis: "Lengan Robot" "Posisi Awal"	V	

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa posisi dan kondisi gerakan lengan robot *Manipulator* Robot Lengan sudah sesuai dengan tampilan LED, dan LCD itu menandakan bahwa program dan rangkaian sistem kendali *Manipulator* Robot Lengan yang secara otomatis sudah berfungsi juga sesuai dengan program yang telah diunggah ke papan Ardunino.

KESIMPULAN

Dari penelitian modifikasi dan setelah dilakukan pengujian, disimpulkan bahwa:

1. Peraga praktikum *Simulator* Robot Lengan yang ada di Laboratorium Mekatronika STTN berhasil dimodikasi, sehingga dapat digunakan kembali untuk praktikum Kendali manual dan otomatis Robot Pneumatik dengan mikrokontrol Arduino, gerakan-gerakannya terkendali secara lebih *smart*.
2. Kendali berbasis Arduino dapat dipilih secara otomatis atau manual, dengan cara mengunggah ulang program pada papan Arduino nya.

SARAN

Ada beberapa saran yang perlu disampaikan dari penelitian ini, yaitu:

1. Pengaturan kecepatan motor DC menggunakan PWM alangkah baiknya jika sinyal PWM juga di ambilkan dari fitur yang dimiliki mikrokontroller Arduino.
2. Penelitian selanjutnya akan lebih memungkinkan pengontrollan dengan sistem Android dan atau Remote Control.
3. Konstruksi mekanik sebaiknya juga lebih disempurnakan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Nurhakim, H. R., 2010, "Sistem Kendali Gerak *Continuous Path Tracking* dengan Menggunakan *Cubic Trajectory Planning* pada Robot Manipulator4 DOF*",* Skripsi, Sarjana, Universitas Indonesia, Depok.

[2]. Pickup R.,dkk., 1985, "Pengantar Ilmu Pneumatika", Hal. 3, PT Gramedia, Jakarta.

[3]. Ekayani, T., 2012, "Rancang Bangun Penggerak Motor DC Magnet Permanen untuk Modul Instrumentasi dan Sistem Kendali", Tugas Akhir, Diploma 3, Politeknik Negeri Bandung, Bandung

[4]. *https://www.arduino.cc/en/Main/ ArduinoBoard Mega2560*, diakses pada tanggal 27 Juli 2016, pukul 20.01 WIB.

[5]. *http://elektronika- dasar.web.id/teori- relay-elektro- mekanik/,* diakses pada tanggal 8 Maret 2016, pukul 07.36 WIB.

PERTANYAAN

1. Berapa kondisi ketika operasi manual ? (Ahmad Ramadhani).

   Jawab : Ada 9 kondisi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir - BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta 55281
Telepon 0274-484085, Faks. 0274-489715
email: sttn@sttn-batan.ac.id
homepage: www.sttn-batan.ac.id

ISSN 1978-0176