ISSN: 1412 - 2499

PROSIDING
Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VIII

Tema:
?Peran Metrologi Radiasi Dalam Bidang Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan?

Kawasan Nuklir Pasar Jum,at - Jakarta
10 Juli 2012

Diselenggarakan oleh:

PTKMR-BATAN

Universitas Indonesia

KEMENKES-RI

PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
JAKARTA

Diterbitkan pada
November 2012

Sekretariat :

PANITIA ? SNKKL-VIII

Jakarta, 10 Juli 2012

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jl. Lebak Bulus Raya No.49, PO Box 7043, JKSKL, Jakarta 12070

Telp. : (021) 7513906 (Hunting), Fax : (021) 7657950

E-mail : snkkl.ptkmr@batan.go.id

ISSN: 1412 - 2499

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia yang diberikan kepada Panitia Penyelenggara, sehingga dapat diselesaikannya penyusunan Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan ke VIII dengan tema "Peran Metrologi Radiasi Dalam Bidang Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan*?* pada bulan November 2012.

Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan ke VIII kali ini dihadiri oleh 3 (tiga) pembicara tamu yaitu Drs. Suprapto, MPS, Deputi II Bidang Penerapan Standar dan Akreditasi – BSN/Sekretaris KSNSU, dr. Eko Purnomo, Sp.KN., Kepala Departemen Kedokteran Nuklir – MRCCC Siloam Horpital, dan Mr. Ulrich Stoehlker dari CTBTO (*Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization*). Sebanyak 22 makalah dipresentasikan dalam Sidang Paralel, sedangkan 2 makalah mengundurkan diri. Prosiding ini dibagi atas tiga kelompok yaitu Keselamatan 7 makalah, Lingkungan 5 makalah, dan Kesehatan 8 makalah. Karena suatu hal 2 makalah tidak diterbitkan dalam prosiding ini.

Semoga penerbitan Prosiding ini bermanfaat sebagai media untuk menyebarluaskan hasil-hasil penelitian dan pengembangan di bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan serta sebagai bahan acuan dan informasi dalam melakukan kegiatan pengembangan dan penelitian di bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan Prosiding ini, kami mengucapkan terima kasih.

Jakarta, 29 November 2012

Ketua Tim Editor

Drs. Bunawas, APU.

SUSUNAN TIM PENGARAH DAN EDITOR
SEMINAR NASIONAL
KESELAMATAN KESEHATAN DAN LINGKUNGAN - VIII

SUSUNAN TIM PENGARAH

Ketua :

Dr. Anhar Riza Antariksawan
(Deputi Bidang PDT-BATAN)

Anggota :

dr. H. Kuntjoro Adi Purjanto, M.Kes. (KEMENKES-RI)
drh. Wilfried Purba, MM, M.Kes. (KEMENKES-RI)
Dr. Susilo Widodo (Kepala PTKMR-BATAN)

SUSUNAN TIM EDITOR DAN PENILAI MAKALAH

Ketua :

Drs. Bunawas, APU. (BATAN)

Anggota :

Dra. Zubaidah Alatas, M.Sc. (BATAN)
Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko, M.Si. (UI)
Prof. Drs. Eri Hiswara, M.Sc. (BATAN)
Drs. Mukhlis Akhadi, APU. (BATAN)
Dr. Johannes R. Dumais (BATAN)
dr. Gani Witono, Sp. Rad. (KEMENKES-RI)
Dr. Yus Rusdian Akhmad (BAPETEN)

PANITIA PENYELENGGARA

Ketua : Dra. Caecilia Tuti Budiantari, **Wakil Ketua** : Tur Rahardjo, SP., **Sekretaris** : Dian Puji Raharti, A.Md., Assef Firnando Firmansyah, S.ST., **Bendahara** : Setyo Rini, SE., **Seksi Promosi** : Wahyudi, SST., Dwi Ramadhani, S.Si., Eka Djatnika Nugraha, A.Md., Emil Lazuardi, SE., Viria Agesti Suvifan, **Seksi Workshop Kalibrasi** : Drs. Nurman Rajagukguk, Fendinugroho, SST., **Seksi Workshop Standardisasi** : Drs. Gatot Wurdiyanto, M.Eng., Wijono, ST., **Seksi Perlengkapan, Dokumentasi dan Pameran** : Ir. Ismanto Jumadi, Riau Amorino, A.Md., Toni Prihatna, **Seksi Konsumsi** : Siti Ruwiyati, Eti Hartati, SKM., dan Eni Suswantini, A.Md. (SK Ka. BATAN No. 119/KA/IV/2012, tanggal 23 April 2012).

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

SUSUNAN TIM PENGARAH DAN EDITOR ii

DAFTAR ISI iii

SAMBUTAN KEPALA BATAN vi

Makalah Pleno

1. Peran Metrologi Radiasi Dalam Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan A-1

   Drs. Suprapto, MPS, Deputi II Bidang Penerapan Standar dan Akreditasi – BSN / Sekretaris KSNSU)

2. Peran Rumah Sakit Swasta di Bidang Kedokteran Nuklir B-1

   dr. Eko Purnomo, Sp.KN. (Kepala Departemen Kedokteran Nuklir – MRCCC Siloam Horpital)

3. *CTBTO Radioactivity Monitoring Network* C-1

   Mr. Ulrich Stoehlker (CTBTO, *Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization*)

Makalah Kelompok Keselamatan

1. Perawatan Kontainer Transport untuk Pengiriman Radioaktif ^{99}Mo atau ^{131}I. 1

   Suhaedi Muhammad, Nina Herlina, Sri Subandini Lolaningrum, dan Huriyatil Afiah

2. Waktu *Annealing* Dosimeter OSL Tipe *Inlight Whole Body* Menggunakan *Annealing* Lampu TL 2x20 Watt 11

   B.Y. Eko Budi Jumpeno, Egnes Ekaranti, dan Sri Subandini L.

3. Keunggulan dan Kelemahan Dosimeter Luminesensi sebagai Dosimeter Personal dalam Pemantauan Dosis Radiasi Eksternal 21

   Hasnel Sofyan

4. Studi Literatur Kriteria Teknis Importasi Pesawat Sinar-X Baru dan Bukan Baru untuk Radiologi 41

   Togap Marpaung

5. Kajian Pengaturan Sertifikasi Persetujuan Desain Bungkusan untuk Kegiatan Pengangkutan Zat Radioaktif 53

   Nanang Triagung Edi Hermawan

6. Menguak Tabir Permasalahan dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Portable dan Mobile untuk Radioagrafi Umum 62

Togap Marpaung

7. Efek Radiasi Pada Kromosom Pekerja Radiasi 77

Yanti Lusiyanti, Zubaidah Alatas, Viria Agesti Suvifan, Masnelly Lubis, dan Sofiati Purnami

Makalah Kelompok Lingkungan

1. Laju Dosis dan Tingkat Radioaktivitas K-40, Ra-226, Th-228, Th-232 dalam Sampel Tanah di Pulau Karimun Provinsi Kepulauan Riau 89

Wahyudi, Dadong Iskandar, dan Kusdiana

2. Studi Lindi U, Th dalam Peleburan Konsentrat Zirkon 103

Sajima, Sunardjo, dan Harry Supriadi

3. Analisis Unsur Abu Terbang dari PLTU Batubara dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron 114

Muji Wiyono, Dadong Iskandar, Eko Pudjadi, dan Wahyudi

4. Manajemen Limbah Radioaktif Padat Aktivitas Tinggi Hasil Produksi Radioisotop dalam Persepektif Masa Depan 126

Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS., dan Farida Tusafariah

5. Kalibrasi Spektrometer Gamma *in situ* untuk Pengukuran Radioaktivitas di Tanah 134

Wahyudi, Dadong Iskandar, Zalfi Hendri Eka Putra, dan I Putu Elba

Makalah Kelompok Kesehatan

1. Pemanfaatan *Cell Line* HepG2 sebagai Inang Parasait pada Uji Pra Klinis Vaksin Malaria 150

Mukh Syaifudin dan Siti Nurhayati

2. Interforen Gamma sebagai Parameter Imunologi Pengembangan Vaksin Malaria Radiasi 163

Darlina

3. Peningkatan Kemampuan Fagisitosis Makrofag Peritoneum Mencit selama Infeksi *Plasmodium berghei* Iradiasi Gamma 177

Harry Nugroho Eko S., Darlina, dan Teja Kisnanto

4. Pengaruh Infeksi *Plasmodium berghei* Iradiasi Gamma Stadium Eritrositik terhadap Jumlah Eritrosit dan Leukosit Mencit Swiss Webster 185

Tur Rahardjo dan Siti Nurhayati

5. Otomatisasi Penghitungan Presentasi Parasitemia menggunakan Perangkat Lunak NISH Element 194

Siti Nurhayati dan Dwi Ramadhani

6. Teknik *Premature Chromosome Condensation* sebagai biodosimetri dosis tinggi 208

Dwi Ramadhani, Viria Agesti S, dan Sofiati Purnami

7. Estimasi *Mean Glandular Dose* (MGD) pada *Mamografi Computed Radiography* (CR). 221

Eunike S. Fajarini, Heru Prasetio, dan Dyah Dwi Kusumawati

8. Deteksi Hypotiroid pada Ibu Hamil di Daerah Endemik Goiter Menggunakan *Radioimmuno Assay* dan *Immuno Radiometric Assay* 235

B Okky Kadharusman, Melyani, Irma S Hapsari, Kristina Dwi Purwanti, Sri Insani Wahyu W, Pudji Pertiwi, dan Muh Stani Amrullah A.

SAMBUTAN
KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PADA SEMINAR NASIONAL
KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINGKUNGAN VIII
Selasa, 10 Juli 2012

Yth. Bapak Drs. Suprapto, MPS, Deputi Bidang Penerapan Standar dan Akreditasi BSN.
Yth. Bapak dr. Eko Purnomo, Sp.KN, Kepala Departemen Kedokteran Nuklir Rumah Sakit Siloam MRCCC.
Distiguished guest, Mr. Ulrich Stoehlker *from Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test Ban Treaty Organization (PrepCom CTBTO)*
Yth. Para Deputi Kepala di lingkungan BATAN
Yth. Para Kepala Pusat dan Biro di lingkungan BATAN
Ibu dan Bapak Peserta Seminar yang berbahagia

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua,

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberi rahmat dan karunia kepada kita semua, sehingga pada pagi ini kita dapat bersama-sama berada di tempat ini dalam rangka menghadiri Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan VIII tahun 2012. Seminar ini diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN, dan bekerjasama dengan Universitas Indonesia.

Hadirin yang berbahagia,

Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan VIII ini diselenggarakan dengan tujuan untuk membangun sistem komunikasi terpadu untuk memperluas wawasan dalam bidang metrologi radiasi, keselamatan radiasi, lingkungan, kesehatan, biomedika, teknik nuklir kedokteran dan ilmu lain yang terkait. Selain itu, Seminar juga bertujuan untuk meningkatkan kemitraan antara pakar, peneliti, praktisi, dan para pemangku kepentingan yang bergerak di bidang metrologi radiasi, keselamatan radiasi, lingkungan, kesehatan, biomedika dan industri yang memprioritaskan aspek keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Ibu, Bapak dan hadirin sekalian

Tema Seminar Nasional kali ini adalah “Peran Metrologi Radiasi Dalam Bidang Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan”. Tema ini mengisyaratkan arti pentingnya metrologi radiasi dalam ketiga bidang tersebut. Tingkat ketelitian pengukuran yang tinggi dari dosis radiasi maupun aktivitas radionuklida sangat diperlukan sehingga tindakan proteksi bagi pekerja, publik dan lingkungannya terhadap efek berbahaya radiasi dapat dilakukan dengan tepat, juga dosis radiasi di bidang medik dapat diberikan kepada pasien sesuai dengan kebutuhannya.

Untuk memperoleh informasi dan pemahaman bersama dalam penerapan standar dan akreditasi di Indonesia, pada hari ini panitia sengaja mengundang Bapak Drs. Suprapto, MPS, Deputi Bidang Penerapan Standar dan Akreditasi Badan Standardisasi Nasional (BSN) untuk menguraikan dan menjelaskan kebijakan BSN mengenai hal tersebut. Kebijakan dalam penerapan standar dan akreditasi ini jelas terkait dengan tema Seminar kali ini. Selain itu, penjelasan dari BSN ini diharapkan dapat pula meningkatkan pemahaman kita bersama mengenai peranan standar dan akreditasi di Indonesia sehingga seluruh satuan kerja di BATAN dapat menerapkannya dengan lebih baik lagi.

Hadirin yang saya hormati,

Saya menyambut baik inisiatif Panitia untuk mengundang pembicara dari Rumah Sakit Siloam MRCCC, Bapak dr. Eko Purnomo, Sp.KN, yang akan memberikan presentasi mengenai rencana kerja Rumah Sakit Siloam dalam mengembangkan aplikasi radiasi di bidang medik di rumah sakit dalam jaringan Siloam di berbagai kota di Indonesia. Materi yang akan diberikan oleh dr. Eko Purnomo, Sp.KN kiranya akan memperkaya pemahaman dan pengetahuan kita semua tentang masa depan aplikasi radiasi di bidang medik di Indonesia ini.

Ibu dan Bapak yang berbahagia,

Saya memahami bahwa masalah keselamatan, kesehatan dan lingkungan dalam kaitannya dengan pemanfaatan radiasi di berbagai bidang merupakan masalah yang 'hidup', yang akan terus berkembang dan bervariasi sesuai dengan kondisi dan keadaan pemanfaatan setempat. Karena itu, semua yang terkait dengan masalah ini harus bekerja keras agar semua pemanfaatan radiasi dapat berjalan dengan aman dan selamat. Dengan kesungguhan dan keseriusan seluruh pihak dalam hal ini, saya percaya bahwa kondisi pemanfaatan yang aman dan selamat tersebut dapat terwujud dengan baik di seluruh wilayah Indonesia.

Pada kesempatan ini saya secara khusus ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Suprapto dari BSN dan Bapak dr. Eko Purnomo, Sp.KN dari Rumah Sakit Siloam MRCCC sebagai nara sumber eksternal BATAN, yang ditengah kesibukannya telah bersedia hadir dan membagi pengetahuan dan pengalamannya dalam bidang yang terkait dengan maksud an tujuan dari penyelenggaraan Seminar Nasional ini.

To our distinguished guest, Mr. Ulrich Stoehlker, *on behalf of the National Nuclear Energy Agency (BATAN), we thank you for your visit and willingness to give presentation. The Fukushima nuclear accident last year surely shocked all of us whose work are related to nuclear material and/or radiation sources. We are grateful that you would share the experience of CTBTO, with its IMS network, in detecting radionuclides emitted during this accident.*

Akhirnya seraya mengharap ridho Allah SWT, dan dengan mengucapkan Bismillahirrohmaanirrohim, Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan VIII ini secara resmi saya buka.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Jakarta, 10 Juli 2012

Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional

Dr. Hudi Hastowo

PERAN METROLOGI RADIASI DALAM KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINKUNGAN

Suprapto

Deputi Bidang Penerapan Standar & Akreditasi - BSN/ Sekretaris KSNSU

Disampaikan pada Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan VIII, PTKMR - BATAN

Jakarta, 10 Juli 2012

METROLOGI UNTUK KESELAMATAN

- **Faktor keselamatan penggunaan radiasi seperti: keselamatan pasien dalam diagnosa penyakit menggunakan pesawat *X-Ray* hingga terapi kesehatan dengan menggunakan radiasi, sangat bergantung pada hasil pengukuran yang *reliable.***
- **Hasil pengukuran yang reliable merupakan basis dalam pemenuhan persyaratan regulasi yg berlaku.**
- **Di bidang metrologi, hasil pengukuran yang *reliable* adalah hasil pengukuran yang tertelusur ke sistem satuan internasional (SI) melalui kalibrasi dengan ketidakpastian yang optimal sesuai tujuan pengukuran.**

METROLOGI UNTUK KESELAMATAN

- **Hasil pengukuran yang *reliable* menjadi tanggung jawab kolektif kita bersama selaku penggiat metrologi, mulai dari tingkat teknisi pengguna alat inspeksi/uji/ukur, tenaga teknis di *secondary standard dosimetry laboratory (SSDL), Primer Standard Dosimetry Laboratory (PSDL)* hingga jajaran *top management* di instansi yang terkait dengan metrologi.**
- **Untuk memperoleh hasil pengukuran yang *reliable* juga diperlukan suatu infrastruktur metrologi yang terdiri atas standar fisik sebagai acuan, metode-metode baku dan kompetensi pelaksana pengukuran pada berbagai aplikasi dan tingkat ketelitian.**

RADIASI UNTUK KESEHATAN

- Data Direktur BIPM & Direktur OIML publikasi 2012:

  7 juta pasien menjalani radioterapi;

  33 juta pasien didiagnosis dengn kedokteran nuklir;

  360 juta pasien didiagnosis menggunakan *X-Ray*;

  11 juta orang dimonitor untuk dosis radiasi perso-

  nalnya karena mereka bekerja dalam lingkungan

  yang terpapar radiasi pengion.
- Keseluruhan aktivitas tsb diatas memerlukan alat ukur/instrumen yang akurat.
- Paparan radiasi yang melebihi ambang batas akan berakibat buruk pada kesehatan dan keselamatan pasien/pekerja

PILAR UTAMA PENJAMINAN MUTU, KESELAMATAN, KESEHATAN & LINGKUNGAN NASIONAL

BSN

MTPS

MTPrS

Penetapan SNI (BSN)

Akreditasi (KAN)

Perumusan SNI (PT/SPTC)

Penilaian Kesesuaian Pihak ketiga

Kalibrasi
Pengujian
Inspeksi
Sertifikasi Produk
Sertifikasi Manajemen

Konsensus Nasional (MASTAN)

Metrologi (KSNSU)

NMI

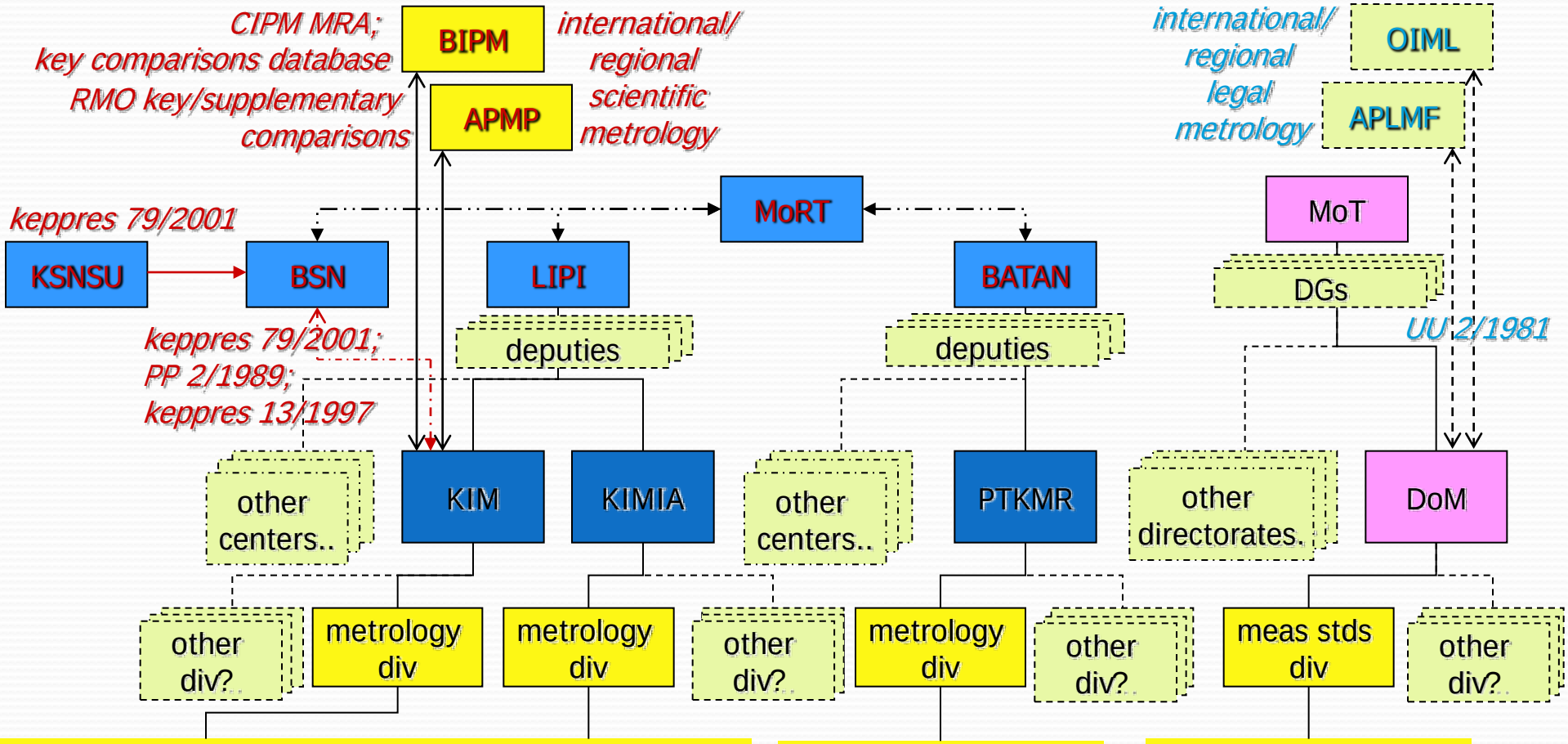
Adopsi SNI Menjadi Regulasi Teknis (Regulator)

Notifikasi (BSN)

Market Surveillance (Dep. Perdagangan)

Metrologi Legal (Dit. Metrologi)

Kondisi Kelembagaan Metrologi di Indonesia Saat Ini



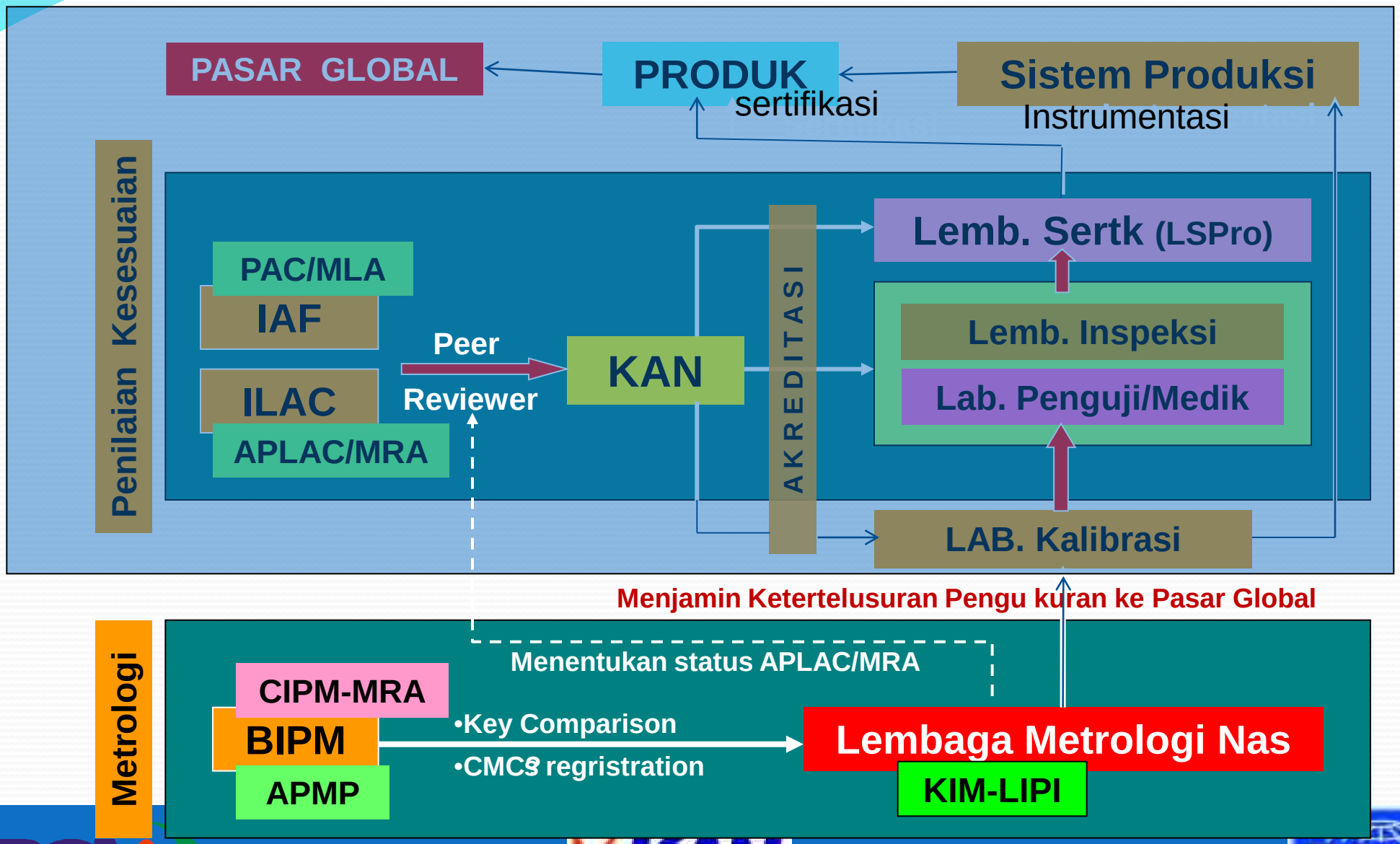
derived quantities of mass (pressure, force, density, torque, volume, flow); temperature, length, time, luminous intensity; electrical, acoustic; vibration

chemical metrology (related to amount of substance)

ionizing radiation metrology (mostly related to medical application)

conserve copy of kg prototype No.46 (the national primary standard of mass)

Metrologi Menopang APLAC/MRA



SISTEM PENGUKURAN/METROLOGI NASIONAL

Terdiri atas:

- Lembaga Metrologi Nasional ? yang bertanggungjawab untuk merealisasikan & mengelola standar primer satuan ukuran, serta mendiseminasikan ilmu pengetahuan tentang metrologi (Di Indonesia: Puslit KIM-LIPI, PTKMR-BATAN & Puslit Kimia LIPI, dikoordinasikan oleh KSNSU);
- Laboratorium kalibrasi - yang mendiseminasikan nilai standar pengukuran nasional dari NMI keseluruh *stakeholder.* Di Indonesia dilakukan laboratorium kalibrasi pemerintah atau swasta yan diakreditasi KAN
- Lembaga Metrologi Legal ? bertanggungjawab untuk menjamin alat ukur yang dipakai dalam kegiatan transaksi dalam memenuhi regulasi. Di Indonesia dilakukan Direktorat Metrologi-Kem. Perdagangan didukung dengan sistem pengawasan kemetrologian yang dilakukan Pemprov dan Pemkab/kota

LAB KALI BRASI YANG DIAKREDITASI KAN

KAN mengakreditasi 151 lab kalibrasi yang melaksanakan tugasnya untuk memenuhi kebutuhan kalibrasi dari berbagai pihak di seluruh wilayah tanah air.

Di antara 151 lab kalibrasi yang diakreditasi KAN, terdapat 7 (tujuh) lab pengelola standar metrologi legal, 5 (lima) lab kalibrasi terkait dg pemeliharaan pesawat terbang, 4 (empat) lab kalibrasi untuk pengamanan fasilitas kesehatan, & 1 (satu) lab kalibrasi acuan untuk pengukuran meteorologi, klimatologi dan geofisika, sedangkan sisanya terdiri dari lab kalibrasi pemerintah maupun swasta yang memberikan pelayanan kalibrasi kpd masyarakat maupun lab kalibrasi yang merupakan bagian dari industri untuk memastikan mutu dan daya saing produk.

TERIMAKASIH

PERAWATAN KONTENER TRANSPORT TIPE B UNTUK PENGIRIMAN RADIOAKTIF MOLYBDENUM-99 ATAU IODIUM-131

Suhaedi Muhammad, Nina Herlina,Sri Subandini Lolaningrum, dan Huriyatul Afiah

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi ? BATAN
E-mail : suhaedi.muhammad@yahoo.com

ABSTRAK

PERAWATAN KONTENER TRANSPORT TIPE B UNTUK PENGIRIMAN RADIOISOTOP MOLYBDENUM ? 99 ATAU IODIUM ? 131. Guna menjamin agar kontener transport tipe B yang digunakan untuk pengiriman radioaktif Molybdenum?99 (Mo-99) atau Iodium?131 (I -131) tetap terjaga kondisinya dan memenuhi ketentuan keselamatan pengangkutan zat radioaktif, maka harus dilakukan perawatan secara periodik minimal sekali dalam setahun. Perawatan yang harus dilakukan meliputi pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup drum, pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup kontener, kondisi fisik kontener,kondisi inner container, kondisi fisik absorber dan kondisi fisik drum. Berdasarkan pengalaman yang ada, kontener transport yang tidak dirawat secara periodik akan mengakibatkan adanya bercak ? bercak karat warna putih pada bagian dalam tutup drum, pada bagian samping dalam dan dasar drum serta pada baut pengunci tutup drum dan tutup kontener. Sedangkan bercak ? bercak karat warna hitam seringkali ada pada sistem pengunci tutup drum, bagian luar drum dan pada absorber. Untuk menghilangkan bercak ? bercak karat baik yang warna putih maupun hitam dapat dibersihkan dengan menggunakan cairan WD-40, sedangkan untuk menghilangkan kotoran dan kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif dapat dibersihkan dengan menggunakan cairan radiacwash. Guna menjaga kondisi drum, absorber, inner container maupun kontener, maka dalam penyimpanannya harus secara terpisah, tidak digabung menjadi satu kesatuan. Jika drum, absorber, inner container dan kontener digabung menjadi satu kesatuan dengan kondisi drum yang tertutup rapat maka panas yang timbul dapat mengakibatkan adanya bercak ? bercak baik warna putih maupun warna hitam. Selain daripada itu, untuk menjaga kondisi drum, absorber, inner container dan kontener, maka suhu ruangan tempat penyimpanan tidak boleh lebih dari 20^0 C.

Kata kunci : Perawatan kontener transport tipe B, radioisotop Molybdenum-99 atau Iodium-131

ABSTRACT

MAINTENANCE FOR TYPE B TRANSPORT CONTAINER FOR SHIPMENT OF MOLYBDENUM- 99 OR IODINE ? 131 RADIOISOTOPES. To ensure that Type B transport containers used for shipment of radioactive Molybdenum - 99 (Mo-99) or Iodine - 131 (I -131) maintained condition and comply with the safety of the transport of radioactive substances, it must be treated periodically at least once a year . The maintenance includes examining the condition of the drum lid locking system, checking the condition of containers lid locking system, the physical condition of containers, container inner condition, physical condition and physical condition of the drum absorber. Based on existing experience, untreated container transport on a periodic basis will result in a spot - white rust spots on the inside of the drum lid, on the side of the drum and base and the bolt lock drum lid and closed containers. While spotting - black rust spots often present on the system lock drum lid, the outside of the drum and the absorber. To get rid of spots - patches of rust both white and black colors can be cleaned using a liquid WD-40, while for the removal of impurities and the possibility of radioactive contamination can be cleaned using a liquid radiacwash. In order to maintain the condition of the drum, absorber, the inner container and the container, then the storage should be separated not in a single unit. If the drum, absorber, the inner container and the containers are combined into a single unit with a sealed drum conditions the resulting heat can cause the spots - patches of either color or black and white. Apart from that, to maintain the drum, absorber, the inner container and the container, the storage room temperature should not exceed 20^0 C.

Key words: Maintenance of type B transport containers, molybdenum-99 or Iodine-131 radioisotopes

I. LATAR BELAKANG

Dalam kegiatan pengiriman zat radioaktif diantaranya adalah Molybdenum-99 (Mo-99) dan Iodium-131 (I-131) kebutuhan akan kontener transport sungguh sangat vital. Penentuan jenis dan tipe kontener transport yang akan digunakan untuk pengiriman zat radioaktif sangat ditentukan oleh jenis zat radioaktif dan aktivitas yang akan dikirim. Untuk radioaktif Mo-99 atau I-131, bila aktivitas yang dikirim kurang dari atau sama dengan 10 Ci maka yang digunakan adalah kontener tipe A, sedangkan bila aktivitasnya lebih besar dari 10 Ci, maka yang digunakan adalah kontener tipe B[3,4].

Kontener transport yang digunakan untuk pengiriman zat radioaktif harus memenuhi persyaratan pengujian oleh laboratorium yang telah terakreditasi dan memiliki sertifikat bungkusan dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Kontener yang digunakan untuk pengiriman zat radioaktif ini harus benar ? benar mampu menjamin keselamatan sedemikian hingga jika terjadi kecelakaan terparah selama dalam proses transportasi, zat radioaktif yang ada di dalamnya tidak sampai keluar sehingga tidak menimbulkan dampak radiologi baik bagi manusia maupun lingkungan [4]. Sertifikat bungkusan ini merupakan salah satu persyaratan untuk keperluan penerbangan di bandara Soekarno ? Hatta, pihak penerima dan perizinan ke BAPETEN.

Bagi institusi yang melakukan kegiatan pengiriman zat radioaktif Mo-99 atau I-131, agar kontener transport dapat tetap digunakan untuk pengiriman zat radioaktif sehingga dapat menjamin keselamatan baik bagi manusia maupun lingkungan sesuai dengan Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 04/Ka ? BAPETEN/V ? 1999 Tentang Ketentuan Keselamatan Untuk Pengangkutan Zat Radioaktif, Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 05/Ka ? BAPETEN /V ? 2000 tentang Pedoman Persyaratan Untuk Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif, Peraturan Pemerintah Nomor 26 tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif , maka perlu dilakukan kegiatan perawatan yang sifatnya periodik, terprogram dan terencana sehingga dapat dipastikan bahwa kontener yang digunakan untuk pengiriman zat radioaktif benar ? benar masih memenuhi persyaratan sesuai dengan ketentuan tersebut di atas dan ketentuan lain yang berlaku. Pihak Medhi Physics menetapkan kegiatan perawatan kontener transport untuk pengiriman zat radioaktif khususnya tipe B dilakukan minimal satu kali dalam setahun [1,2,3,4,5]

II. TUJUAN

Kegiatan perawatan kontener transport untuk pengiriman zat radioaktif dimaksudkan untuk mengetahui dan menjaga kondisi kontener tersebut sehingga bisa tetap digunakan dan memenuhi persyaratan

pengangkutan zat radioaktif sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

III. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan kegiatan perawatan kontener transport yang digunakan untuk pengiriman zat radioaktif Mo-99 atau I-131 ini adalah :

1. Studi literatur terkait dengan masalah kontener transport radioaktif, baik pengujian, pemakaian maupun perawatan baik yang berasal dari dokumen Amersham, Medhi Physics maupun dokumen ? dokumen lain.
2. Tinjauan pengalaman khususnya dalam masalah penanganan kontener transport radioaktif di Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR) baik pada saat masih dalam naungan manajemen BATAN maupun ketika sudah dalam naungan manajemen PT Batan Teknologi (Persero).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan beberapa literatur yang ada baik yang berasal dari Amersham maupun yang berasal dari dokukmen ? dokumen lain serta pengalaman di lapangan yang berkaitan dengan pemakaian kontener transport untuk keperluan pengiriman zat radioaktif Mo-99 atau I-131 akhirnya dapat disusun lingkup kegiatan perawatan yang di dalamnya meliputi [1,2] :

1. Pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup drum.
2. Pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup kontener.
3. Pemeriksaan kondisi fisik kontener dan *inner container*.
4. Pemeriksaan kondisi fisik absorber.
5. Pemeriksaan kondisi fisik drum

4.1. Pemeriksaan Kondisi Sistem Pengunci Tutup Drum.

Kontener transport yang akan diperiksa terlebih dahulu dikeluarkan dan dipindahkan dari gudang penyimpanan ke tempat yang akan digunakan untuk pelaksanaan kegiatan perawatan kontener. Tahap awal kegiatan pemeriksaan kontener transport adalah pemeriksaan sistem pengunci tutup drum.

Tahapan kgiatan yang harus dilakukan untuk pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup drum adalah [1,2] :

1. Pemeriksaan sistem pengunci tutup drum khususnya sistem bautnya, apakah mudah dibuka. Bila ternyata susah dibuka karena ada karat, maka harus disemprot dengan cairan WD-40 agar sistem baut mudah dibuka.
2. Pemeriksaan kondisi fisik ring pengunci tutup drum dan badan drum, apakah kondisinya masih bagus ataukah kelihatan ada bekas patahan/bengkok ? bengkok. Bila kelihatan ada bekas patahan/bengkok ? bengkok yang dapat mengurangi kekuatan penguncian tutup drum, sebaiknya diganti dengan yang baru.
3. Untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi, maka ring pengunci tutup drum dan badan drum harus dibersihkan dengan cairan *radiacwash*.

Gambar 1. Kontener Radioaktif Tipe B

Gambar 2. Sistem Pengunci Tutup Drum

Dari pengalaman yang ada selama ini, kontener yang tidak dirawat secara periodik, mengakibatkan adanya karat pada baut dan lubang baut dari sistem pengunci tutup drum.

4.2. Pemeriksaan Kondisi Sistem Pengunci Tutup Kontener.

Untuk melakukan pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup kontener, setelah ring pengunci tutup drum dilepas, tutup drum harus dibuka dan absorber penutup kontener harus dikeluarkan dari dalam drum. Selanjutnya dengan menggunakan cran, kontener dikeluarkan dari dalam drum.

Tahapan kegiatan yang harus dilakukan untuk pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup kontener adalah [1,2] :

1. Pemeriksaan kondisi sistem pengunci tutup kontener khususnya sistem bautnya, apakah mudah dibuka. Bila ternyata susah dibuka karena ada karat, maka harus disemprot dengan cairan WD-40 agar sistem baut mudah dibuka.
2. Pemeriksaan kondisi baut, apakah masih bagus atau sudah ada baut yang aus. Untuk baut yang sudah aus, harus diganti dengan baut yang baru.
3. Untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif pada baut, maka baut harus dibersihkan dengan cairan *radiacwash*.

Gambar 3. Pengeluaran Kontener

Gambar 4. Pembersihan Sistem Baut

Berdasarkan pengalaman yang ada selama ini, untuk kontener yang tersimpan rapat di dalam drum, mengakibatkan adanya bercak karat warna putih pada baut dari sistem pengunci tutup kontener.

4.3. Pemeriksaan Kondisi Fisik Kontener Dan *Inner Container*

Setelah pemeriksaan kondisi sistem pengunci kontener selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pemeriksaan kondisi fisik kontener dan *inner container*. Untuk melakukan pemeriksaan kondisi fisik kontener, terlebih dahulu tutup kontener harus dilepas.

Tahapan kegiatan yang harus dilakukan untuk pemeriksaan kondisi fisik kontener adalah [1,2] :

1. Pemeriksaan kondisi fisik tutup kontener (bagian luar dan dalam) untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD-40. Bila pada tutup kontener tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif pada tutup kontener baik bagian luar maupun dalam, harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.
2. Pemeriksaan kondisi fisik bagian dalam kontener untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD-40. Bila pada bagian dalam kontener tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif, maka harus dibersihkan dengan cairan *radiacwash.*
3. Pemeriksaan kondisi fisik bagian samping kontener untuk mengetahui apakah ada

karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD-40. Bila pada bagian samping kontener tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif, maka harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.

4. Pemeriksaan kondisi fisik bagian bawah kontener untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD-40. Bila pada bagian bawah kontener tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif, maka harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.
5. Pemeriksaan kondisi fisik inner container untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD-40. Bila pada bagian bawah kontener tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif, maka harus dibersihkan dengan cairan *radiacwash*. Selain daripada itu perlu juga diperiksa kondisi karet seal sebagai penghubung antara tutup inner container dengan badan inner container apakah kondisinya masih bagus ataukah sudah getas dan rapuh. Apabila kondisi karet seal sudah getas dan rapuh, maka harus diganti dengan yang baru.

Gambar 5. Pembersihan bagian samping

Gambar 6. Pembersihan bagian dalam

Gambar 7. Pembersihan bagian bawah

Gambar 8. Pembersihan *Inner Container*

Berdasarkan pengalaman yang ada selama ini, untuk kontener yang tersimpan rapat di dalam drum, sering ditemukan adanya bercak karat warna putih pada bagian dalam kontener maupun bagian luar inner container. Begitupun kondisi karet seal, banyak yang rapuh dan getas.

4.4. Pemeriksaan Kondisi Absorber.

Absorber yang digunakan untuk melindungi kontener terdiri dari dua bagian yaitu absorber yang melindungi bagian atas kontener (absorber tutup) dan absorber yang melindungi bagian samping dan bawah kontener (absorber badan).

Setelah absorber tutup dikeluarkan lebih dulu pada saat akan mengeluarkan kontener dari dalam drum, maka untuk melakukan pemeriksaan kondisi absorber, absorber yang melindungi bagian samping dan bawah kontener harus dikeluarkan lebih dulu dari dalam drum.

Tahapan kegiatan yang harus dilakukan untuk pemeriksaan kondisi absorber adalah [1,2] :

1. Pemeriksaan kondisi fisik absorber tutup untuk mengetahui apakah masih bagus ataukah sudah rapuh. Bila ternyata sudah rapuh, maka harus diganti dengan yang baru. Untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi pada absorber tutup baik bagian atas maupun bawah, harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.
2. Pemeriksaan kondisi fisik absorber yang melindungi bagian samping dan bawah kontener (absorber badan) untuk mengetahui apakah masih bagus ataukah sudah rapuh. Bila ternyata sudah rapuh, maka harus diganti dengan yang baru. Untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif pada absorber yang melindungi bagian samping dan bawah kontener baik bagian atas maupun bawah (absorber badan), harus dibersihkan dengan cairan *radiacwash*.

Gambar 9. Absorber tutup

Gambar 10. Absorber badan

Untuk absorber yang tersimpan rapat di dalam kontener, sering ditemukan adanya bercak ? bercak warna hitam dan kondisi absorber beberapa ada yang rapuh dan getas. Keadaan ini terjadi akibat adanya panas yang ditimbulkan karena absorber tertutup rapat di dalam drum.

4.5. Pemeriksaan Kondisi Fisik Drum

Guna mengetahui kondisi fisik drum, dilakukan pemeriksaan mulai dari tutup drum (bagian luar dan dalam), bagian samping drum, bagian bawah drum dan bagian dalam drum.

Tahapan kegiatan yang harus dilakukan untuk pemeriksaan kondisi fisik drum adalah [1,2] :

1. Pemeriksaan kondisi fisik tutup drum (bagian luar dan dalam) untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD ? 40. Bila pada tutup drum tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi pada tutup drum baik bagian luar maupun dalam, harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.
2. Pemeriksaan kondisi fisik bagian dalam drum untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD ? 40. Bila pada bagian dalam drum tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi, maka harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.
3. Pemeriksaan kondisi fisik bagian samping drum untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD ? 40. Bila pada bagian samping drum tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi, maka harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.
4. Pemeriksaan kondisi fisik bagian bawah drum untuk mengetahui apakah ada karat atau tidak. Bila ternyata ada karat, maka harus dibersihkan dengan menggunakan cairan WD ? 40. Bila pada bagian bawah drum tidak ada karat, maka untuk menghilangkan kotoran yang melekat atau kemungkinan adanya kontaminasi radioaktif , maka harus dibersihkan dengan cairan radiacwash.

Gambar 11. Drum lengkap

Gambar 12. Tutup drum

Dari pengalaman yang ada selama ini, karena drum dalam kondisi tertutup rapat, sering ditemukan adanya bercak-bercak karat warna putih baik pada bagian dalam tutup drum maupun bagian dalam sisi drum.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pada uraian tersebut di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perawatan kontener transport untuk pengiriman zat radioaktif Mo-99 atau I-131 tipe B sangat penting untuk mengetahui dan menjaga kondisi kontener sehingga bisa tetap digunakan dan memenuhi persyaratan pengangkutan zat radioaktif sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Kegiatan perawatan kontener transport untuk pengiriman zat radioaktif Mo-99 atau I-131 tipe B harus dilakukan secara periodik, terprogram dan terencana minimal satu kali dalam setahun sebagaimana yang ditetapkan oleh Medhi Physics maupun Amersham.
3. Berdasarkan pengalaman yang ada, bila inner container, kontener dan absorber tersimpan di dalam drum sebagai satu kesatuan dengan kondisi suhu ruangan tempat penyimpanan lebih dari 20 ^{0}C dapat mengakibatkan adanya bercak karat warna putih pada baut dari sistem pengunci tutup kontener, pada bagian dalam tutup kontener, pada bagian luar inner container, pada sisi dalam drum dan pada bagian dalam tutup drum. Sedangkan bercak warna hitam ditemukan pada absorber tutup maupun absorber badan. Begitupun kondisi absorber bisa menjadi rapuh dan getas.

4. Untuk menjaga kondisi drum, absorber, inner container dan kontener, sebaiknya masing-masing disimpan sendiri-sendiri tidak digabung menjadi satu kesatuan dengan kondisi suhu ruangan tidak lebih dari 20 ^{0}C.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dokumen Perawatan Kontener Transport Radioaktif Untuk Pengiriman Produk Mo ? 99 dan I ? 131 Dari Instalasi Produksi Radioisotop Dan Radiofarmaka (IPRR), Medhi Physics, 1989.
2. Dokumen teknis kontener transport untuk Mo-99 atau I-131, Amersham,1989.
3. Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka-BAPETEN/V ? 99 , Tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Dengan Radiasi , Jakarta, 1999.
4. Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 04/Ka ? BAPETEN /V ? 1999 Tentang Ketentuan Keselamatan Untuk Pengangkutan Zat Radioaktif.
5. Keputusan Kepala BAPETEN No. 05/Ka ? BAPETEN /V ? 2000 Tentang Pedoman Persyaratan Untuk Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif.
6. Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2002 Tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif.
7. Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan dan Kesehatan Terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Mutia

Pertanyaan :

- Siapa yang melakukan perawatan kontener?
- Apakah prosedur perawatan kontener tipe B sama dengan kontener tipe A dan C?

Jawaban :

- Yang melakukan perawatan kontener adalah petugas yang bertanggunjawab terhadap kontener tersebut.
- Prosedur perawatan kontener pada umumnya hampir sama,perbedaannya tergantung pada bentuk kontenernya.

2. Penanya : Slamet Supriyanto

Pertanyaan :

- Dalam perawatan kontener radioaktif, yang dirawat *inner container* atau pembungkus luar kontener?
- Pada pengiriman zat radioaktif, siapakah yang bertanggungjawab bila ada kecelakaan, apakah penanggungjawab harus memiliki organisasi kedaruratan nuklir?

Jawaban :

- Yang dirawat meliputi *inner* kontener, *outer container* dan pembungkus (drum).
- Yang bertanggungjawab bila ada kecelakaan adalah pihak pengirim dan pihak pengirim harus memiliki organisasi kedaruratan nuklir khususnya untuk transportasi.

WAKTU ANNEALING DOSIMETER OSL TIPE INLIGHT WHOLE BODY MENGGUNAKAN ANNEALER LAMPU TL 2x20 WATT

B.Y. Eko Budi Jumpeno, Egnes Ekaranti, dan Sri Subandini L.

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi ? BATAN
E-mail : eko_jumpeno@yahoo.com

ABSTRAK

WAKTU ANNEALING DOSIMETER OSL TIPE INLIGHT WHOLE BODY MENGGUNAKAN ANNEALER LAMPU TL 2x20 WATT. Tujuh puluh dosimeter OSL yang terbagi menjadi 7 bagian masing-masing 10 dosimeter dipapari dosis 1,1 mSv dari Cs-137 di Laboratorium Kalibrasi PTKMR. Setelah dievaluasi menggunakan microstar OSLD portable reader, dosimeter OSL tersebut diannealing dalam waktu 120, 90, 60, 30, 15, 10 dan 5 menit untuk masing-masing bagian menggunakan annealer lampu TL 2x20 watt yang didisain dan dibuat sendiri. Selanjutnya dosimeter OSL tersebut dievaluasi kembali. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai dosis yang terbaca adalah 0. Berdasarkan hasil bacaan pasca annealing maka pada terimaan dosis 1,1 mSv waktu annealing yang dibutuhkan adalah 5 menit. Selanjutnya mengacu studi waktu annealing yang sudah dilakukan oleh peneliti lain, waktu annealing ini juga dapat diperluas untuk terimaan dosis sampai 10 mSv.

Kata kunci: dosimeter OSL, annealing, dan inlight whole body

ABSTRACT

ANNEALING TIME OF OSL DOSIMETERS TYPE INLIGHT WHOLE BODY USING TL 2X20 WATT LAMPS ANNEALER. *Seventy OSL dosimeter which is divided into 7 sections each 10 dosimeter had been exposured with 1,1 mSv of Cs-137 at PTKMR Calibration Laboratory. Having evaluated using a Microstar OSLD portable reader, the OSL dosimeters were annealed in 120, 90, 60, 30, 15, 10 and 5 minutes for each piece using 2x20 watt fluorescent lamp annealer that is designed and made in-house. Furthermore OSL dosimeter was evaluated again. Evaluation results showed that the dose read is 0. Based on the results of the post-annealing reading at the exposure dose of 1,1 mSv, it was required annealing time of 5 minutes. Further annealing time refers to studies that have been done by other researchers, annealing time can also be extended for up to 10 mSv exposure dose.*

Keyword : OSL dosimeter, annealing, and inlight whole body

I. PENDAHULUAN

Optically stimulated luminescence dosemeter (OSLD) atau dosimeter OSL merupakan alat ukur dosis radiasi yang menggunakan induksi optis untuk melepaskan elektron yang terperangkap dalam bahan dosimeter. Dosimeter OSL mirip dengan thermoluminescence dosimeter (TLD) atau dosimeter TL. Perbedaanya terletak pada induksi yang digunakan untuk melepaskan muatan elektron. Pada dosimeter TL, induksi yang digunakan adalah panas sedangkan pada dosimeter OSL digunakan laser atau cahaya yang diemisikan oleh LED (*light emitting diode*). Kuantitas sinyal OSL yang dilepaskan oleh dosimeter setelah diinduksi dengan laser atau cahaya sebanding dengan muatan elektron yang terperangkap di dalam material (*hole*)[1].

Dosimeter TL memerlukan pemanasan untuk mengevaluasi dosis, sedangkan dosimeter OSL tidak, sehingga sensitivitas dosimeter OSL relatif lebih tinggi karena tidak adanya stimulasi panas yang akan mempengaruhi struktur material dosimeter[2]. Menurut publikasi mengenai *Comparison of Radiation Dosemeters*, dosimeter OSL memiliki kemampuan deteksi (*lowest limit of detection*-LLD) sampai 0,1 mRem, sementara dosimeter TL hanya mampu sampai 1 mRem[3].

Menurut Pradhan dan Lee[4], dosimeter OSL memiliki tingkat pemudaran (*fading*) kurang dari 5% per tahun. Oleh karena itu informasi dosis yang ada dalam dosimeter dapat dibaca kembali dengan koreksi dosis latar. Di samping itu menurut Ford dan Hanify[5], sinyal OSL yang tersimpan di dalam dosimeter hanya mengalami penyusutan sebesar 0,4% setiap kali proses pembacaan. Dengan demikian boleh dikatakan bahwa tanpa adanya proses annealing, informasi dosis yang tersimpan di dalam dosimeter OSL tidak berubah secara signifikan.

Menurut Matoba[6] dari Landauer, pembacaan dosimeter OSL pada dosis rendah memiliki variasi pembacaan dengan tingkat kesalahan mencapai ± 10%. Oleh karena itu untuk menekan kesalahan pembacaan terutama pada dosis rendah, dosimeter OSL yang akan digunakan untuk pemantauan dosis perlu diannealing dahulu sehingga informasi dosis yang tersimpan sebelum digunakan adalah 0 atau mendekati 0.

Pada studi ini, dilakukan *annealing* pada dosimeter OSL tipe *inlight whole body* (*inlight XA*) yang sudah menerima paparan dosis. Proses *annealing* dilakukan dengan variasi waktu sedangkan parameter nilai paparan dosis dan kekuatan cahaya untuk meng-*annealing* dikendalikan sehingga nilainya sama. Berdasarkan variasi waktu *annealing* akan dapat diperoleh waktu efektif *annealing* ketika meng-*annealing* menggunakan perangkat *annealer* yang didesain dan dibuat sendiri menggunakan lampu TL 2x20 watt.

II. TINJAUAN PUSTAKA

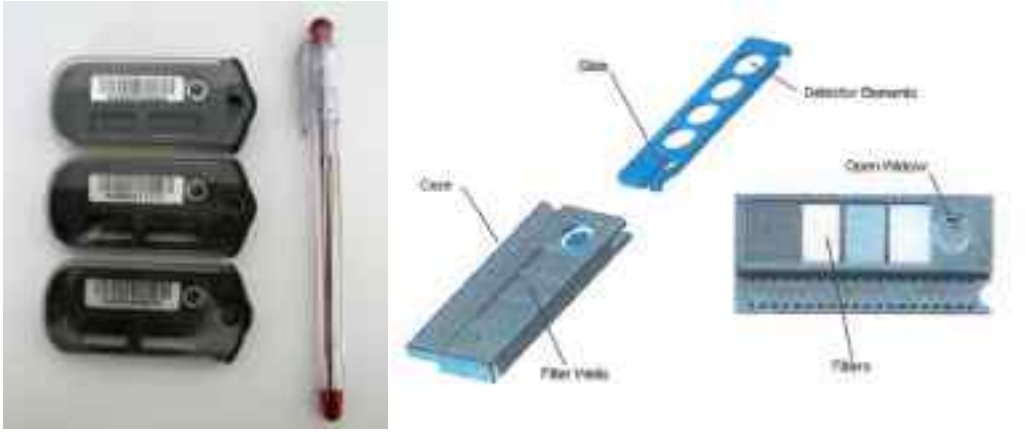
Dosimeter OSL *InLight Whole Body (InLight XA)*

Dosimeter OSL i*nlight whole body* atau *inlight XA* didesain untuk pemantauan dosis perorangan seluruh tubuh. Dosimeter ini terdiri dari holder plastik yang dapat ditutup dengan digeser untuk menjepit elemen dosimeter. Elemen dosimeter menjepit logam/plastik absorber dan plastik geser yang mengandung elemen detektor. Elemen detektor adalah lapisan Al_2O_3 di antara 2 lapisan poliester dengan ketebalan 0,3 mm.

Holder plastik berukuran 6,3 cm x 3,8 cm x 0,9 cm, sedangkan elemen dosimeter berdimensi 5 cm x 2,4 cm x 0,6 cm. Ketebalan absorber pada elemen dosimeter termasuk holder adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Ketebalan absorber pada elemendosimeter OSL

No.	Absorber (termasuk holder plastik)	Ketebalan (mg/cm^2)	
		Posisi Depan	Posisi Belakang
1	Jendela plastik	18,2	36,8
2	Kertas, filter plastik	403,2	403,2
3	Kertas, filter Cu	673,4	673,4
4	Kertas, filter Pb	1110,9	1110,9



Gambar 1. Holder dan paket dosimeter OSL *inlight wholebody*

Dosimeter OSL *inlight whole body* mampu mendeteksi dan mengukur sinar-X dan sinar gamma dengan energi di atas 15 keV pada nominal dosis 5 mRem s.d. 1000 Rem. Di samping itu mampu mengukur partikel beta dengan energi di atas 150 keV pada nominal dosis 20 mRem s.d. 1000 Rem.

Microstar portable reader Annealer lampu TL 2x20 watt

Gambar 2. *Microstar portable reader* dan *annealer* dosimeter OSL lampu TL 2X20 watt

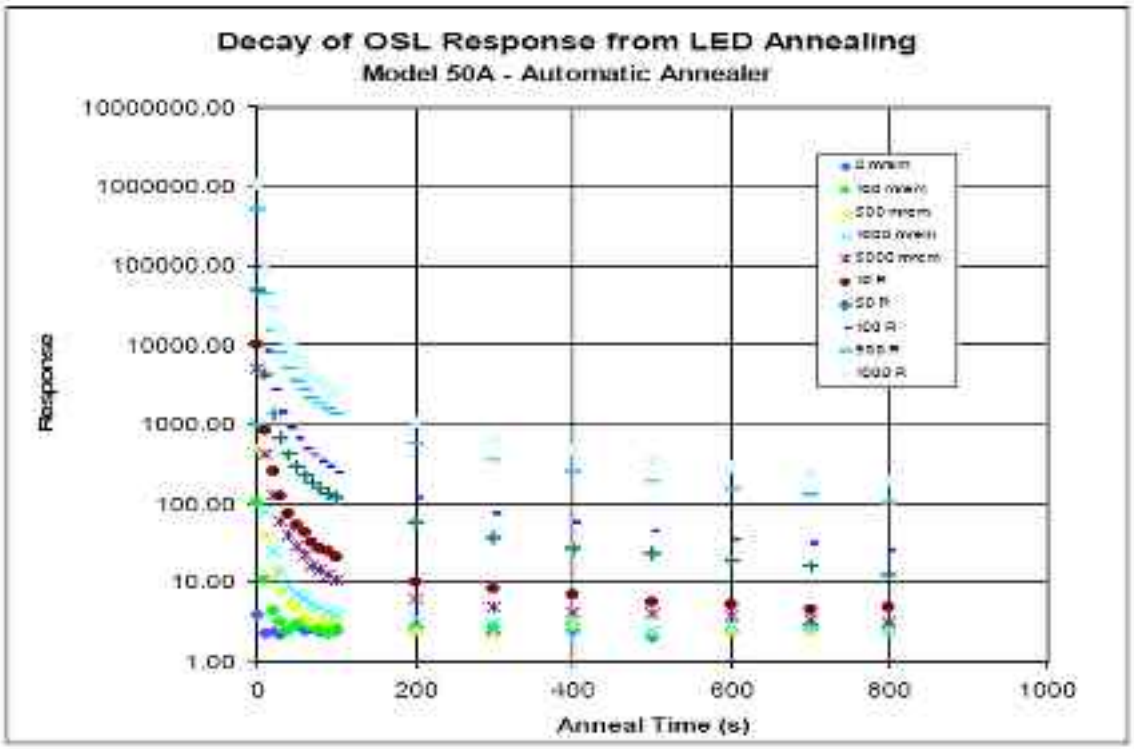
Annealing

Proses *annealing* pada dosimeter OSL adalah proses pelepasan elektron yang terperangkap dalam bahan dosimeter menggunakan cahaya sehingga informasi dosis yang tersimpan menjadi 0 atau mendekati 0. *Annealing* dilakukan apabila dosimeter akan digunakan lagi untuk monitoring dosis.

Passmore dan Kirr (2008), menyinari dosimeter OSL dalam berbagai nilai dosis kemudian melakukan *annealing* pada dosimeter tersebut dalam waktu yang berbeda. *Annealing* dilakukan menggunakan *InLight LED Annealer* Model 50A buatan Landauer. Tabel 2 menggambarkan hasil *annealing* pada dosimeter OSL dengan penyinaran 100 mRem untuk waktu *annealing* 10 sampai dengan 800 detik. Hasil penelitian Passmore dan Kirr secara keseluruhan mengenai tanggapan dosis radiasi terhadap waktu *annealing* dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 2. Hasil annealing dosimeter OSL pada paparan dosis 100 mRem dengan variasi waktu annealing.

Dosis Paparan (mRem)	**Waktu Annealing (Detik)**	**Evaluasi Dosis Setelah Annealing (mRem)**
100	0	101,96
	10	10,83
	20	4,35
	30	3,18
	40	2,50
	50	2,99
	60	3,32
	70	2,85
	80	2,59
	90	2,33
	100	2,66
	200	2,43
	300	2,70
	400	2,92
	500	2,20
	600	2,48
	700	2,75
	800	2,52



Gambar 3. Kurva hubungan waktu annealing dengan tanggapan dosis radiasi

Kurva hubungan tanggapan dosis radiasi terhadap waktu annealing dosimeter OSL membentuk kurva eksponensial $I = Io * e^{-bt}$, dimana Io adalah bacaan dosimeter sebelum di-*annealing* dan b adalah konstanta. Dalam proses *annealing* dosimeter OSL, waktu efektif *annealing* pada penyinaran dosis 100 mRem adalah sekitar 90 detik.

Besaran Dosis

Besaran dosis yang dimaksud adalah Hp(10), Hp(3), dan Hp(0,07). Besaran Hp(10) atau *deep dose* adalah dosis seluruh tubuh yang diterima dari paparan eksterna pada kedalaman 1 cm . Paparan eksterna berasal dari sinar-X, sinar gamma dan partikel neutron. Hp(10) ditujukan pada semua organ internal kecuali kulit dan lensa mata. Hp(10) biasanya dihitung dari bacaan film badge atau TLD/OSLD badge.

Dosis untuk kulit dikenal dengan Hp(0,07) atau *shallow dose*. Dosis ini diterima oleh seluruh tubuh pada kedalaman 70 µm yang pada umumnya berasal dari radiasi yang daya tembusnya rendah misalnya negatron, positron dan foton energi rendah. *Shallow dose* biasanya dibagi menjadi 2 yaitu *whole body dose* yang dihitung dari film/TLD/OSLD badge dan *extremities dose* yang dihitung dari dosimeter cincin.

Sementara itu, dosis pada lensa mata dikenal dengan Hp(3) atau *lens dose*.

Dosis ini diterima oleh mata dimana lensa berada pada kedalaman 3 mm. Besaran Hp(3) biasanya dihitung dari film/TLD/OSLD badge.

BAHAN DAN PERALATAN

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam kegiatan *annealing* dosimeter OSL adalah sebagai berikut:

1. Dosimeter OSL *inlight whole body* (*inlight XA*)
2. *Microstar OSLD Portable Reader*
3. Annealer Lampu TL 2x20 watt
4. Sumber Cs-137 beserta kontainer dan peralatan pendukung

III. METODE UJI

1. Persiapan

Tujuh puluh (70) dosimeter OSL inlight XA yang belum terpapar radiasi disinari cahaya di bawah lampu TL 2x20 watt selama beberapa menit kemudian dievaluasi menggunakan *Microstar OSLD Portable Reader* untuk memastikan bahwa hasil bacaan dosimeter adalah 0. Apabila nilai bacaan dosis belum menunjukkan nilai 0 maka dosimeter tersebut disinari lagi dengan cahaya lampu TL kemudian dievaluasi kembali hingga nilai bacaan dosis menunjukkan nilai 0.

2. Paparan Radiasi dan Evaluasi Dosis

Dosimeter OSL inlight XA dipapari radiasi dari sumber Cs-137 di Laboratorium Kalibrasi PTKMR dengan dosis acuan 1,1 mSv. Kemudian dosimeter didiamkan selama beberapa jam untuk kemudian dibaca menggunakan *Microstar OSLD Portable Reader*.

Dosimeter yang sudah dipapari radiasi kemudian dievaluasi menggunakan *Microstar OSLD Portable Reader*. Hasil evaluasi dicatat.

3. **Annealing dan Evaluasi Dosis**

Tujuh puluh (70) dosimeter OSL inlight XA yang sudah dipapari radiasi dibagi menjadi 7 bagian, masing-masing 10 dosimeter. Dosimeter pada masing-masing bagian di-*annealing* selama 120, 90, 60, 30, 15, 10, dan 5 menit.

Setelah di-*annealing*, selanjutnya dosimeter dievaluasi menggunakan *Microstar OSLD Portable Reader*. Hasil evaluasi dicatat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil evaluasi dosis setelah dosimeter OSL di-*annealing* menggunakan *annealer* lampu TL 2x20 watt dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil evaluasi dosis setelah dosimeter OSL diannealing.

Waktu Annealing	Kode Dosimeter	Sebelum Annealing			Setelah Annealing		
		Hp(10) (mSv)	Hp(3) (mSv)	Hp(0,07) (mSv)	Hp(10) (mSv)	Hp(3) (mSv)	Hp(0,07) (mSv)
120 menit	XA01960155F	0,880	0,880	0,880	0,000	0,000	0,000
	XA01960157B	0,930	0,930	0,920	0,000	0,000	0,000
	XA019601589	0,930	0,930	0,920	0,000	0,000	0,000
	XA01960153J	1,000	1,000	0,980	0,000	0,000	0,000
	XA019601597	0,960	0,960	0,940	0,000	0,000	0,000
	XA01960103O	0,830	0,830	0,810	0,000	0,000	0,000
	XA01960201Q	0,890	0,890	0,870	0,000	0,000	0,000
	XA01960154H	0,880	0,880	0,880	0,000	0,000	0,000
	XA01960141O	0,950	0,950	0,930	0,000	0,000	0,000
	XA01960161M	0,840	0,840	0,840	0,000	0,000	0,000
90 menit	XA01960144I	0,910	0,910	0,910	0,000	0,000	0,000
	XA01960140Q	0,870	0,870	0,870	0,000	0,000	0,000
	XA01960136F	0,900	0,900	0,880	0,000	0,000	0,000
	XA01960138B	0,900	0,900	0,900	0,000	0,000	0,000
	XA019601399	0,860	0,860	0,840	0,000	0,000	0,000
	XA01960145G	0,850	0,850	0,830	0,000	0,000	0,000
	XA01960173H	0,850	0,850	0,850	0,000	0,000	0,000
	XA01960170N	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000
60 menit	XA019601696	0,870	0,870	0,870	0,000	0,000	0,000
	XA01960104M	0,880	0,880	0,850	0,000	0,000	0,000
	XA01960152L	0,880	0,880	0,880	0,000	0,000	0,000
	XA01960151N	0,940	0,940	0,920	0,000	0,000	0,000
	XA019601498	0,930	0,930	0,930	0,000	0,000	0,000
	XA01960148A	0,820	0,820	0,780	0,000	0,000	0,000
	XA01960146E	0,960	0,960	0,940	0,000	0,000	0,000
	XA01960133L	0,880	0,880	0,860	0,000	0,000	0,000
	XA01960132N	0,980	0,980	0,960	0,000	0,000	0,000
	XA01960131P	0,890	0,890	0,870	0,000	0,000	0,000
30 menit	XA01960130R	0,890	0,890	0,870	0,000	0,000	0,000
	XA01960129A	0,960	0,960	0,950	0,000	0,000	0,000
	XA01960128C	0,840	0,840	0,840	0,000	0,000	0,000
	XA01960126G	0,870	0,870	0,870	0,000	0,000	0,000

Waktu Annealing	Kode Dosimeter	Sebelum Annealing			Setelah Annealing		
		Hp(10) (mSv)	Hp(3) (mSv)	Hp(0,07) (mSv)	Hp(10) (mSv)	Hp(3) (mSv)	Hp(0,07) (mSv)
	XA019601787	0,820	0,820	0,820	0,000	0,000	0,000
	XA019601779	0,840	0,840	0,840	0,000	0,000	0,000
	XA01960176B	0,880	0,880	0,880	0,000	0,000	0,000
	XA01960175D	0,940	0,940	0,920	0,000	0,000	0,000
	XA01960174F	0,860	0,860	0,860	0,000	0,000	0,000
	XA01960172J	0,980	0,980	0,960	0,000	0,000	0,000
15 menit	XA01960186A	0,980	0,980	0,960	0,000	0,000	0,000
	XA01960185C	0,920	0,920	0,910	0,000	0,000	0,000
	XA01960184E	0,800	0,800	0,780	0,000	0,000	0,000
	XA01960183G	0,840	0,840	0,810	0,000	0,000	0,000
	XA019601688	0,840	0,840	0,830	0,000	0,000	0,000
	XA01960167A	0,900	0,900	0,900	0,000	0,000	0,000
	XA01960166C	0,990	0,990	0,970	0,000	0,000	0,000
	XA01960165E	0,870	0,870	0,850	0,000	0,000	0,000
	XA01960163I	0,760	0,760	0,710	0,000	0,000	0,000
	XA01960162K	0,910	0,910	0,900	0,000	0,000	0,000
10 menit	XA01960126G	0,900	0,900	0,890	0,000	0,000	0,000
	XA01960128C	0,920	0,920	0,900	0,000	0,000	0,000
	XA01960129A	0,890	0,890	0,870	0,000	0,000	0,000
	XA01960130R	0,820	0,820	0,810	0,000	0,000	0,000
	XA01960166C	0,850	0,850	0,840	0,000	0,000	0,000
	XA01960167A	0,810	0,810	0,790	0,000	0,000	0,000
	XA019601688	0,840	0,840	0,820	0,000	0,000	0,000
5 menit	XA01960174F	0,920	0,920	0,900	0,000	0,000	0,000
	XA01960175D	0,870	0,870	0,870	0,000	0,000	0,000
	XA01960176B	0,860	0,860	0,850	0,000	0,000	0,000
	XA019601787	0,790	0,790	0,790	0,000	0,000	0,000
	XA01960183G	0,790	0,790	0,770	0,000	0,000	0,000
	XA01960184E	0,790	0,790	0,770	0,000	0,000	0,000
	XA01960185C	0,810	0,810	0,800	0,000	0,000	0,000
	XA01960186A	0,780	0,780	0,760	0,000	0,000	0,000

Tabel 3 menunjukkan bahwa proses *annealing* dalam waktu 120, 90, 60, 30, 15, 10 dan 5 menit akan melepaskan semua elektron yang terperangkap dalam bahan sehingga informasi dosis yang tersimpan akan hilang seluruhnya atau respon bacaan dosimeter adalah 0. Berdasarkan hasil kegiatan ini waktu *annnealing* 5 menit adalah

waktu paling efektif untuk melakukan *annealing* secara manual menggunakan *annealer* lampu TL 2x20 watt.

Semua dosimeter yang ditaruh pada tatakan dan dimasukkan ke dalam lorong *annealer* harus dipastikan terpapar cahaya dari lampu. Jika intensitas cahaya kurang kuat karena dosimeter terletak di pinggir maka pelepasan muatan elektron yang terperangkap pada bahan juga kurang sempurna akibatnya pada saat dievaluasi, respon bacaan belum menunjukkan nilai 0.

Pada proses *annealing* dosimeter OSL yang dilakukan oleh Passmore dan Kirr (Gambar 3), waktu *annealin*g selama 5 menit atau 300 detik mampu melepaskan muatan elektron yang terperangkap sehingga hasil evaluasi dosis setelah annealing menghasilkan nilai terendah untuk paparan dosis 100 s.d. 1000 mRem atau 1 s.d. 10 mSv. Namun untuk paparan dosis yang lebih tinggi (5000 mRem atau lebih) Passmore dan Kirr membutuhkan waktu *annealing* yang lebih lama agar nilai evaluasi dosis mencapai kondisi terendah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Passmore dan Kirr, setelah proses *annealing* selama 10 s.d. 800 detik mengunakan *InLight LED Annealer* Model 50A buatan Landauer ternyata hasil evaluasi dosimeter OSL tanpa diiradiasi (dosis 0) menunjukkan nilai (2,55±0,73) mRem. Hasil evaluasi dosis pada dosimeter yang sudah diiradiasi pada kisaran dosis 100 mRem s.d. 1000 Rem dan di-*annealing* selama 10 s.d. 800 detik juga tidak dapat mencapai nilai 0. Hasil evaluasi ini berbeda dengan dosimeter OSL yang diiradiasi pada dosis 1,1 mSv (110 mRem) dan di-*annealing* menggunakan *annealer* lampu TL 2x20 watt yang nilainya adalah 0 untuk periode *annealing* 5 menit. Kemungkinan besar karakteristik pancaran LED dari *InLight LED Annealer* Model 50A mempengaruhi hasil *annealing* dosimeter OSL.

Mengacu pada hasil *annealing* dosimeter OSL yang sudah dilakukan maka waktu *annealing* pada pemantauan dosis pekerja dalam kondisi normal adalah 5 menit. Namun dalam kondisi dimana diduga terjadi penerimaan dosis yang melebihi 10 mSv maka waktu *annealing* dapat diperpanjang untuk memastikan bahwa semua informasi dosis yang tersimpan dalam dosimeter OSL sudah dilepaskan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Studi waktu *annealing* dosimeter OSL *inlight whole body* menggunakan *annealer* lampu TL 2x20 watt yang didesain dan dibuat sendiri menunjukkan bahwa pada terimaan dosis 1,1 mSv, dalam waktu 5 menit *annealing* respon hasil evaluasi menggunakan *microstar OSLD portable reader* adalah 0.

Mengacu studi waktu *annealing* yang sudah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain menggunakan *InLight LED Annealer* Model 50A buatan Landauer, waktu *annealing* ini dapat diperluas untuk terimaan dosis sampai 10 mSv.

Hasil studi waktu *annealing* ini dapat menjadi acuan dalam menyusun prosedur

annealing dosimeter OSL secara manual menggunakan *annealer* lampu TL 2x20 watt.

Hasil studi ini juga dapat menjadi landasan untuk studi lanjut tentang waktu *annealing* dosimeter OSL menggunakan *annealer* lampu TL 2x20 watt untuk waktu *annealing* kurang dari 5 menit pada dosis terimaan 1,1 mSv atau lebih.

DAFTAR PUSTAKA

1. JUSTUS, B.L, et.al, Optically Stimulated Luminescence Radiation Dosimetry Using Doped Silica Glass, Naval Research Laboratory, Washington, USA (1997).
2. MCKEEVER, S.W.S, BENTON, E.R, GAZA, R, SAWAKUCHI, G.O, AND YUKIHARA, E.G, Passive Space Radiation Dosimetry using Optically Stimulated Luminescence and Plastic Nuclear Track Detectors, Radiat. Meas. (2007).
3. ANONIM,Comparison of Radiation Dosimeters, www.jplabs.com (2011).
4. PRADHAN, A.S, LEE, J.I, KIM J.L, Recent Development of Optically Stimulated Luminescence Material and Techniques for Radiation Dosimetry and Clinical Application, Journal Medical Physics (2008).
5. FORD, R.M & HANIFY, R.D, *A* Dekstop OSL System for On-site Dosimeter Processing, Landauer Inc, Glenwood, IL 60425, USA.
6. PASSMORE,C.N. & KIRR, CHP.M, Optical Annealing of OSLN and OSL Material, Landauer, 2 Science Road, Glenwood, Illinois, USA (2008).
7. MATOBA, Hasil Diskusi Tentang Karakteristik Dosimeter OSL InLight XA, Nagase, Jakarta (2011)
8. YODER, R.C, Optically Stimulated Luminescence Dosimetry , Landauer Inc, Glenwood, IL 60425, USA.
9. KOBAYASHI, Microstar Reading, Landauer, Japan (2010).
10. PINTO, TERESA, N.O & CALDAS, LINDA, V.E, Characterization of OSL Commercial Dosimeter Using A Hand Phantom, In Standard Beta Radiation Beams, 2009 International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro, Brazil (2009).
11. LOMBARDI, MAX, H, Radiation Safety in Nuclear Medicine, 2nd Ed, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA (2007).
12. ANONIM, Landauer MicroStar User Manual, Landauer Inc, Glenwood, IL 60425, USA (2008).

TANYA JAWAB

1. Penanya : Dewi Dwi K.

Pertanyaan :

- Bagaimana pengunaan OSL yang ideal? Apakah cocok untuk monitoring sehari-hari atau untuk kondisi tertentu misalnya saat terjadi kondisi darurat yang perlu cepat untuk evaluasi (ada *reader portable*nya) ?
- Kenapa harus annealing denga TL padahal tadi pada saat presentasi dikatakan bahwa dibiarkan terkena sinar matahari saja sudah hilang/ kosong?

Jawaban :

- Dosimeter OSL cocok untuk monitoring normal maupun kondisi darurat, OSCD reader ada yang portable dan tidak *portable*, ada yang *manual* dan otomatis, yang dimiliki PTKMR jenis *reader portable* dan *manual*.
- Dosimeter OSC di*annealing* dengan cara disinari cahaya, jika tidak ada perangkat *annealing* dengan disinari cahaya matahari juga akan hilang informannya (sensitif terhadap cahaya matahari) namun akan lebih baik menggunakan *anneable* untuk annealing.

KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN DOSIMETER LUMINESENSI SEBAGAI DOSIMETRI PERSONAL DALAM PEMANTAUAN DOSIS RADIASI EKSTERNAL

Hasnel Sofyan

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
E-mail : hasnel_s@batan.go.id

ABSTRAK

KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN DOSIMETER LUMINESENSI SEBAGAI DOSIMETRI PERSONAL DALAM PEMANTAUAN DOSIS RADIASI EKSTERNAL. Setiap pekerja radiasi wajib menggunakan dosimeter (film, luminesensi) personal secara terus-menerus untuk memantau dosis paparan radiasi pengion yang diterimanya agar tidak melampaui nilai batas dosis yang ditetapkan. Dosimeter luminesensi dapat dikelompokkan berdasarkan jenis stimulasi dalam proses pembacaan responnya, yaitu TLD, OSLD dan RPLGD. Dalam aplikasinya, untuk pemantauan dosis radiasi eksternal dengan presisi tinggi dan akurat, dibutuhkan dosimeter luminesensi personal yang tepat dengan karakteristik dosimetri yang baik. Menurut ISO dan IEC, tanggapan dosimeter terhadap foton pada dosis antara 1 – 1.000 mSv harus linier dari energi rendah beberapa keV sampai energi tinggi ^{60}Co (1,25 MeV), dengan perbandingan relatif tanggapan dosisnya dalam ±10%. Berbeda dengan OSLD dan RPLGD, TLD yang membutuhkan stimulasi panas dalam proses pembacaan akan kehilangan pusat luminesensi, sehingga untuk estimasi ulang dosis tidak dapat dilakukan. Di samping itu, TLD juga akan kehilangan sensitivitasnya karena fenomena *fading*, *thermal quenching* dan *annealing*. Sensitivitas TLD LiF:Mg,Cu,P akan mengalami penurunan mencapai 40%, 17% dan 27% pada proses pembacaan kali ke 50 dengan temperatur annealing masing-masing pada 243°C, 237°C dan pada temperatur standar 240°C. Namun, TLD LiF dengan pengkayaan unsur ^{6}Li atau ^{7}Li masih tetap menjadi pilihan utama dalam dosimetri neutron. Setiap dosimeter personal memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga perlu jadi pertimbangan dalam pemantauan dosis radiasi personal. Dibandingkan dengan TLD dan OSLD, keuntungan dari sistem RPLGD adalah reproduktifitas dalam pembacaan yang baik, stabil untuk jangka panjang, ketergantungan energi yang rendah, linearitas dosis yang lebih baik, kemampuan baca ulang dan proses pembacaan sangat cepat. Secara ringkas dapat dikatakan bahwa, RPLGD dapat menjadi salah satu dosemeters yang stabil untuk aplikasi sebagai dosimetri personal dalam pemantauan dosis radiasi eksternal.

Kata kunci : Dosimetri personal, dosimeter RPL, dosimeter OSL, dosis radiasi eksternal, perlakuan panas

ABSTRACT

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF LUMINESCENCE DOSIMETER AS PERSONAL DOSIMETRY IN EXTERNAL RADIATION DOSE MONITORING*. Every radiation worker must be use personal dosimeter continuously for dose monitoring from ionizing radiation exposure that acceptanced in order not to exceed that the decided value of dose limit. Luminesensi dosimeters can be grouped by stimulation type in the process of reading the response, namely TLD, OSLD and RPLGD. In its application, for monitoring of external radiation dose that high precision and accurate, it's necessary the ri ght personal of luminesensi dosimeters good characteristics of dosimetry. According to ISO and IEC, the dosimeters respon to photon in 1 to 1,000 mSv of dose is linear form low energy to high energy ^{60}Co (1.25 MeV) with relative ratio of dose response in ±10%. Different with OSLD and RPLGD, the TLD that requiring thermal stimulation in readout process will result in the disappearance of luminescent centers, so that the re-estimation of radiation dose cannot be done. In addition, the TLD can be lost of sensitivity due to the phenomenon of fading, thermal quenching and annealing. The sensitivity of TLD LiF:Mg,Cu,P will decrease to 40%, 17% and 27% in 50 times of readout process with annealing temperature at 243℃, 237℃ and standard temperature at 240℃, respectively. However, TLD LiF with ^{6}Li or ^{7}Li enrichment is still remains a first choice in neutron dosimetry. Every personal dosimeter has advantages and disadvantages, so it needs to be considered in the personal radiation dose monitoring. In comparison to TLD and OSLD, the advantages of the RPLGD system are the good reproducibility of readout value, long-term stability, low energy dependence, better dose linearity, capability of repeating readouts and fast readouts process. In summary one can say that,*

RPLGD appears to be one of the most stable dosemeters for applications as personal dosimetry in external radiation dose monitoring.

***Keywords** : Personal dosimetry, RPL dosimeter, OSL dosimeter, external radiation dose, heat treatment*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan PP No. 33 tahun 2007 [1], setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memenuhi persyaratan keselamatan radiasi agar dosis paparan radiasi pengion yang diterima pekerja dapat dikontrol dan tidak melampaui nilai batas dosis (NBD). Pemantauan dosis harus dilakukan secara kontinyu menggunakan dosimeter yang disesuaikan dengan lingkungan tempat bekerja (industri, penelitian, aplikasi medik), jenis dan laju paparan radiasi yang dimanfaatkan. Di samping itu, hasil pengukuran dan evaluasi serta peralatan yang digunakan dalam pemantauan dosis radiasi harus memiliki tingkat keselarasan yang sama di seluruh dunia. Melalui komite teknis *International Electrotechnical Commission* (IEC) dan *International Organization for Standardization* (ISO) telah dirumuskan persyaratan standar internasional dosimeter yang diberlakukan dalam proteksi radiasi [2].

Secara umum, dosimeter personal yang digunakan dalam pemantauan dosis radiasi eksterna adalah dosimeter film dan luminesensi (*luminescence*). Dosimeter film dievaluasi berdasarkan kehitaman lapisan emulsi dan informasi dosisnya tersimpan secara permanen, sehingga berpeluang dibaca ulang jika dibutuhkan. Namun, dosimeter film memiliki kelemahan karena hanya untuk satu kali pengukuran, dan sangat sensitif terhadap suhu dan kelembaban. Disamping itu, tingkat pemudaran (*fading*) yang disebabkan waktu tunda adalah cukup tinggi [3]. Dari hasil kuesioner EURADOS [4], dosimeter luminesensi telah menjadi pilihan untuk dosimetri personal menggantikan dosimeter film. Pilihan ini disebabkan karena dosimeter luminesensi lebih sensitif, dapat digunakan secara berulang-ulang, memiliki kemampuan untuk mengukur dosis yang kurang dari 1 mGy, tanggapan dosis linier sampai 1 Gy, respon energi yang baik setelah diiradiasi dengan sinar-X, tidak dipengaruhi oleh humiditas dan medan magnetik tinggi [5]. Berdasarkan jenis stimulasi dalam proses pembacaan, dosimeter luminesensi yang banyak digunakan adalah dosimeter *thermally stimulated luminescence* (TSL) atau lebih dikenal sebagai *thermoluminescence dosimeter* (TLD), *optically stimulated luminescence dosimeter* (OSLD) dan *radiophotoluminescence dosimeter* (RPLD) [6-8]. Di PTKMR-BATAN, pemantauan dosis radiasi personal menggunakan TLD LiF:Mg,Ti (Harshaw), TLD $CaSO_4$:Dy (BARC, India) dan dosimeter *film badge*. Pemantauan dan proses evaluasi dosis memenuhi ketentuan ISO/IEC 17025 [9], sedangkan untuk evaluasi kinerja dosimeternya memenuhi kriteria ANSI

(*American National Standards Institute, Inc*) [10].

Prinsip dasar luminesensi adalah hubungan antara dosis serap dengan nilai intensitas cahaya yang dipancarkan bahan fosfor pada saat dosimeter distimulasi. Untuk meningkatkan hasil pemantauan dosis radiasi eksternal yang presisi dan akurat, dibutuhkan dosimeter dengan karakteristik dosimetri yang baik, seperti sensitivitas yang tinggi dan *fading* yang dapat diabaikan. *Fading* merupakan pemudaran informasi dosis setelah dosimeter menerima paparan radiasi pengion, semakin rendah *fading* suatu dosimeter luminesensi berarti kemampuan dosimeter menyimpan informasi dosis semakin baik. Dalam makalah ini akan dibahas keunggulan dan kelemahan dosimeter luminesensi yang meliputi sensitivitas, ketergantungan terhadap energi dan sudut datang radiasi serta kemungkinan penggunaannya pemantauan dosis personal pada masa yang akan datang.

II. DOSIMETER LUMINESENSI

Dosimeter luminesensi telah digunakan secara luas untuk mengukur dosis radiasi sinar-X, γ, β dan neutron. Dalam aplikasinya, beberapa dosimeter luminesensi akan kehilangan informasi dosis setelah menerima stimulasi panas pada saat proses pembacaan tanggapan dan *annealing* [11-13], namun dengan menggunakan metode PTTL (*photo-transferred thermoluminecent*) informasi dosis dapat dibaca ulang. Metode PTTL kurang diminati karena berpeluang untuk terjadinya penumpukan informasi dosis yang berasal dari radiasi latar, sehingga dapat menyebabkan kesalahan yang cukup signifikan dalam estimasi dosis. Radiasi latar pada dosimeter akan mengalami peningkatan jika penyimpanan dalam waktu yang cukup lama atau di lokasi yang memiliki paparan radiasi latar relatif tinggi [11]. Penelitian yang dilakukan P. Askounis dkk [3], membuktikan bahwa dalam mengevaluasi dosis rendah hasil pemantauan paparan radiasi pekerja, keberadaan radiasi latar sangat mempengaruhi intensitas luminesensi dosimeter. Besarnya nilai paparan radiasi latar sangat bervariasi dan bergantung pada karakteristik dan kondisi lingkungan. Secara umum tanggapan dosimeter luminesensi personal dapat dinyatakan sebagai [14],

$$M = \frac{N_0}{r_n \, r_{E,\alpha} \, r_{env}} G \qquad \text{.....} \quad (1)$$

Dengan N_0 : faktor kalibrasi, r_n : faktor tanggapan dosis non linier relatif, $r_{E,\alpha}$: tanggapan terhadap sudut dan energi, r_{env} : tanggapan relatif paparan lingkungan. Nilai r_n dan $r_{E,\alpha}$ adalah kuantitas tidak independen untuk luminesensi detektor karena dengan pertambahan densitas ionisasi supralinieritas/ sublinieritas akan mengalami penurunan tanggapan dosis dan terjadinya peningkatan saturasi dosis [4]. Supralinieritas pada TLD merupakan normalisasi fungsi tanggapan dosis yang didefinisikan sebagai tanggapan dosis pada dosis tertentu terhadap tanggapan dosis linier untuk dosis rendah [13].

ThermoLuminescence Dosimeter

Thermoluminescence (TL) merupakan fenomena luminesensi dari bahan insulator atau semi-konduktor berbentuk kristal fosfor yang dapat diamati ketika bahan padat tersebut menerima stimulasi panas (*thermally stimulated*). Fenomena luminesensi ini, tidak sama dengan bentuk cahaya yang dipancarkan secara spontan oleh bahan padat yang dipanaskan sampai berpijar. Pada TL, cahaya luminesensi yang dipancarkan sebanding dengan besarnya energi radiasi pengion yang diserap bahan fosfor sebelumnya. Secara umum, dosimeter TL (TLD) yang mengalami proses pemanasan pada saat pembacaan dapat menyebabkan seluruh perangkap menjadi kosong dari elektron-elektron yang terjebak. Elektron yang kemungkinan masih terperangkap setelah proses pembacaan dapat diabaikan atau dikosongkan dengan *annealing* yaitu memberikan perlakuan panas. Pada pembacaan TLD rutin dengan waktu pembacaan pendek dan laju pemanasan (*heating rate*) tinggi serta tanpa di-*annealing*, elektron-elektron pada perangkap stabil atau perangkap lebih dalam tidak seluruhnya dibersihkan [13,15-18]. Oleh karena itu, proses pembacaan tambahan akan menghasilkan kurva cahaya tersendiri yang dapat digunakan sebagai informasi dosis setelah dosimeter dipapari radiasi pengion [11].

Dalam pemantauan dosis radiasi personal secara rutin, *fading* dosimeter merupakan parameter penting yang dapat mempengaruhi hasil perkiraan dosis. Fenomena *fading* dapat menyebabkan TLD kehilangan sensitivitas bahan yang dapat terjadi sebelum TLD diiradiasi (*pre-irradiation fading*) dan/atau kehilangan sinyal setelah TLD diiradiasi (*post-irradiation fading*). *Fading* yang terjadi pada setiap dosimeter tidak sama dan sangat bergantung pada jenis bahan TLD, mekanisme pembacaan, proses *annealing*, parameter tempat dan lamanya waktu penyimpanan, serta puncak kurva yang digunakan dalam menentukan dosis [18-21]. Sampai saat ini, penelitian dan pengembangan bahan fosfor yang digunakan sebagai TLD terus dilakukan untuk memenuhi keperluan dalam menentukan dosis serap radiasi pengion yang presisi dan akurat. Beberapa bahan TLD yang digunakan dalam pemantauan dosis radiasi eksternal diantaranya adalah LiF:Mg,Ti; LiF:Mg,Cu,P; LiF:Mg,Cu,Na,Si; LiF:Mg,Cu,Si; CaF_2:Dy; CaF_2:Tm; CaF_2:Mn; $CaSO_4$:Dy; $Li_2B_4O_7$:Mn dan Al_2O_3:C [3,4,15,22-27].

Dari beberapa bahan TLD yang sudah dikomersialisasikan secara luas adalah dosimeter LiF dan $CaSO_4$. Bahan fosfor LiF lebih banyak digunakan untuk pemantauan dosis radiasi eksternal sehubungan dengan tingkat sensitivititasnya yang relatif lebih tinggi, informasi dosis stabil dan ekivalensi jaringan yang baik (Z_{eff}=8,14). Dosimeter LiF:Mg,Ti (TLD-100) memiliki rentang dosis antara 10^{-5}–10 Gy dan *fading* <5%/tahun

pada temperatur 20°C terkoreksi. Dibandingkan TLD-100, dosimeter LiF:MgCuP (TLD-100H) memiliki karakteristik yang lebih baik, rentang dosis yang lebih luas (10^{-6}–10 Gy), supralinieriti yang rendah, *fading*-nya dapat diabaikan dan tingkat sensitivitasnya 15-30 kali lebih tinggi dari TLD-100 [22,28]. Hal ini membuat TLD-100H telah menjadi pilihan dalam program dosimetri skala yang besar, terutama untuk digunakan pada aplikasi dosimetri rutin pemantauan dan evaluasi dosis ekivalen personal dan lingkungan [15,22]. Bahan TLD LiF:Mg,Cu,P telah dikembangkan dan dikomersialisasikan oleh beberapa Negara diantaranya adalah di Cina (GR-200), Polandia (MCP-N) dan di USA (*Harshaw* TLD-100H, TLD-600H, TLD-700H) [15].

Optically Stimulated Luminescence Dosimeter (OSLD)

Perkembangan awalnya, OSL merupakan metode yang cukup popular untuk penentuan dosis radiasi lingkungan yang terserap oleh material arkeologi dan geologi. Luminesensi dari material yang distimulasi dengan panjang gelombang dan intensitas cahaya yang tepat merupakan informasi dosis terserap oleh material itu, dan melalui cara penentuan dengan metode terpisah dapat diketahui laju dosis di lingkungan [29]. Dalam pengembangan selanjutnya, teknologi OSL diaplikasikan dalam dosimetri radiasi. Sama seperti TLD, dosimeter OSL juga merupakan kristal yang dibuat dari bahan fosfor luminesensi dengan penambahan aktivator sebagai pengotor yang akan membentuk pasangan elektron-lubang ketika dosimeter tersebut menerima paparan radiasi. Paparan radiasi akan mengeksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi dan terperangkap. Pada saat OSL menerima stimulasi cahaya laser dengan panjang gelombang yang cocok, sebagian elektron yang terperangkap akan bergabung kembali dengan lubang pasangannya seperti keadaan awal. Dalam peristiwa ini tidak semua muatan elektron yang dilepaskan dan tidak selalu berasal dari perangkap yang sama [30], sehingga dosimeter OSL dapat dibaca berulangkali. Dari penelitian R.M.Ford [31], menunjukan bahwa pengurangan muatan yang terjadi dari setiap pembacaan dosimeter adalah $(-3{,}6\pm0{,}04)\cdot10^{-3}$ per mSv/bacaan (< 0,4%) pada setiap level dosis. Untuk dosimeter OSL Al_2O_3:C yang digunakan sebagai *real-time* pada radioterapi dan mamografi diperoleh respon linier sampai beberapa Gy, dan dalam setiap kali pembacaan hanya sejumlah kecil (0,05%/pembacaan) kehilangan informasi dosis [32].

Pemberian stimulasi panas dalam proses pembacaan dan *annealing* TLD, dapat menyebabkan terjadinya efek *thermal quenching* yaitu penurunan efisiensi luminesensi dan kehilangan sensitivitas TLD [27]. Dengan teknologi OSL yang menggunakan stimulasi laser hijau/biru untuk proses pembacaan informasi dosis, dosimeter

akan terhindar dari efek *thermal quenching*. Di samping itu, teknologi OSL memiliki keunggulan dalam proses pembacaan dosis yang menjadi relatif lebih cepat dan dapat dilakukan pada kondisi temperatur kamar. Dengan model *band gap*, sinyal OSL bergantung pada beberapa faktor, yaitu jumlah perangkap, kapasitas stimulasi sebagai pembawa muatan (dikenal sebagai "*photoionization cross section*"), jumlah elektron dalam perangkap setelah terpapar radiasi, dan panjang gelombang stimulasi (terkait dengan jumlah energi yang diberikan ke elektron terjebak). Secara teoritis, fenomena yang kompleks dalam OSL didasarkan pada beberapa asumsi, bahwa hanya ada satu jenis perangkap elektron dan satu jenis pusat rekombinasi, semua perpindahan muatan terjadi melalui pita konduksi, efisiensi luminesensi (η = 1) didefinisikan bahwa semua rekombinasi adalah radiasi, dll [32]. Sehingga, intensitas OSL dapat digambarkan sebagai,

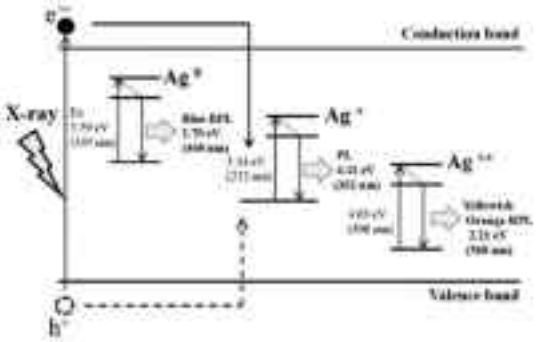
$$I_{OSL} = I_{OSL_0} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + a_1 \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) - a_2(t) \quad \text{..... (2)}$$

Dengan a_1 menggambarkan aksi dari perangkap dangkal (E adalah kedalaman perangkap, T, temperatur dan k, Konstanta Boltzmann), dan $a_2(t)$ menggambarkan "perangkap dalam" yang dipengaruhi waktu. Nilai $\tau = \sigma(\lambda) \cdot \phi(\lambda)^{-1}$ merupakan *lifetime* dengan σ adalah intensitas stimulasi optik, ϕ adalah *photo-ionization cross section* dan λ adalah panjang gelombang optik. Bahan OSL dosimeter yang sudah dikomersialisasikan untuk digunakan sebagai dosimeter personal adalah Al_2O_3:C [33].

Radio-Photoluminescence Glass Dosimeter (RPLGD)

Fenomena *radio-photoluminescence* (RPL) yang diaplikasikan untuk dosimeter merupakan gejala yang terdapat pada gelas perak (Ag^+) diaktivasi dengan fospat (PO_4) dan didasarkan pada gelas model jaringan acak. Ketika pusat luminesensi bahan gelas diiradiasi menggunakan sinar UV panjang gelombang 337,1 nm, maka pusat-pusat luminesensi akan tereksitasi dan memancarkan cahaya fluoresensi berwarna oranye (600 – 700nm) untuk selanjutnya kembali ke tingkat energi yang stabil (pusat luminesensi) seperti pada Gambar 1 [34]. Pusat luminesensi akan kembali kosong ketika dosimeter RPL di *annealing* dalam oven 400°C selama 20 menit atau 1 jam untuk dosis di atas 1 Gy [35], sehingga dapat digunakan kembali mengakumulasi dosis untuk waktu yang lama. Dari penelitian yang dilakukan oleh T. Yamamoto dkk, tidak terlihat adanya efek akibat proses *annealing* [34], begitu juga dengan efek UV *quenching* dan *recovery* yang < 1% setelah lebih 3.500 kali pembacaan sehingga kesalahan yang kemungkinan disebabkan oleh faktor ini dapat diabaikan.

Gambar 1. Intensitas RPL dengan beberapa dosis serap yang berbeda pada gelas Ag^+ + PO_4 [34]



Gambar 2. Ilustrasi model emisi RPL pada Ag^+ yang ditambahkan gelas fospat [34].

Jumlah intensitas luminesensi yang dipancarkan RPLGD sebanding dengan besarnya dosis radiasi pengion yang diterima sebelumnya. PO_4 tetrahidron pada RPLGD yang terpapar radiasi pengion, akan kehilangan elektron (e^-) dan lubang perangkap positif PO_4 (h^+). Secara simultan, ion Ag^+ dalam dosimeter gelas akan memerangkap elektron tunggal dan berubah menjadi ion Ag^0 (*electron capture*), sedangkan h^+ diasumsikan akan mengalami perpindahan ke Ag^+ dan menghasilkan Ag^{++} (*hole capture*) + PO_4. Dalam hal ini, Ag^0 dan Ag^{++} pada kondisi temperatur kamar merupakan pusat luminesensi stabil seperti diilustrasikan dalam Gambar 2, dan tidak akan mengalami perubahan menjadi Ag+ (stabil) selama tidak dilakukan proses *annealing* [7,34,35]. Sehingga ketika terjadi kesalahan estimasi dosis, sinyal RPLGD dapat dianalisis kembali untuk menjamin kehandalan hasil. Pusat luminesensi ini akan mengalami peningkatan secara proporsional terhadap kenaikan jumlah paparan radiasi pengion yang diterima, sehingga total iluminasi pada dosimeter merupakan perkiraan total dosis terakumulasi.

Difusi elektron yang terjadi pada RPLGD lebih cepat dibandingkan dengan difusi pada lubang (*hole*) TLD, dan juga kecepatan akumulasi pada Ag^0 lebih tinggi dari Ag^{++}. Dengan sifat ini, telah membuat RPLGD menjadi dosimeter yang memiliki keunggulan untuk dapat dibaca berulang kali. Dibandingkan dengan TLD, teknologi RPL pada dosimeter gelas ini telah menjadikannya cukup popular untuk digunakan dalam pemantauan dosis radiasi eksternal sinar-X, γ dan β di Jepang [6]. RPLGD sebagai dosimeter zat padat akumulasi dosis memiliki karakteristik yang sangat baik, seperti perbedaan pengulangan (*reproducibility*) pada nilai bacaan dapat diabaikan, efek *fading* yang stabil untuk jangka waktu yang lama (< 1%), tingkat ketergantungan yang rendah terhadap energi foton (± 10% pada energi 0,03–1,3 MeV), linieritas dosis yang baik dengan persamaan $y = 0{,}977\ x + 0{,}1142$ pada dosis 0,01–500mGy [6,35].

III. KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN TLD, OSLD DAN RPLGD

Fenomena TL dapat diamati pada banyak jenis bahan fosfor, namun hanya

beberapa bahan yang dapat menunjukkan sifat yang sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasi dosimetri. Untuk aplikasi dosimetri personal, persyaratan dosimetrik yang harus dimiliki dosimeter adalah kemampuan jangkauan dosis antara 10^{-5} sampai 5×10^{-1} Gy dengan ketidakpastian (pada 1 SD) adalah −30% dan +50% [13]. Pada kasus-kasus tertentu, perkiraan ulang dosis radiasi eksternal dalam dosimetri personal merupakan permasalahan penting yang tidak dapat diselesaikan dengan TLD. Secara umum, bahwa TLD yang telah melalui proses pembacaan dan di-*annealing* dengan stimulasi panas akan menyebabkan seluruh perangkap elektronnya menjadi kosong dan kemungkinan sisa bacaannya yang masih ada dapat diabaikan [11]. Selain itu, stimulasi panas yang diterima TLD dapat menyebabkan dosimeter mengalami kehilangan sensitivitas. Berbeda dengan TLD, riwayat pengembangan teknologi RPL dan OSL yang sudah cukup lama, memiliki banyak kelebihan sebagai dosimeter personal dan lingkungan, seperti sensitivitasnya yang tinggi, ketergantungan energi yang rendah, efek memudar rendah dan linearitas dosis yang baik, memiliki kemampuan dalam pembacaan ulang tanggapan, tingkat stabilitas secara fisikokimia (*physico-chemical*) lebih baik dibandingkan dengan TLD [36].

TLD, OSLD dan RPLGD merupakan dosimeter personal untuk pemantauan dosis radiasi eksternal paparan radiasi sinar-X, γ dan β. Dalam dosimetri neutron, untuk memantau paparan radiasi neutron yang memiliki spektrum energi yang sangat lebar mulai dari neutron termik, epitermik, menengah, dan neutron cepat ($<10^{-2}$ eV – $> 10^{7}$ eV) membutuhkan pasangan dosimeter yang masing-masingnya sensitif terhadap neutron dan gamma. Sampai saat ini, pemantauan neutron merupakan bagian penting dalam banyak program dosimetri personal dan pilihan penggunaan pasangan TLD dengan pengkayaan unsur ^{6}Li atau ^{7}Li untuk mengukur dosis neutron terus mengalami peningkatan [27]. Dosimeter neutron dengan fenomena TL masih merupakan keunggulan TLD dibandingkan dengan teknologi dan prinsip yang diterapkan dalam teknologi OSL dan RPL. Secara umum, dosis ekivalen personal untuk neutron dapat dinyatakan sebagai [37],

$$Hp(10)_{neutron} = Hp(10)_{neutron+\gamma} - Hp(10)_{\gamma'} \quad \text{..... (3)}$$

dengan, $Hp(10)_{neutron+\gamma}$ dan $Hp(10)_{\gamma'}$ masing-masing merupakan dosis ekivalen dari dosimeter yang diperkaya unsur ^{6}Li untuk komponen neutron dan gamma (foton) dan ^{7}Li untuk komponen gamma (foton).

Kriteria unjuk kerja dosimeter harus memenuhi ketentuan ANSI N13.11-2001 [10], diantaranya adalah sensitivitas, linieritas dosis atau ketergantungan terhadap energi dan tanggapan dosimeter terhadap sudut yang sesuai dengan kriteria IEC-62387-1 [38]. Pada Tabel 1, diperlihatkan keunggulan masing-masing dosimeter (TL, OSL dan RPL) [24,34-37,39,40]. Perbedaan sangat

signifikan terlihat pada proses pembacaan respon setiap dosimeter yang sangat bergantung pada jenis stimulasi yang digunakan. TLD, karena menggunakan stimulasi panas dengan laju pemanasan (*heating rate*) dan proses pendinginan, maka setiap pembacaan TLD dibutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses pembacaan OSLD dan RPLGD. Waktu yang dibutuhkan dalam pembacaan RPLGD untuk memperkirakan dosis (pada 5 posisi pengukuran) dan *pre-dose check* (1 posisi pengukuran) masing-masing kurang dari 12 detik dan 7 detik [35].

Sensitivitas Dosimeter Luminesensi

TLD memiliki tingkat sensitivitas yang cukup baik terhadap radiasi dan mampu mengukur dosis radiasi dari beberapa μGy sampai 10 Gy [5]. Sehingga, lebih dari 90% TLD masih digunakan sampai saat ini untuk pengukuran dosis personal paparan radiasi eksternal. Namun, karena TLD memerlukan stimulasi panas dalam proses pembacaan tanggapannya, perlu waktu untuk proses panas dan pendinginan, dan TLD tidak dapat dibaca ulang, maka hal ini menjadi kelemahan TLD sebagai dosimeter untuk digunakan dalam pemantauan dosis radiasi eksternal pada masa yang akan datang [7].

Dosimeter LiF:Mg,Cu,P merupakan TLD yang memiliki tingkat sensitivitas lebih tinggi dibandingkan TLD jenis lainnya. Dari hasil beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan selama tahun 1993-2003 untuk satu kali proses pembacaan dengan 240°C temperatur *annealing* dan 10 menit waktu *annealing*, diperoleh rerata kehilangan sensitivitas dosimeter LiF:Mg,Cu,P (GR-200A, chips) adalah sekitar < 0,3%−0,6% [41-43]. Sedangkan untuk TLD LiF:Mg,Cu,P yang berbentuk serbuk dari TLD-100H (Harshaw) dan GR-200P (produk China), masing-masing adalah 0,7% [44] dan 0,5% [45]. Perbedaan nilai tersebut, dapat disebabkan karena pabrikannya yang berbeda atau karena ketidakseragaman dalam perlakuan dan kondisi pada saat *annealing* dengan panas yang terlalu tinggi, terlalu lama dan karena laju pemanasan yang berbeda [15].

Tabel 1. Keunggulan masing-masing dosimeter luminesensi [24,34-37,39,40]

Dosimeter TL	**Dosimeter OSL**	**Dosimeter RPL**
• Memiliki sensitivitas tinggi untuk bahan baru LiF:MgCuP • Pemeliharaan, perawatan, perlakuan yang mudah (*simple*) • Tidak sensitif terhadap cahaya • Teknologi dalam proses pembacaan yang sederhana • Dapat digunakan sebagai dosimetri neutron dengan penambahan unsur ^{6}Li dan ^{7}Li • Kurva pancar TL dapat digunakan sebagai kontrol kualitas • Dosimeter dapat dikalibrasi secara individual • Memungkinkan untuk estimasi dosis ulang (tetapi tidak dilakukan) • Tanggapan terhadap energi foton yang datar (*flat*) • Proses pembacaan dosis dengan stimulasi panas	• Efisiensi luminesensi tinggi (Al_2O_3:C) • Sensitivitas stabil • Sangat sensitif terhadap cahaya • Presisi dan akurasi tinggi • Emisi luminesensi bisa dikontrol • Proses pembacaan sangat cepat • Dapat dilakukan beberapa kali analisis ulang • Identifikasi paparan statis • Mengeliminasi proses yang komplek dalam *annealing* panas • Konsumsi daya listrik yang rendah untuk alat baca *portable* • Ketergantungan terhadap sudut datang paparan radiasi rendah • Proses pembacaan dosis dengan stimulasi sinar laser hijau/biru • Pasangan dosimeter OSL α-Al_2O_3:C + ^{6,7}LiF dapat digunakan sebagai dosimetri neutron.	• Mengukur dosis terintegrasi • Efisiensi luminesensi tinggi • Sensitivitas sangat stabil • Presisi dan akurasi tinggi • Tidak mempunyai fenomena *fading* (koreksi *fading* diabaikan) • Tidak sensitif terhadap cahaya • Proses pembacaan sangat cepat dan memiliki kemampuan yang tidak terbatas • Stabilitas tidak dipengaruhi oleh temperatur lingkungan • Reprodusibiliti bacaan tinggi (≤ 2% untuk 0,01mGy dan ≤1% untuk 0,05mGy) dengan metode eksitasi laser UV • Ketergantungan terhadap sudut datang paparan radiasi rendah • Proses pembacaan dosis dengan stimulasi sinar UV • Efek UV *quenching* dan *recovery* setelah 3.500 kali pembacaan dapat diabaikan (< 1%) • Penggunaan untuk dosimetri neutron masih dalam penelitian

Kehilangan sensitivitas, khususnya untuk TLD LiF:Mg,Cu,P yang memiliki sensitivitas tinggi, akan meningkat pada saat temperatur di atas 240°C. Dari penelitian M.Lupke dkk [46], penurunan sensitivitas relatif dosimeter pada proses pembacaan kali ke 50 dengan temperatur *annealing* 243°C, 237°C dan pada temperatur standar 240°C masing-masing mencapai 40%, 17% dan 27%. Pemberian stimulasi panas yang cukup tinggi, juga dapat menyebabkan terjadinya efek *thermal quenching* yang akan berdampak pada kerusakan bahan TLD LiF:Mg,Cu,P. Efek tersebut menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi luminesensi bahan dan peningkatan kerapatan medan radiasi pengion [4,27], sehingga dapat menimbulkan kesalahan mengestimasi dosis radiasi [14]. Dalam fenomena TL, hubungan antara laju pemanasan dengan puncak kurva pancar dan intensitas TL merupakan bagian penting untuk menentukan berbagai parameter kinetik kurva pancar termasuk menetapkan waktu yang dibutuhkan untuk merekam kurva pancar. Ketergantungan puncak kurva pancar dengan laju pemanasan dan hubungannya dengan efek *thermal quenching* telah dibahas oleh LZ. Luo dkk (2006) [16] dan M. Kumar dkk (2010) [17]. M. Lupke dkk [46], telah membahas korelasi antara distribusi temperatur yang tidak seragam dalam oven pada saat proses *annealing*, dapat menyebabkan setiap dosimeter memberikan respon yang relatif tidak sama dan terjadi kehilangan sensitivitas. Sedangkan VE. Kafadar dkk. [15] telah membahas tentang

laju pemanasan pada saat proses pembacaan respon dosimeter dan *annealing* terhadap efek *thermal quenching*.

Ketergantungan intensitas TL atau tinggi puncak kurva pancar terhadap laju pemanasan, dapat dinyatakan dalam persamaan [17],

$$I_m = \frac{n_0 \beta \cdot E}{k T_m^2} \times \exp\left(-\int_{T_0}^{T_m} \frac{s \cdot \exp\left(-E/kT\right)}{\beta} dT \right) \quad \text{..... (4)}$$

Dimana, I_m adalah intensitas maksimum pada temperatur T_m, n_0 adalah jumlah kerapatan elektron yang terjebak, E adalah energi aktivasi (eV), s adalah faktor frekuensi (Hz), $T = T_0 + \beta t$ adalah profil pemanasan linier dengan T_0 sebagai suhu awal, $\beta = dT/dt$ adalah laju pemanasan (dalam K/sec) dan k adalah konstanta Boltzman itu (eV/K). Dari Persamaan 4, dapat dilihat bahwa jika paparan radiasi berbanding terbalik dengan laju pemanasan ($n_0 \propto 1/\beta$), maka kurva pancar yang dihasilkan tidak menunjukkan ketinggian puncak yang sama, tetapi akan terjadi penurunan tinggi puncak dengan peningkatan laju pemanasan.

Secara umum, pengukuran TL merupakan integral dari total intensitas luminesensi ROI (*region of interest*) yang terjadi selama proses pemanasan. Kurva pancar memiliki beberapa puncak dengan temperatur dan stabilitas panas yang berbeda-beda. Dengan menggunakan analisis kurva pancar dalam mengidentifikasi setiap puncak dan kontribusinya, dapat dibedakan antara puncak-puncak yang stabil dan tidak stabil secara dosimetri. Untuk dosimeter LiF:Mg,Cu,P, puncak kurva dosimetriknya adalah puncak 3 dan 4 dengan temperatur puncak masing-masingnya adalah antara 155–160°C dan 204–215°C [16]. Puncak kurva 4 merupakan puncak yang dominan dibandingkan puncak 3, puncak 1 dan 2 yang terdapat pada temperatur rendah <110 °C memberikan kontribusi dosimetrik yang tidak signifikan. Pengaruh laju pemanasan dengan tinggi puncak kurva ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan penggunaan stimulasi sinar laser (OSL) dan sinar UV (RPL) pada proses pembacaan dapat menghindarkan dosimeter dari kemungkinan efek *thermal quenching*.

Sampai saat ini, dosimeter luminesensi personal untuk pemantauan neutron yang sudah dikomersialisasikan masih didominasi oleh TLD LiF:Mg,Cu,P yang diperkaya ^{6,7}Li, sedangkan untuk OSLD dan RPLGD masih dalam pengembangan. Dalam pengembangan OSL neutron dari pasangan dosimeter OSL α-Al_2O_3:C + ^{6,7}LiF yang disinari dengan sumber neutron ^{252}Cf menunjukkan respon dosis personal ekivalen (Hp(10)) yang linier antara 0,2 – 100mSv [37]. Dosimeter gelas yang diperkaya ^{10}B atau ^{11}B untuk dosimetri neutron merupakan pencampuran dari reagen $NaPO_3$, $Al(PO_3)_3$, AgCl dan $^{10}B_2O_3$ atau $^{11}B_2O_3$. Intensitas RPL yang digunakan untuk mengevaluasi neutron thermal dapat ditentukan dari perbedaan antara intensitas RPL yang mengandung ^{10}B dan ^{11}B [40].

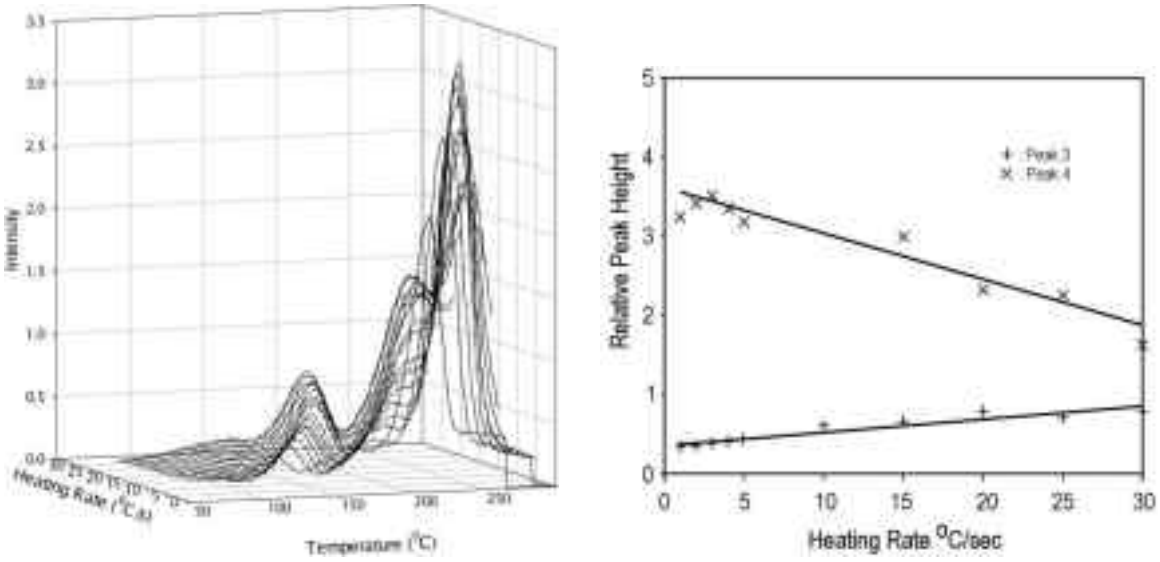
Ketergantungan Dosimeter Terhadap Energi

Bahan fosfor dan aktivator yang digunakan untuk dosimeter luminesensi sangat berpengaruh terhadap karakteritik dosimetri yang dimiliki oleh dosimeter. Salah satu kriteria dosimeter personal yang baik dalam pemantauan dosis radiasi eksternal adalah dosimeter yang memiliki tanggapan linier terhadap dosis dan energi [13]. Menurut ISO12794 [47], IEC62387-1 [38] dan IEC61066 [48], tanggapan dosimeter terhadap foton termasuk sinar-X dan gamma pada dosis antara 1 mSv sampai 1 Sv harus linier untuk energi mulai dari energi rendah beberapa keV sampai energi tinggi ^{60}Co (1,25 MeV), dan perbandingan relatif tanggapan antara dosis perkiraan dengan dosis yang diberikan pada dosimeter berada dalam interval antara 0,9 − 1,1 (±10%) [38,48]. Sedangkan untuk dosimeter neutron pada dosis antara 1 − 100 mSv, perbandingan relatif tanggapannya adalah 0,9 − 1,1 (±10%) [49].

Tanggapan TLD dan RPLGD terhadap variasi energi foton yang merupakan hasil dari Hp(10) dan Hp(0,07) ditunjukkan pada Gambar 4 dan komparasi tanggapan relatif Hp(10) OSLD dengan hasil hitungan menggunakan MCNP ditunjukkan pada Gambar 5 [50]. Pada Gambar 4, dapat dilihat rasio relatif antara dosis hasil perkiraan dengan dosis radiasi foton yang diberikan pada dosimeter luminesensi. Dengan menggunakan sumber ^{137}Cs sebagai titik energi referensi dalam menentukan nilai rasio, diperoleh deviasi tanggapan TLD-100H dan RPLGD untuk Hp(10) masing-masing adalah ±25% [51] dan ±10% [35]. Untuk OSLD, tanggapan relatif dosimeter pada energi efektif sinar-X antara 20 keV−1,0 MeV adalah dalam interval −25% sampai +10% [52]. Berbeda dengan RPLGD yang memiliki tanggapan sama untuk Hp(10) dan Hp(0,07), tanggapan TLD-100H memperlihatkan perbedaan sampai energi 40keV. Hal ini berarti bahwa perkiraan dosis ekivalen menggunakan RPLGD pada interval energi foton 10keV−10MeV sangat presisi meskipun terdapat insiden pada energi foton tertentu. Sehingga, untuk menentukan dosis ekivalen tidak dibutuhkan formula khusus dan informasi detail insiden pada energi tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Z. Knezevic dkk [53] di Ruder Boskovic Institute, Bijenicka, Croatia dengan menggunakan RPLGD dari Chiyoda Technol Corporation, untuk interval dosis antara 0,1 − 500 mGy diperoleh linieritas dosis dengan koefisien korelasi R^2 adalah 0,9997, dan linieritas dosis OSLD oleh CS. Lim dkk [52] diperoleh hubungan antara dosis paparan dan dosis serap dengan persamaan Y = −0,12 + 7,4X dan koefisien korelasi sebesar 0,09994, dimana Y adalah dosis serap dan X adalah dosis paparan. Tanggapan relatif RPLGD untuk dosis 0,1 − 500mGy dan OSLD untuk dosis 0,044 − 9,1 mGy, masing-masing diperoleh sebesar 0,6 − 4,8% [59] dan 1,8 − 6,6% [52]. Untuk keseragaman tanggapan antar RPLGD dan reprodusibilitasnya, masing-masing diperoleh antara 1,0% − 1,7% dan 0,4%. Tanggapan dosis RPLGD terhadap

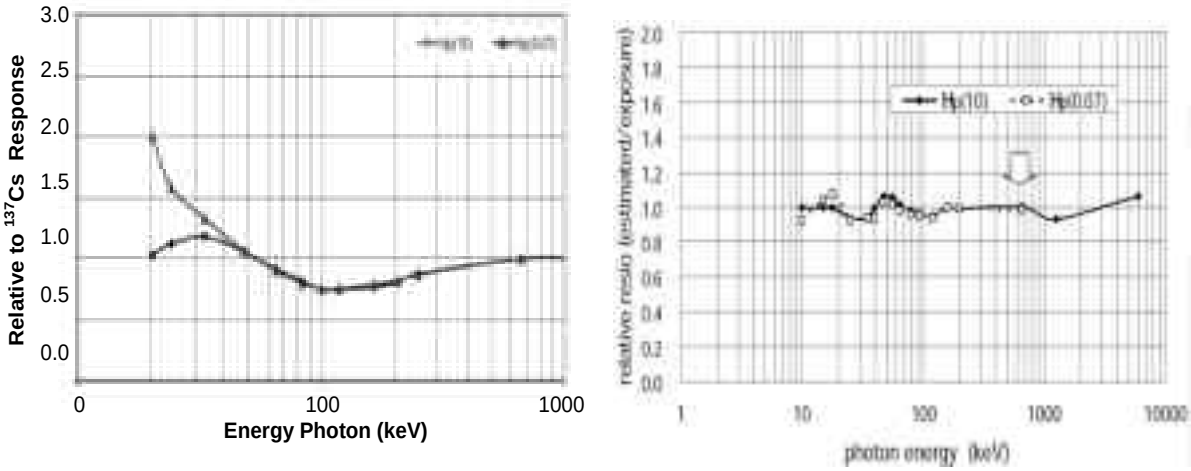
dosis referensi ^{137}Cs ditunjukkan pada Gambar 6 [53]. Dari SM Hsu dkk (2006) diperoleh hasil komparasi ketergantungan energi antara RPLGD dan TLD pada energi 32 – 1250 keV masing-masing adalah –2% sampai 15,8% dan –8% sampai 23% [6].



(a). Kurva pancar sebagai fungsi laju pemanasan dan temperatur

(b). Tinggi puncak relatif kurva pancar sebagai fungsi laju pemanasan

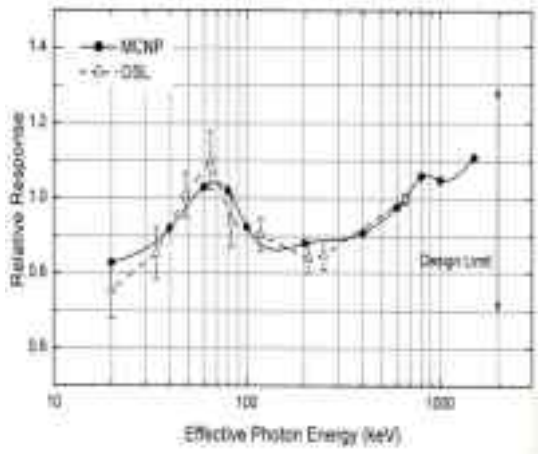
Gambar 3. Pengaruh laju pemanasan terhadap kurva pancar pada dosimeter LiF:Mg,Cu,P [16].



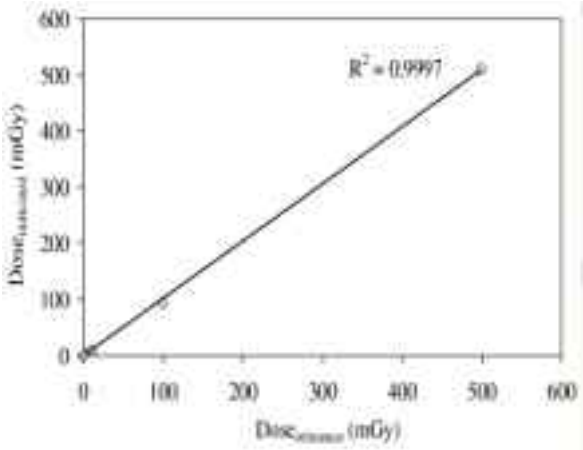
(a). Dosimeter LiF:Mg,Cu,P [51]

(b). Dosimeter Gelas RPL [35]

Gambar 4. Kurva tanggapan relatif dosimeter luminesensi terhadap ^{137}Cs untuk variasi energi foton.



Gambar 5. Kurva tanggapan relatif Hp(10) OSLD dan MCNP dengan titik referensi ^{137}Cs [50].



Gambar 6. Hubungan antara tanggapan dosis dosimeter gelas terhadap dosis iradiasi ^{137}Cs [53]

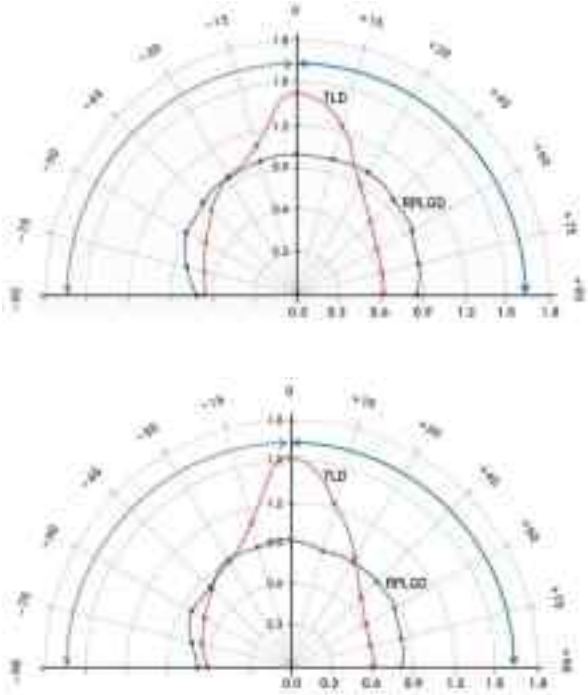
Ketergantungan Dosimeter Terhadap Sudut Radiasi

Pengukuran dosis paparan radiasi eksternal menggunakan dosimeter luminesensi yang presisi dan akurat pada pekerja radiasi sangat penting. Karena posisi dosimeter terhadap sudut datang paparan radiasi dapat memberikan kontribusi kesalahan yang berarti pada nilai bacaan dosis, maka ketergantungan dosimeter terhadap sudut radiasi menjadi faktor yang cukup penting dan sangat diperlukan untuk mengevaluasi dosis secara tepat. Posisi dosimeter untuk referensi paparan sinar-X adalah 0°, ±30°, ±60°, dan kriteria sudut menurut IEC-62387-1 pada −29%, dan +67% (±60°) [38]. Dan ANSI [10] memberikan toleransi sampai 40% untuk dosis yang diukur pada setiap sudut yang telah ditetapkan.

Hasil penelitian CS Lim dkk [52] menggunakan OSLD dan sinar-X untuk sudut 0°, +30°, +60°, +90°, +180°, −30° (330°), −60° (300°), dan −90° (+270°) secara berurutan adalah 1,00; 0,86; 1,46; 2,26; 1,05; 1,86; 1,27 dan 0,86. Peneliti KR. Dong dkk [7] telah melakukan studi perbandingan tanggapan TLD dengan RPLGD terhadap arah sudut datang menggunakan pesawat sinar-X yang memiliki pengulangan pengukuran dalam ±5% dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 7. Pada sudut datang 0°, rerata tanggapan relatif Hp(0,07) masing-masing dosimeter luminesensi adalah 1,44±0,13 untuk TLD dan 1,05±0,06 untuk RPLGD, sedangkan rerata tanggapan relatif Hp(10) adalah 1,52±0,16 untuk TLD dan 0,96±0,04 untuk RPLGD [7]. Dari penelitian ini juga dapat diketahui bahwa rerata tanggapan relatif dosimeter secara keseluruhan dari sudut +90° sampai −90° adalah 0,90±0,25 (27,43%) dan 0,86±0.29 (33,33%) masing-masing untuk TLD Hp(0.07) dan Hp(10). Sedangkan tanggapan relatif RPLGD, masing-masing diperoleh 0,92±0,08 (8,70%) untuk Hp(0,07) dan 0,85±0,08 (9,09%) untuk Hp(10). Meskipun tanggapan TLD terhadap perbedaan sudut cukup besar, namun masih berada dalam batas toleransi yang dikeluarkan oleh ANSI

N13.11-2001. Untuk OSLD, tanggapan relatif dosimeter terhadap sudut datang radiasi yang diuji memberikan hasil yang cukup besar dibandingkan dengan nilai standar internasional, kecuali untuk sudut 0° dan ±30°. Sedangkan nilai rerata tanggapan relatif untuk keseluruhan sudut yang diuji adalah 1,33±0,51 (38,15%).

Dalam aplikasi dosimeter untuk pemantauan dosis radiasi eksternal, faktor ketergantungan dosimeter terhadap sudut datang paparan radiasi tidak bisa diabaikan, karena dapat mempengaruhi terhadap perkiraan dosis eksternal yang diterima pekerja radiasi. Dari beberapa tipe dosimeter (TLD, OSLD dan RPLGD), RPLGD memiliki tingkat ketergantungan terhadap sudut lebih kecil dibandingkan dosimeter yang lainnya.



(a). Dosis Hp(0.07) (b). Dosis Hp(10)

Gambar 7. Perbandingan tanggapan TLD dan RPLGD untuk dosis permukaan dan kedalaman [7].

IV. KESIMPULAN

TLD memiliki riwayat panjang sebagai metode yang sukses digunakan dalam dosimetri radiasi, terutama dalam dosimetri personal pemantauan dosis radiasi eksternal radiasi sinar-X, γ, β dan neutron. Sampai saat ini, litbang bahan fosfor TLD dan aktivator yang digunakan untuk mendapatkan dosimeter dengan karakteristik dosimetri yang optimal masih terus dilakukan. TLD LiF:Mg,Cu,P dengan tingkat sensitivitas tinggi dan *fading* yang dapat diabaikan, masih memiliki permasalahan yang sulit diatasi karena adanya efek *thermal quenching*. Fenomena *fading*, *thermal quenching* dan *annealing* pada TLD LiF:Mg,Cu,P menurunkan sensitivitasnya mencapai 40%, 17% dan 27% pada proses pembacaan kali ke 50 dengan temperatur *annealing* masing-masing 243°C, 237°C dan pada temperatur standar 240°C. Namun, dalam dosimetri neutron TLD LiF dengan pengkayaan unsur ^{6}Li atau ^{7}Li masih tetap menjadi pilihan.

Stimulasi panas pada TLD, mengakibatkan perangkap-perangkap elektron menjadi kosong, sehingga TLD hanya bisa untuk satu kali proses pembacaan. Pada kasus tertentu atau kejadian kedaruratan nuklir, pembacaan ulang dosimeter menjadi bagian penting untuk melakukan konfirmasi ulang ketika nilai paparan dosis yang diperkirakan terdapat kesalahan. Dengan teknologi OSL dan RPL yang masing-masingnya menggunakan stimulasi sinar laser

hijau dan sinar UV dalam proses pembacaan tanggapannya, maka OSLD dan RPLGD dapat dibaca berulang-ulang sesuai kebutuhan. Keunggulan ini membuat OSLD dan RPLGD dapat digunakan untuk mengetahui informasi dosis pekerja setiap kali dibutuhkan dengan mengurangi nilai bacaannya dengan nilai bacaan sebelumnya. Informasi dosis pada OSLD dan RPLGD hanya dapat dikosongkan melalui proses *annealing*, yaitu dengan pemberian cahaya untuk OSLD dan dengan proses pemanasan 400°C selama 1 jam untuk RPLGD. Selanjutnya, setelah proses *annealing* OSLD dan RPLD dapat digunakan kembali untuk pemantauan dosis, sama seperti TLD.

Dalam pemantauan dosis radiasi eksternal yang presisi dan akurat serta memiliki tingkat keselarasan sama dalam proteksi radiasi, dibutuhkan dosimeter luminesensi dengan karakteristik dosimetri yang sesuai standar internasional. Menurut ISO dan IEC, tanggapan dosimeter terhadap foton (termasuk sinar-X dan gamma) pada dosis antara 1 – 1000 mSv harus linier dari energi rendah beberapa keV sampai energi tinggi ^{60}Co (1,25 MeV), dengan deviasi perbandingan relatif tanggapan dosisnya berada dalam interval ±10%. Dari penelitian LZ. Luo, CS. Lim dan Z. Knezevic, masing-masing deviasi tanggapan relatif dosimeter terhadap variasi energi foton diperoleh ±25% (TLD), −25% sampai +10% (OSLD) dan 5% (RPLGD), dan hanya pada energi tertentu yang memenuhi ketentuan ISO dan IEC. Di samping itu, ketergantungan dosimeter terhadap sudut datang radiasi juga dapat memberikan kontribusi kesalahan dalam estimasi dosis. Meskipun semua tipe dosimeter (TLD, OSLD dan RPLGD) telah memenuhi kriteria unjuk kerja yang dikeluarkan ANSI, namun RPLGD memberikan tingkat ketergantungan yang lebih rendah dari dosimeter lain. Semakin kecil ketergantungan terhadap sudut datang radiasi, maka tingkat presisi dan keakuratan yang diberikan dosimeter juga akan lebih tinggi.

Setiap dosimeter personal memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga perlu jadi pertimbangan dalam pemantauan dosis radiasi personal. Dibandingkan dengan TLD dan OSLD, keuntungan dari sistem RPLGD adalah reproduktifitas dalam pembacaan yang baik, stabil untuk jangka panjang, ketergantungan energi yang rendah, linearitas dosis yang lebih baik, kemampuan baca ulang dan proses pembacaan sangat cepat. Secara ringkas dapat dikatakan bahwa, RPLGD dapat menjadi salah satu dosemeter yang stabil untuk aplikasi sebagai dosimetri personal dalam pemantauan dosis radiasi eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

1. PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 33 TAHUN 2007, Tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, 2007.
2. BEHRENS, R. AND AMBROSI, P., Review of International Standards for

Dosemeters, *Radiat. Prot. Dosim*. 128, pp. 159−168, 2008.

3. ASKOUNIS, P., PAPADOMARKAKI, E., KIRGIAKOU, H., et al., Analysis of the Personal Doses Lower Than the Reporting Level, *Radiat. Meas*. 43, pp. 603−606, 2008.
4. OLKO, P., CURRIVAN, L., VAN DIJK, JWE., et al., Thermo-luminescence Detectors Applied in Individual Monitoring of Radiation Workers in Europe − a Review Based on the EURADOS Questionnaire. *Radiat. Prot. Dosim*. 120, pp. 298−302, 2006.
5. ANONYMOUS, Comparison of Radiation Dosimeters, downloaded 3/20/2009 11:25 PM. Available from URL:, http://www.jplabs.com/html/comparison_of_radiation_dosime.html.
6. HSU, SM., YEH, SH., LIN, MS. and CHEN, WL., Comparison on Characteristics of Radiophotoluminescent Glass Dosemeters and Thermoluminescent Dosemeters, *Radiat. Prot. Dosim*. 119, pp. 327−331. 2006.
7. DONG, KR., KWEON, DC., CHUNG, WK., et al., Study on the Angular Dependence of Personal Exposure Dosimeter − Focus on Thermoluminescent Dosimeter and Photoluminescent Dosimeter, *Annals of Nucl. Energy* 38, pp. 383−388, 2011.
8. ROSSI, F., ARILLI, C., FALIVENE, A., GORI, C., A New Card Holder for Personal X and Gamma Dosimetry, *Radiat. Meas.* 43, pp. 626−630, 2008.
9. ISO/IEC17025. International Organisation for Standardisation. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. Geneva, 2005.
10. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. Personnel Dosimetry Performance: Criteria for Testing. New York: *ANSI N13.11-2001*; 2001
11. ABRAHAM, A., WEINSTEIN, M., GERMAN, U., et al., Reassessment of Doses in TLD-100 After Long Storage Times, *Radiat. Meas*. 43, pp. 802−804, 2008.
12. BOS, AJJ., Theory of Thermoluminescence, *Radiat. Meas*. 41, pp. S45 − S56, 2007.
13. BOS, AJJ., High Sensitivity Thermoluminescence Dosimetry, *Nucl. Instr. Meth Phys. Res. B* 184, pp. 3−28, 2001.
14. OLKO, P., Advantages and Disadvantages of Luminescence Dosimetry, *Radiat. Meas*. 45, pp. 506−511, 2010.
15. KAFADAR, VE., YAZICI, AN., YILDIRIM, RG., The Effects of Heating Rate on the Dose Response Characteristics of TLD-200, TLD-300 and TLD-400, *Nucl. Instr. Meth Phys. Res. B* 267, pp. 3337−3346, 2009.
16. LUO, LZ., VELBECK, KJ., MOSCOVITCH, M., AND ROTUNDA, JE., LiF:Mg,Cu,P Glow Curve Shape Dependence on Heating Rate, *Radiat. Prot. Dosim.* 119, pp. 184−190, 2006.
17. KUMAR, M., CHOURASIYA, G., BHATT, BC., SUNTA, CM., Dependence of Peak Height of Glow Curves on Heating Rate in Thermoluminescence, *J. Lumin*. 130, pp. 1216−1220, 2010.
18. CARINOU, E., ASKOUNIS, P., DIMITROPOULOU, F., et al., Pre- and Post-Irradiation Fading Effect for LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P Materials Used in Routine Monitoring, *Radiat. Prot. Dosim*. 144, pp. 207−210, 2011.
19. HERNANDEZ, PJ., Response Comparison of an Optically Stimulated Luminescent Dosimeter, A Direct-Ion Storage Dosimeter, and a Thermoluminescence Dosimeter, Master of Science Thesis, Texas A&M University, August 2008.

20. LUO, LZ., Extensive Fade Study of Harshaw LiF TLD Materials. *Radiat. Meas*. 43, pp. 365−370, 2008.

21. DELZER, JA., HAWLEY, JR., ROMANYUKHA, A., et al., Long-Term Fade Study of the DT-702 LiF: Mg,Cu,P TLD, *Radiat. Prot. Dosim*. 131, pp. 279−286, 2008.

22. MOSCOVITCH, M., St. JOHN, TJ., CASSATA, JR., et al., The Application of LiF:Mg,Cu,P to Large Scale Personnel Dosimetry: Current Status and Future Directions, *Radiat. Prot. Dosim*. 119, pp. 248−254, 2006.

23. JUNG, HY., LEE, KJ., KIM, JL., LEE, SY., Development of a Personal Dosimeter Badge System Using Sintered LiF:Mg,Cu,Na,Si TL Detectors for Photon Fields, *Radiat. Meas*. 38, pp. 71−80, 2004.

24. LEE, JI., CHANG, I., KIM, JL., et al., LiF:Mg,Cu,Si Material with Intense High-Temperature TL Peak Prepared by Various Thermal Treatment Conditions, *Radiat. Meas*. 46, pp. 1496−1499, 2011,

25. BUDZANOWSKI, M., BILSKI, P., OLKO, P., et al., Dosimetric Properties of New Cards with High-Sensitivity MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) Detectors for Harshaw Automatic Reader, *Radiat. Prot. Dosim*. 125, pp. 251−253, 2007.

26. KUMAR, M., KHER, RK., SAHNI, G., and CHHOKRA, K., Studies on the Response of the TLD Badge for High-Energy Photons, *Radiat. Prot. Dosim*. 128, pp. 266−273, 2008.

27. McKEEVER, SWS. and MOSCOVITCH, M., On the Advantages and Disadvantages of Optically Stimulated Luminescence Dosimetry and Thermoluminescence Dosimetry, *Radiat. Prot. Dosim*. 104, pp. 263−270, 2003.

28. MOSCOVITCH, M., HOROWITZ, YS., Thermoluminescent Materials for Medical Applications: LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P, *Radiat. Meas*. 41, pp. S71−S77, 2007.

29. McKEEVER, SWS., Optically Stimulated Luminescence Dosimetry, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* 184, pp. 29−54, 2001.

30. BØTTER-JENSEN, L., Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques Using Natural Minerals and Ceramics, and Their Application to Retrospective Dosimetry, PhD thesis of RISO National Laboratory, Roskilde, September 2000.

31. FORD, RM., and HANIFY, RD., A Desktop OSL System for on Site Dosimeter Processing, Landauer, Inc., Glenwood, IL 60425.

32. AZNAR MC. Real-time in Vivo Luminescence Dosimetry in Radiotherapy and Mammography Using Al_2O_3:C. PhD thesis of RISO National Laboratory No. PhD-12(EN) (2005).

33. AKSELROD A., McKEEVER, SWS., A Radiation Dosimetry Methods Using Pulsed Optically Stimulated Luminescence, *Radiat. Prot. Dosim*. 81, pp. 167−175, 1999.

34. YAMAMOTO, T., MAKI, D., SATO F., et al., The Recent Investigations of Radiophoto-luminescence and Its Application, *Radiat. Meas. 46*, pp.1554−1559, 2011.

35. ANONYMOUS, Technical Guide of RPL Glass Dosemeter; Small Element System, AGC Techno Glass Co. Ltd, Dec 2008.

36. FAN, SJ., YU, CL, HE, DB., LI, KF., HU,L, Gamma Rays Induced Defect Centers in Phosphate Glass for Radio-Photoluminescence Dosimeter, *Radiat. Meas*. 46, pp. 46−50, 2011.

37. KULKARNI, MS., LUSZIK-BHADRA, M., BEHRENS, R., et al., Studies on New Neutron-Sensitive Dosimeters Using an Optically Stimulated Luminescence Technique, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* 269, pp. 1465−1470, 2011.

38. IEC, International Electrotechnical Commission. Radiation Protection Instrumentation−Passive Integrating

Dosimetry Systems for Environmental and Personal Monitoring for External Photon and Beta Radiation Using Electronic Devices for the Data Evaluation−Part1: General Characteristics and Performance Requirements on Dosimetry Systems. IEC 62387-1, Final Draft International Standard (FDIS) (Geneva: IEC), 2007.

39. PIESCH, E., BURGKHARDT, B., Photoluminescence Dosimetry: the Alternative in Personnel Monitoring, *Radioprotection* 29, pp. 39 – 67, 1994.
40. MAKI, D., SATO, F., MURATA, I., et al., Development of Neutron-Sensitive Glass Dosimeter Containing Isotopically Enriched Boron, *Radiat. Meas*. 46, pp. 1484−1487, 2011.
41. ZHA, Z., WANG, S., SHEN, W., ZHU, J. and CAI, G. Preparation and Characteristics of LiF:Mg,Cu,P Thermoluminescent Material. Radiat. Prot. Dosim. 47, pp. 111−118, 1993.
42. KITIS, G. and OTTO, T., Isothermal Decay Readout: Application to LiF:Mg,Cu,P and α-Al_2O_3:C. *Radiat. Prot. Dosim*. 86, pp. 181−190, 1999.
43. TANG, K., ZHAO, J., SHEN, W., et al., Influence of Readout Parameters on TL Response, Re-usability and Residual Signal in LiF:Mg,Cu,P. *Radiat. Prot. Dosim*. 100, pp. 353−356, 2002.
44. YUEN, PS., FREEDMAN, NO., FRKETICH, G. and ROTUNDA, J., Evaluation of Bicron NE MCP DXT-RAD Passive Extremity Dosemeter. *Radiat. Prot. Dosim*. 85, pp. 187−195, 1999.
45. AZZOUZI-IDRISSI, M., AUBERT, B., CHAVAUDRA, J., et al., Optimizing the Use of LiF:Mg,Cu,P (GR-200P) to Measure Low Dose Irradiation in Nuclear Medicine. *Health Phys*. 84, 483−491, 2003.
46. LUPKE, M., GOBLET, F., POLIVKA, B. and SEIFERT, H., Sensitivity Loss of LiF:Mg,Cu,P Thermoluminescence Dosemeters Caused by Oven Annealing, *Radiat. Prot. Dosim*. 121, pp. 195−201, 2006.
47. ISO, International Organization for Standardization. Nuclear Energy−Radiation Protection−Individual Thermoluminescence Dosemeters for Extremities and Eyes. ISO 12794, Edition 1 (Geneva: ISO), 2000.
48. IEC, International Electrotechnical Commission. Radiation Protection Instrumentation−Thermoluminescence Dosimetry Systems for Personal and Environmental Monitoring. IEC 61066, Edition 2 (Geneva: IEC), 2006.
49. ISO, International Organization for Standardization. Passive Personal Neutron Dosemeters−Performance and Test Requirements. ISO 21909, Edition 1 (Geneva: ISO) (2005).
50. LEE, SY., LEE, KJ., Development of a Personal Dosimetry System Based on Optically Stimulated Luminescence of α-Al_2O_3:C for Mixed Radiation Fileds, *Appl Radiat Isotopes* 54, 675−685, 2001
51. LUO, LZ. and ROTUNDA, J.E., Performance of Harshaw TLD-100H Two-Element Dosemeter, *Radiat. Prot. Dosim*. 120, pp. 324−330, 2006.
52. LIM, CS., LEE, SB., JIN, GH., Performance of optically stimulated luminescence Al_2O_3 dosimeter for low doses of diagnostic energy X-rays. *Appl Radia. Isotope*, pp. 1486−1489, 2011
53. KNEZEVIC, Z., BECK, N., MILKOVIC, D., et al., Characterisation of RPL and TL Dosimetry Systems and Comparison in Medical Dosimetry Applications, *Radiat. Meas.* 46, pp. 1582−1585, 2011.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Hotman Sitorus

Pertanyaan :

- Untuk pengukuran dosis radiasi pengion pada pekerja radiasi, hasil pengukuran antara menggunakan

TLD dan RPLGD mana yang lebih akurat?
- Dari sisi biaya, mana yang lebih ekonomis?

Jawaban :
- Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran dosis, diantaranya adalah ketergantungan sudut datang radiasi, tanggapan dosimeter terhadap variasi energi foton. Untuk RPLGD, pengaruh kedua faktor ini relatif rendah dibandingkan TLD, sehingga RPLGD akan memberikn hasil yang lebih akurat dan teliti.
- Untuk jangka panjang, RPLGD lebih ekonomis. Fenomena *fading*, *thermal quenching* dan *annealing* pada TLD setelah kali ke-50 proses/siklus pembacaan dapat menurunkan sensitivitasnya mencapai 40%. Sedangkan untuk RPLGD, Efek UV *quenching* dan *recovery* setelah 3.500 kali pembacaan dapat diabaikan (< 1%).

2. Penanya : Gatot Wurdiyanto

Pertanyaan :
- Setelah mengetahui keunggulan dan kelemahan dosimeter personel dalam pemantauan dosis radiasi eksternal, apa yang akan dilakukan atau disarankan kepada PTKMR selaku Lab. Acuan?

Jawaban :
- Kami menyarankan dalam beberapa tahun ke depan PTKMR khususnya agar menggunakan RPLGD mengingat beberapa negara di Eropa juga sudah mulai beralih ke RPLGD.

STUDI LITERATUR KRITERIA TEKNIS IMPORTASI PESAWAT SINAR-X BARU DAN BUKAN BARU UNTUK RADIOLOGI

Togap Marpaung

Inspektur Utama Keselamatan Radiasi - BAPETEN
E-mail: t.marpaung@bapeten.go.id

ABSTRAK,

STUDI LITERATUR KRITERIA TEKNIS IMPORTASI PESAWAT SINAR-X BARU DAN BUKAN BARU UNTUK RADIOLOGI, sehubungan dengan kebijakan Pimpinan BAPETEN yang semakin terarah untuk membangun keselamatan radiasi dalam bidang medik mulai tahun 2005. Untuk itu, dianggap sangat strategis apabila persoalan di bagian hulu dapat dibenahi terlebih dahulu, yaitu kriteria teknis pesawat sinar-X yang akan diimpor. Permasalahan kriteria teknis pesawat sinar-X baru, relatif tidak ada, tetapi menentukan kriteria pesawat sinar-X bukan baru yang akan diimpor, tidak sederhana. Diantara importir dan vendor, ada banyak silang-pendapat mengenai mutu pesawat sinar-X bukan baru. Dalam rangka memperoleh pemahaman yang benar mengenai kriteria teknis pesawat sinar-X baru dan bukan baru, studi literatur telah dilakukan oleh Direktorat Pengawasan Pengaturan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN yang didukung 3 (tiga) orang tenaga ahli berkualifikasi dari pihak importir atau vendor alat kesehatan (pesawat sinar-X). Kategori pesawat sinar-X bukan baru terdiri dari: refurbishment, kondisioning atau perbaikan, second hand dan remanufakturing. Adapun pesawat sinar-X bukan baru yang dapat diimpor adalah hasil refurbishment karena memenuhi kriteria teknis sesuai standar. Pokok-pokok pikiran tersebut menjadi suatu bahan dalam penyusunan rancangan Peraturan Kepala BAPETEN mengenai keselamatan radiasi dalam impor pesawat sinar-X baru dan bukan baru untuk radiologi.

Kata kunci: pesawat sinar-X, baru, bukan baru, refurbishment

ABSTRACT

LITERATURE STUDY OF TECHNICAL CRITERIA OF IMPORTATION OF NEW AND USED X-RAY EQUIPMENT FOR RADIOGRAPHY, *in connection with the policy of Chairman of BAPETEN are increasingly directed to establish the safety of radiation in the medical field began in 2005.Therefore, it is considered highly strategic if issues in the upstsream can be addressed first namely, the technical criteria of X-ray equipment to be imported. Technical criteria for importation of new X-ray equipment is relatively no problem, but to determine criteria for used X-ray equipment to be imported, is not simple. Among importirs and vendors of medical equipment as well as medical practioners, there are many cross-plane opinions on the quality of used X-ray equipment. In order to obtain a correct understanding of the technical criteria of the new and used X-ray equipment, literature study already done by Directorate of Regulatory of Regulation for Radiation Facility and Radioactive Source which is supported by three qualified experts from importer or vendor of medical device (X-ray equipment). Category of used X-ray equipment consits of: refurbishment, conditioning or repair, second hand and remanufacturing. The used X-ray equipment that can be imported is the result of refurbishment due to meet the technical criteria according to standards. The main ideas become an important material in preparation of the draft Chairman Regulation (CR) of BAPETEN on radiation safety in import of new and used X-ray for radiology.*

Keywords*:X-ray equipment, new, used, refurbishment*

I. PENDAHULUAN

Pada dasarnya setiap peralatan dikategorikan dalam 2 kondisi, yaitu: (1) baru dan (2) bukan baru. Secara sederhana pengertian barang baru adalah barang yang belum pernah digunakan, mungkin juga masih utuh dalam kemasan yang diberi pengaman, berupa segel. Untuk peralatan baru, kriterianya relatif mudah dibuat karena didukung adanya standar nasional atau internasional tertelusur. Untuk peralatan bukan baru, pengertiannya relatif kompleks, karena kriterianya sangat bervariasi. Ada juga beranggapan bahwa ?*used*? bermakna ?bekas?yang diartikan secara sempit menjadi ?*second hand?*. Pemahaman secara sederhana mengenai peralatan bukan baru, ternyata tidak dapat diterapkan terhadap pesawat sinar-X untuk radiologi.

Ada banyak silang-pendapat mengenai pesawat sinar-X bukan baru dan tidak dapat dipungkiri bahwa untuk memahami permasalahan pesawat sinar-X bukan baru tidaklah mudah dikarenakan tidak adanya kesempatan melakukan studi teknis yang mendalam, misalnya berkunjung ke negara asal pesawat sinar-X yang diimpor (Amerika dan Jerman). Namun demikian, pemahaman dapat diperoleh melalui studi literatur dan berdiskusi dengan para pakar praktisi teknis pesawat sinar-X yang biasa melakukan impor pesawat sinar-X baru maupun bukan baru (yaitu hasil *refurbishment*).

Makalah ini menguraikan mengenai kriteria teknis pesawat sinar-X baru, terutama kriteria teknis pesawat sinar-X bukan baru yang boleh diimpor. Materi makalah ini juga menjadi pokok-pokok pikiran dalam penyusunan Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Impor dan Pengalihan Sumber Radiasi Pengion untuk Keperluan Medik [1]. Permasalahan pesawat sinar-X bukan baru ini pernah dibahas ketika ada rapat koordinasi mengenai ketentuan impor barang modal bukan baru di Kementerian Perdagangan pada tahun 2010 dan 2011. Pihak Instansi terkait, seperti Kementerian Kesehatan, Kementerian Perindustrian dan Dirjen Bea dan Cukai juga pernah diundang oleh BAPETEN untuk membahas topik tersebut. Manfaat dari makalah ini diharapkan adanya pemahaman yang sama mengenai berbagai isu permasalahan pesawat sinar-X bukan baru yang dapat diimpor, yaitu pesawat sinar-X hasil *refurbishment*. Adapun pesawat sinar-X repair atau rekondisioning, *second hand* dan remanufakturing tidak dapat diimpor karena tidak memenuhi kriteria teknis.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Pesawat Sinar-X Baru

Pengertian pesawat sinar-X baru adalah belum pernah digunakan yang juga memenuhi beberapa kriteria utama, yaitu sesuai spesifikasi dan desain yang dibuat oleh

pabrikan. Kriteria selanjutnya, baik pesawat sinar-X maupun pabrikan peralatan medis harus sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar lain tertelusur, misalnya ISO atau IEC.

Untuk pabrikan peralatan medis harus memenuhi ISO 13485, yaitu *Management systems standard specifically developed for the manufacture of medical devices, 2003* [2]. Dalam hal pesawat sinar-X, ada 2 (dua) komponen yang paling utama, yaitu generator, dan peralatan dan tabung sinar-X. Adapun standar generator pesawat sinar-X diagnostik harus memenuhi IEC 60601-2-7, yaitu *Medical electrical equipment - Part 2-7: Particular requirements for the safety of high-voltage generators of diagnostic X-ray generator [3]*. Sedangkan standar peralatan dan tabung sinar-X harus memenuhi IEC 60601-2-28, yaitu *Medical electrical equipment - part 2-28: Particular requirements for the safety of X-ray source assemblies and X-ray tube assemblies for medical diagnosis [4]*.

Setiap pesawat sinar-X harus memenuhi kriteria teknis yang menjadi persyaratan umum, diantaranya:

- stablitas mekanik
- lampu indikator
- penahan radiasi tabung
- tanda peringatan
- filter
- kebocoran radiasi tabung
- kendali paparan
- penandaan
- indikasi faktor teknik
- focal spot

Kendali paparan, seperti tegangan puncak tabung (kVp), arus tabung (mA), waktu paparan (s) atau perkalian antara arus dengan waktu (mAs) serta jarak fokus-ke-penerima citra (*focus film distance*-FFD) dan penunjukkan ukuran luas lapangan radiasi [5].

Semua kriteria teknis tersebut harus terindikasi dan ditunjukkan dengan jelas yang dinyatakan dalam data spesifikasi teknis dan diberi tanda pada setiap bagian tertentu pesawat sinar-X, seperti tabung, kolimator, generator sinar-X. Kriteria lain dari pesawat sinar-X baru yang juga penting adalah garansi dari pabrikan termasuk surat jaminan ketersediaan komponen suku cadang paling kurang 5 (lima) tahun sejak dilakukan impor.

Untuk memastikan kriteria teknis, misalnya kemampuan pesawat sinar-X yang dinyatakan dalam daya (kW) merupakan perkalian arus tabung (mA) dan tegangan (kV), pihak importir dan pengalih atau vendor berkewajiban melakukan uji penerimaan pesawat sinar-X baru tersebut yang bertujuan untuk memperoleh hasil verifikasi dari spesifikasi teknis dan menetapkan batasan kinerja alat. Dengan demikian, pihak pengguna akhir, misalnya rumah sakit dapat memastikan bahwa pesawat sinar-X baru telah sesuai dengan kriteria teknis yang tertera dalam data spesifikasi teknis [6].

2.2. Pesawat Sinar-X Bukan Baru

Terminologi yang digunakan untuk ?bukan baru? adalah ? *used?* agar sama dengan terminologi yang lazim dalam peraturan perundang-undangan mengenai impor, yaitu Barang Modal Bukan Baru yang menjadi kewenangan Kementerian Perdangan [7]. Jika terminologi yang digunakan untuk ?bekas?adalah ? *used*?menjadi kurang tepat. Di negara maju, bekas yang diartikan sebagai *second hand* tidak mempunyai nilai. Siapapun dapat memperoleh secara gratis barang *second hand* asalkan bertanggungjawab mengenai limbahnya. Barang *second hand* inilah yang dikuatirkan dapat menimbulkan masalah apabila masuk ke dalam negeri tanpa dikendalikan oleh Instansi berwenang.

Paling tidak ada 4 (empat) terminologi yang lazim diketahui dalam memahami masalah yang berhubungan dengan pesawat sinar-X bukan baru [8], sebagai berikut:

(1) *Refurbishment*

Tindakan yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi pesawat sinar-X bukan baru sehingga keselamatan dan keefektifannya sama seperti dalam kondisi masih baru. Prosesnya meliputi: memperbaiki, mengerjakan kembali, memperbarui dan mengganti komponen dengan yang asli. Semua tindakan harus dilakukan secara konsisten terhadap spesifikasi produk dan prosedur pelayanan yang telah ditetapkan oleh produsen asal tanpa perubahan yang signifikan pada kinerja pesawat sinar-X tersebut, spesifikasi keselamatan dan perubahan tujuan penggunaan seperti pada saat masih baru. Satuhal yang paling penting adalah tabung harus diganti menjadi baru.

(2) Rekondisioning *(Reconditioning)* atau Perbaikan *(Repair)*

Perbaikan pesawat sinar-X atau sistem oleh teknisi terhadap fungsi dalam merespon kegagalan pesawat sinar-X atau sistem. Proses perbaikan dapat juga mencakup servis, rekondisioning, modifikasi dan *refurbishment.*

(3) *Second Hand*

Pesawat sinar-X yang digunakan di suatu tempat kemudian digunakan lagi di tempat lain dan teknisi hanya melakukan proses pembongkaran dan pemasangan kembali pesawat sinar-X tersebut tanpa proses lainnya.

(4) Remanufakturing *(Remanufacturing)*

Tindakan yang dilakukan terhadap pesawat sinar-X seperti pemrosesan, pengondisian, pembaharuan dan sebagainya sehingga dapat menghasilkan perubahan yang signifikan terhadapap kinerja, spesifikasi teknis, dan kegunaannya.

Tujuan utama proses *refurbishment* adalah untuk mengembalikan kinerja peralatan radiologi bekas ke kondisi baru (*as good as when it was new*). Hal penting yang harus dimengerti adalah *refurbishment* dilakukan secara penuh (*fully refurbishment*)

berbeda dengan pemeliharaan, perbaikan dan remanufakturing. Lagi pula, jika dibandingkan peralatan baru, peralatan radiologi bukan baru dapat menimbulkan risiko, seperti kontaminasi terhadap pasien maupun lingkungan, ketidakakurasian parameter keselamatan peralatan dan kerusakan onderdil yang berimplikasi terhadap kinerja pesawat sinar-X, pada akhirnya pada keselamatan pasien dan pekerja serta anggota masyarakat.

Secara teknis pesawat sinar-X bukan baru yang akan diimpor dari negara-negara maju dapat dikategorikan sebagai berikut: *refurbishment*, rekondisioning atau perbaikan, tangan kedua dan remanufakturing. Pada prinsipnya, pesawat sinar-X bukan baru ini sudah melalui proses teknologi dari pihak yang berkepentingan sebelum diperjual-belikan kepada pihak lain. Tim Regulasi menyimpulkan bahwa pesawat sinar-X bukan baru yang dapat diimpor hanya kategori hasil *refurbishment*.

Tujuan utama proses *refurbishment* adalah untuk mengembalikan kinerja peralatan radiologi bukan baru ke kondisi baru (*as good as when it was new*). Hal penting yang harus dimengerti adalah *refurbishment* berbeda dengan pemeliharaan, perbaikan atau remanufakturing.

Ada 3 (tiga) asosiasi yang menangani peralatan radiologi terkait dengan *refurbishment* yang diakui secara internasional [9].

(1) COCIR,

European Coordination Committee of the Radiological, Electromedical *and Healthcare IT Industry* (COCIR), didirikan tahun 1959 dan merupakan asosiasi non-profit yang anggotanya industri teknologi medik di Eropa. Anggota COCIR memegang peranan dalam pengembangan masa depan teknologi kesehatan di Eropa dan dunia, dengan lambang COCIR, diberikan pada Gambar 1.

Gambar 1. Lambang COCIR

(2) JIRA

Japan Industries Association of Radiological Systems (JIRA) didirikan sejak tahun 1963 untuk mengembangkan industri sistem radiologi dan kesehatan serta kesejahteraan masyarakat, melalui standardisasi, jaminan mutu dan keselamatan dan pengembangan teknologi di bidang sistem radiologi, terkait peralatan dan aksesoris, dengan lambang organisasi JIRA, diberikan pada Gambar 2.

Gambar 2. Lambang JIRA

(3) MITA

The Medical Imaging & Technology Alliance (MITA), adalah asosiasi di Amerika Serikat yang merupakan sebuah divisi dalam *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA). Asosiasi ini merupakan perkumpulan dari *manufacturers, innovators, and product developers* peralatan pencitraan medis, dengan lambang MITA, diberikan pada Gambar 3.

Gambar 3. Lambang MITA

Salah satu peran penting asosiasi ini adalah menerbitkan suatu Pedoman yang berisi Standar yang harus dilakukan oleh setiap industri dalam melakukan *refurbishment* peralatan radiologi. Pedoman tersebut disusun dengan mempertimbangkan publikasi IAEA, yaitu: *The Acquisition and Use of Second-Hand Equipment in Diagnostic and Therapeutic Radiology Departments of Developing Countries*.

Penerbitan Pedoman ini bertujuan untuk memberikan arahan kepada anggota asosiasi dalam melakukan *refurbishment* peralatan radiologi. Pengertian ?*Good Refurbishment Practice for Medical Imaging Equipment*? adalah sebuah kerangka kerja yang dianjurkan kepada industri dalam melakukan *refurbishment* peralatan radiologi sehingga menghasilkan peralatan yang handal dan bernilai ekonomis.

Tidak semua peralatan radiologi dapat dilakukan dengan *refurbishment*, peralatan tersebut harus memenuhi beberapa persyaratan dasar sehingga hasil dari *refurbishment* dapat berkualitas, dan dalam kegiatan *refurbishment* harus memperhatikan beberapa kriteria sebagai berikut: (1) tujuan penggunaan dan spesifikasi produk; (2) standar untuk peralatan radiologi pada saat pertama kali digunakan; dan; (3) umur pakai dan kemampuan pelayanan.

Setiap proses harus bisa menjamin bahwa peralatan yang dihasilkan melalui *refurbishment* harus memiliki kualitas, kinerja, keselamatan dan tujuan penggunaan yang sama seperti peralatan pada saat masih baru, termasuk garansi dan pelayanan peralatan purna jual melalui tahapan proses *refurbishing*, diberikan pada Gambar 4.

Gambar 4. Skema Proses *Refurbishing*

Adapun tahapan proses *refurbishment* yang harus dipenuhi, meliputi:

(1) Penyeleksian Peralatan Bukan Baru

Tidak semua sistem cocok untuk dilakukan *refurbishment*. Umumnya seleksi peralatan bukan baru didasarkan pada prinsip bahwa peralatan yang akan dilakukan r*efurbishment* harus memiliki kualitas, performa keselamatan dan tujuan penggunaan yang sama ketika saat masih baru. Evaluasi yang dilakukan terhadap pesawat sinar-X bukan baru meliputi:

- tipe, umur, dan konfigurasi peralatan;
- kondisi peralatan;
- kemampuan *upgrade* untuk *software* dan *hardware*; dan
- ketersediaan onderdil dan servis purna jual.

Sebagai contoh, pesawat sinar-X CT. Scan, diberikan pada Gambar 5.

Gambar 5. Pesawat Sinar-X CT Scan.

(2) Pembongkaran, Pengemasan dan Pengiriman

o **Pembongkaran**

Selama proses pembongkaran, harus dipastikan bahwa sistem tidak boleh rusak. Untuk menghindari risiko tambahan yang dapat terjadi, pihak yang melakukan *refurbishment* harus memberi jaminan bahwa sistem yang dibongkar harus dalam kondisi yang sama seperti sebelumnya. Perlu diperhatikan tempat khusus penggunaan peralatan seperti di ruang darurat, operasi dan lainnya. Sebelum dilakukan pembongkaran oleh teknisi, harus terlebih dahulu disterilkan peralatan tersebut dengan menggunakan disinfektan, sehingga ada proteksi terhadap bahaya bakteri yang bisa menimbulkan penyakit.

o **Pengemasan dan Pengiriman**

Pihak yang melakukan *refurbishment* bertanggung jawab memastikan bahwa sistem tidak akan rusak selama pengemasan dan pengiriman peralatan radiologi tiba di suatu tempat atau negara tujuan, diberikan pada Gambar 6.

Gambar 6. Proses Pembongkaran, Pengemasan dan Pengiriman

o **Proses *Refurbishing***

Proses *refurbishing*, diberikan pada Gambar 7, dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- Pembersihan dan Disinfeksi
- Perencanaan *Refurbishment*
- *Refurbishment* Mekanik dan Elektrik, dan Konfigurasi Sistem
- Pengujian Sistem
- Deklarasi/Rilis Praktik *Refurbishment* yang Baik

Gambar 7. Proses Pengerjaan *Refurbishment*

(3) Instalasi Ulang Peralatan Hasil *Refurbishment*

Peralatan hasil *refurbishment* memiliki kualitas, kinerja dan standar keselamatan, oleh karena itu instalasi ulang harus mengikuti prosedur yang sudah ditetapkan oleh produsen asal.

(4) Pelayanan yang Profesional

Pengguna yang membeli peralatan hasil *refurbishment* harus memperoleh jaminan pelayanan purna jual sama seperti yang diperoleh saat peralatan masih baru dibeli oleh pihak pengguna tersebut. Pihak yang melakukan *refurbishment* harus memastikan pelayanan yang diberikan sama dengan pelayanan yang diberikan oleh produsen awal. Garansi adalah faktor terpenting yang memberi jaminan kesinabungan pelayanan radiologi terhadap pasien maupun anggota masyarakat yang mendapat layanan pemeriksaan kesehatan di rumah sakit, klinik, praktek dokter maupun tempat layanan kesehatan lain.

2.3. Produk Pesawat Sinar-X Hasil Refurbishment

Pesawat sinar-X hasil *refurbishment* memiliki kualitas, kinerja dan standar keselamatan yang relatif sama (sekitar 90-95 %) dengan peralatan baru sebab pihak pabrikan harus menerapkan sistem yang ketat sesuai ketentuan GRP.

Pesawat sinar-X hasil *refurbishment* yang memperoleh stiker dan sertifikat dari pihak pabrikan yang melakukan GRP dapat diimpor oleh pihak pelaku bisnis di Indonesia. Pesawat sinar-X buatan pabrikan: (a) SIEMENS dengan slogan *PROVEN EXCELLENT?* [10], (b) buatan pabrikan GE dengan slogan *GOLD SEAL?* dan (c) buatan pabrikan PHILIPS dengan slogan *DIAMOND SELECT?* [11].

III. KESIMPULAN

1. Pesawat sinar-X baru dan hasil *refurbishment* yang diimpor harus memenuhi beberapa kriteria. Untuk mempermudah pemahaman dibuat juga dalam bentuk ilustrasi untuk setiap

kondisi pesawat sinar-X baru maupun bukan baru.

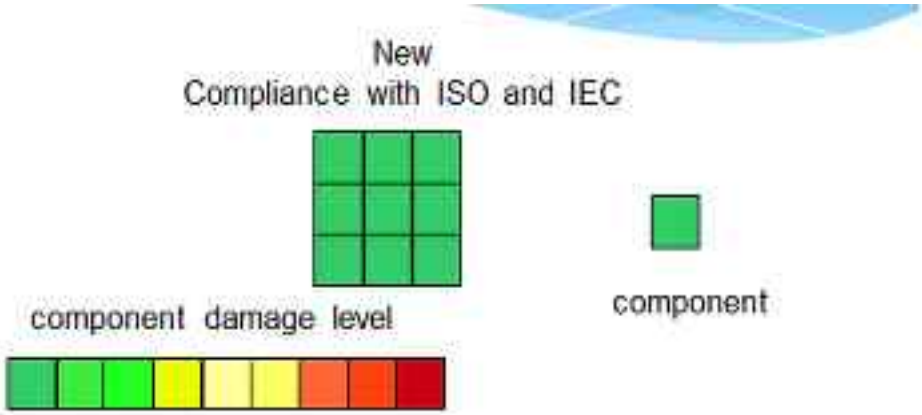
Kriteria Baru

- belum pernah digunakan;
- sesuai spesifikasi dan desain yang dibuat pabrikan;
- dilengkapi garansi dari pabrikan;
- memenuhi standar internasional, misalnya ISO dan IEC dan
- jaminan ketersediaan komponen suku cadang paling kurang 5 (lima) tahun.

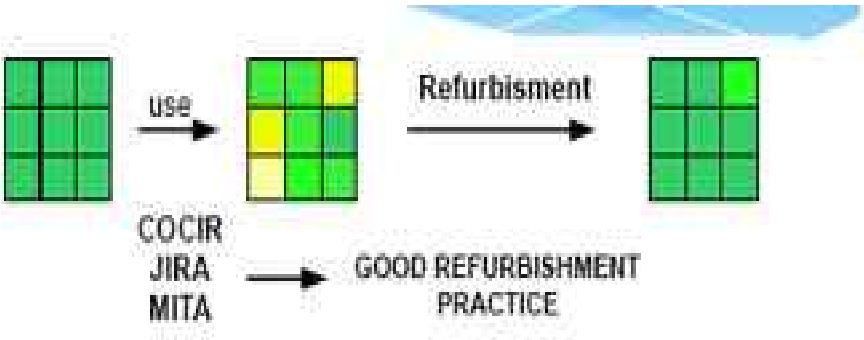
2. Untuk pesawat sinar-X, kata ?*used*? diartikan Ðuka n baru?(penggunaan kata Ðekas?tidak cocok) sehingga menjadi harmonis dengan peraturan perundangan dari Kementerian Perdagangan yang mengatur impor.
3. Pesawat sinar-X hasil *refurbishment* memenuhi persyaratan teknis untuk diimpor sesuai kriteria GRP.

Kriteria Hasil Refurbishment

- jaminan penggantian tabung pesawat sinar-X;
- memenuhi standar internasional, misalnya ISO dan IEC;
- spesifikasi dan desain asli yang dibuat pabrikan;
- pelabelan pada tiap produk pesawat sinar-X hasil *refurbishment*; dan
- jaminan ketersediaan komponen suku cadang paling kurang 5 (lima) tahun.



Gambar 8. Ilustrasi Baru



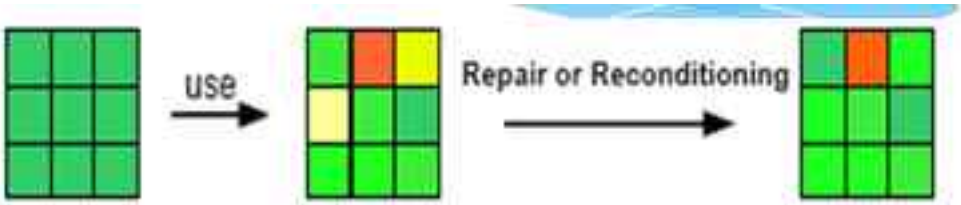
Gambar 9. Ilustrasi Hasil Refurbishment

Kriteria Repair atau Rekondisioning

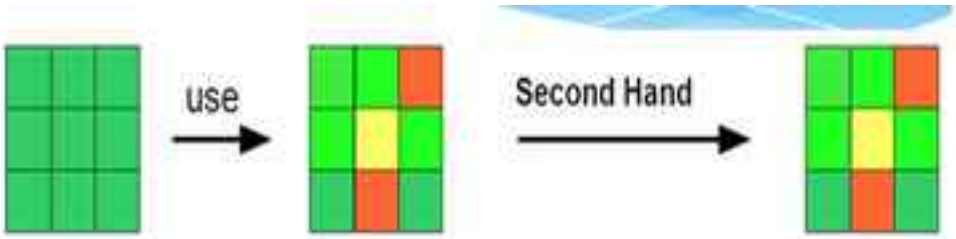
- tanpa kendali mutu atau dengan kendali mutu yang rendah;
- memiliki garansi dari penjual/dealer;
- sudah pernah digunakan;
- tidak sesuai spesifikasi dan desain yang dibuat pabrikan; dan
- memenuhi standar internasional, misalnya ISO dan IEC.

Kriteria *Second Hand*

- sudah pernah digunakan
- dialihkan langsung tanpa quality control
- tidak memiliki garansi dari pabrikan
- tidak sesuai spesifikasi dan desain yang dibuat pabrikan
- tidak memenuhi standar internasional misalnya, ISO dan TUV



Gambar 10. lustrasi Repair atau Rekondisioning



Gambar 11. Ilustrasi *Second Hand*

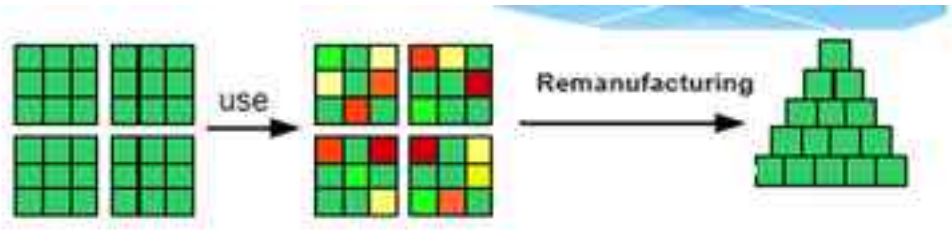
Kriteria Remanufakturing:

1. mengalami perubahan dalam hal :
   - kinerja
   - spesifikasi keselamatan
   - tujuan penggunaan
2. memiliki garansi dari pabrikan
3. sesuai spesifikasi dan desain yang dibuat pabrikan tidak memenuhi standar internasional, misalnya ISO dan IEC
4. Pabrikan yang melakukan kegiatan *refurbishment* pesawat sinar-X harus menjadi anggota dari COCIR; MITA; atau JIRA.
5. Jenis pesawat sinar-X hasil *refurbishment* yang dapat diimpor, meliputi:
   - Pesawat sinar-X: terpasang tetap
   - Pesawat sinar-X CT-Scan
   - Pesawat sinar-X fluoroskopi
   - Pesawat sinar-X mamografi
   - Pesawat sinar-X C-Arm/U-Arm
   - Pesawat sinar-X panoramik
6. Pesawat sinar-X rekondisioning atau perbaikan, *second hand* dan remanukfaturing tidak memenuhi persayaratan teknis sehingga dilarang untuk diimpor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada mereka yang membantu dalam memahami importasi pesawat sinar-X baru dan bukan baru, secara khusus kepada pihak importir dan pengalih pesawat sinar-X untuk tujuan medik, yaitu: (1) Pak Suwita mewakili PT. GE Indonesia; (2) Pak Sentot Budiharjo mewakili PT. Siemens Indonesia; dan (3) Pak Ch. J. Hankobintoro mewakili PT. Philips Indonesia.

Untuk internal BAPETEN juga diucapkan terima kasih banyak, yaitu Yang terhormat Bapak Dr. Khoirul Huda selaku Deputi Bidang PKN dan Yang tercinta Bunda Dra. Noviyanti Noor selaku Direktur Pengawasan Pengaturan FRZR dan secara khusus kepada Ananda (Mas) Aristo, staf Subdit Pengaturan Kesehatan, Industri dan Penelitian.



Gambar 12. Ilustrasi Remanufakturing

DAFTAR PUSTAKA

1. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, *Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Impor dan Pengalihan Sumber Radiasi Pengion untuk Keperluan Medik*, Jakarta, 2011.
2. ISO 13485, *Management systems standard specifically developed for the manufacture of medical devices*, 2003.
3. IEC 60601-2-7, *Medical electrical equipment - Part 2-7: Particular requirements for the safety of high-voltage generators of diagnostic X-ray generators*,
4. IEC 60601-2-28, *Medical electrical equipment - part 2-28: Particular requirements for the safety of X-ray source assemblies and X-ray tube assemblies for medical diagnosis*
5. Department Health and Welfare, *X -Ray Equipment in Medical Diagnosis Part A: Recommended Safety Procedures for Installation and Use?*, Safety Code 20 A, Last Modified 2002 -10-25, Canada.
6. THURE HOLM, Dr, *Consumer Guide for the Purchase of X-Ray Equipment*, WHO, University of Lund, Sweden, 2000.
7. KEMENDAG, *Permendag No. 50/M-Dag/Per/1/2012 tentang Ketentuan Impor Barang Modal Bukan Baru*, Jakarta, 2012.
8. COCIR-JIRA-MITA, 2009, *Good Refurbishment Practice for Medical Imaging Equipment*, Brussels.
9. COCIR, 2007, COCIR *Good Refurbishment Practice (GRP): Executive Summary*, Brussels.
10. Siemens, 2008, Proven Excellent: *Outstanding Quality in Refurbished Equipments*, Germany.
11. http://www.healthcare.philips.com/in/products/refurbished_systems/index.wpd

KAJIAN PENGATURAN SERTIFIKASI PERSETUJUAN DESAIN BUNGKUSAN UNTUK KEGIATAN PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF

Nanang Triagung Edi Hermawan

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
Jl. Gajah Mada No.8 Jakarta Pusat 10120
E-mail : n.triagung@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PENGATURAN SERTIFIKASI PERSETUJUAN DESAIN BUNGKUSAN UNTUK KEGIATAN PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF. Kegiatan pemanfaatan zat radioaktif harus didukung dengan pengangkutan zat radioaktif, baik untuk keperluan pengadaan awal, mobilitas penggunaan, maupun pelimbahan. Dalam kegiatan pengangkutan harus dipastikan keselamatan terhadap pekerja, pengangkut, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup. Salah satu penunjang tercapainya keselamatan dalam pengangkutan adalah aspek bungkusan zat radioaktif. Untuk produksi bungkusan tertentu harus memiliki sertifikat persetujuan desain dari Badan Pengawas. Telah dilakukan kajian literatur pengaturan sertifikasi persetujuan desain bungkusan untuk merumuskan muatan regulasi terkait, dalam rangka kegiatan amandemen terhadap Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif. Sertifikat persetujuan desain diperlukan untuk bungkusan Tipe B(U), Tipe B(M), Tipe C, semua bungkusan berisi bahan fisil, dan semua bungkusan yang berisi UF_6 lebih dari 0,1 kg. Persyaratan pengajuan sertifikasi persetujuan desain bungkusan terdiri atas sertifikat produk bungkusan yang dibuat pabrikan, sertifikat lolos uji bungkusan dari laboratorium yang terakreditasi, dan dokumen manual mutu. Khusus bungkusan yang berasal dari luar negeri, sertifikat persetujuan desain bungkusan dari negara asal harus divalidasi oleh Badan Pengawas, sebelum penggunaan bungkusan di dalam negeri.

Kata kunci: pengangkutan, zat radioaktif, bungkusan, sertifikasi, dan validasi.

ABSTRACT

REGULATORY ASSESSMENT ON CERTIFICATION OF PACKAGE DESIGN APPROVAL FOR TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIAL. *The utilization of radioactive material must be supported by transport of radioactive material, both for initial procurement, the mobility of the use, or for disposal of radioactive waste. In the transport activities should be ensured the safety of workers, carrier, members of the public, and environment. One of the safety aspects supporting to achieve safety in the transport of radioactive material is the package. For producing of particular package should have approval of package design from regulatory authority. Literature assessment to certification of package design regulation for formulating regulatory content for amendment of Government Regulation No. 26 Year 2002 on the Safety of Transport of Radioactive Material has be done. The certificate of package design approval is required for Type B(U), Type B(M), Type C, all of the package containing fissile material, and all packages containing more than 0.1 kg of* UF_6*. The requirements for approval certification of package design consist of product certificate from manufacturer, certificate of package test from accredited laboratory, and quality manual document. For package originating from overseas, certificate of package design approval from the country of origin must be validated by regulatory authority, prior to the use of the package in the country.*

Keywords: *transport, radioactive material, packaging, certification, and validation.*

I. PENDAHULUAN

Dinamika perkembangan pemanfaatan zat radioaktif menyebabkan penggunaan zat tersebut menyebar luas ke seluruh pelosok dunia. Dengan demikian kegiatan pemanfaaan zat radioaktif memerlukan

kegiatan penunjang lain, seperti pengangkutan zat radioaktif. Pengangkutan zat radioaktif merupakan pemindahan zat radioaktif dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan lalu lintas umum, dengan menggunakan sarana angkutan darat, air, atau udara[1].

Dalam pelaksanaan kegiatan pengangkutan zat radioaktif, semua persyaratan administratif dan teknis harus dipenuhi untuk memastikan tercapainya keselamatan bagi pekerja, anggota masyarakat, maupun lingkungan hidup. Salah satu aspek yang sangat penting untuk mencapai keselamatan dalam pengangkutan zat radioaktif adalah bungkusan zat radioaktif (selanjutnya disebut bungkusan). Bungkusan merupakan kesatuan antara zat radioaktif sebagai isi bungkusan dan pembungkusnya. Pembungkus berguna untuk mengungkung zat radioaktif. Secara umum bungkusan harus memenuhi beberapa kriteria kegunaan, seperti sebagai bahan penyerap (*absorbent material*), kerangka (*spacing structure*), peralatan perawatan dan perbaikan (*service equipment*), peredam goncangan (*shock absorbent*), penangangan dan pengikat (*handling and tie-down capability*), pengisolasi panas (*thermal insulation*), pengungkung (*containment*), serta penyungkup (*confinement*)[2].

Berdasarkan nilai batas aktivitas dan pembatasan zat radioaktif, jenis bungkusan dibedakan menjadi bungkusan dikecualikan, bungkusan industri, bungkusan tipe A, bungkusan tipe B(U) dan B(M), serta bungkusan tipe C. Setiap bungkusan harus didesain, dibuat dan diuji berdasarkan standar yang berlaku. Untuk bungkusan tipe B dan C, serta semua bungkusan yang berisi bahan fisil, atau Uranium Heksa Fluorida (UF_6) lebih dari 0,1 kg, harus mendapatkan sertifikat persetujuan desain bungkusan (*approval of package design*) dari Badan Pengawas.

Pengaturan mengenai sertifikasi bungkusan di dalam PP No.26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif belum mengamanatkan pelaksanaan sertifikasi persetujuan desain sebagaimana direkomendasikan *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Di dalam peraturan tersebut hanya menyinggung persyaratan mengenai sertifikat lolos uji untuk produk bungkusan yang dikeluarkan oleh laboratorium yang terakreditasi dan ditunjuk Badan Pengawas, dan validasi sertifikat untuk bungkusan yang berasal dari luar negeri. Pada saat ini tengah berlangsung kegiatan amandemen terhadap peraturan pemerintah tersebut. Dengan demikian dipandang sangat strategis untuk menyusun konsep pengaturan mengenai sertifikasi persetujuan desain bungkusan zat radioaktif yang nantinya akan menjadi salah satu ruang lingkup pengaturan dari peraturan pemerintah hasil amandemen.

Kajian mengenai pengaturan sertifikasi desain bungkusan ini ditujukan untuk menyusun rumusan muatan pengaturan guna mengembangkan sistem regulasi

pengangkutan zat radioaktif. Makalah ini akan membahas lebih lanjut mengenai ketentuan pengaturan mengenai sertifikasi persetujuan desain bungkusan zat radioaktif, meliputi landasan hukum, persyaratan dan proses sertifikasi, serta ketentuan mengenai validasi sertifikat bungkusan. Adapun tujuan penulisan paparan mengenai kajian pengaturan sertifikasi bungkusan zat radioaktif ini, antara lain adalah:

a. memberikan pemahaman mengenai dasar pelaksanaan sertifikasi bungkusan;
b. memberikan pemaparan tentang persyaratan sertifikasi bungkusan;
c. memberikan penjelasan tentang proses pelaksanaan sertifikasi bungkusan;
d. memberikan gambaran pelaksanaan validasi bungkusan.

Penyusunan makalah ini dilakukan dengan metode diskriptif melalui studi pustaka dengan tahapan langkah meliputi pengumpulan literatur dan informasi pendukung, analisa, diskusi dan pembahasan, serta penyusunan laporan.

II. POKOK BAHASAN

2.1. Dasar Pelaksanaan Sertifikasi

Bungkusan

Dunia internasional, melalui IAEA, memberikan panduan pelaksanaan kegiatan pengangkutan zat radioaktif melalui dokumen *Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material (IAEA TS-R-1)*. Salah satu bab dalam dokumen tersebut mengatur ketentuan mengenai sertifikasi persetujuan desain bungkusan (*approval of package designs*) untuk bungkusan zat radioaktif. Bungkusan yang harus mendapatkan persetujuan desain bungkusan dari Badan Pengawas, meliputi[2]:

a. bungkusan tipe B(U) dan B(M);
b. bungkusan tipe C;
c. semua bungkusan yang berisi bahan fisil;
d. bungkusan yang berisi 0,1 kg atau lebih Uranium Heksa Florida (UF_6).

Persetujuan desain bungkusan diajukan oleh pabrikan pembuat bungkusan kepada Badan Pengawas sebelum pelaksanaan produksi bungkusan dilakukan. Persetujuan desain bungkusan diberikan untuk setiap tipe, jenis, atau model bungkusan tertentu. Contoh beberapa tipe bungkusan dapat dilihat pada Gambar 1.

a. Bungkusan Tipe A b. Bungkusan Tipe B c. Bungkusan Industri

Gambar 1. Beberapa jenis bungkusan yang dipergunakan dalam pengangkutan zat radioaktif[3]

Kegiatan pengangkutan zat radioaktif tidak hanya terbatas di wilayah dalam negeri saja. Globalisasi perekonomian dunia telah mendorong terjadinya pengangkutan antar negara yang melewati batasan-batasan teritorial suatu negara beserta sistem hukumnya masing-masing. Dalam hal pengangkutan zat radioaktif, sistem regulasi di sebagian besar negara-negara di dunia telah menerapkan peraturan yang mengacu kepada rekomendasi IAEA[2]. Dengan demikian terdapat harmonisasi sistem hukum yang akan menguntungkan hubungan antar negera, termasuk untuk aspek persetujuan desain bungkusan zat radioaktif.

2.2. Dasar Hukum Pengangkutan

Secara hukum, kegiatan pengangkutan zat radioaktif di Indonesia diatur dengan Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif. Peraturan ini merupakan amanat pelaksanaan pasal 16 Undang-undang No.10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran[4]. Khusus mengenai bungkusan zat radioaktif diatur tersendiri dalam bab mengenai pembungkusan (pasal 14 s.d. 20).

Terkait dengan sertifikasi bungkusan, yang telah diatur adalah persyaratan sertifikat lolos uji terhadap produk bungkusan, bukan untuk desain yang akan diproduksi. Sebagaimana rekomendasi IAEA perlu dirumuskan payung hukum untuk pelaksanaan sertifikasi desain bungkusan. Dengan demikian nantinya pengaturan mengenai bungkusan akan lebih komprehensif dan mampu terap di lapangan, serta harmonis dengan dunia internasional.

Adanya dasar hukum yang jelas tentang sertifikasi desain bungkusan, selain mewujudkan adanya kepastian landasan hukum, akan mempermudah para pelaku pengangkutan di lapangan dalam hal pengangkutan lintas negara. Di samping itu, payung hukum tersebut nantinya juga diharapkan dapat mendorong tumbuhnya sektor industri dalam negeri dalam kegiatan produksi bungkusan, beserta semua infrastruktur penunjang, seperti laboratorium uji yang terakreditasi, badan akreditasi, dan standar-standar terkait.

III. PEMBAHASAN

3.1. Alur Proses Sertifikasi Bungkusan

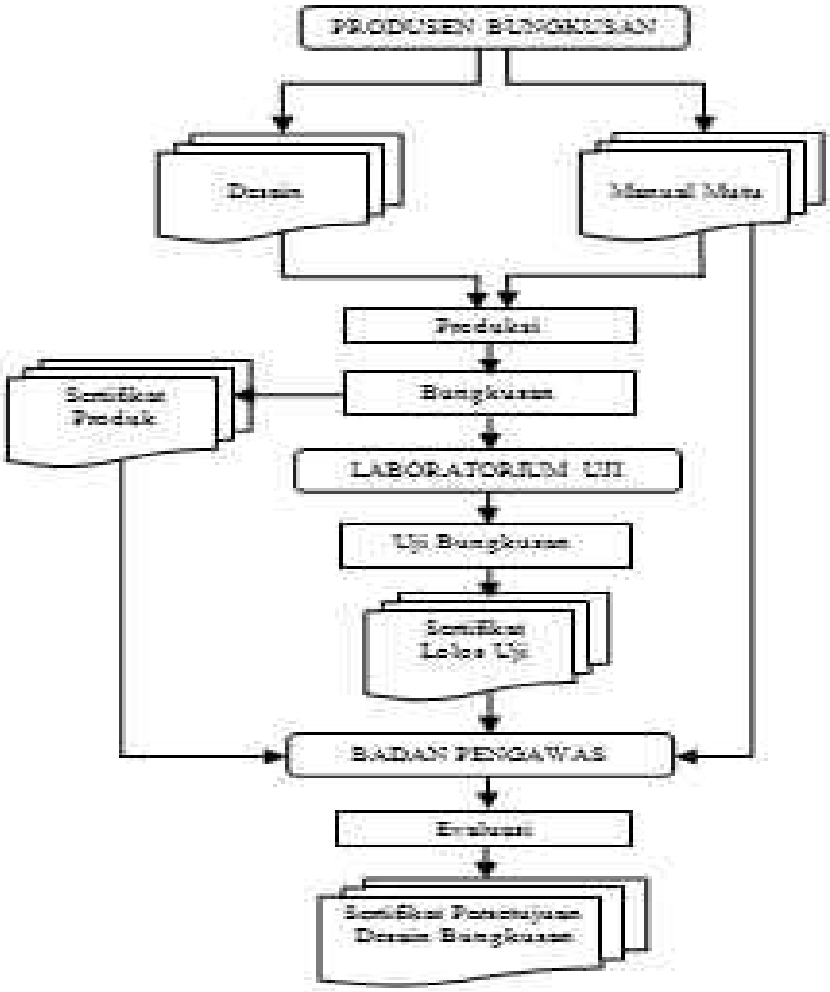
Sertifikasi persetujuan desain bungkusan diajukan oleh pihak calon produsen atau pabrikan bungkusan kepada Badan Pengawas. Alur proses sertifikasi desain bungkusan, mulai dari pembuatan desain dan manual mutu, pembuatan contoh produk, pengujian contoh produk, pengajuan permohonan sertifikasi, evaluasi permohonan, hingga penerbitan sertifikat dapat dilihat pada Gambar 2.

Tahapan pembuatan desain dan rencana manual mutu dibuat oleh calon produsen atau pabrikan bungkusan untuk tipe, jenis, model, atau seri bungkusan tertentu. Selanjutnya dibuat prototip atau contoh produk bungkusan untuk diuji di laboratorium yang terakreditasi hingga mendapatkan sertifikat lolos uji.

Prototip atau contoh produk bungkusan tersebut juga dilengkapi dengan rencana manual mutu produk. Berdasarkan dokumen rencana manual mutu, sertifikat produk, dan sertifikat lolos uji, pengajuan sertifikasi persetujuan desain bungkusan disampaikan kepada Badan Pengawas.

3.2.Sertifikat Produk

Sertifikat produk merupakan sertifikat yang melekat untuk setiap produk bungkusan. Sertifikat ini dikeluarkan oleh calon produsen atau pabrikan bungkusan sebagai bagian dari kendali mutu produk secara internal. Berdasarkan desain dan rencana manual mutu, calon produsen atau pabrikan membuat prototip atau contoh produk bungkusan yang dilengkapi dengan sertifikat produk. Beberapa informasi yang harus termuat di dalam sertifikat produk bungkusan, diantaranya identitas bungkusan (tipe, jenis, nomor seri), gambaran umum bungkusan (desain, ukuran, bahan), dan pemenuhan terhadap standar produk yang digunakan.



Gambar 2. Alur proses sertifikasi persetujuan desain bungkusan

3.3.Sertifikat Lolos Uji

Sertifikat lolos uji terhadap prototip atau contoh produk bungkusan dikeluarkan oleh laboratorium uji yang terakreditasi. Sertifikat ini menerangkan jenis-jenis uji bungkusan yang dilakukan, kriteria lolos uji, dan hasil uji. Uji terhadap bungkusan yang umum dilakukan, meliputi uji jatuh (*free drop test*), uji semprot air (*water spray test*), uji tumpuk (*stacking test*), uji tembus (*penetration test*), uji termal (*thermal test*), uji rendam (*water immersion test*), uji kebocoran (*leakage test*), serta uji ketahanan kejut (*impact test*)[2,5,6]. Sertifikat lolos uji harus memuat informasi yang terkait dengan identitas bungkusan (tipe, jenis, nomor seri), gambaran umum bungkusan (desain, ukuran, bahan), jenis dan hasil uji bungkusan yang menyatakan prototip atau contoh produk bungkusan telah memenuhi kriteria lolos uji.

3.4.Dokumen Manual Mutu

Dokumen manual mutu harus memuat informasi umum, spesifikasi isi zat radioaktif, spesifikasi pembungkus, laporan hasil pengujian, dan laporan analisis keselamatan bungkusan[6,7]. Lebih detail dari masing-masing butir persyaratan tersebut adalah sebagai berikut:

a. informasi umum, meliputi antara lain:
   - nama dan alamat pemohon sertifikat persetujuan desain bungkusan;
   - nama atau identifikasi bungkusan;
   - nama dan alamat desainer bungkusan;
   - nama dan alamat pabrikan bungkusan;
   - moda angkutan yang digunakan untuk mengangkut bungkusan;
   - skedul produksi bungkusan ke depan dan penggunaan bungkusan pertama kali; dan
   - gambaran umum bungkusan (desain sederhana, dimensi eksternal, pembuatan, massa).

b. spesifikasi isi zat radioaktif, meliputi antara lain:
   - radionuklida;
   - sifat fisik dan kimia;
   - aktivitas atau aktivitas jenis maksimum;
   - pengkayaan maksimum, khusus **untuk bahan fisil;**
   - bobot maksimum;
   - sifat bahaya lain;
   - pembangkitan panas;

   untuk bahan bakar nuklir baru:
   - tipe bahan bakar;
   - karakteristik geometri;

   untuk bahan bakar nuklir bekas:
   - *burn up* maksimum;
   - pengkayaan awal;
   - waktu pendinginan minimum;
   - sejarah iradiasi netron;
   - status bahan bakar (rusak, bekas); dan
   - kemungkinan komponen ikutan yang lain (batang kendali, bahan teraktivasi).

c. spesifikasi pembungkus, meliputi antara lain:
   - deskripsi umum;
   - dimensi umum;
   - massa pembungkus dan total bungkusan;
   - spesifikasi material;
   - karakteristik sistem pengungkung;
   - perlengkapan penahan radiasi;
   - sistem pengendalian kritikalitas, untuk bahan fisil;
   - perlengkapan pemindah panas atau pendingin;
   - perlengkapan penanganan (*handling equipment*);
   - penandaan bungkusan;
   - gambar teknik; dan
   - standar nasional atau internasional yang diacu dalam desain dan pembuatan.

d. laporan hasil pengujian, meliputi antara lain:
   - gambaran fasilitas uji;
   - prosedur pengujian;
   - hasil pengujian;
   - gambar teknik sampel yang diuji;
   - untuk zat radioaktif *dummy* atau disimulasikan, material tersebut harus dijelaskan secara rinci;
   - disarankan menyertakan foto atau video proses pengujian; dan
   - jika diperlukan pemodelan awal, harus dijelaskan metode dan pemodelannya.

e. laporan analisis keselamatan bungkusan, meliputi antara lain:
   - klasifikasi tipe bungkusan;
   - evaluasi struktur bungkusan;
   - evaluasi termal;
   - evaluasi pengungkung;
   - evaluasi kritikalitas;
   - penggunaan bungkusan;
   - keberterimaan pengujian dan program perawatan.

3.5. Tata Cara Pengajuan dan Penerbitan Sertifikasi Desain Bungkusan

Pihak calon produsen atau pabrikan bungkusan mengajukan permohonan sertifikasi persetujuan desain bungkusan kepada Badan Pengawas dengan menyertakan persyaratan sertifikat produk bungkusan, sertifikat lolos uji dari laboratorium yang terakreditasi, dan dokumen manual mutu. Selanjutnya dalam masa hari kerja tertentu, Badan Pengawas melakukan evaluasi dan penilaian. Jika hasil penilaian menunjukkan semua persyaratan yang diajukan memenuhi syarat, maka Badan Pengawas menerbitkan sertifikat persetujuan desain bungkusan. Dalam hal hasil penilaian menyatakan persyaratan yang diajukan belum memenuhi syarat, maka pihak calon produsen atau pabrikan bungkusan diberikan kesempatan untuk memperbaiki persyaratan hingga semua syarat terpenuhi.

3.6.Validasi Sertifikat Desain Bungkusan

Apabila suatu bungkusan bersertifikat persetujuan desain yang berasal dari negara lain akan dipergunakan di dalam wilayah hukum sebuah negara, maka bungkusan tersebut hanya bisa digunakan setelah mendapatkan validasi sertifikat dari Badan Pengawas negara yang bersangkutan[2]. Persyaratan pengajuan validasi sertifikat bungkusan, paling kurang meliputi:

1. Informasi umum, terdiri:
   a. nama dan alamat pemohon validasi;
   b. nama atau identifikasi bungkusan;
   c. negara asal sertifikat bungkusan;
   d. mode angkutan yang dipersetujui; dan
   e. skedul penggunaan pertama di dalam negeri.
2. Sertifikat atau salinan sertifikat bungkusan dari Badan Pengawas negera asal;
3. Deskripsi bungkusan, terdiri:
   a. gambar teknik;
   b. dimensi, massa, komponen dasar, dan spesifikasi bahan;
   c. isi zat radioaktif;
   d. spesifikasi sifat fisik dan kimia;
   e. aktivitas atau aktivitas jenis total maksimum;
   f. risiko radioaktivitas;
4. Kesesuaian bungkusan terhadap ketentuan peraturan pengangkutan.

Laporan Analisis Keselamatan bungkusan dari negara asal harus disertakan, jika tidak memungkinkan, maka informasi sebagai berikut harus disampaikan:

a. kesimpulan umum program pengujian dan hasil detailnya;
b. penggunaan bungkusan;
c. program perawatan bungkusan;
d. untuk tipe B(M), pelarangan atau pengaturan khusus atau pengendalian penggunaan yang dikenakan.

Mekanisme validasi bungkusan dilakukan dengan mengevaluasi sertifikat atau salinan sertifikat beserta dengan dokumen pendukung lainnya. Setelah hasil evaluasi menyatakan bahwa bungkusan layak untuk digunakan, maka Badan Pengawas memberikan pengesahan validasi bungkusan pada sertifikat dari negara asal atau menerbitkan sertifikat validasi bungkusan secara terpisah. Di samping pengesahan atau penerbitan sertifikat validasi, Badan Pengawas yang bersangkutan juga dapat menempelkan label bukti validasi yang tersegel pada permukaan luar bungkusan.

IV. KESIMPULAN

Dari kajian terhadap muatan pengaturan sertifikasi persetujuan desain bungkusan untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. persetujuan desain bungkusan perlu diatur agar tercapai harmonisasi dengan sistem yang secara umum diterapkan di dunia internasional dengan mengacu rekomendasi publikasi IAEA ? TS-R-1;

2. bungkusan yang memerlukan sertifikat persetujuan desain, meliputi bungkusan Tipe B(U), Tipe B(M), Tipe C, semua bungkusan berisi bahan fisil, dan semua bungkusan yang berisi UF_6 lebih dari 0,1 kg;
3. sertifikat persetujuan desain bungkusan dikeluarkan oleh Badan Pengawas sebelum bungkusan dengan tipe, model, jenis, atau seri tertentu diproduksi;
4. persyaratan pengajuan sertifikasi persetujuan desain terdiri atas sertifikat produk dari calon pembuat atau pabrikan bungkusan terkait, sertifikat lolos uji dari laboratorium yang terakreditasi, dan dokumen manual mutu;
5. untuk bungkusan yang berasal dari luar negeri, sertifikat persetujuan desain dari negara asal harus mendapatkan validasi dari Badan Pengawas, sebelum bungkusan digunakan di dalam negeri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif;
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material*, TSR-1, IAEA, Vienna, 2009;
3. Anonim, *Packaging for transportation of radioactive materials*, www.croftltd.com
4. Undang-undang No.10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran;
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*, TS-G-1.1, Vienna, 2008;
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material*, TS-G-1.5, Vienna, 2009;
7. CSN, *Documentation to request authorization for the transport of radioactive material: package approvals and authorization* for shipments, Safety Guide 6.4, Madrid, 2006.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Susyati

Pertanyaan :

- Sehubungan dengan judul yang menyebutkan ?pengangkutan zat RA?, kalau yang dimaksud zat RA itu hanya bahan fisil dan yang sejenisnya saja maka saya usulkan agar dalam judul dipersempit hanya untuk bungkusan ?bahan fisil yang sejenisnya? saja, karena kalau disebut dalam judul adalah ?zat RA?saja terlalu luas, jadi judulnya ?pengangkutan zat RA bahan fisil dan sejenisnya??
- Penggunaan kata pengaturan, sertifikasi dan persetujuan secara bersama-sama adalah berlebihan sebaiknya gunakan salah satu saja?

Jawaban :

- Istilah zat radioaktif dalam pengangkutan zat radioaktif mencakup:
  a. Zat radioaktif bentuk khusus (special form)
  b. Zat radioaktif sulit menyebar
  c. Zat radioaktif aktivitas jenis rendah
  d. Bahan fisil
  e. UF_6

  Lingkup kajian ini mencakup kelimanya, terkhusus untuk bungkusan tipe B dan C berisi zat radioaktif apapun harus memiliki sertifikat persetujuan desain
- Kajian ini dilakukan dalam rangka penyusunan konsep peraturan (pengaturan). Adapun obyeknya adalah proses persetujuan desain yang nanti berwujud sertifikat (*certification approval of packaged design*).

PERMASALAHAN PENGAWASAN DALAM PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X PORTABEL DAN *MOBILE* UNTUK RADIOGRAFI UMUM

Togap Marpaung

Inspektur Utama Keselamatan Radiasi - BAPETEN
E-mail: t.marpaung@bapeten.go.id

ABSTRAK,

PERMASALAHAN PENGAWASAN DALAM PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X PORTABEL DAN MOBILE UNTUK RADIOGRAFI UMUM. Berdasarkan pada rekomendasi Badan Kesehatan Dunia (WHO), pesawat sinar-X yang digunakan untuk radiografi umum adalah jenis terpasang tetap dan mobile. Spesifikasi teknis yang dipersyaratkan sangat ketat, misalnya arus tabung (mA) pesawat sinar-X mobile harus, atau lebih besar 100 mA dan daya adalah 8 − 12 kW. Pesawat sinar-X mobile tersebut harus menggunakan jenis generator yang dilengkapi dengan penyimpan energi (batere atau kapasitor). Pemenuhan spesifikasi teknis yang direkomendasikan WHO tersebut dapat menjadi masalah besar karena kemampuan suatu negara relatif terbatas. Di Indonesia, pesawat sinar-X portabel juga digunakan untuk radiografi umum dan kriteria teknis antara portabel dan mobile belum jelas. Berdasarkan data BAPETEN, Juni 2012, ada sekitar 300 pesawat sinar-X dengan arus tabung kurang dari 100 mA. Permasalahan lain adalah adanya pemahaman pesawat sinar-X portabel yang dilengkapi dengan penyangga atau troli, dianggap pesawat sinar-X mobile. Pokok-pokok pikiran tersebut menjadi suatu bahan penting dalam penyusunan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No.8 Tahun 2011tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional dan juga draf Perka BAPETEN mengenai (1) impor; dan (2) produksi pesawat sinar-X untuk medik. Adapun persyaratan teknis yang diatur, diantaranya nilai minimal arus tabung adalah 50 mA.

Kata kunci: pesawat sinar-X, portabel, mobile, daya, tegangan, arus tabung

ABSTRACT

PROBLEM OF REGULATORY IN USE OF PORTABLE AND MOBILE X-RAY EQUIPMENT FOR GENERAL RADIOGRAPHY. *Based on recommendation of World Health Organization (WHO), X-ray equipment which is used for general radiography are fixed and mobile X-ray equipments. Technical spesification becomes a very tight requirement, for example tube current shall be, or exeed 100 mA and power is 8 ? 12 kW. The X-ray mobile must use generator which is equipped with energy storage (lead/acid battery or large capacitor). To comply with the technical specification which is recommended by WHO can be a big problem because capability of each country is relative limited. In Indonesia, X-ray portable is also used for general radiography and technical criteria between portable and mobile is not clear yet. Based on data in BAPETEN, June 2012, there are around 300 X-ray equipments with tube current below 100 mA. Another problem, there is an understanding if X-ray portable equipped with a mobile stand or trolley, it will be considered as a mobile X-ray.The main ideas become an important material in preparation of Chairman Regulation (CR) of BAPETEN No.8 Year 2011 on Radiation Safety in Use of X-ray Diagnostic Radiology and Interventional and aslso draft of CR of BAPETEN regarding with (1) import; and (2) production of of X-ray equipment for medical. There is a technical specification which is regulated, such as minimal value of tube current is 50 mA.*

Keywords*: X-ray equipment, portable, mobile, power, voltage, tube current*

I. PENDAHULUAN

Pesawat sinar-X diagnostik ditinjau dari segi fisik dan penginstalasian dapat dikelompokkan dalam 3 (tiga) jenis, terdiri dari: (1) portabel; (2) *mobile*; dan (3) terpasang tetap. Persyaratan utama pesawat terkait kemampuan untuk memproduksi sinar-X adalah tergantung dari jenis generatornya yang dinyatakan dalam daya (kilowatt-kW), yaitu perkalian antara tegangan tabung (kilovolt-kV) dan arus tabung (milliamper-mA). Oleh karena itu, ketiga jenis pesawat sinar-X seharusnya dapat digunakan menghasilkan kualitas citra yang baik apabila digunakan untuk pemeriksaan radiografi umum dari tulang, paru-paru, abdomen termasuk dengan kontras yang sederhana, relevan dengan penyakit lokal (misalnya pemeriksaan saluran perkencingan).

Pemenuhan spesifikasi teknis pesawat sinar-X untuk radiografi umum dapat menjadi masalah karena kemampuan suatu negara untuk memenuhi pedoman yang direkomendasikan oleh Badan Kesehatan Dunia (WHO) belum tentu dapat dipenuhi secara absolut. Di Indonesia, pesawat sinar-X portabel digunakan untuk radiografi umum dan adanya kerancuan kriteria teknis antara portabel dan *mobile*. Sementara WHO menetapkan untuk *mobile* arus tabung ≥ 100 mA dan portabel tidak direkomendasikan. Berdasarkan data di BAPETEN hingga Juni 2012, ada lebih 300 pesawat sinar-X < 100 mA.

Makalah ini menguraikan mengenai adanya batasan arus tabung (mA) terkait kemampuan, yaitu daya (kW) pesawat sinar-X portabel dan *mobile* yang menjadi salah satu pokok pikiran dalam Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional [1]. Batasan arus tabung dalam rancangan Perka BAPETEN tersebut adalah minimal 100 mA diturunkan menjadi 50 mA [2]. Manfaat dari makalah ini diharapkan adanya pemahaman yang lebih jelas mengenai berbagai isu permasalahan pesawat sinar-X portabel dan *mobile*, terutama adanya batasan arus tabung yang dianggap keliru, tanpa dasar ilmiah.

II. KRITERIA TEKNIS PESAWAT SINAR-X

Komponen utama pesawat sinar-X terdiri dari tabung sinar-X, penyangga tabung, dan panel kendali serta generator yang terkait langsung dengan kemampuan pesawat sinar-X. Oleh karena itu, komponen-komponen yang dipersyaratkan dan kinerjanya harus diketahui secara jelas, diantaranya (1) generator; dan (2) tabung sinar-X.

Setiap pesawat sinar-X yang digunakan untuk diagnostik harus memenuhi persyaratan umum, sebagai berikut:

- stablitas mekanik
- lampu indikator
- penahan radiasi tabung
- tanda peringatan

- filter
- kebocoran radiasi tabung
- kendali paparan
- penandaan /label
- kebocoran radiasi tansformer
- focal spot
- indikasi faktor teknik
- jarak fokus-ke-kulit.

Poin penting yang menjadi perhatian untuk pesawat sinar-X *mobile*, diantaranya:

- Stabilitas Mekanik: tabung sinar-X harus terpasang secara aman dan benar-benar sejajar dengan wadah tabung. Wadah tabung tersebut juga harus dijaga sesuai posisi paparan yang disyaratkan (gerakan tanpa getaran) selama operasi sehingga ukuran lapangan berkas radiasi sesuai standar / tidak berubah. Oleh karena itu, tabung sinar-X harus ditunjang dengan alat mekanik dan tidak boleh dipegang selama operasi.
- Kendali Paparan: tombol paparan harus dalam jenis *dead man* dan dilengkapi dengan kabel panjang minimal 3 (tiga) meter [3].

Spesifikasi teknis Pesawat sinar-X yang pertama kali diperhatikan adalah generator. Ada 3 (tiga) dasar kategori generator yang tersedia, yaitu *single phase full wave rectified*, *constant potential*, dan *capasitor discharge* [4].

a) Single Phase Full Wave Rectified

Output daya jenis generator *single phase full wave rectified* terbatas sebab arus tabung yang tersedia rendah (maksimal 300 mA) dan range paparan penuh tidak dapat diperoleh.

b) *Constant Potential*

Untuk jenis generator *constant potential* terdiri dari 2 (dua) jenis, yang pertama benar-benar independen dari catu daya listrik yang diberi daya oleh batere. Jenis generator yang kedua dioperasikan pada 13 amper (A) kondisi normal catu daya listrik yang digunakan untuk mengisi kapasitor dan lebih canggih daripada jenis pertama. Selama paparan, output dari kedua jenis generator adalah kontinu sehingga waktu paparan yang lebih pendek dibandingkan dengan pesawat sinar-X *mobile* jenis generator *single phase*. Output yang dihasilkan independen terhadap fluktuasi catu daya listrik. Output batere pesawat sinar-X dioperasikan rendah (10 kW) tetapi disebabkan stablitasnya yang sangat baik maka sangat cocok untuk radiografi paru-paru dan di unit perinatologi. Unit kapasitor penggerak utama mempunyai daya yang lebih besar (23 kW) sehingga dapat digunakan dalam berbagai jenis pemeriksaan.

c) *Capasitor Discharge* (CD)

Pengoperasian pesawat sinar-X yang dilengkapi dengan CD sangat berbeda dengan jenis *constant potential.* Kapasitor dapat diisi pada arus rendah, misalnya dari catu daya listrik 13 A. Pemuatan akan berlangsung hingga

kapasitor mencapai preset voltasi. Sekali paparan dimulai dengan mAs tertentu harus dimonitor dan paparan tersebut harus dihentikan sesuai ketentuan. Tegangan pengoperasian kV dari CD adalah tinggi pada permulaan paparan dan relatif lebih kecil pada akhir paparan. Penurunan tegangan tabung tersebut secara numerik sama dengan nilai mAs yang dipilih, untuk suatu 1 mikrofarad (µF) kapasitor, diperoleh persamaan, kV ekuivalen = kV awal - mAs/3. Pesawat sinar-X *mobile* yang dilengkapi *CD* ini memerlukan kompetensi radiografer yang lebih untuk menjamin kinerja optimum. Namun, apabila digunakan dalam kondisi optimum maka radiografer akan dapat menghasilkan output yang tinggi dan waktu ekspos yang singkat untuk berbagai jenis pemeriksaan.

Pada dasarnya, tabung sinar-X yang sudah tersedia dipasaran memiliki kemampuan sangat bervariasi mulai dari daya (kW) kecil, sedang hingga besar. Dengan mengetahui mA maka daya (kW) dapat diperkirakan karena tegangan tabung pesawat sinar-X *mobile* sudah menjadi suatu ketentuan sekitar 100 kV. Beberapa pesawat sinar-X juga diberi model sesuai dengan nilai arus tabung maksimum, misalnya Trovi N-60 berarti 60 mA, Acoma MT-40 berarti 50 mA dan Smic F-30, F-50 dan F-100 berarti 30, 50 dan 100 mA. Oleh karena itu, menjadi relevan kalau dimaknai secara sederhana oleh praktisi medik (khususnya dokter) bahwa kemampuan dan harga pesawat sinar-X tergantung pada tabung yang dinayatakan dalam nilai mA.

Kemampuan suatu tabung tidak selalu dapat dioperasikan pada daya maksimum karena sangat tergantung pada jenis generatornya dan hal tersebut dapat menjadi masalah untuk radiografi umum apabila arus tabung < 100 mA (misalnya 40, 50 dan 60) dan tegangan tabung sekitar 90 - 100 kV. Permasalahan kemampuan tabung sinar-X akan lebih nyata, terutama mA yang lebih kecil, yaitu 30, 20 dan 10 mA dengan tegangan sekitar 70 - 80 kV.

Bererapa contoh temuan di lapangan, data sebagai berikut: tegangan 80 kV dan arus tabung 30 mA tidak dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 2,4 kW. Kombinasi faktor ekspos pada data spesifikasi teknis adalah 50 kV/10 mA, 60 kV/30 mA, 70 kV/20 mA atau 80 kV/10 mA. Pesawat sinar-X tersebut mampu memproduksi sinar-X pada daya nominal 1, 8 kW, yaitu sekitar 75 % dari daya maksimum. Ada juga pesawat sinar-X portabel daya nominalnya sekitar 50 %, sebagai contoh (1) daya maksmimum 2,4 kW (80 kV dan 30 mA) tetapi daya nominal (*output*) 1,2 kW; (2) daya maksmimum 1,4 kW (70 kV dan 20 mA) tetapi daya nominal 1 kW. Sementara pesawat sinar-X dengan arus tabung 100 mA dan tegangan 100 – 115 kV tidak terlalu bermasalah meskipun daya nominalnya sekitar 75 %, yaitu 8 – 10 kW. Bahkan, ada lagi pesawat sinar-X yang patut

dicurigai kemampuannya karena pada data spesifikasi teknis tertera arus tabung maksimum 100 mA dan tegangan maksmum 115 kV tetapi rating daya 4 kW.

III. PEDOMAN WHO MENGENAI PESAWAT SINAR-X [5]

Berdasarkan pedoman WHO, pilihan peralatan pencitraan diagnostik untuk rumah sakit ukuran besar dan kecil, diantaranya terdiri dari:

1. Pesawat Sinar-X Terpasang Tetap;
2. *Ultrasound;dan*
3. Pesawat Sinar-X *Mobile.*

WHO menegaskan bahwa pesawat sinar-X yang lazim digunakan untuk radiografi umum adalah pesawat sinar-X terpasang tetap, dan *mobile* (tidak termasuk portabel).

Pesawat sinar-X *mobile* hendaknya merupakan peralatan imajing nomor tiga yang dibeli (sesuai urutan pencitraan diagnostik di atas). Hampir setiap pasien di rumah sakit kecil dapat dibawa ke pesawat sinar-X terpasang tetap, yang akan selalu memberikan citra yang jauh lebih baik dari *mobile*. Pesawat sinar-X *mobile* hendaknya tidak digunakan untuk radiografi umum di bagian depan atau kecelakaan, tidak juga untuk digunakan sebagai pesawat sinar-X terpasang tetap di bagian radiologi. Pesawat sinar-X *mobile* digunakan dalam kamar operasi, dan bagi pasien yang tidak dapat dibawa ke bagian radiologi, misalnya pasien di ortopedi, atau ICU.

Pesawat sinar-X *mobile* yang dihubungkan ke stop kontak dengan pentanahan standar tegangan 230 V dan arus 10 A tidak dapat memberikan daya lebih dari 3,7 kW. Daya sebesar 3,7 kW tidak cukup untuk pemeriksaan lateral paru atau perut, daya minimum yang dipersyaratkan adalah 8 – 12 kW. Untuk mencapai daya tersebut, generator *mulitipeak* dengan penyimpan energi harus digunakan. Batere tertentu atau kapasitor besar pada bagian *input* pembangkit tegangan tinggi adalah solusi terbaik. Tabung sinar-X hendaknya mempunyai anoda berputar dan rating daya nominal sekitar 12 kW.

Perhatian penting penggunaan pesawat sinar-X *mobile* sebagai berikut:

- Harus mensyaratkan radiografer mempunyai pengetahuan dan kompetensi yang lebih daripada pesawat sinar-X terpasang tetap.
- arus tabung sinar-X harus, atau lebih 100 mA.
- nilai arus tabung di bawah 100 mA tidak akan memberikan keuntungan.
- nilai minimum *rating* daya adalah 12 kW pada tegangan tabung 90 - 100 kV.

Tegangan yang semakin konstan akan meningkatkan kualitas radiasi dan hal ini akan dapat dicapai dengan menggunakan suplai *three phase*. Pada saat ini, tabung sinar-X dibangkitkan oleh 3 (tiga) catu tegangan yang berbeda, setiap catu tegangan telah dirangkai secara penuh. Oleh karena itu, generator sinar-X harus dilengkapi dengan

penyimpan energi (batere tetentu atau kapasitor besar) dan menggunakan teknologi inverter puncak. Rating daya untuk generator dan tabung sinar-X harus cukup besar untuk membolehkan pemeriksaan paru-paru dengan waktu ekspos < 50 ms (sebaiknya < 20 ms), dan pada rating energi harus membolehkan beban tabung tunggal 23 – 30 *kilowat-second* (kWs) atau kilojoule (kJ) pada 90 kV dalam waktu < 2,5 detik.

Semua generator sinar-X yang direkomendasikan WHO menggunakan beberapa jenis penyimpan energi, dan mempunyai sedikit ketergantungan pada catu utama. Adapun nilai impendansi maksimum yang dibolehkan untuk secara langsung tersambung pada generator sinar-X, sebagaimana diberikan dalam Tabel 1.

Tidak ada generator sinar-X *single phase* di pasaran, yang dapat menangani ketergantungan daya tersebut. Impendasi harus < 0,1Ω pada 230 V atau < 0,3Ω pada 400 V. Sedangkan generator *three-phase* akan memerlukan saluran listrik terpisah dengan impendansi di bawah 0,3 Ω untuk menghantarkan 75 A pada 400 V (30 kW untuk paru-paru dalam 10 ms), tetapi total output energi 29 kWs akan tidak menjadi masalah. Namun demikian, saluran listrik tersebut mungkin akan menjadi lebih mahal dari generator sinar-X.

Pembebanan tabung yang paling tinggi biasanya saat digunakan untuk pemeriksaan paru-paru (daya tinggi), dan lateral dari lumbosacral-"L5" (energi tinggi). Waktu paparan yang mungkin paling panjang adalah 2 detik (s), sebagaimana diberikan pada Tabel 2.

Tabel 1.Nilai impendansi penuh maksimum yang dibolehkan

Bentuk-gelombang tegangan tinggi	**Daya nominal (kW) pada waktu ekspos 0,1 s**	**Impendasi penuh (Ω) pada Tegangan penuh**	
		400 V	**230 V**
enam puncak	16	0,55	0,18
dua belas puncak	20	0,44	0,15
constant potential	30	0,29	0,10
constant potential	32	0,27	-
constant potential	40	0,22	-

Tabel 2. Daya dan energi yang diperlukan dalam radiografi umum

Objek	**Tegangan (kV)**	**Arus tabung (mA)**	**Daya (kW)**	**Waktu (s)**	**Energi (kWs)**
Paru-paru	120	250	**30**	0,01	0,3
Lateral "L5"	90	160	14,4	2,0	**28,8**

Generator multipuncak dengan penyimpan energi dalam batere dapat menggunakan sumber listrik 230 V dan 10 A dan dengan mudah menangani 30 kW untuk pemeriksaan paru-paru dan 30 kWs untuk lateral "L5". Output daya 30 kW juga tidak masalah untuk generator penyimpan energi dalam kapasitor, tetapi sementara ini belum ada generator seperti itu di pasaran yang dapat menghantarkan energi 18 kWs pada beban tabung tunggal.

Energi yang digunakan oleh PLN dalam *kilowatt-hour* (kWh) adalah tidak cukup besar untuk radiografi umum, kecuali menggunakan batere yang digunakan sebagai sumber daya. Batere-batere tersebut mampu menyimpan 2 – 4 kWh. Rata-rata beban tabung tunggal dalam radiografi umum adalah 3 kWs (range 0,1 – 30 kWs), yang adalah 0,00083 kWh.

Oleh karena itu, semua stop kontak listrik standar di bagian radiologi harus tersedia untuk 230 V, 10 A dan harus ganda dan sesuai pentanahan.

IV. PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X PORTABEL DAN "*MOBILE* "

Pesawat sinar-X portabel adalah pesawat sinar-X ukuran kecil dilengkapi dengan wadah pembungkus sehingga mudah dibawa dari satu tempat ke tempat lain. Bentuknya simpel terdiri dari: tabung, panel kendali dan kolimator, menyatu menjadi satu (*mono block*) dan anode diam. Portabel model lama masih menggunakan generator *single phase, medium frequency* dan produk yang lebih baik dilengkapi generator *high frequency* dengan inverter. Ada yang dilengkapi *mobile stand* atau *foldable trolley* sehingga dianggap sebagai "*mobile?*

Pada umumnya, pesawat sinar-X portabel di negara maju digunakan untuk pemeriksaan binatang (*Portable Veterinary X-ray Equipment*) yang di Kanada diatur sesuai standar dan di Indonesia, penggunaannya juga ada untuk radiografi binatang [6]. Sebagai contoh, seekor orang utan yang sedang sakit akan dilakukan pemeriksaan radiografi, diberikan pada Gambar 1a, dan dilengkapi dengan label, diberikan pada Gambar 1b.

Gambar 1a. Inspektur utama TM mengamati persiapan radiografi orangutan

Gambar 1b. Label pesawat sinar-X, hanya untuk binatang

Di Indonesia, sekitar tahun 1990 penggunaan pesawat sinar-X portabel untuk radiografi manusia mulai marak ditemukan penggunaanya tidak hanya di rumah sakit tetapi juga di klinik. Akan tetapi pesawat sinar-X portabel tersebut sudah ada yang dimodifikasi sehingga tampilannya secara fisik menjadi "*mobile?*. Misalnya, merek Mednif, Model F-30 (30 mA) dan dilengkapi dengan konus, diberikan pada Gambar 2a.

Industri lokal, yaitu PT Trovi Rajawali Indonesia juga melakukan inovasi terhadap produknya. Pesawat sinar-X tersebut secara fisik adalah juga "*mobile?* tetapi spesifikasi teknisnya adalah portabel, daya 6 kW (110 kV dan 60 mA). Sebagai contoh, produk lama Model Omnix N 60, diberikan pada Gambar 2b.

Pesawat sinar-X *mobile* dalam ruangan adalah pesawat sinar-X yang dilengkapi dengan atau tanpa baterai *charger* dan roda sehingga mudah digerakkan yang dapat dibawa ke beberapa ruangan untuk pemeriksaan umum secara rutin. Kemampuannya jauh lebih baik, dilengkapi dengan anode berputar, generator *high frequency-constant potential* serta inverter.

Buatan negara China juga penampilan dan kualitasnya sudah "setara" dengan buatan negara maju, memenuhi WHO. Spesifikasi teknis terkait kemampuan, yaitu daya (*output*) 20 kW, 200 mA dan 320 mAs maksimum. Dapat dioperasikan dengan fokus kecil (daya = 100 kV x 80 mA = 8 kW pada 0,1 s, dan fokus besar (daya = 100 kV x 200 mA = 20 kW pada 0,1 s dan dapat dilengkapi dengan sistem CR dan DR, diberikan pada Gambar 3a.

Buatan negara maju lebih baik, misal model *MOBILLET Plus HP is a highly mobile*, Citra yang dihasilkan sangat tajam, waktu ekspos sangat pendek 0,001 detik (1 ms), daya maksimum 30 kW dan 360 mAs. Penggunaannya pada lingkungan semi-steril di bagian ICU, CCU, *neonatal* dan anak-anak yang menghasilkan radiografi kualitas tinggi, dioperasikan pada 450 mA dan waktu ekspos 0,001 detik, diberikan pada Gambar 3b.

Gambar 2a. Inspektur Muda JS Mengukur Paparan Radiasi.

Gambar 2b. "*Mobile?* Merek Trovi, Model Omnix N 60

Gambar 3a. Buatan China

Gambar 3b. Buatan Jerman

Pesawat sinar-X *mobile* dalam *mobile station* adalah pesawat sinar-X yang terpasang secara permanen di dalam *mobile* sehingga dapat dipergunakan untuk pemeriksaan umum secara rutin di beberapa tempat. Namun, portabel juga banyak dipasang di dalam *mobile station* yang menambah permasalahan semakin kompleks.

Ditinjau dari tujuan penggunaannya pesawat dalam *mobile station* dikelompokkan untuk non-komersial, dan komersial.

a) Penggunaan Non-Komersial

Ketika era orde baru, *mobile station* hanya dimiliki oleh intansi pemerintah, ditempatkan di Kantor Wilayah Departemen Kesehatan (Kanwil Depkes). Pesawat sinar-X adalah jenis fotofluorografi untuk pemeriksaan massal anggota masyarakat yang menderita atau diduga penyakit paru. Alat ini sudah dilarang digunakan oleh WHO dikarenakan alasan proteksi radiasi dan penggantinya adalah pesawat sinar-X radiografi umum. Sejak era reformasi, Kanwil Depkes menjadi Dinkes dan pengelolaan *mobile station* berada di bawah Dinkes Provinsi tetapi dioperasikan langsung oleh RS Paru.

b) Penggunaan Komersial

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, peluang bisnis pesawat sinar-X dalam *mobile station* mulai dilirik oleh sektor swasta yang mengelola klinik laboratorium dan radiologi. Semenjak tahun 2000, *mobile station* semakin marak digunakan di kawasan industri. Para pengusaha berdalih, sesuai azas pemasaran, menerapkan prinsip proaktif "jemput bola" dengan promosi "biaya murah". Para karyawan tidak perlu datang ke klinik/rumah sakit sebab mereka akan dilayani, dengan motto "pelanggan adalah raja".

Pemilik *mobile station* ini cukup beragam latar belakangnya, mulai dari klinik yang sudah punya nama besar atau perorangan. Jumlahnya lumayan di kota besar, terutama yang dekat kawasan industri. Pengoperasian pesawat sinar-X dikombinasikan dengan layanan pemeriksaan darah oleh pemilik klinik radiologi. Bahkan, ada juga pihak yang nekad menggunakannya untuk bisnis pemeriksaan kesehatan karyawan dengan cara membawa sendiri peralatannya ke suatu kawasan industri. Selain itu, pesawat sinar-X tersebut

dioperasikan di suatu ruangan yang tidak sesuai dengan persyaratan proteksi radiasi.

Ketentuan mengenai ukuran kendaraan *mobile station* telah diatur berdasarkan tujuan penggunaannya, jika ditujukan untuk komersial maka harus mengikuti ketentuan sama dengan pesawat sinar-X *mobile* yang dipasang di dalam ruangan. Persyaratan proteksi radiasi untuk tujuan komersial juga harus dipenuhi, seperti rekomendasi dalam *Safety Code* 20 A sebagai berikut: "*Mobile X-ray equipment* ***used routinely*** *in one location is considered to be a fixed installation, and the facility should beshielded accordingly?* Untuk non-komersial ketentuan tersebut tidak diwajibkan untuk dipenuhi. Pada umumnya, mobil rontgen *(mobile station)*, jenis dan ukurannya hampir sama, yaitu kendaraan minibus dengan pesawat sinar-X portabel.

V. TEMUAN PERMASALAHAN KEMAMPUAN DAN KINERJA PESAWAT SINAR-X

Untuk memperoleh gambaran permasalahan mengenai kemampuan dan kinerja pesawat sinar-X portabel, "*mobile*" dan *mobile* disampaikan sejumlah temuan, diantaranya:

Permasalahan kemampuan pesawat sinar-X sudah diketahui tahun 1994 dari manajemen importir alat kesehatan buatan negara "A". Informasinya "pesawat sinar-X buatan negara "B" pada panel kendali tertera 150 kV, 500 mA dan 5 s. Apabila diuji, nominal daya tidak mencapai maksimum. Sedangkan produk negara "A" apabila diuji, nominal daya hingga maksimum. Importir perusahaan buatan negara "A" selalu kalah tender di instansi pemerintah karena pengadaan barang dilakukan berdasarkan data spesifikasi teknis tanpa pengujian".

Tahun 2004, PPKRad-BAPETEN dan PSPKR-BATAN melakukan kajian terkait kinerja pesawat sinar-X di DKI Jakarta, Jawa Barat, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sulawesi Tenggara dan Papua. Pengujian dilakukan melalui parameter operasional, meliputi tegangan puncak tabung (kVp), filtrasi, ukuran focal spot, jarak fokus ke film (FFD), kesesuain ukuran luas lapangan radiasi, arus tabung (mA), waktu ekspos (s), atau produksinya (mAs).

Temuan yang paling umum adalah masalah kolimator yaitu kesesuaian antara ukuran berkas radiasi dengan ukuran lapangan radiasi yang disebabkan ketidak stabilan tabung sinar-X (khususnya portabel). Tim kajian juga melakukan verifikasi dan diskusi dengan para praktisi medik terkait kemampuan alat, misalnya pembuatan foto thorax dewasa, faktor ekspos pada *range* tegangan: 60 – 65 kV dan 10 -18 mAs. Penggunaan pesawat sinar-X portabel dapat menimbulkan permasalahan untuk organ bergerak, seperti paru-paru jika pasien terdiri dari:

- anak balita dan penderita asma (tidak dapat menahan napas yang lebih panjang dibandingkan waktu ekspos); dan

- orang dewasa gemuk (foto rontgen dilakukan 2 kali dengan film yang sama) [7].

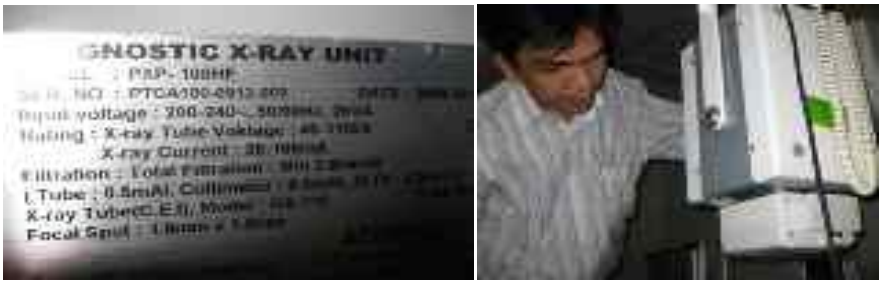
Pada Juni 2009, pesawat sinar-X akan dipasang dalam *mobile station*, data sebagai berikut: merek Radiologia dilengkapi dengan troli, buatan Spanyol, tegangan 40-115 kV, arus tabung 5-100 mA, dan waktu 0,001-10 s. Generator *high frequency*, *rating* daya 4 kW. Timbul pertanyaan (nilai arus tabung maksimum100 mA atau < 100 mA dan jenis pesawat sinar-X adalah *mobile* atau portabel), sehingga memunculkan hasil evaluasi sebagai berikut:

- Nilai daya 4 kW diragukan karena daya nominal seharusnya sekitar 10 kW (100 mA x 100 kV).
- Nilai arus tabung 100 mA diragukan karena r*ating* daya 4 kW sehingga kombinasi faktor ekspos yang relevan adalah 50 kV/80 mA atau 40 kV/100 mA (apabila kV makin tinggi maka mA makin rendah).
- Faktor ekspos pada tegangan tabung 40 atau 50 kV terlalu rendah untuk radiografi umum dewasa, misalnya foto thorax (paru-paru).
- Pesawat sinar-X adalah portabel meskipun dilengkapi troli.

Pada Agustus 2009, hasil inspeksi di Jawa Timur, temuan portabel, merek So Yee, 30 mA dipasang dalam *mobile station* untuk komersial. Fungsi utama kendaraan adalah untuk penumpang, tidak didekasikan sebagai "fasilitas" pesawat sinar-X. Bangku penumpang, pesawat sinar-X dan lempengan Pb dipasang-bongkar sesuai kebutuhan, diberikan pada Gambar 4.

Pada November 2010, hasil inspeksi di Jawa Timur, temuan portabel, Acoma, tegangan 110 kV dan arus tabung maksimum 100 mA (diragukan). Pesawat sinar-X portabel dipasang permanen dalam *mobile station* secara permanen untuk non-komersial, diberikan pada Gambar 5.

Gambar 4. Inspektur Utama TM Menginspeksi *Mobile Station*



Gambar 5. Inspektur Muda FMS Mengamati Label Pesawat Sinar-X Portabel

Pada Agustus 2011, DP2FRZR melakukan pembahasan draf Perka BAPETEN mengenai produksi pesawat sinar-X di PT. Poly Jaya di Depok, Jawa Barat. Produk yang sudah dalam tahap uji (*prototype*) merupakan alih teknologi yang modelnya hasil rakitan kombinasi buatan China dan Eropa. Sesuai penjelasan pihak manajemen, pesawat sinar-X adalah jenis *mobile* dengan tegangan 100 kV dan arus 100 mA.

Tim Peraturan ingin berdiskusi mengenai kemampuan pesawat sinar-X, yaitu nilai daya nominal saat diuji (nilai 100 mA sesuai spesifikasi teknis). Namun, situasinya tidak tepat karena kegiatan bukan dalam rangka kajian.

Pada Tahun 2011, P2STPFRZR melakukan salah satu kajian yang arahnya untuk mengetahui kinerja pesawat sinar-X dengan arus tabung maksimum kurang dari 100 mA. Hasilnya, dari studi literatur diperoleh pernyataan bahwa ada beberapa Negara yang sudah membatasi kuat arus tabung pesawat sinar-X, yaitu:

a. Kemenkes RI membatasi tegangan 30−100 kV, kuat arus minimal 100 mA.
b. Negara Kenya membatasi sampai 50 mA tidak boleh untuk pemeriksaan umum.
c. Negara Malaysia membatasi daya minimum 11 kW (100 mA pada 110 kV)
d. WHO *Basic Radiology Systems* (BRS) Tahun 1985 membatasi daya minimum 11 kW (125 mA pada 90 kV).

Kemudian dari hasil kajian teknis di lapangan diperoleh rekomendasi bahwa tidak perlu dilakukan pelarangan penggunaan pesawat sinar-X dengan kuat arus tabung < 50 mA selama pesawat sinar-X tersebut lolos uji kesesuaian. Rekomendasi tersebut memunculkan komentar bahwa hasil kajian literatur (terutama poin b) tidak selaras dengan rekomendasi karena negara Indonesia masih lebih maju daripada Kenya [8].

Pada Juli 2012, hasil inspeksi di Jakarta, temuan "*mobile*", Toshiba, 30 mA, 80 kV dan daya 1,8 kW. Di daerah Bekasi, temuan

portabel, Toshiba, 20 mA, 70 kV dan daya 1 kW, tanpa kolimator.

Permasalahan yang semakin kompleks dapat terjadi karena ada orang yang secara terbuka menawarkan jasa layanan *rontgen* ke rumah-rumah. Informasi ini diperoleh melalui telepon dari Ketua Ikatan Dokter Indonesia (IDI), dr Priyo, Sp. Rad, tanggal 9 Maret 2012.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tulisan ini merupakan pokok-pokok pikiran yang menjadi dasar penyusunan kriteria tekn is terkait kemampuan pesawat sinar-X yang diatur dalam Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011, yang disimpulkan sebagai berikut:

- **Pesawat Sinar-X Portabel**
  - memerlukan daya listrik yang kecil sehingga dapat dioperasikan dengan batere.
  - ukuran kecil dan ringan sehingga mudah dibawa hingga ke daerah terpencil.
  - arus tabung kecil (10, 20, 30 dan 40 mA), kemampuannya sangat terbatas dan waktu ekspos relatif lama.
  - stablitas mekanik tabung relatif tidak baik sehingga dudukan tabung tidak stabil, menyebabkan ketidaksimetrisan ukuran berkas radiasi dengan objek.
- **Pesawat Sinar-X *Mobile***
  - mudah dipindahkan sesuai kebutuhan.
  - daya listrik relatif besar dan memerlukan suplai daya dengan kapasitor.
  - stablitas mekanik tabung relatif baik sehingga dudukan tabung cukup stabil.
  - arus tabung < 100 mA dapat digunakan untuk radiografi umum yang terbatas.
  - arus tabung ≥ 100 mA dapat digunakan untuk radiografi yang lebih leluasa karena daya besar dan waktu ekspos sangat singkat sesuai kemampuan tabung.
- **Kecurigaan Portabel dengan Pelabelan Arus Tabung 100 mA**

Sejauh ini belum ada pesawat sinar-X portabel dengan daya hingga sekitar 10 kW (100 mA dan 100 kV) sehingga patut dicurigai bahwa pelabelan pesawat sinar-X portabel dengan arus tabung 100 mA mungkin dikarenakan:

- ketentuan pelarangan penggunaan pesawat sinar-X dengan arus tabung < 100 mA oleh Keputusan Menteri Kesehatan; dan
- isu pelarangan penggunaan pesawat sinar-X dengan arus tabung < 100 mA untuk radiografi umum oleh BAPETEN.

- **Kerancuan Portabel dengan "*Mobile?* dan *Mobile***

  - pesawat sinar-X yang dilengkapi dengan *mobile stand* atau *foldable trolley* merupakan jenis "mobile" tetapi spesifikasi teknisnya adalah portabel.
  - pengertian "kita" mengenai nilai arus tabung 100 mA tidak sama dengan yang dimaksud pedoman WHO. Menurut "kita" nilai 100 mA adalah pilihan faktor ekspos saat dioperasikan, misalnya 100 mA dan 40 kV, sementara WHO mengartikan bahwa nilai 100 mA adalah arus tabung pesawat sinar-X *mobile* yang dapat dioperasikan hingga diperoleh daya maksimum, misalnya 100 mA dan 100 kV.
  - untuk mengatasi adanya kerancuan antara portabel dan "*mobile?* telah ditetapkan dalam Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011 mengenai kemampuan pesawat sinar-X minimal 5 kW (50 mA dan 100 kV) dan secara fisik seperti pesawat sinar-X *mobile*, misalnya dudukan tabung harus kuat.

Saran

Adanya pedoman WHO yang menyatakan bahwa pesawat sinar-X *mobile* harus dengan arus tabung ≥ 100 mA, agar dilakukan lagi kajian yang lebih mendalam oleh BAPETEN dan Instansi berwenang serta profesi/praktisi medik mengenai permasalahan dalam penggunaan pesawat sinar-X portabel dan *mobile* dengan arus tabung < 100 mA. Dengan demikian, paparan medik yang dicanangkan oleh IAEA dan WHO untuk keselamatan pasien dapat dipenuhi sesuai kriteria teknis pesawat sinar-X yang menjadi persyaratan utama.

DAFTAR PUSTAKA

1. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, *Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervesional*, Jakarta, 2011.
2. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,**,** *Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervesional*, Jakarta, 2008.
3. **DEPARTMENT HEALTH AND WELFARE**, *X -Ray Equipment in Medical Diagnosis Part A: Recommended Safety Procedures for Installation and Use?*, Safety Code 20 A, Last Modified 2002 -10-25, Canada.
4. **PERRY SPAWLS, JR, Ph.D., FACR**, *Physical Principles of Medical Imaging*, Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, 1995
5. **THURE HOLM, Dr,** *Consumer Guide for the Purchase of X-Ray Equipment*, WHO, University of Lund, Sweden, 2000.
6. **DEPARTMENT HEALTH AND WELFARE**, *Radiation Protection in Veterinary Medicine, Recommended Safety Procedures for Installation and Use of Veterinary X-Ray Equipment*, Safety Code 28, Canada.

7. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,, *Laporan Hasil Kajian Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Diagnostik*, Jakarta, 2004.
8. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,, *Kajian Hubungan antara Kondisi Penyinaran dengan Jenis Pemeriksaan terhadap Terimaan Dosis Pasien dan Kualitas Citra*, Jakarta, 2012.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Heru Prasetio

Pertanyaan :

- Apa yang seharusnya dilakukan jika pada saat uji fungsi pesawat sinar-X ditemukan pesawat sinar-X yang sudah dimodifikasi menjadi *X-ray mobile* dan sudah memiliki ijin pemanfaatan ?

Jawaban :

- Badan Pengawas (BAPETEN) tentunya tidak hanya memperhatikan secara fisik peralatan. Modifikasi, portable menjadi mobile tapi juga lebih mendalam mengenai kinerja pesawat sinar-x tersebut.
- Meskipun ada izin pemanfaatan jika tidak memmenui uji kesesuaian, pesawat sinar-X tidak untuk diberikan izin perpanjangan.

EFEK SITOGENETIK PADA PEKERJA RADIASI

Yanti Lusiyanti, Zubaidah Alatas, Sofiati Purnami, Dwi Ramadhani, Viria Agesti S.dan Masnelly Lubis

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
E-mail : k_lusiyanti@batan.go.id

ABSTRAK

EFEK SITOGENETIK PADA PEKERJA RADIASI. Paparan radiasi terhadap tubuh akan menyebabkan interaksi radiasi dengan materi biologi dan sebagai konsekwensinya sel dapat mengalami kerusakan sitogenetik berupa perubahan struktur atau aberasi kromosom dalam sel limfosit darah tepi. Aberasi ini dapat berupa aberasi yang tidak stabil seperti kromosom disentrik dan cincin dan aberasi yang stabil seperti translokasi. Kromosom disentrik merupakan gold standar untuk paparan radiasi, dan kromosom translokasi merupakan biomarker sitogenetik untuk biodosimeter retrospektif. Frekuensi aberasi kromosom yang terinduksi akibat paparan radiasi alam atau latar adalah 1-3 disentrik dan 3-5 translokasi dalam 1000 sel. Tujuan dari makalah ini adalah melakukan pemeriksaan aberasi kromosom pada para pekerja radiasi untuk mengevaluasi dampak kesehatan akibat bekerja dengan radiasi atau kecelakaan yang melibatkan radiasi. Proses pemeriksaan telah dilakukan terhadap 50 sampel dengan tahapan pengambilan sampel darah, pembiakaan dalam medium, pemanenan, preparasi preparat pekerja radiasi, dan pewarnaan dengan giemsa dan atau pengecatan kromosom dengan teknik *Fluorescence In Situ Hybridization* (FISH). Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kromosom disentrik hanya ditemukan dalam darah 3 pekerja radiasi masing-masing dengan frekuensi 0,001/sel, sedangkan untuk aberasi kromosom tranlokasi tidak ditemukan. Disimpulkan bahwa berdasarkan gambaran kromosom sel darah pekerja yang diamati masih berada dalam kondisi yang baik dan dalam batas normal**.**

Kata kunci: Aberasi kromosom, disentrik, translokasi, FISH.

ABSTRACT

CYTOGENETIC EFFECT FOR RADIATION WORKERS*. Radiation exposure to the body will cause the interaction of radiation with biological materials where part of the cells will be damaged cytogenetically as the alterations of chromosome structure or aberrations in peripheral blood lymphocytes. These aberrations can be an unstable form such as dicentric chromosomes and rings, and a stable form such as translocations. Dicentric chromosome is the gold standard for radiation exposure, and chromosome translocation is a cytogenetic biomarker for retrospective biodosimeter. The frequency of chromosome aberrations induced by natural or background radiation exposure is 1-3 dicentrics and 3-5 translocations in 1000 cells. The aim of this paper is to conduct the examination of chromosome aberrations in radiation workers to evaluate the health effects induced by working with radiation or an accident. Process of chromosome aberration screening was carried out on 50 blood samples, compromising cell culturing in enriched medium, harvesting, slide preparating and Giemsa staining using and chromosome painting with fluorescence in situ hybridization (FISH) technique. The results showed that the dicentric chromosome found only in three radiation workers each with frequency of 0.001/cell. It can be concluded that based on the observed chromosome of worker is still in good condition and within normal limit.*

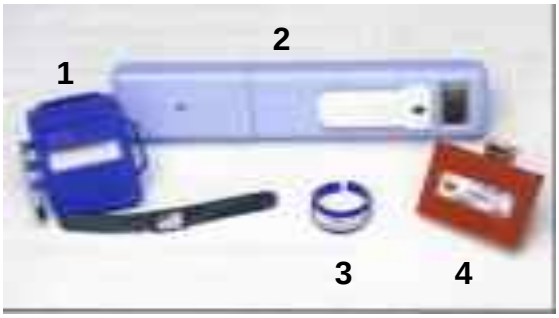
Keywords: Aberration of chromosomes, dicentric, translocation, FISH.

I. PENDAHULUAN.

Pemanfaatan tenaga nuklir di samping mempunyai manfaat yang cukup besar dalam berbagai aplikasi seperti di bidang industri, pertanian, kesehatan, hidrologi, energi, pendidikan, penelitian dan bidang lainnya. Disamping itu potensi bahaya radiasi juga perlu diwaspadai, sehingga pemanfaatan teknologi ini harus berwawasan keselamatan yaitu dengan membuat peraturan yang ketat dan dilaksanakan dengan seksama serta dilakukan pengawasan agar potensi itu tidak menjadi kenyataan.

Radiasi pengion adalah gelombang elektromagnetik (foton) atau partikel berenergi yang akan menimbulkan proses ionisasi bila melewati materi termasuk materi biologi. Apabila tubuh terpapar radiasi pengion, akan terjadi perubahan pada materi biologik tubuh, paling tidak pada tingkat molekuler dan seluler khususnya materi genetik sel (sitogenetik). Sejumlah perubahan atau kerusakan yang timbul dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan risiko akibat radiasi pada tubuh, antara lain kerusakan pada kromosom sel tubuh [1].

Pekerja radiasi berpotensi menerima paparan radiasi dengan besaran dosis ekivalen yang melebihi atau mendekati nilai batas dosis yang diizinkan, bila terjadi suatu kecelakaan yang dikarenakan tata kerja yang salah. Program pemantauan radiasi diterapkan secara rutin pada semua pekerja radiasi dengan menggunakan dosimeter fisika dan dosimeter biologi sebagai alat pemantau. Pemantauan dilakukan secara rutin dan periodik misalnya setiap 3, 6 atau 12 bulan sekali, bergantung pada kondisi kerja atau hasil pemantauan dan dapat juga dilakukan sewaktu-waktu jika diperlukan, misalnya akibat kecelakaan kerja. Pemantauan radiasi eksternal diterapkan secara rutin pada semua pekerja radiasi, misalnya dengan menggunakan dosimeter sebagai alat pemantau, seperti dosimeter film dan dosimeter termoluminisence (TLD), Film badge , dosimeter poket atau dosimeter cincin (Gambar 1) [1,2,3].

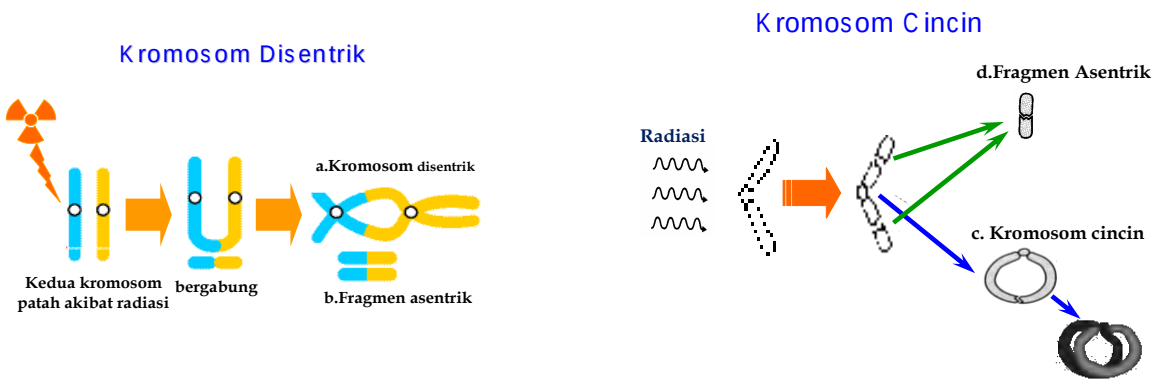


Gambar 1. Jenis dosimeter Fisik yaitu Film Badge (1) Dosimeter Poket (2), Dosimeter cincin (3), dan TLD (4)

Analisis aberasi kromosom telah digunakan secara meluas sebagai *biomarker* pada pekerja radiasi dan masyarakat umum yang terpapar radiasi pengion. Metode ini digunakan untuk mendeteksi aberasi kromosom dalam limfosit darah perifer yang merupakan sel yang paling sensitif terhadap radiasi. Metode ini juga telah digunakan pada rekonstruksi pada populasi yang terpapar radiasi dalam skala besar populasi pada

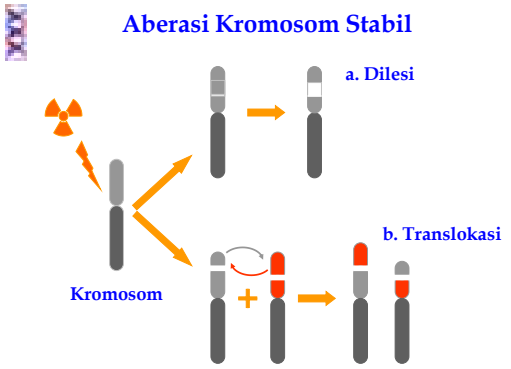
korban selamat dari Hiroshima dan Nagasaki di Jepang, pekerja pembersihan di kecelakaan reaktor Chernobyl, atau masyarakat yang terkena pajanan pada kecelakaan yang melibatkan sumber ^{137}Cs di Goiânia Brazil, serta pada pekerja radiasi di Bulgaria [4,5].

Paparan radiasi pengion dapat menyebabkan terjadinya perubahan, baik pada jumlah maupun pada struktur kromosom, yang dikenal dengan istilah aberasi kromosom. Kerusakan struktur berupa patahnya lengan kromosom terjadi secara acak dengan peluang yang makin besar sesuai dengan meningkatnya dosis radiasi. Aberasi kromosom yang mungkin dapat terjadi adalah 1) fragmen asentrik yaitu terjadinya delesi atau patahnya bagian kecil atau fragmen lengan kromosom yang tidak mengandung sentromer, 2) *ring* atau kromosom bentuk cincin yang merupakan hasil penggabungan dua lengan yang mengalami delesi pada kromosom yang sama, 3) disentrik berupa kromosom dengan dua buah sentromer sebagai hasil peng-gabungan dua buah kromosom yang mengalami patah (Gambar 2). Dari semua kerusakan tersebut, kromosom disentrik diyakini spesifik terjadi akibat pajanan radiasi. Dosis tunggal 200 mGy sudah dapat menimbulkan aberasi kromosom yang dapat dideteksi. Frekuensi terjadinya aberasi kromosom bergantung pada jenis dan dosis radiasi yang diterima [6,7]. Pemeriksaan ini harus dilakukan dalam waktu 24 jam - 30 hari paska pajanan radiasi, karena jumlah sel yang mengandung aberasi kromosom ini akan mengalami penurunan sebagai akibat dari proses seleksi dominan yang terjadi selama proliferasi sel. Kebolehjadian kromosom disentrik secara spontan akibat radiasi latar adalah 1-3 disentrik/1000 sel metafase [9, 8].



Gambar 2. Skema proses pembentukan aberasi kromosom tak stabil
(a) Kromosom disentrik (b) Kromosom cincin

Individu yang terpajan radiasi secara kronik dalam waktu yang lama dapat dilakukan pemeriksaan aberasi kromosom yang bersifat stabil yaitu translokasi yaitu terjadinya perpindahan atau pertukaran fragmen dari dua atau lebih kromosom (Gambar 3). Kromosom ini tidak hilang dengan berjalannya waktu karena sel yang mengandung kromosom bentuk ini tidak mengalami kerusakan ketika melakukan pembelahan sel. Dengan demikian keberadaan kromosom translokasi dapat digunakan sebagai indikator kerusakan genetik pada sel darah individu yang terpajan radiasi setelah waktu yang lama atau sebagai indikator terjadinya akumulasi kerusakan untuk pendugaan risiko timbulnya kerusakan yang mengarah pada pembentukan kanker akibat radiasi. Translokasi berperan dalam proses perkembangan kelainan atau penyakit genetik dan dalam karsinogenesis termasuk proses aktivasi onkogen yang menyebabkan sel normal berkembang menjadi sel malignan. Kebolehjadian kromosom translokasi secara spontan atau alamiah pada manusia dewasa sehat lebih besar yaitu sekitar 5-10 translokasi/1000 sel [10, 11]



Gambar 3. Skema proses pembentukan aberasi kromosom kromosom stabil (translokasi)

Pemeriksaan tehnik aberasi kromosom disentrik menggunakan pewarna giemsa telah diaplikasikan untuk mendeteksi kerusakan kromosom pada sel para pekerja radiasi industri . Sedangkan saat ini tehnik *Fluorescence In Situ Hybridization* (FISH)F dengan *probe* tunggal telah digunakan untuk pemeriksaan aberasi kromosom pada sel para pekerja radiasi khususnya yang telah menerima akumulasi dosis dalam jangka waktu yang lama. Dalam makalah ini akan dilaporkan mengenai hasil pemeriksaan aberasi kromosom pada para pekerja radiasi untuk mengevaluasi dampak kesehatan akibat bekerja dengan radiasi atau kecelakaan yang melibatkan radiasi Dari penelitian ini diharapkan akan diperoleh gambaran kondisi tingkat kerusakan kromosom pada sel darah pekerja yang diinduksi oleh paparan radiasi akibat kerja dalam rangka memantau penerapan ketentuan keselamatan kerja dengan radiasi.

II. BAHAN DAN METODE

II. 1. Subjek Penelitian

Sampel darah diperoleh dari 50 pekerja radiasi di BATAN (Jakarta, Tangerang dan Bandung) dengan rentang usia 28-60 tahun yang terdiri dari 45 pekerja radiasi dan 5 non pekerja radiasi. Setiap pekerja diminta mengisi formulir biodata meliputi riwayat penyakit dan riwayat bekerja dengan radiasi serta formulir informed concern. Data pekerja radiasi tersebut disajikan pada Tabel 1.

II.2. Pembiakan dan pemanenan sel darah limfosit tahap Metafase

Dari setiap pekerja radiasi diambil sekitar 5 ml darah tepi menggunakan *syringe* dan segera ditambah 0,03 ml heparin sebagai anti koagulan. Sampel darah ini dibiakkan secara duplo. Ke dalam tabung kultur, dimasukkan media pertumbuhan 7,5 ml RPMI-1640, 0,1 ml L-Glutamin, 1 ml Fetal Bovine Serum, 0,2 ml Penicillin Streptomycin, 1 ml darah dan 0,25 ml Phytohaemagglutinin. Tabung kemudian ditutup disimpan dalam inkubator 37°C selama 48 jam. Pada 3 jam sebelum pemanenan, ke dalam biakan ditambahkan 0,1 ml colchisin untuk menghentikan proses pembelahan untuk memperoleh sel tahap metafase.

Tabel 1. Karakteristik Pekerja Radiasi yang diamati

Uraian		Jumlah subyek yang diperiksa	
		Pekerja radiasi	Bukan pekerja radiasi
Jumlah subyek	50	45	5
Masa kerja	1-10 th	5	5
	11-20 th	17	-
	21 ? 30 th	18	-
	>31 th	5	-
Dosis akumulasi	0-5 mSv	12	5
	6-10 mSv	24	-
	11-30 mSv	8	-
	50>mSv	1	-
Jenis kelamin	Laki-laki	40	5
	Perempuan	5	-
Umur	21-40 th	7	5
	41-60 th	37	-
Kebiasaan Merokok	Tidak	40	5
	Ya	5	-

Darah yang telah dibiakkan, disentrifus dengan kecepatan 1500 rpm selama 10 menit. Pada endapan darah ditambahkan 10 ml KCl 0,56%, diaduk dengan pipet Pasteur dan disimpan pada *waterbath* 37º C selama 25 menit. Larutan selanjutnya disentrifuse kembali dengan kecepatan yang sama selama 10 menit. Pada endapan ditambahkan 4 ml larutan carnoy (metanol : asam asetat = 3 : 1), divortex, dan kemudian ditambahkan lagi larutan carnoy sampai volume total mencapai 10 ml. Larutan tersebut disentrifus kembali beberapa kali sampai diperoleh endapan sel limfosit yang berwarna putih.

II.3. Pembuatan preparat dan pengecatan kromosom dengan teknik FISH (2 -3 probe)

Endapan sel limfosit diteteskan di atas gelas preparat pada 1-2 tempat yang berbeda, dibawah mikroskop, dilakukan seleksi terhadap preparat yang mempunyai sebaran kromosom yang baik pada sel tahap metafase dan dikeringkan di atas *hot plate* 65º C selama 1½ jam.. Preparat tersebut didehidrasi dengan dimasukkan ke dalam seri *coplin jar* yang berisi etanol 70% sebanyak 2x masing-masing selama 2 menit, etanol 90% 2x selama 2 menit dan etanol 100% sebanyak 1x selama 5 menit. Kromosom pada preparat selanjutnya di denaturasi dengan dimasukkan ke dalam larutan formamida dan diinkubasi pada *waterbarh* 65ºC selama 1½ menit. Preparat dicuci secara berturutan dengan alkohol bertingkat 70% dingin selama 4 menit, 70% selama 2 menit, 90% sebanyak 2 x masing-masing selama 2 menit dan 100% selama 5 menit. Kromosom pada preparat telah siap untuk dilakukan hibridisasi dengan campuran *whole chromosome probe* (WCP) dengan fluorochrom *Fluorescent isothiocyanate* (FITC) nomor 1, 2, 5, 6 dan 10 WCP dengan fluorochrome texas red no 1 dan 5 yang digunakan merupakan produksi *ID Labs*. USA.

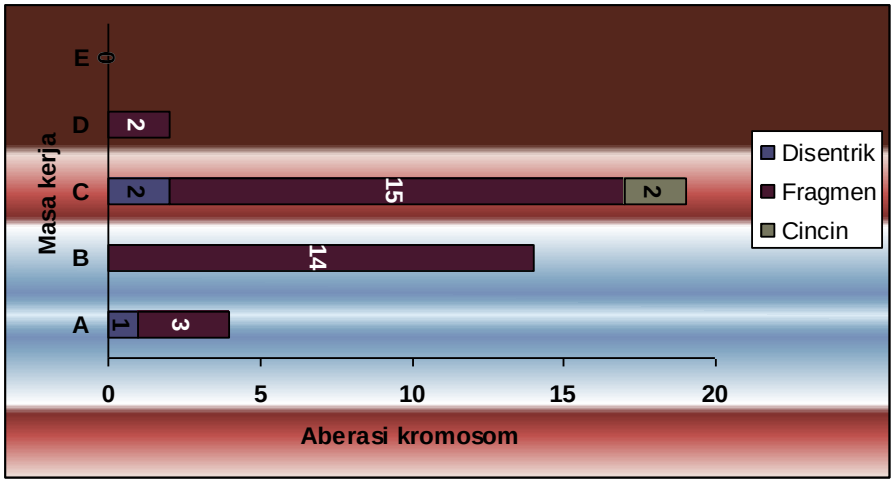
Dibuat campuran masing-masing 2 µl WPC berlabel *Fluorescent isothiocyanate* (FITC) dan 2 µl WPC texas red dengan 6 µl *buffer*, disentrifus selama 1-3 detik, didenaturasi pada suhu 65º C selama 10 menit, dan kemudian diinkubasi pada *waterbath* 37 ºC selama 45 menit. Proses hibridisasi (pengecatan) dilakukan dengan meneteskan larutan *probe* pada preparat yang telah di denaturasi, kemudian ditutup dengan *coverslip* dan dilem untuk mencegah terjadi penguapan. Preparat diletakkan dalam wadah plastik dan diinkubasi pada suhu 37 ºC selama 16 jam. Setelah proses hibridisasi *coverslip* dibuka, selanjutnya dilakukan tahap pencucian dengan cara berturutan preparat direndam dalam seri *coplin jar* yang berisi larutan pencuci *stringency* 45 ºC sebanyak 2x masing-masing selama 5 menit, larutan 1 x SSC sebanyak 2 x selama 5 menit, dan larutan detergen sebanyak 1x selama 4 menit. Pencucian dilakukan kembali untuk WCP dengan fluorochrome texas red dengan melakukan inkubasi preparat dengan reagen campuran biotinylated Anti Avidin pada

larutan pencuci detergen, diteteskan 10 µl 4,6 *diamidino*-2-*phenylindole* (DAPI), ditutup, dan didiamkan selama 10 menit. DAPI yang merupakan *counterstain* terhadap kromosom yang tidak dihibridisasi dengan WCP, diperoleh dari VYSIS (VX-32804830). Preparat segera diamati dengan mikroskop *epi-fluorescent* yang dilengkapi dengan *dual filter*, dan dilakukan pemotretan terhadap kromosom yang memiliki pendaran *probe* kromosom.

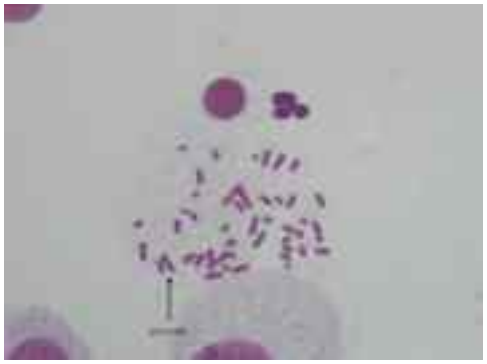
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan aberasi kromosom telah digunakan sebagai biomonitoring pada pekerja radiasi yang telah terpapar radiasi pengion sebagai konsekwensi pekerjaan. Dalam penelitian ini sampel darah limfosit diperoleh dari 45 pekerja radiasi dan 5 non pekerja radiasi. Untuk pekerja radiasi yang telah diambil sampel darahnya mempunyai masa kerja bervariasi yaitu 2-36 th, dan dikelompokkan menjadi 4 kelompok, pekerja dengan masing-masing kisaran masa kerja 1 ? 10 tahun (A), masa kerja 11- 20 tahun (B), masa kerja 21-30 tahun (C), masa kerja >31 tahun (D) dan (E) adalah kelompok pekerja kontrol. Penerimaan dosis berdasarkan data rata-rata film badge dan atau TLD untuk 3-5 tahun terakhir berkisar berkisar < 50 mSv/tahun.

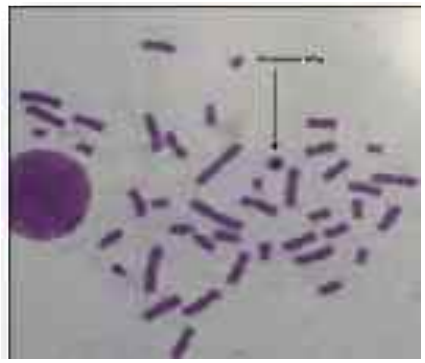
Pemeriksaan terhadap aberasi kromosom dilakukan untuk jenis aberasi kromosom tak stabil yaitu disentrik, fragmen dan cincin, menggunakan pewarna giemsa. Hasil pengamatan kromosom tak stabil (disentrik) pada 45 sampel darah yang masing-masing diamati untuk setiap 500 atau 1000 sel metafase dikelompokan berdasarkan kisaran masa kerja ditampilkan pada Grafik 1. Pada kelompok pekerja radiasi A yang telah diamati aberasi kromosomnya telah ditemukan 1 pekerja radiasi dengan masa kerja 7 tahun dengan jumlah aberasi kromosom tak stabil 0,1 disentrik per sel yang dilengkapi dengan 3 fragmen. Pada kelompok B hanya ditemukan 14 fragmen dari 7 orang pekerja dengan kisaran jumlah fragmen bervariasi 1 ? 4 fragmen. Sedangkan untuk kelompok C telah ditemukan aberasi kromosom pada 3 pekerja yaitu masing-masing dengan masa kerja 23 tahun dengan 1 disentrik, pada masa kerja 24 tahun dengan 1 ring dan 2 fragmen, dan pada masa kerja 26 tahun, dengan 1 disentrik, 1 ring dan 6 fragmen. Namun untuk semua jenis aberasi kromosom tersebut masih dikategorikan dalam kisaran normal, karena mengacu pada IAEA bahwa frekuensi latar untuk kedua jenis aberasi tersebut berturut-turut 1-3 disentrik dan 4-7 fragmen masing-masing dalam setiap 1000 sel metafase masih dikategorikan normal [11,14].



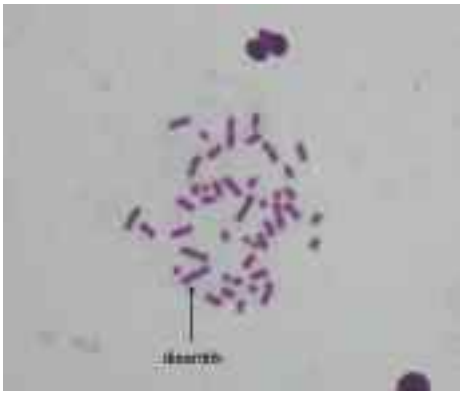
Gambar 3. Jumlah aberasi kromosom pada kelompok pekerja radiasi yang diamati dengan pewarnaan Giemsa



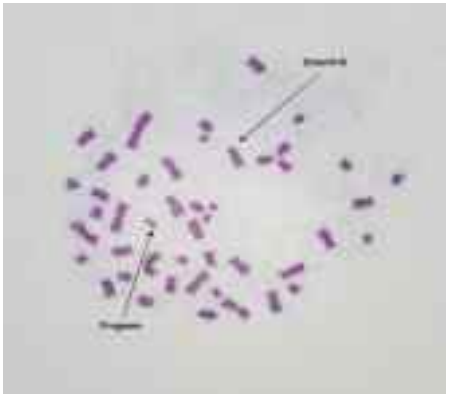
Gambar 4 . Visualisasi sel metafase dengan kromosom disentrik pada pekerja radiasi dengan masa kerja 7 tahun.



Gambar 6. Visualisasi sel metafase dengan kromosom ring pada pekerja radiasi dengan masa kerja 24 tahun.



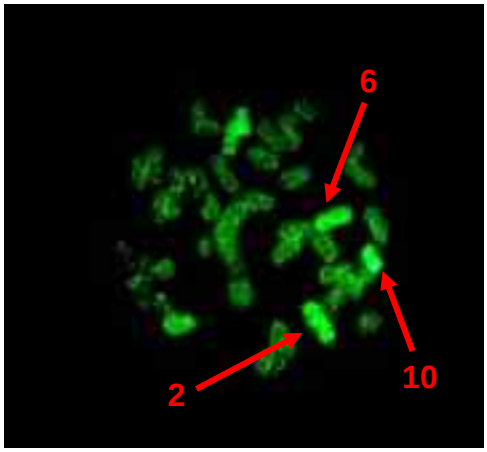
Gambar 5. Visualisasi sel metafase dengan kromosom disentrik pada pekerja radiasi dengan masa kerja 23 tahun.



Gambar 7. Sebaran kromosom pada tingkat metafase. Sel metafase dengan kromosom disentrik dan fragmen pada pekerja radiasi dengan masa kerja 26 tahun.

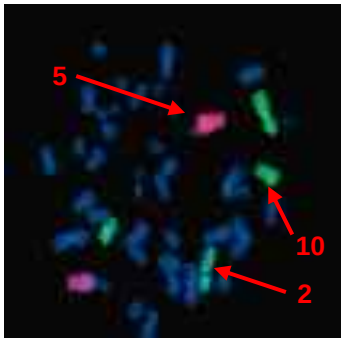
Frekuensi dari kromosom disentrik telah dianggap sebagai indikator sensitif terhadap paparan radiasi pengion dan telah diaplikasikan untuk biomonitoring dan dosimeter biologi [12]. Namun demikian kromosom disentrik merupakan kromosom tak stbil karena frekuensi disentrik akan tereliminasi sejalan dengan umur dari limfosit. Rata rata half life untuk kromosom disentrik adalah 130 hari [12,13]. Pada kasus pajanan kronik yang diterima pekerja dengan penerimaan dosis rendah pada laju dosis rendah kemungkinan aberasi kromosom yang diinduksi pada limfosit adalah hanya pada populasi limfosit yang mempunyai umur panjang (long life population) [14].

Pada penelitian ini pemeriksaan kromosom stabil dengan teknik FISH *painting*, dilakukan pada sampel pekerja radiasi dengan masa kerja >20 tahun dan untuk masa kerja < 5 tahun untuk mengkaji dosis radiasi akibat pajanan kronik (akumulasi dosis yang diterima) terhadap kondisi kromosomnya. Visualisasi keberadaan aberasi kromosom translokasi dilakukan dengan menggunakan teknik pengecatan kromosom (*chromosome painting technique)* yang disebut *Fluorescence in situ hybridization* (FISH) dengan komposisi nomor probe kromosom nomor 2,6,10 yang dilabel hanya fluorochrom FITC atau sering disebut pewarna tunggal yang ditunjukkan dengan warna berpendar pada kromosom target (Gambar 8).



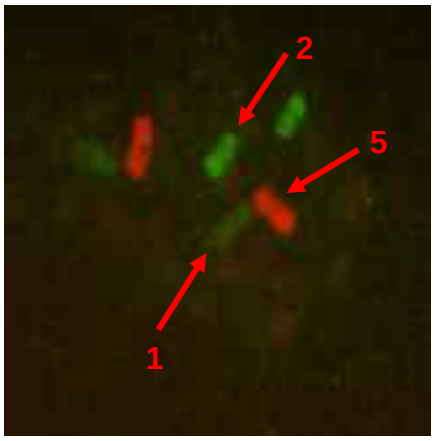
Gambar 8. Pewarnaan kromosom dengan teknik FISH pewarna tunggal FITC menggunakan probe kromosom nomor 2, 6, 10.

Pengecatan kromosom juga dilakukan dengan komposisi probe kromosom kromosom no 2, 5, 10 menggunakan campuran fluorochrome texas red dan FITC atau sering disebut pewarna ganda ditunjukkan pada gambar 9. Dengan pengecatan ganda menggunakan warna berbeda ini akan lebih memudahkan dalam menganalisa adanya kerusakan kromosom translokasi.



Gambar 9. Pewarnaan kromosom dengan teknik FISH pewarna ganda FITC dan Texas red menggunakan probe kromosom nomor 2, 5, 10.

Pengecatan kromosom yang sama juga dilakukan pada komposisi kromosom nomor 1,2,5 ditunjukkan pada Gambar 10. Namun dari hasil pengecatan yang telah dilakukan hasil pengamatan kromosom stabil untuk pekerja radiasi dengan masa kerja > 20 maupun untuk pekerja radiasi dengan masa kerja < 5 tahun yang diamati pada sel limfosit tidak ditemukan adanya aberasi kromosom translokasi.



Gambar 10. Pewarnaan kromosom dengan teknik FISH pewarna ganda FITC dan Texas red menggunakan probe kromosom nomor 1, 2, 5.

Tehnik FISH ini di dasarkan pada hybridisasi pada molekul DNA pendek yang probenya dilengkapi dengan *complementari sequence* pada genom. *Probe* selanjutnya dilabel dengan *fluorescent dye* yang akan menunjukkan warna pendar pada fragmen kromosom yang mengalami translokasi. Penggunakan *probe* dengan urutan genom yang spesifik memungkinkan untuk memperoleh informasi sejumlah gambaran dan lokasi patahan kromosom. Dengan proses hibridisasi yang simultan dengan *probe* yang dilabel dan penggunaan *flurescent dye* yang berbeda dapat mendeteksi beberapa translokasi yang berbeda pada genom secara bersamaan. Hal ini dapat memberikan informasi tentang sekuen amplifikasi, dilesi atau translokasi beserta lokasinya pada genom [14].

Tidak ditemukannya aberasi kromosom translokasi pada pekerja radiasi karena paparan radiasi yang diterima tidak cukup besar untuk menginduksi terbentuknya aberasi kromosom, atau translokasi terjadi pada kromosom yang tidak dilakukan proses painting. Dosis ambang radiasi secara akut yang dapat menginduksi aberasi kromosom translokasi adalah sekitar 0,25 Gy atau sebagai efek deterministik [7], sedangkan frekuensi latar akibat radiasi untuk aberasi kromosom stabil translokasi adalah 5-/1000 sel, dan waktu paro translokasi berkisar 3- 11 tahun akibat radiasi secara parsial pada tubuh dengan dosis tinggi [15, 16].

IV. KESIMPULAN

Pendeteksian adanya aberasi kromosom dalam sel limfosit yang diketahui sebagai biomarker yang spesifik hanya terinduksi oleh paparan radiasi pengion. Terhadap pekerja radiasi yang diperkirakan menerima paparan radiasi berlebih, dapat dilakukan suatu tindakan sebagai konfirmasi terhadap data dosis radiasi yang diperoleh

dari dosimeter fisik**.** Pemantauan status kesehatan para pekerja radiasi berdasarkan pemeriksaan aberasi kromosom menunjukan aberasi kromosom disentrik yang ditemukan pada pekerja radiasi yaitu 0,001 % masih dalam batas normal. Sedangkan aberasi kromosom translokasi tidak ditemukan pada sampel darah pekerja radiasi.Kondisi tingkat kerusakan kromosom pada sel darah pekerja yang diinduksi oleh paparan radiasi akibat kerja masih dalam dalam batas normal. Hal ini menunjukkan bahwa sistem proteksi radiasi telah berjalan dengan baik. Hasil penerimaan dosis pekerja radiasi, diperoleh data besaran dosis akumulasi 0-18,47 mSv, dengan masa kerja maksimal 25 tahun. Dari hasil pengamatan kromosom tak stabil (disentrik) pada 30 pekerja radiasi diperoleh satu pekerja radiasi kelompok A dengan aberasi kromosom disentrik 0;001/sel metafase, dan satu pekerja radiasi kelompok C dengan 0,002 kromosom disentrik/sel. Hasil tersebut masih dalam kisaran normal. Sedangkan untuk kromosom translokasi dengan pengecatan kromosom menggunakan teknik FISH dengan triple probe, tidak ditemukan pada ketiga kelompok pekerja radiasi. Dengan demikian dapat disimpulkan besaran dosis yang diterima pekerja masih dalam batas ambang yang diijinkan (<50 mSv/tahun) dan kondisi tingkat kerusakan kromosom pada sel darah pekerja yang diinduksi oleh paparan radiasi akibat kerja masih dalam batas normal.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Series No. 102, Recommendations for the Safe Use and Regulation of Radiation Sources in Industry, Medicine, Research, and Teaching, IAEA, Vienna (1990).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Practical Radiation Safety Manual, Manual on Nuclear Gauge, IAEA, Vienna (1992).
3. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Penyuluhan Peraturan Perundangan Keselamatan Nuklir, Jakarta (2002).
4. TUBIANA, M., The report to the French Academy of Science, Problems associated with the effects of low dose of ionizing radiation, J. Radiation Protection, 1998, 18, 243-248
5. ALATAS, Z., Indikator biologik kerusakan tubuh akibat pajanan radiasi, *Cermin Dunia Kedokteran*, 138, 41-45, 2003.
6. HALL., E.J RADIOBIOLOGY FOR THE RADIOBIOLOGIST JB LIPPINCOTT COMPANY, PHILADELPHIA.5 EDITION. 2000
7. IAEA Cytogenetic Dosimetry : Application in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies IAEA Vienna 2011.
8. KONDO, S., Health Effects of Low Level Radiations. Kinki University Press, Osaka Japan and Medical Physics Publishing, Madison USA 1993
9. COCO-MARTIN, J.M., SMEET, M.F.M.A., POGGENSEE, M., MOOREN, E., HOFLAND, I., VAN DE BRUG, M., OTTENHEIM, C., BARTELINK, H. AND BEGG, A.C. USE OF FLOURESCENCE IN SITU HYBRIDIZATION TO MEASURE CHROMOSOME ABERRATIONS AS A PREDICTOR OF RADIOSENSITIVITY IN HUMAN TUMOUR CELLS. *INT. J. RADIAT. BIOL*. 66 (3). 297-307. 1994.

10. NATARAJAN, AT, DARROUDI, F., BERG, M., et al. Biological dosimetric studies in the Goiania accident. IAEA-TECDOC-1131, Restoration of environments affected by residues from radiological accidents.Approaches to decision makingÓ 127-132, 2000.

11. NATARAJAN,AT, SANTOS, SJ, DARROUDI, F et al. 137 Cesium-induced chromosome aberrations analyzed by fluorescence in situ hybridization: eight years follow up of the Goiania radiation accident victims. Mutat Research 400: 299-312, 1998. {8}.

12. ZELJEZIC, D., and GARAJVRHOVAC,V, Fluorescence In Situ Hibridisation in Detecting Chromosome Aberrations Caused By Occupational Exposure to Ionising Radiation, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia, Arh Hig Rada Toksikol 2006,57.65-68.

13. STEPHAN, G., PRESSL, S, KOSHPESSOVA GULSYM,K and GUESUV I.B. Analysis of FISH Painted Chromosomes in Individual Living Near Semipalatinsk Nuclear Test Site. Radiation Research 155, 796-800 (2001).

14. GEORGE, K. WILLINGHAM, V., and CUCINOTTA, F.A. Stability of Chromosome Aberrations in the Blood Lymphocytes of Astronauts Measured after Space Flight by FISH Chromosome Painting. *Radiation Research* 164,474-480, 2005.

LAJU DOSIS DAN TINGKAT RADIOAKTIVITAS ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, DAN ^{232}Th DALAM SAMPEL TANAH DI PULAU KARIMUN ? PROVINSI KEPULAUAN RIAU

Wahyudi, Dadong Iskandar, dan Kusdiana

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
E-mail : wah_yudi@batan.go.id

ABSTRAK

LAJU DOSIS DAN TINGKAT RADIOAKTIVITAS ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, DAN ^{232}Th DALAM SAMPEL TANAH DI PULAU KARIMUN ? PROVINSI KEPULAUAN RIAU. Telah dilakukan penentuan laju dosis dan tingkat radioaktivitas ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam sampel tanah dari Pulau Karimun Provinsi Kepulaun Riau. Pengukuran laju dosis dilakukan menggunakan survei meter Exploranium GR-130 pada titik pengambilan sampel tanah. Sampel tanah diambil sebanyak 8 lokasi di Pulau Karimun. Sampel tanah kemudian dikirimkan ke laboratorium keselamatan lingkungan PTKMR-BATAN melalui jasa pos. Di laboratorium, sampel dipreparasi dengan cara dikeringkan dalam *oven* pada suhu 105ºC selama 24 jam, kemudian diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*. Setelah itu sampel ditempatkan dalam *Marinelli* 1 liter kemudian dilem dan didiamkan sampai terjadi kesetimbangan radioaktif antara thorium dan radium dengan anak luruhnya kurang lebih selama 4 minggu. Sampel selanjutnya diukur menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma bervariasi dari (142,74 ± 28,82) nSv/jam sampai dengan (238,56 ± 43,99) nSv/jam. Sedangkan hasil analisis sampel tanah memperlihatkan konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th berturut-turut berkisar antara (19,46 ± 2,61) Bq/kg sampai dengan (871,00 ± 82,26) Bq/kg, (23,63 ± 2,52) Bq/kg sampai dengan (139,45 ± 13,30) Bq/kg, (24,88 ± 2,58) Bq/kg sampai dengan (404,01 ± 10,50) Bq/kg dan (24,31 ± 2,62) Bq/kg sampai dengan (401,80 ± 27,36) Bq/kg. Konsentrasi ^{226}Ra, ^{228}Ra dan ^{232}Th pada beberapa lokasi relatif lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain seperti Bali dan Jawa Timur sehingga perlu dilakukan pengkajian lebih jauh untuk keselamatan masyarakat dan lingkungan. Data laju dosis dan konsentrasi radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th ini dapat digunakan sebagai data dasar untuk wilayah Pulau Karimun dalam rangka pemetaaan radioaktivitas lingkungan Indonesia.

Kata kunci : tanah; laju dosis; radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th; Pualu Karimun.

ABSTRACT

DOSE RATE AND RADIOACTIVITY LEVELS OF ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, AND ^{232}Th IN THE SOIL SAMPLES COLLECTED FROM KARIMUN ISLAND OF RIAU ISLANDS PROVINCE. *Determination of dose rate and concentration of ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, and ^{232}Th in the soil samples from Karimun island of Riau Islands Province have been carried out. Measurements of dose rate was conducted using Exploranium GR-130 surveymeter at the point of soil sampling. The soil samples were collected 8 locations from Karimun island. The soil samples were sent to enviromental laboratory of CTRSM-NAEA by post services. In the laboratory, samples were dried in oven at 105ºC for 24 hours and then were sieved to 100 mesh sieves. After preparation, samples were placed in Marinelli of 1 liter volume, sealed and aged for 4 weeks to reach the radioactivity equilibrium of thorium and radium with its progenies. After that, the samples were measured by using gamma spectrometer with HPGe detector. The result of gamma dose rate measurements were ranged from (142.74 ± 28.82) nSv/hours to (238.56 ± 43.99) nSv/hour. Whereas, the result of samples analyses showed that the concentrations of ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, and ^{232}Th were ranged from (19.46 ± 2.61) Bq/kg to (871.00 ± 82.26) Bq/kg, (23.63 ± 2.52) Bq/kg to (139.45 ± 13.30) Bq/kg, (24.88 ± 2.58) Bq/kg to (404.01 ± 10.50) Bq/kg dan (24.31 ± 2.62) Bq/kg to (401.80 ± 27.36) Bq/kg respectively. Concentration of ^{226}Ra, ^{228}Th and ^{232}Th for some locations high relatively with another locations such as Bali and East Java so that it is suggested to assess further for public and environmental safety. The data of gamma dose rate and concentration of ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, and ^{232}Th would be used as baseline data of radionuclides in Karimun island for the environmental radioactivity mapping of Indonesia.*

Key words : soil, dose rate; ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, and ^{232}Th radionuclides; Karimun island.

I. PENDAHULUAN

Pulau Karimun merupakan salah satu wilayah kepulauan di Propinsi Kepulauan Riau. Secara astronomi pulau tersebut terletak pada 0º06' sampai dengan 1º10' Lintang Utara dan 103º18' sampai dengan 103º30' Bujur Timur. Secara geografis terletak di utara dengan Selat Malaka dan selatan dengan Pulau Kundur, sedangkan sebelah timur antara Pulau Batam dan Pulau Suamtera. Pulau Karimun merupakan pulau dengan kontur yang relatif datar pada ketinggian sekitar 20-500 meter di atas permukaan laut dan beberapa bukit dengan kemiringan 40° serta terdapat sebuah gunung yaitu Gunung Jantan dengan ketinggian 500 meter di atas permukaan laut [1].

Karimun sebagai daerah perlintasan angkutan laut internasional yaitu di Selat Malaka, maka sangat memungkinkan pengembangan di sektor industri seperti industri petro kimia, dan industri penopang lainnya seperti bunker penampung gas alam cair, dermaga, galangan kapal, garmen dan tekstil, funiture, elektronik serta industri lainnya [1].

Menurut peta Geologi Indonesia, Pulau Karimun terdiri dari formasi Granit Karimun di bagian tengah pulau dengan penyusun utamanya adalah *intrusive* dan *felsic* yang akan membentuk endapan di permukaan tanah yang disebut *plutonism batholith*, sedangkan di pantainya formasi *alluvium* tua dengan penyusun utamanya adalah *sediment, clastic* dan *alluvium*. Lapukan lapisan tanah dan kerikil terbawa aliran air kemudian diendapkan di bagian pantai [2].

Di Karimun terdapat industri tambang batu granit, bekas penambangan pasir timah dan industri *smelter*, sehingga besarnya nilai konsentrasi radioaktivitas alam seperti ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th di Pulau Karimun selain dipengaruhi faktor geologi juga kemungkinan ada pengaruh dari kegiatan industri terutama industri tambang granit dan bekas tambang timah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data laju dosis dan tingkat radioaktivitas lingkungan di Pulau Karimun yang akan digunakan sebagai data dasar dalam pembuatan peta radioaktivitas lingkungan di Indonesia. Data dasar tersebut dapat juga dipakai untuk mengevaluasi distribusi zat radioaktif yang ada di daerah penelitian untuk pengkajian keselamatan terhadap penduduk dan lingkungan serta untuk evaluasi jika terjadi peningkatan konsentrasi zat radioaktif di daerah tersebut.

II. DASAR TEORI

Penentuan dosis radiasi gamma dilakukan dengan melakukan pengukuran paparan radiasi gamma menggunakan survei meter. Pengukuran paparan radiasi gamma dilakukan secara langsung pada beberapa tempat yang mewakili daerah pengukuran. Nilai pengukuran yang sebenarnya dihitung

menggunakan persamaan umum sebagai berikut [3,4]:

$$X_0 = (X_i \cdot F_k) \pm \Delta X_0 \quad (\mu R/h) \text{ ..... (1)}$$

dengan :

X_0 : paparan radiasi gamma sebenarnya (μR/j)

X_i : paparan radiasi gamma yang terbaca di alat (μR/h)

F_k : faktor kalibrasi survei meter.

ΔX_0 : ketidakpastian pengukuran pajanan radiasi gamma (%)

Untuk menghitung besarnya nilai ketidakpastian menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta X_0 = \sqrt{\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{F_k}^2} \quad (\mu R/h) \text{ ..... (2)}$$

dengan :

ΔX_0: ketidakpastian pengukuran pajanan radiasi gamma (%)

σ_{Xi} : ketidakpastian pengukuran dengan surveimeter (%)

σ_{Fk} : ketidakpastian dari kalibrasi alat (%)

Dari hasil pengukuran paparan radiasi gamma, maka ditentukan besarnya laju dosis serap ke seluruh tubuh manusia menggunakan persamaan sebagai berikut [3,4] :

$$D_0 = X_0 \cdot f \quad (Gy/h) \text{ ..... (3)}$$

dengan :

D_0 : laju dosis serap (mGy/h)

X_0 : laju paparan radiasi gamma sebenarnya (mR/h)

f : faktor konversi dari pajanan ke dosis serap (0,877 R/Gy)

Setelah laju dosis serap diketahui maka besarnya nilai dosis ekivalen tahunan yang diterima penduduk dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [3,4] :

$$H_T = D_0 \cdot W_r \cdot N \cdot T \quad (\mu Sv) \text{ ..... (4)}$$

dengan :

H_T : dosis ekivalen tahunan total seluruh tubuh (mSv)

D_0 : laju dosis serap (mGy/h)

W_r : faktor kualitas radiasi (untuk radiasi gamma W_r=1)

N : faktor modifikasi (N=1)

T : jumlah jam dalam satu tahun (365,25 hari x 24 hari/jam = 8.766 jam)

Untuk menganalisis radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam sampel tanah biasanya digunakan sistem spektrometer gamma dengan detektor HPGe (germanium kemurnian tinggi). Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat maka diperlukan prosedur yang baku, lingkungan yang terkendali, peralatan yang stabil dan terkalibrasi, serta didukung oleh sumbar daya manusia yang terampil. Kalibrasi efisiensi spektrometer gamma dilakukan dengan membandingkan respon sistem terhadap sumber standar yang telah diketahui aktivitasnya. Untuk melakukan kalibrasi efisiensi digunakan persamaan berikut [5-8] :

$$\varepsilon_\gamma = \frac{(N_S / t_S - N_{BG} / t_{BG})}{A_t \cdot p_\gamma} \text{ ..... (5)}$$

dengan :

ε_γ : efisiensi pencacahan (%)

N_s : cacah standar (cacah)

N_{BG} : cacah latar (cacah)

t_s : waktu cacah standar (detik)

t_{BG} : waktu cacah latar (detik)

A_t : aktivitas sumber standar pada saat pencacahan (Bq)

p_γ : kelimpahan energi gamma (%)

Sampel padatan yang dianalisis mempunyai kerapatan yang berbeda dengan kerapatan sumber yang digunakan, oleh sebab itu untuk kerapatan sampel yang lebih besar dari kerapatan sumber standar perlu ada koreksi faktor serapan diri. Untuk menentukan koreksi faktor serapan diri digunakan persamaan sebagai berikut [7] :

$$F_k = \frac{\mu t}{1 - e^{\mu t}} \quad \text{..... (6)}$$

$$\mu = \mu_m \rho \quad \text{..... (7)}$$

$$\mu_m = 1{,}287 E_\gamma^{-0{,}435} \quad \text{..... (8)}$$

dengan:

F_k : faktor koreksi serapan diri

μ : koefisien serapan linier (cm^{-1})

t : tebal sampel (cm)

μ_m : koefisien serapan massa pada energi gamma (cm^2/g)

ρ : kerapatan sampel (g/cm^3)

E_γ : energi gamma (keV)

Radionuklida ^{40}K ditentukan secara langsung pada puncak energi 1460,83 keV dengan p_γ = 0,1067 ± 0,0006. Radionuklida ^{226}Ra ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu ^{214}Bi pada puncak energi 609,32 keV dengan p_γ = 0,446 ± 0,005 atau ^{212}Pb pada puncak energi 351,92 keV dengan p_γ = 0,351 ± 0,004. Radionuklida ^{232}Th ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu ^{228}Ac pada puncak energi 911,16 keV dengan p_γ = 0,266 ± 0,007. Sedangkan radionuklida ^{228}Th ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu ^{212}Pb pada puncak energi 238,63 keV dengan p_γ = 0,435 ± 0,004 atau ^{208}Tl pada puncak energi 583,19 keV dan 2614,53 keV dengan p_γ = 0,3058 ± 0,0022 dan 0,3588 ± 0,0006. Untuk menghitung konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam sampel tanah (C_S) digunakan persamaan berikut [7] :

$$C_S = C_{avg} \pm U_T \quad \text{..... (9)}$$

dengan :

C_S : konsentrasi zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)

C_{avg} : konsentrasi rata-rata zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)

U_T : ketidakpastian pengukuran (Bq/kg)

$$C_{avg} = \frac{N_S - N_B}{\varepsilon \cdot p \cdot W} \quad \text{..... (10)}$$

dengan :

N_S : laju cacah sampel (cps)

N_B : laju cacah latar (cps)

ε : efisiensi pada energi gamma (%)

P : *yield* dari energi gamma (%)

W : berat sampel (kg)

$$U_T = C_{avg} x \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{N_s}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_p}{P}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_w}{W}\right)^2} \quad \text{.....(11)}$$

dengan :

σ_n : ketidakpastian pencacahan sampel yang telah dikoreksi latar

σ_ε : ketidakpastian efisiensi pada energi gamma

σ_p : ketidakpastian *yield* (kelimpahan)

σ_w : ketidakpastian berat sampel

Kemampuan suatu alat spektrometer gamma untuk melakukan pengukuran berbeda-beda tergantung pada spesifikasi dan kinerja alat tersebut. Besarnya konsentrasi minimum yang dapat dideteksi (MDC, *Minimum Detectable Concentration*) untuk suatu sistem spektrometer gamma dipengaruhi oleh efisiensi pencacahan, cacah latar dan berat sampel. Untuk menghitung MDC dengan tingkat kepercayaan 95% ditentukan dengan persamaan berikut [7] :

$$MDC = 4{,}66 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_B}{t_B^2}}}{\varepsilon \cdot P \cdot F_k \cdot W} \quad \text{.....} \quad (8)$$

dengan:

MDC : konsentrasi minimum terdeteksi (Bq/kg)

N_B : laju cacah latar (cps)

t_B : waktu cacah latar (detik)

ε : efisiensi pencacahan (%)

p : kelimpahan energi gamma (%)

F_k : faktor koreksi serapan diri

W : berat sampel (kg)

III. TATA KERJA

Lokasi Sampling

Daerah penelitan dibagi-bagi dalam grid yang berukuran 5 km × 5 km yang mengacu pada *systematic random sampling* yaitu pada setiap grid diusahakan untuk dilakukan sampling [9]. Lokasi penelitian ditandai dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) model 60CSx buatan Garmin (Gambar 1), untuk menunjukkan posisi garis lintang dan garis bujur pada peta geografi [10]. Pengambilan sampel tanah di Pulau Karimun sebanyak 8 lokasi dengan titik lokasi sampling disajikan pada Gambar 2.

Gambar 1. GPS (*Global Positioning System*) buatan Garmin Model GPS 60CSx [10].

Gambar 2. Peta pulau Karimun dengan grid 5 km x 5 km.

Peralatan dan Sumber Standar

Peralatan utama untuk mengukur konsentrasi radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam tanah adalah spektrometer gamma dengan detektor HPGe buatan Ortec model GEM-25185 dengan efisiensi relatif 27%. Sistem tersebut terdiri dari detektor HPGe, *pre-amplifier* model 257P, *amplifier* model 679, sumber tegangan tinggi model 659, penganalisis salur ganda (MCA) 916, dan dioperasikan dengan perangkat lunak *Maestro for Windows* buatan Ortec, serta dilengkapi dengan sistem *shielding* Pb tebal 10 cm dan Cu tebal 1 cm sebagai ruang sampel.

Spektrometer gamma dikalibrasi dengan sumber standar campuran yang terdiri dari radionuklida ^{60}Co, ^{133}Ba, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{210}Pb, dan ^{241}Am yang tertelusur ke IAEA kode GM-014MR dan sumber standar ^{60}Co dan ^{137}Cs buatan Amersham kode EW-679. Peralatan lain adalah neraca analitis buatan Shimadzu dengan kemampuan sampai 4200 gram dan tabung Marinelli yang dirancang khusus untuk pengukuran sampel lingkungan dengan aktivitas rendah.

Perlatan untuk mengukur laju dosis radiasi gamma lingkungan adalah *Exploranium Radiation Detection System* Model GR-130-mini SPEC (*Portable Gamma Ray Spectrometer)* dengan detektor NaI (Tl) yang dapat dilihat pada Gambar 1. Alat ukur ini dilengkapi dengan beberapa alat elektronik pendukung, yaitu tegangan tinggi (HV), ratemeter, penyekala otomatis dengan *preset time*, daya dari baterei, layar peraga LCD, serta sebuah *joystick* yang berfungsi untuk mengoperasikannya[11]. Alat ukur tersebut dapat diatur (*setting*) setiap satu detik selama 2 sampai 3 jam.

Bahan

Bahan berupa sampel tanah yang dikumpulkan dari 8 lokasi di Pulau Karimun. Sampel dicuplik dari masing-masing lokasi pada kedalaman 0-5 cm kode A dan 5-20 cm kode B. Variasi kedalaman sampling ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *leaching* dari air hujan. Sampel tanah dimasukkan ke dalam wadah platik kemudian dikirim ke laboratorium keselamatan lingkungan PTKMR-BATAN melalui jasa pos. Di laboratorium, sampel dilakukan preparasi sebelum diukur. Untuk mengukur cacah latar sebagai faktor koreksi hasil pengukuran digunakan *Aquadest* yang ditempatkan dalam *Marinelli*. Bahan lain adalah lem araldhit yang digunakan untuk mengisolasi sampel supaya terjadi kesetimbangan radioaktif antara radium dan thorium dengan anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma.

Preparasi Sampel dan Pengukuran Konsentrasi Radioaktif

Sampel tanah dipreparasi di laboratorium dengan cara dipanaskan pada suhu 105ºC selama 24 jam atau lebih supaya kering, kemudian diayak dengan ayakan 100 *mesh* ASTM. Sampel sebanyak 1 liter volume ditempatkan dalam *Marinelli*, kemudian ditimbang, diberi nomor kode, dilem dan

didiamkan selama 4 minggu atau lebih sampai terjadi kesetimbangan radioaktif antara radium dan thorium dengan anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma. Konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam sampel tanah dari Pulau Karimun diukur dengan menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe yang telah dikalibrasi energi dan efisiensinya dengan sumber standar.

Penentuan Laju Dosis

Penentuan laju dosis dilakukan dengan mengukur paparan radiasi gamma pada lokasi yang telah ditentukan posisi geografisnya menggunakan *Global Positioning System.* Survei meter yang digunakan adalah Exploranium GR-130 *portable* yang sangat praktis untuk dibawa ke lapangan karena mempunyai ukuran yang cukup kecil, yaitu panjang 235 mm, lebar 110 mm, dan tinggi 170 mm (termasuk pegangan) serta mempunyai berat 1,9 kg tanpa baterai atau 2,4 kg dengan 2 buah baterai. Satuan yang digunakan oleh alat ukur tersebut nSv/jam.

Alat tersebut dapat dioperasikan dalam 3 mode, yaitu : *mode survey, mode dosimeter dan mode analysis*. Pada mode survei alat berfungsi sebagai survei meter, hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk laju cacah dalam satuan cacah/detik (cps). Pada mode dosimeter, hasil pengukuran dapat ditampilkan dalam bentuk laju dosis maupun dosis akumulatif. Apabila dioperasikan dalam mode analisis alat berfungsi sebagai analisis jenis radionuklida yang dapat membedakan jenis radionuklida yang tercacah berdasarkan energinya, dengan resolusi sekitar 46 keV pada energi 662 keV (^{137}Cs).

Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah di Pulau Karimun sebanyak 8 lokasi. Posisi pengambilan sampel tanah berdasarkan pada grid yang berukuran 5 km x 5 km. Sistem sampling ini mengacu pada *systematic random sampling* berdasarkan TECDOC-1415 yang dikeluarkan oleh IAEA tahun 2004 yaitu pada setiap kotak grid diusahakan untuk dilakukan sampling tanah [9]. Grid yang telah dibuat pada Gambar 2 kemudian telusuri dengan menggunakan GPS. Pada lokasi penelitian ini tidak seluruh grid dapat dilakukan sampling karena keterbatasan akses jalan untuk mencapai lokasi yang diinginkan. Pada kondisi ini didekati dengan mengambil sampel tanah sampai semaksimal mungkin mendekati posisi grid yang dapat dijangkau akses jalan.

Gambar 2. Pegukuran laju dosis menggunakan Exploranium GR-130.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran paparaan radiasi gamma kemudian ditentukan laju dosis untuk seluruh tubuh. Nilai laju dosis terendah ada di lokasi Desa Pongkar Kec. Tebing dengan laju dosis (142,74 ± 28,82) nSv/jam sedangkan tertinggi di lokasi Dekat Bandara Sei Bati di Kec. Tebing dengan laju dosis (238,56 ± 43,99) nSv/jam. Hasil pengukuran laju dosis di Karimun ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran laju dosis di Pulau Ambon dengan laju dosis tertinggi sebesar (102,84 ± 21,29) nSv/jam[12], Riau-Sumatera (44,09±19,96 nSv/jam[13], Jambi-Sumatera (26,78 ± 3,87 nSv/jam)[13], DKI Jakarta (49,89±1,40 nSv/jam)[14], namun masih lebih rendah dibandingkan di Tual dengan laju dosis tertinggi sebesar (420,55 ± 58,30) nSv/jam [15].

Tingginya nilai laju dosis di Pulau Karimun kemungkinan besar dipengaruhi oleh faktor geologi dan adanya bekas penambangan timah. Kegiatan yang melakukan pengolahan hasil bumi akan berpotensi meningkatkan tingkat radioaktivitas lingkungan [16]. Bekas tambang timah akan meninggalkan sisa hasil tambang berupa pasir tailing, pasir ini yang mempunyai konsentrasi radionuklida deret thorium yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain yang tidak terdapat tambang timah. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di Pulau Karimun secara lengkap disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, kemudian dibuat peta laju dosis radiasi gamma untuk wilayah Pulau Karimun yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Data lokasi pengambilan sampel tanah dan pengukuran laju dosis di Pulau Karimun

Kode	Posisi GPS		Lokasi	Laju dosis (nSv / jam)
	Bujur Timur	Lintang Utara		
Karimun-1	103,37278	1,12520	Ds. Pongkar, Kec. Tebing, Kab. Karimun	142,74 ± 28,82
Karimun-2	103,43933	1,00020	Ds. Lubuk Semut, Kec. Tanjung Balai, Kab. Karimun	179,80 ± 36.94
Karimun-3	103,38825	1,05221	Bandara Sei Bati, Kec. Tebing, Kab. Karimun	238,56 ± 43,99
Karimun-4	103,37289	1,09937	Ds. Air terjun, Kec .Pongkar, Kab. Karimun	193,85 ± 72,50
Karimun-5	103,32235	1,08212	Ds. Teluk Paku, Kec .Meral, Kab. Karimun	218,64 ± 4,578
Karimun-6	103,35564	1,04013	Kp. Banjar, Kec. Meral, Kab. Karimun	201,82 ± 42,56
Karimun-7	103,31319	1,04898	Pantai Belawan, Kec, Meral, Kab. Karimun	159,52 ± 26,22
Karimun-8	103,39537	1,01066	Ds. Pasar Baru Meral, Kec. Meral, Kab. Karimun	235,37 ± 54,89

Gambar 3. Peta laju dosis radiasi gamma Pulau Karimun

Hasil pengukuran konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam sampel tanah yang diambil dari beberapa lokasi di Pulau Karimun disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan data hasil pengukuran ini diperoleh hasil bahwa konsentrasi ^{40}K berkisar dari (19,46 ± 2,61) Bq/kg sampai dengan (871,00 ± 82,26) Bq/kg dengan konsentrasi tertinggi pada kode sampel Karimun-3A dari dekat Bandara Sei Bati Kec. Tebing. Konsentrasi ^{40}K relatif tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran dari tanah Bali tertinggi (369,24 ± 22,04) Bq/kg [17], Jawa Timur tertinggi (428,95 ± 26,27) Bq/kg [18], dan Tual tertinggi (33,32 ± 5,70) Bq/kg [14]. Konsentrasi ^{40}K tertinggi hanya di lokasi Karimun-3A maupun Karimun 3B, hal ini kemungkinan pada loaksi tersebut menggunakan material sisa tambang timah berupa pasir tailing untuk melakukan pengurugan tanah.

Tabel 2. Konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th dan ^{232}Th dalam sampel tanah dari Pulau Karimun.

Kode sampel	Konsentrasi radionuklida (Bq/kg)			
	K-40	Ra-226	Th-228	Th-232
Karimun-1A	105,21 ± 10,74	23,89 ± 2,51	25,65 ± 2,62	25,49 ± 2,78
Karimun-1B	101,56 ± 10,32	23,63 ± 2,52	24,88 ± 2,58	24,31 ± 2,62
Karimun-2A	19,46 ± 2,61	124,12 ± 12,02	167,88 ± 16,05	181,97 ± 17,50
Karimun-2B	22,72 ± 2,66	139,45 ± 13,30	203,36 ± 19,16	221,71 ± 21,71
Karimun-3A	871,00 ± 82,26	89,67 ± 7,38	319,64 ± 30,20	301,80 ± 28,45
Karimun-3B	776,40 ± 80,24	90,50 ± 7,36	217,20 ± 25,45	216,25 ± 25,42
Karimun-4A	96,76 ± 9,77	77,97 ± 7,60	89,32 ± 8,61	98,56 ± 9,57
Karimun-4B	91,83 ± 9,18	61,93 ± 6,04	80,78 ± 7,72	83,86 ± 8,13
Karimun-5A	33,07 ± 2,45	49,25 ± 3,30	261,54 ± 15,49	266,95 ± 11,88
Karimun-5B	44,96 ± 3,59	68,41 ± 6,64	312,69 ± 29,56	351,72 ± 33,14
Karimun-6A	249,17 ± 24,86	82,84 ± 8,06	228,53 ± 21,86	224,93 ± 21,33
Karimun-6B	243,43 ± 23,84	86,10 ± 8,56	233,69 ± 26,45	217,80 ± 29,47
Karimun-7A	42,07 ± 4,61	29,47 ± 2,99	67,79 ± 6,69	62,34 ± 6,03
Karimun-7B	41,15 ± 4,50	46,16 ± 3,05	68,80 ± 6,55	64,45 ± 6,15
Karimun-8A	29,78 ± 3,79	91,38 ± 5,67	404,01 ± 10,50	401,80 ± 27,36
Karimun-8B	30,47 ± 3,62	97,49 ± 7,54	355,29 ± 33,75	351,76 ± 33,23

Cacatan :
- MDC dengan tingkat kepercayaan 95% untuk ^{40}K adalah 2,70 Bq/kg
- MDC dengan tingkat kepercayaan 95% untuk ^{226}Ra adalah 0,32 Bq/kg
- MDC dengan tingkat kepercayaan 95% untuk ^{228}Th adalah 0,44 Bq/kg
- MDC dengan tingkat kepercayaan 95% untuk ^{232}Th adalah 0,50 Bq/kg

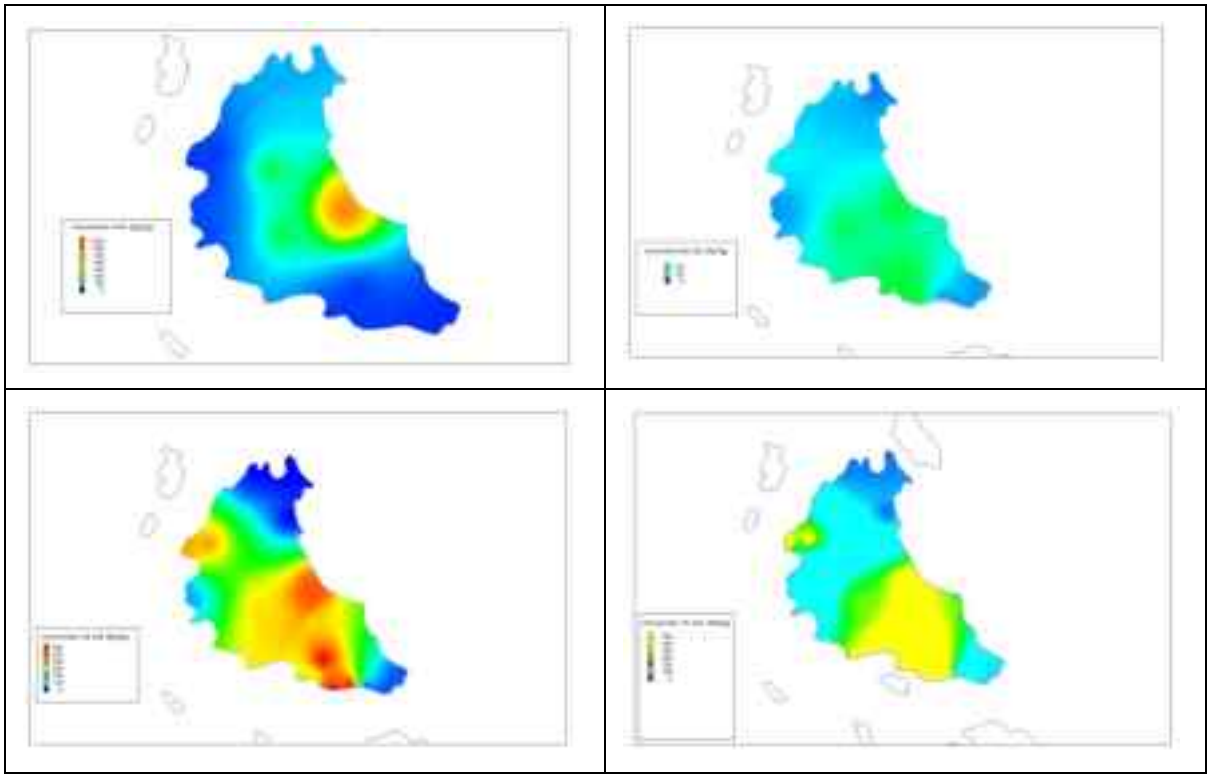
Konsentrasi ^{226}Ra berkisar dari (23,63 ± 2,52) Bq/kg sampai dengan (139,45 ± 13,30) Bq/kg yang secara lengkap disajikan pada Tabel 2. Dari 8 lokasi yang diambil diperoleh hasil bahwa konsentrasi ^{226}Ra di atas nilai tertinggi dari Bali (23,98±2,12) Bq/kg [17], dan Jawa Timur (48,91±3,15) Bq/kg, namun masih di bawah data dari Tual (3171±190) Bq/kg [15]. Faktor yang mempengaruhi tingkat konsentrasi radionuklida alam seperti ^{226}Ra adalah faktor geologi. Faktor geologi pulau Karimun pada umumnya merupakan formasi granit Karimun dengan penyusun utama adalah *intrusive* dan *felsic* yang kemungkinan sebagai penyumbang tingkat radioaktivitas ^{226}Ra di tanah. Seperti data radioaktivitas di Tual tanahnya merupakan endapan *aluvium* yang mempunyai konsentrasi ^{226}Ra cukup tinggi. Berdasarkan dari data penelitian ini diperoleh hasil bahwa di beberapa lokasi nilainya di atas nilai rata-rata daerah normal sehingga perlu ada pengkajian keselamatan masyarakat dan lingkungan yang diakibatkan oleh tingginya konsentrasi ^{226}Ra di tanah terutama lepasan gas radon.

Data hasil pengukuran konsentrasi ^{228}Th dan ^{232}Th dalam sampel tanah diperoleh hasil bahwa konsentrasi ^{228}Ra berkisar dari (24,88 ± 2,58) Bq/kg sampai dengan (404,01 ± 10,50) Bq/kg dengan konsentrasi tertinggi pada sampel kode Karimun 8A sampel tanah dari Desa Pasar Baru Meral, Kec. Meral Kab. Karimun dan konsentrasi ^{228}Th berkisar dari (24,31 ± 2,62) Bq/kg sampai dengan (401,80 ± 27,36) Bq/kg dengan konsentrasi tertinggi pada kode sampel kode Karimun 8A sampel tanah dari Desa Pasar Baru Meral, Kec. Meral Kab. Karimun. Konsentrasi ^{228}Th dan ^{232}Th di tanah dari lokasi Karimun-3, Karimun-5, Karimun-6 dan Karimun-8 mempunyai nilai yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran tanah dari pulau Bali[17] dan Jawa Timur[18].

Data pemantauan sumber daya mineral di Pulau Karimun yang telah dilakaukan peneliti terdahulu menyebutkan bahwa di Pulau Karimun telah dilakukan penambangan granit sejak tahun 1972 dan sejak tahun 1975 telah dilakukan penambangan timah[19]. Kegiatan penambangan granit masih beroperasi sampai sekarang sedangkan tambang timah sudah tidak beroperasi lagi namun dapat dilihat dari bekas penambangan timah berupa kolam air bekas galian tambang yang disebut kolong.

Walaupun konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th masih di bawah nilai yang direkomendasikan oleh BAPETEN untuk lingkungan yaitu 1000 Bq/kg [20], namun karena beberapa lokasi konsentrasi ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th cukup tinggi dibandingkan dengan daerah lain seperti wilayah Jawa Timur dan Bali sehingga perlu ada pengkajian keselamatan masyarakat dan lingkungan yang diakibatkan oleh lepasan konsentrasi gas radon dan thoron dari tanah.

Berdasarkan Tabel 2, kemudian dibuat peta tingkat radioaktivitas ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam sampel tanah dari Pulau Karimun yang dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai bagian dari peta tingkat radioaktivitas lingkungan Indonesia.



Gambar 3. Peta tingkat radioaktivitas ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th dalam sampel tanah dari Pulau Karimun

V. KESIMPULAN

Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di karimun Provinsi kepulaan Riau bervariasi dari (142,74 ± 28,82) nSv/jam sampai dengan (420,55 ± 58,30) nSv/jam. Sedangkan hasil analisis sampel tanah memperlihatkan konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th berturut-turut berkisar antara (19,46 ± 2,61) Bq/kg sampai dengan (871,00 ± 82,26) Bq/kg, (23,63 ± 2,52) Bq/kg sampai dengan (139,45 ± 13,30) Bq/kg, (24,88 ± 2,58) Bq/kg sampai dengan (404,01 ± 10,50) Bq/kg dan (24,31 ± 2,62) Bq/kg sampai dengan (401,80 ± 27,36) Bq/kg. Konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th dan ^{232}Th di tanah dari Pulau Karimun relatif lebih tinggi dibandingkan daerah lain yaitu wilayah Jawa Timur dan Bali sehingga perlu ada pengkajian keselamatan masyarakat dan lingkungan yang diakibatkan oleh lepasan gas radon dan thoron. Data laju dosis dan konsentrasi radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th, dan ^{232}Th ini dapat digunakan sebagai data dasar untuk Pulau Karimun dalam rangka pemetaaan radioaktivitas lingkungan Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN yang telah membiayai kegiatan ini dalam DIPA tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

1. PEMERINTAH KABUPATEN KARIMUN, Data Geografis Kabupaten Karimun, Potensi dan Investasi Industri Kabupaten Karimun, http://www.kab-karimun.go.id/kategori.php?kategori=216 (download 6 Juni 2012).
2. PUSAT PENELITIAN PENGEMBANGAN GEOLOGI, Peta Digital : Peta Geologi Pulau Sumatera, PPPG, Bandung, 1995.
3. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, BAPETEN, Jakarta, 1999.
4. AKHADI, M., Dasar-Dasar Proteksi Radiasi, Rineka Cipta, Cetakan Pertama, Jakarta, 2000.
5. DEBERTIN K., and HELMER, R.G., Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, North Holland, 1988.
6. SUSETYO, W., Spektrometer Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Netron, Gajah Mada Universiy Press, Yogyakarta, 1988.
7. BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan, BATAN, Jakarta, 1998.
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - A Guidebook, Tech. Rep. Ser. No.295, IAEA, Vienna, 1989.
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Soil sampling for environmantal contaminations, IAEA-TECDOC-1415, IAEA, Vienna, October 2004.
10. GARMIN, GPS III Plus Owner's Manual & Reference, Garmin Corporation, Taiwan January, 2001.
11. EXPLORANIUM, GR-130 miniSPEC User Manual, Exploranium, February 9, 2001.
12. KUSDIANA, WAHYUDI, dan SYARBAINI, Pemetaan radiasi gamma di wilayah Pulau Ambon, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir V, PTKMR-BATAN Jakarta, 14 Desember 2010, hal. 116-122.
13. MAKSUN, KUSDIANA, dan SYARBAINI, Pemantauan laju dosis radiasi gamma di beberapa Propinsi di Pulau Sumatera, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan II, DRN Puspiptek Serpong,19 Desember 2006, PTKMR-BATAN, Jakarta, 2006, hal. 198-208.
14. SUHARYONO, G., BUCHARI, R., dan ISKANDAR, D., Laju dosis radiasi gamma lingkungan di Pulau Jawa, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Buku III, Yogyakarta 10 Juli 2007, PTAPB-BATAN, Yogyakarta, 2007.
15. WAHYUDI, SYARBAINI dan KUSDIANA, Laju dosis dan tingkat radioaktivitas ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Ra, dan ^{228}Th dalam sampel tanah di Pulau Kei Dulah dan Kei Kecil – Tual, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VII, PTKMR –BATAN Jakarta 6-7 Juli 2011, hal. 207-217.
16. WAHYUDI dan KUSDIANA, Distribusi konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Ra, dan ^{228}Th dalam sampel tanah dari Pulau Bali, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir V, Jakarta 14 Desember 2010, PTKMR-BATAN, Jakarta, 2011, hal. 9-17.
17. WAHYUDI, SYARBAINI, dan KUSDIANA, Konsentrasi radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Ra, dan ^{228}Th dalam sampel tanah dari Wilayah Jawa Timur, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir VI, PTKMR-BATAN Jakarta, 11 Oktober 2011, hal. 99-108.
18. SUTARMAN, Peningkatan radiasi alam akibat pemanfaatan sumber daya alam yang berasal dari dalam bumi, Buletin

ALARA Vol.5 No.2&3 April 2004, P3KRBiN-BATAN, Jakarta, hal. 79-88.

19. DJUNAEDI, E.K., UTOYO, dan SUTRISNO, Pemantauan dan evaluasi konservasi sumber daya mineral di daerah Kabupaten Karimun - Provinsi Riau, Kolokium Hasil lapangan, DIM, 2005, 49-1-10.

20. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Perka No.9 tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*, Jakarta, 2009.

TANYA JAWAB :

1. **Penanya : Nunung Isnaini**
   Pertanyaan :
   - Apakah metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat pula diaplikasikan pada objek yang berbeda misalnya pada batuan?.

   Jawaban :
   - Dapat.

2. **Penanya : Astri Syativa**
   Pertanyaan :
   - Agak sulit membaca hasil karena tidak disebutkan standar baku mutu laju dosis dan tingkat radioaktivitas. Bagaimana kesimpulan terhadap masyarakat ?
   - Apakah masih aman untuk tinggal di daerah tersebut?

   Jawaban :
   - Penelitian ini mencari data dasar di daerah tersebut sehingga tidak mencari daerah tersebut aman atau tidak aman.
   - Dengan data tersebut masyarakat masih aman untuk tinggal.

3. **Penanya : Sofiati Purnami**
   Pertanyaan :
   - Pengambilan sampel tanah dilakukan pada kedalaman 5cm, apakah ada bedanya bila dilakukan dipermukaan tanah atau pada kedalaman 50cm?

   Jawaban :
   - Tanah 5cm adalah sampel untuk *fresh fall out*, sedangkan 5-20 cm adalah tanah asli, Hasil sedikit berbeda.

4. **Penanya : Ekaningtyas**
   Pertanyaan :
   - Dampak laju dosis dari unsur-unsur radionuklida di tanah yang ada di Karimun dalam jangka panjang apa?

   Jawaban :
   - Belum diketahui, perlu penelitian lebih lanjut.

STUDI LINDI U, Th DALAM PELEBURAN KONSENTRAT ZIRKON

Sajima, Sunardjo, dan Harry Supriadi

Pusat Tenologi Akselerator dan Proses Bahan ? BATAN
E-mail : jima.sajima@gmail.com

ABSTRAK

STUDI LINDI U, Th DALAM PELEBURAN KONSENTRAT ZIRKON. Telah dilakukan studi pelindian menggunakan air U, Th dalam leburan konsentrat zirkon. Pasir zirkon merupakan bahan hasil tambang yang mengandung uranium dan thorium yang terikat dalam mineralnya. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh waktu pelindian, kecepatan pengadukan dan ukuran butir terhadap silikat terambil serta radionuklida dalam filtrat. Leburan konsentrat zirkon dilindi menggukan air pada perbandingan 1 gram leburan dalam 30 ml aquades. Proses pelindian dilakukan di dalam *waterbath* pada suhu 45 ^{o}C. Hasil proses pelindian dipisahkan, padatan dikeringkan sehingga diperoleh natrium zirkonat sedangkan larutan hasil proses dianalisis kandungan silikatnya (SiO_2) menggunakan AAS. Aktivitas radionuklida diamati dengan Spektrometri gamma. Hasil penelitian menunjukkan bahwa silikat dapat terambil sebanyak 84,50 %, sedangkan aktivitas radionuklida sebagai anak luruh uranium dan torium tertinggi dalam larutan natrium silikat sebagai berikut Pb-210 = 9,02 Bq/kg; Ra-226 = 3,4 Bq/kg; Th-232 = 0,76 Bq/kg; Th-228 = 0,67 Bq/kg; U-238 = 3,4 Bq/kg ; K-40 =7,4. Bq/kg. Hasil ini masih jauh lebih rendah dari ketentuan yang telah ditetapkan BAPETEN (1 Bq/g atau 1000 Bq/kg).

Kata kunci : pelindian, natrium zirkonat, natrium silikat.

ABSTRACT

LEACHATE STUDY OF U, Th IN MELTING ZIRCON CONCENTRATES*. The leaching U, Th on by water Zircon sand mining is a material containing uranium and thorium in the melt zircon concentrates has been done. Zircon sand mining is a material containing uranium and thorium in the mineral-bound. In this research studied the influence of leaching time, stirring speed and the size of grains of silicate and TENORM are being picked up in the filtrate. Fused zircon concentrates leached by water at a ratio of 1 gram in 30 ml aquades. Leaching process carried out in the waterbath at 45 ^{o}C. The results of leaching processes were separated, the solid was dried to obtain sodium zirconate while the silicates content (SiO_2) using AAS. The radionuclide activity was observed with gamma spectrometry. The results indicate that the silicates can be carried as much as 84.50%, whereas the activity of radionuclides as uranium and thorium whole child high in sodium silicate solution as follows Pb-210 = 9.02 Bq / kg; Ra-226 = 3.4 Bq / kg ; Th-232 = 0.76 Bq / kg; Th-228 = 0.67 Bq / kg; U-238 = 3.4 Bq / kg; K-40 = 7.4. Bq / kg. These results are still far lower than the conditions by BAPETEN (1 Bq/g or 1000 Bq/kg).*

Key words : leaching, sodium zirconate, sodium silicate

I. PENDAHULUAN

Perkembangan bahan-bahan maju berbasis zirconia (ZrO_2) maupun produk derivatnya mengalami peningkatan sehingga pemrosesan bahan ini memiliki prospek yang sangat besar. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB-BATAN) selaku institusi yang mempunyai tugas dan fungsi melakukan penelitian, pengembangan dan pemanfaatan teknologi nuklir mempunyai rencana untuk mempercepat dan merealisasi pendayagunaan Sumber Daya Alam (SDA) khususnya zirkonium beserta turunannya.

Natrium zirkonat merupakan produk antara pada pengolahan pasir zirkon (mineral zirkon) secara kimia menggunakan metode proses basah. Bahan baku (mineral zirkon) merupakan mineral ikutan dari bijih timah atau emas dan sebagai bahan tambang yang masuk klasifikasi bahan galian golongan B karena zirkon merupakan salah bahan galian yang vital [1]. Pada umumnya bahan tersebut ditemukan di alam dengan mutu atau kadar zirkon yang rendah dan belum siap dimanfaatkan. Oleh sebab itu perlu ditingkatkan mutu dan kadarnya sampai memenuhi kriteria.

.

Keuntungan yang diperoleh dari proses peningkatan kadar tersebut antara lain:

a. Mengurangi ongkos angkut.
b. Mengurangi beban tahapan proses lanjutan.
c. Mengurangi kehilangan (*losses)* bahan berharga pada saat pengolahan lanjutan.

Pengolahan pasir zirkon secara kimia diawali dengan peleburan konsentrat zirkon. Reaksi yang terjadi pada proses peleburan diduga [3].

$$ZrSiO_4 + 4NaOH \longrightarrow Na_2ZrO_3 + Na_2SiO_3 + 2H_2O \nearrow \quad \text{..... (1)}$$

Tabel 1. Kandungan mineral utama timah dan ikutannya [2]

No	Nama mineral	Rumus kimia	Massa Jenis g/cm^3	Kemagnetan	Kelistrikan
1	Zirkon	$ZrSiO_4$	4,6 - 4,7	Non magnetis	Non Konduktor
2	Kasiterit	SnO_2	6,8 ? 7,1	Non magnetis	Konduktor
3	Kwarsa	SiO_2	2,6 -2,7	Non magnetis	Non Konduktor
4	Pirit	FeS_2	4,8 ? 5,1	Non magnetis	Konduktor
5	Ilmenit	$FeTiO_2$	4,5 ? 5,0	Magnetis	Konduktor
6	Rutil	TiO_2	4,1 ? 4,3	Non magnetis	Konduktor
7	Hematit	Fe_2O_3	4,9 ? 5,3	Non magnetis	Konduktor
8	Monasit	$(Ce,La,Y,Th)PO_4$	4,9 ? 5,3	Magnetis	Non Konduktor
9	Xenotim	YPO_4	4,5 ? 4,6	Magnetis	Non Konduktor
10	Tourmalin	$Na(Mg,Fe)Al_6(BO_3)(Si_6)_{18}(OH)_{14}$	3,0 ? 3,2	Non magnetis	Non konduktor
11	Galena	PbS	7,5	Non magnetis	Konduktor
12	Topaz	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$	3,4-3,6		

Leburan berwarna putih kecoklatan bersifat *amorf* yang berisi natrium zirkonat (Na_2ZrO_3) dan natrium silikat (Na_2SiO_3). Natrium zirkonat (Na_2ZrO_3) bersifat tidak larut dalam air sedangkan natrium silikat (Na_2ZrO_3) mudah larut dalam air. Perbedaan kedua sifat tersebut menjadi dasar untuk proses pemurnian zirkonium dari pengotor silikat. Proses pemisahan ini dilakukan dengan pelindian menggunakan air.

Pelindian (*leaching*) adalah suatu cara pemisahan komponen dari suatu campuran padatan (*solid)* menggunakan pelarut (*solvent*) tertentu sehingga sebagian zat padat larut dan sebagian sebagai ampas (*inert*)[4]. Proses ini dapat dilakukan secara *batch*, *semi batch* dan sinambung. Reaksi umum proses pelindian adalah sebagai berikut:

$$A + B \longrightarrow C + D \qquad \text{..... (2)}$$

Dengan

A : padatan

B : pelarut

C : larutan

D : ampas

Pelindian dibagi menjadi 4 jenis :

1. *Stationary Solid Bed*, pelindian dilaksanakan dengan padatan diletakkan dengan posisi yang tidak bergerak, hanya pelarutnya saja yang mengalir melalui *solid bed*. Sementara komponen yang mudah larut akan terlarut oleh solven.
2. *Semi Continous Solid Bed*, dimana padatan diletakkan dalam beberapa bak bertingkat, sementara solvent dialirkan berurutan kedalam bak bak tersebut.
3. *Moving Solid Bed*, dimana padatan yang akan dilindi maupun pelarutnya barsama sama bergerak.
4. *Disperse Contact*, dimana padatan disemprotkan dan dilarutkan dalam solven.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pelindian adalah :

1. Luas muka, semakin luas permukaan bahan akan menyebabkan meningkatnya interaksi sehingga mempermudah perpindahan massa dan fasa padat dan cair.
2. Kecepatan alir, semakin besar kecepatan alir akan menaikkan frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi.
3. Waktu, semakin lama waktu reaksi, maka kesempatan tumbukan antar molekul reaktan semakin besar, sehingga hasil yang diperoleh maksimal.

Ada beberapar metode yang dapat digunakan untuk analisa silikat, diantaranya UV-vis, IR dan Spektroskopi Serapan Atom (AAS)[5] Metode Spektroskopi Serapan Atom memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan yang lain, diantaranya kecepatan analisanya. Prinsip dasar Spektroskopi Serapan Atom adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel..Teknik ini didasarkan pada emisi dan absorbansi dari uap Atom. Uap atom tersebut mengapsorbsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkandari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang

akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya. Setiap panjang gelombang memiliki energi yang spesifik untuk dapat tereksitasi ke tingkat yang lebih tingggi.

Recovery proses dihitung dengan persamaan :

$$R = \frac{Si(f)}{Si(u)} x\,100\% \qquad \text{..... (3)}$$

dengan :

R : recovery

Si(f) : banyaknya silikat dalam filtrat

Si(u) : banyaknya silikat dalam umpan

Produk utama pada proses pelindian menggunakan air adalah padatan natrium zirkonat (Na_2ZrO_3) dan filtrat yang berisi natrium silikat (Na_2SiO_3) sebagai hasil samping serta TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material).* Keberadaan TENORM dapat diketahui dengan cara mendeteksi kandungan anak luruh uranium (Ra-226, Pb-214, Pb-210, Bi-214), torium (Ac-228, Pb-212, Bi-212,Tl-208) dan K-40. Radium mempunyai sifat sangat mudah mengendap, sehingga dapat memicu terbentuknya TENORM.

Spektrometer gamma adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melakukan analisis zat radioaktif yang memancarkan radiasi gamma[6]. Setiap radionuklida mempunyai tenaga yang berbeda dan tertentu yang bersifat spesifik. Hal ini digunakan sebagai dasar dalam analisis secara kualitatif. Analisis secara kuantitatif dilakukan berdasarkan nilai cacahan dari spektrum yang dipancarkan. Sebelum digunakan dalam pengukuran, terlebih dahulu sistem spektrometer gamma dikalibrasi dengan sumber standar untuk menentukan hubungan antara nomor salur dan energi gamma. Validasi suatu sumber standar dilakukan dengan pengukuran menggunakan sampel standar material (*certificate reference material*, CRM)

Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 9 tahun 2009 tentang Intervensi terhadap paparan yang berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material* (TENORM) pasal 7 ayat 2 menegaskan bahwa radionuklida yang dilaporkan meliputi Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-228, Th-230, Th-234 dan atau Po-210. Radionuklida Po-210 hanya berlaku untuk penentuan konsentrasi aktivitas radionuklida anggota deret uranium dan torium pada kegiatan eksploitasi dan pengilangan gas bumi[6]. Apabila tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih besar dari 1 Bq/g untuk tiap radionukida anggota deret uranium dan thorium, atau 10 Bq/g untuk kalium akan ada intervensi[7].

Tujuan penelitian ini adalah penentuan U, Th dalam larutan natrium silikat hasil proses pelindian menggunakan air, hasil yang diharapkan untuk mengetahui tingkat aktivitas TENORM, sehingga para pekerja melakukan pekerjaan dengan hati-hati, atau mengikuti prosedur yang ada.

II. TATA KERJA

Bahan yang digunakan

Leburan zirkon hasil proses peleburan konsentrat zirkon sebagai umpan pelindian. Air bebas mineral buatan PTAPB-BATAN digunakan sebagai bahan pelarut dalam proses pelindian.

Alat yang digunakan

Reaktor pelindian yang terbuat dari bahan gelas. *Ball mill* digunakan sebagai alat penggerus bahan. *Screening* dengan berbagai ukuran digunakan untuk mengayak leburan zirkon, alat-alat gelas digunakan sebagai sarana proses dan preparasi. *Waterbath* yang dilengkapi dengan pengaduk digunakan untuk proses pelindian. seperangkat spektrometri gamma, Spektrometer Serapan Atom (SSA) digunakan untuk analisis kandungan silikat dalam larutan natrium silikat. Timbangan analitik digunakan untuk menimbang bahan.

Pembuatan umpan

Bahan baku (pasir zirkon) berasal dari daerah Tumbang Titi Kalimantan Barat. Pembuatan konsentrat zirkon diawali dengan pemisahan menggunakan meja goyang dilanjutkan dengan *high gradient magnetic separator* sehingga diperoleh konsentrat dengan kadar zirkon yang tinggi. Dasar pemisahan dilakukan dengan meja goyang adalah perbedaan massa jenis mineral zirkon (4,6 - 4,7 g/cc) dengan mineral lainnya, sedangkan pemisahan menggunakan *high gradient magnetic separator* adalah perbedaan sifat kemagnetan (mineral zirkon bersifat non magnetik). Peleburan konsentrat zirkon dengan pereaksi NaOH dan aditif Na_2CO_3, NaF, air pada suhu 750 ^oC selama 90 menit.

Pelindian menggunakan air

a. **Variasi Waktu**

Leburan zirkon dengan ukuran 240 µm (hasil proses peleburan) ditimbang seberat 70 gram. Diisi *water bath* menggunakan air sebanyak tiga per empat volum. Diisi reaktor pelindian dengan aquades sebanyak 2100 ml. Dihidupkan pemanas pada *water bath* dan mengatur suhu *thermostat* (pengatur suhu air dalam beker gelas) pada suhu 45 ^oC. Diaduk air dalam beker gelas dengan kecepatan putar 200 rpm. Jika suhu air yang berada dalam beker gelas sudah mencapai 45 ^oC, maka leburan segera dimasukkan ke dalam reaktor pelindian dan pengadukan dilanjutkan selama 90 menit. Apabila waktu pengadukan sudah tercapai, maka beker yang berisi hasil proses pelindian diambil dan didiamkan selama 12 jam untuk pengenapan (*settling*), Hasil proses pengenapan didekantir terus disaring. Larutan natrium silikat dikumpulkan pada suatu tempat untuk penanganan lanjutan (dianalisis radioaktifitasnya menggunakan spektrometer gamma dan kadar silikatnya menggunakan AAS), sedangkan padatan (natrium zirkonat) dikeringkan dalam oven pada suhu 105 ^oC selama lima jam. Percobaan diulangi dengan waktu

pelindian yang berbeda, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit.

b. Variasi Kecepatan Putar Pengaduk

Leburan zirkon dengan ukuran 240 µm (hasil proses peleburan) ditimbang seberat 70 gram. Diisi *water bath* menggunakan air sebanyak tiga per empat volum. Diisi reaktor pelindian dengan aquades sebanyak 2100 ml. Dihidupkan pemanas pada *water bath* dan mengatur suhu *thermostat* (pengatur suhu air dalam beker gelas) pada suhu 45 ^{o}C. Diaduk air dalam beker gelas dengan kecepatan putar 200 rpm. Jika suhu air yang berada dalam beker gelas sudah mencapai 45 ^{o}C, maka leburan segera dimasukkan ke dalam reaktor pelindian dan pengadukan dilanjutkan selama 90 menit. Apabila waktu pengadukan sudah tercapai, maka beker yang berisi hasil proses pelindian diambil dan didiamkan selama 12 jam untuk pengenapan (*settling*). Hasil proses pengenapan didekantir terus disaring. Larutan natrium silikat dikumpulkan pada suatu tempat untuk penanganan lanjutan (dianalisis radioaktifitasnya menggunakan spektrometer gamma dan kadar silikatnya menggunakan AAS), sedangkan padatan (natrium zirkonat) dikeringkan dalam oven pada suhu 105 ^{o}C selama lima jam. Percobaan diulangi dengan kecepatan putar pengaduk yang berbeda, 125, 150, 175, 225 dan 250 rpm.

c. Variasi ukuran butiran

Leburan zirkon dengan ukuran 240 µm (hasil proses peleburan) ditimbang seberat 70 gram. Diisi *water bath* menggunakan air sebanyak tiga per empat volum. Diisi reaktor pelindian dengan aquades sebanyak 2100 ml. Dihidupkan pemanas pada *water bath* dan mengatur suhu *termostat* (pengatur suhu air dalam beker gelas) pada suhu 45 ^{o}C. Diaduk air dalam beker gelas dengan kecepatan putar 200 rpm. Jika suhu air yang berada dalam beker gelas sudah mencapai 45 ^{o}C, maka leburan segera dimasukkan ke dalam reaktor pelindian dan pengadukan dilanjutkan selama 90 menit. Apabila waktu pengadukan sudah tercapai, maka beker yang berisi hasil proses pelindian diambil dan didiamkan selama 12 jam untuk pengenapan (*settling*). Hasil proses pengenapan didekantir terus disaring. Larutan natrium silikat dikumpulkan pada suatu tempat untuk penanganan lanjutan (dianalisis radioaktifitasnya menggunakan spectrometer gamma dan kadar silikatnya menggunakan AAS), sedangkan padatan (natrium zirkonat) dikeringkan dalam oven pada suhu 105 ^{o}C selama lima jam. Percobaan diulangi dengan ukuran butir yang berbeda, 90, 150, 240, 425 dan 510 µm

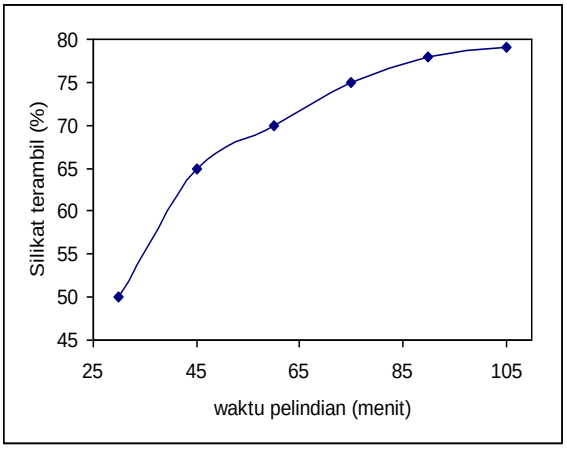
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pengaruh waktu pelindian terhadap silikat terambil dalam larutan hasil proses pelindian dan aktivitas radionuklida yang terkandung dalam larutan hasil proses pelindian disajikan pada Tabel 1 berikut.

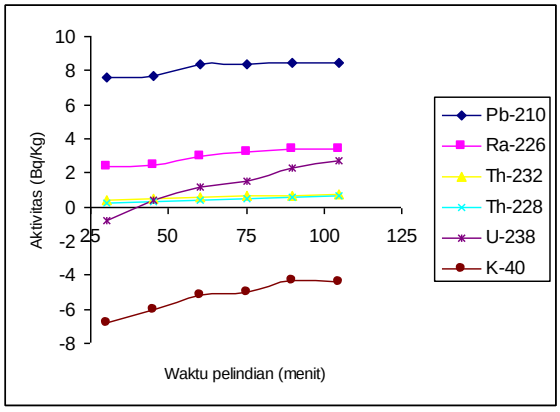
Tabel 1. Pengaruh waktu pengadukan pada putaran pengaduk 200 rpm dan ukuran butir 240 µm terhadap silikat terlarut dan aktivitas radionuklida dalam larutan hasil proses pelindian

Waktu (menit)	Silikat terambil (%)	Aktivitas radionuklida(Bq/kg)											
		Pb-210	Unct.	Ra-226	Unct.	Th-232	Unct.	Th-228	Unct.	U-238	Unct.	K-40	Unct.
30	50	7.64	4,64	2.34	0,64	0.41	-,41	0.21	0,12	-0.84	-14,74	-6.81	-1,11
45	65	7.69	4,81	2.45	0,70	0.5	0,2	0.32	0,14	0.4	-0,03	-6.01	-0,29
60	70	8.38	4,72	3	0,71	0.61	0,3	0.42	0,20	1.2	0,01	-5.21	-0,34
75	75	8.41	4,92	3.2	0,69	0.65	0,5	0.49	0,21	1.5	0,21	-5.02	-0,54
90	78	8.45	4,88	3.4	0,72	0.7	0,5	0.59	0,28	2.3	0,42	-4.30	-0,60
105	79	8.47	4,94	3.4	0,71	0.76	0,6	0.67	0,31	3.4	0,22	-4.40	-0,72

Pengaruh waktu lindi terhadap silikat terambil dan aktivitas larutan natrium silikat dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 1. Pengaruh waktu pelindian terhadap silikat terambil



Gambar 2. Pengaruh waktu pelindian terhadap aktivitas radionuklida dalam larutan natrium silikat

Gambar 1. Pengaruh waktu pelindian terhadap silikat terlarut dalam air menunjukkan, ketika waktu percobaan dinaikkan dari 30 menit hingga 90 menit berakibat silikat terlarut mengalami kenaikan secara signifikan, hal ini menunjukkan bahwa waktu pelindian semakin lama mengakibatkan jumlah silikat terlarut dalam air semakin banyak karena semakin lama

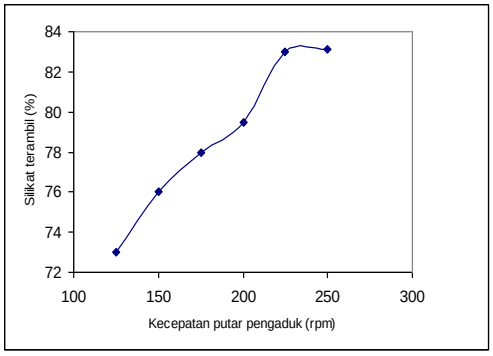
pelindian mengakibatkan waktu kontak semakin besar. Gambar 2. menunjukkan bahwa aktivitas radionuklida dari anak luruh uranium dan thorium dalam larutan sedikit mengalami kenaikkan (tertinggi Pb-210 sebesar 8,45 Bq/kg). Hal ini menunjukkan bahwa larutan hasil proses pelindian menggunakan air sedikit mengandung uranium dan thorium. Kandungan uranium dan thorium dalam larutan yang kecil menunjukkan bahwa TENORM yang muncul rendah dan masih di bawah ketentuan yang berlaku yaitu 1 Bq/g atau 1000 Bq/kg.

Hasil penelitian pengaruh kecepatan putaran pengaduk terhadap silikat terambil dalam larutan hasil proses pelindian dan aktivitas radionuklida yang terkandung dalam larutan hasil proses pelindian disajikan pada Tabel 2 berikut.

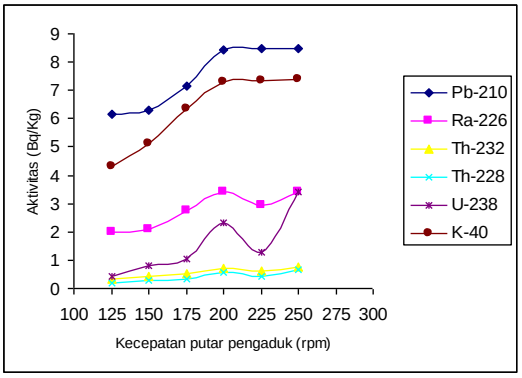
Pengaruh kecepatan putar pengaduk terhadap silikat terambil dan aktivitas larutan natrium silikat dapat digambarkan sebagai berikut.

Tabel 2 . Pengaruh kecepatan putaran pada ukuran butir 240 µm dan waktu pengadukan 90 menit terhadap silikat terlarut dan aktivitas radionuklida dalam larutan hasil proses pelindian

Putaran pengaduk (rpm)	Kadar SiO_2 (ppm)	Aktivitas radionuklida(Bq/kg)											
		Pb-210	Unct.	Ra-226	Unct.	Th-232	Unct.	Th-228	Unct.	U-238	Unct.	K-40	Unct.
125	8.000	6.14	2,45	1.98	0,20	0.32	0,12	0.17	0,01	0.45	0,11	4,32	0,50
150	10.800	6,29	3,21	2.07	0,82	0.43	0,1,9	0.28	0,06	0.82	0,13	5,12	0,98
175	11.400	7.13	5,63	2,75	1,13	0.51	0,17	0.32	0,09	1.02	0,17	6,34	0,14
200	12.000	8.45	6,20	3.4	1,49	0.7	0,21	0.59	0,09	2.3	0,23	7,30	0,15
225	12.050	8.50	6,61	2,95	1,72	0.63	0,34	0.45	0,13	1.29	0,22	7,35	0,20
250	12.100	8.47	6,75	3.4	2,01	0.76	0,41	0.67	0,24	3.4	0,28	7,40	2,19



Gambar 3. Pengaruh kecepatan putar pengaduk terhadap silikat terambil



Gambar 4. Pengaruh kecepatan putaran pengadukan terhadap aktivitas radionuklida dalam larutan natrium silikat.

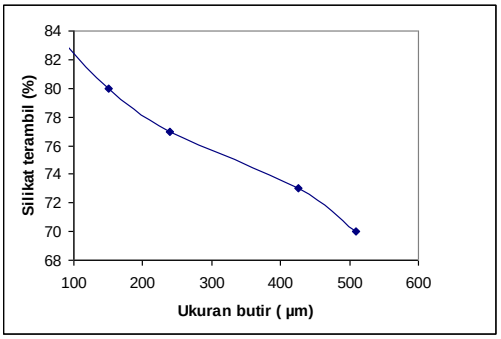
Gambar 3 menunjukkan, ketika kecepatan putaran pengaduk dinaikkan dari 125 rpm hingga 200 rpm berakibat silikat terlarut mengalami kenaikan secara signifikan, hal ini menunjukkan apabila kecepatan putaran pengaduk dinaikkan, mengakibatkan jumlah silikat terlarut dalam air semakin banyak karena semakin tinggi putaran pengaduk mengakibatkan frekuensi tumbukan antar partikel semakin banyak. Gambar 4. menunjukkan aktivitas radionuklida dari anak luruh uranium dan thorium dalam larutan sedikit mengalami kenaikkan (tertinggi Pb-210 sebesar 8,50 Bq/kg), hal ini membuktikan bahwa larutan hasil proses pelindian menggunakan air sedikit mengandung uranium dan thorium. Kandungan uranium dan thorium dalam larutan yang kecil menujukkan bahwa TENORM yang muncul rendah dan masih di bawah ketentuan yang berlaku yaitu 1 Bq/g atau 1000 Bq/kg.

Hasil penelitian pengaruh ukuran butiran terhadap silikat terambil dalam larutan hasil proses pelindian dan aktivitas radionuklida yang terkandung dalam larutan hasil proses pelindian disajikan pada Tabel 3 berikut.

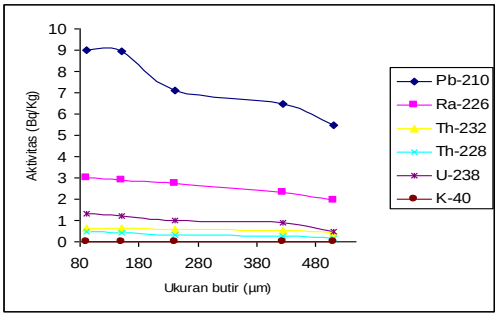
Pengaruh ukuran butiran terhadap silikat terambil dan aktivitas larutan natrium silikat dapat digambarkan sebagai berikut.

Tabel 3 . Pengaruh ukuran butiran pada putaran pengaduk 200 rpm dan lama pengadukan 90 menit terhadap silikat terlarut dan aktivitas radionuklida dalam larutan hasil proses pelindian.

Ukuran butiran (µm)	Kadar SiO_2 (ppm)	Aktivitas radionuklida (Bq/kg)											
		Pb-210	Unct.	Ra-226	Unct.	Th-232	Unct.	Th-228	Unct.	U-238	Unct.	K-40	Unct.
90	12.850	9.02	5,79	2.98	0,42	0.63	0,44	0.45	0,12	1,29	0,56	6,21	0,43
150	12.800	8,94	6,00	2.90	0,55	0.63	0,49	0.40	0,20	1,21	0,69	6,61	0,46
240	10.300	7.11	6,82	2,75	0,81	0.56	0,54	0.32	0,31	1.02	0,77	6,34	0,50
425	8.600	6.47	6,32	2.30	0,87	0.51	0,59	0.28	0,25	0.91	0,80	5,12	0,58
510	7.600	5.50	7,61	1,95	0,99	0.43	0,61	0.17	0,14	0,45	0,81	4,35	0,67



Gambar 5. Pengaruh ukuran butir terhadap silikat terambil



Gambar 6. Pengaruh ukuran butir terhadap aktivitas radionuklida dalam larutan natrium silikat

Gambar 5. menunjukkan, ketika proses pelindian dilakukan dengan ukuran butiran 90 µm dan dinaikkan hingga 510 µm berakibat silikat terlarut mengalami penurunan secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir (luas muka semakin kecil) mengakibatkan interaksi antar partikel menurun. Gambar 6. tampak bahwa aktivitas radionuklida dari anak luruh uranium dan thorium dalam larutan sedikit mengalami penurunan (Pb-210 sebesar 9,02 Bq/kg). Hal ini menunjukkan bahwa larutan natrium silikat mengandung sedikit uranium dan thorium. Kandungan uranium dan thorium dalam larutan yang kecil menujukkan bahwa TENORM yang muncul rendah dan masih di bawah ketentuan yang berlaku yaitu 1 Bq/g atau 1000 Bq/kg.

IV. KESIMPULAN

Larutan natrium silikat merupakan hasil samping dalam pengolahan pasir zirkon menjadi natrium zirkonat dengan proses pelindian menggunakan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengambilan silikat optimum pada waktu pelindian 90 menit, putaran pengadukan 200 rpm dan ukuran butiran serbuk leburan zirkon sebesar 150 µm. Pada kondisi operasi tersebut aktivitas radionuklida dalam larutan natrium silikat sebagai berikut Pb-210 = 8,94 Bq/kg; Ra-226 = 2,90 Bq/kg; Th-232 = 0,63 Bq/kg; Th-228 = 0,40 Bq/kg; U-238 = 1,21 ; K-40 = 6,61 Hasil ini di bawah ketentuan yang berlaku yaitu 1 Bq/g atau 1000 Bq/kg.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUDARTO, DYAH KALLISTA, DEDI HERMAWAN., Kajian Teknis Aspek Pengawasan Bahan Nuklir Dalam Pasir Zirkon., Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ? II, Universitas Lampung 17-18 November 2008.
2. FAHRIZAL ABUBAKAR., Pengelolaan Zirkon di PT Timah Tbk., Workshop Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Zirkon Bagi Pekerja, Masyarakat dan Lingkungan, Yogyakarta, 24 Juni 2009.
3. DWIRETNANI., Penentuan Kondisi Optimum pada Proses Peleburan Pasir Zirkon dengan cara Peleburan Memakai Soda Api., Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPBMI-BATAN Yogyakarta (28 ? 31 Maret 1983).
4. NURHAKIM., Dasar-Dasar Pengolahan Bahan Galian., Teknik Kimia diakses tanggal 3 April 2011.
5. S.M. KHOPKAR., Konsep Dasar Kimia (terjemahan), Bombay Analytical, Laboratory Departement of Chemistry India Institute of Technology Bombay, 1984.
6. WAHYUDI, DADONG ISKANDAR, DJOKO MARJANTO, Pengaruh Matriks Terhadap Pencacahan Sampel Menggunakan Spektrometer Gamma., JFN, Vol.1 No.2, November 2007.
7. Perka BAPETEN nomor 9 tahun 2009 tentang Intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Accurring Radioactive Material).*
8. MS. MOER YUSOFF, LATIFAH AMIN., *Selective Leaching of Fe From Radioaktive Malaysian Zircon Mineral*., Malaysian Institute for Nuclear Technology Research (MINT), Bangi, 43000 Kajang, Selangor Malaysia, 2 Desember 2009.

9. CH. V.G.K. MURTY, R. UPADHYAY, S. ASOKAN MltRTY, V.G-K.. LTPADHYAY, R., and ASOKA, S. Recovery of zircon from Sattankulam deposit in Irdia-problems and prospects., International heavy mineral Conference 'Back to Basics',The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2007.
10. J.H SHELBY., Management of NORM-with Particular Reference to Zircon Minerals, Richards Bay Minerals, Po. Box 401Richards Bay South Africa.
11. DUDA, WALTER*Cement Data Book?* , International Process Engineering in the Cement Industry, 1984.

TANYA JAWAB :

1. Penanya : Ekaningtyas

Pertanyaan :

- Dari pemisahan zirconium dari pasir zircon apakah dapat langsung digunakan dalam insudtri, mohon contohnya?

Jawaban :

- Pasir zircon dapat diolah menjadi berbagai produk derivatnya misalnya natrium zirkonat, zirconium oksi klorid, zirkonia, hingga zircon sponge diawali dengan proses fisika dilanjutkan dengan proses kimia.

2. Penanya : Nunung Isnaini

Pertanyaan :

- Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat nilai <1 hanya dijumpai pada Th-228, Th-232 sedangkan yang lain >1, Apakah nilai yang >1 masih masuk dalam ketentuan yang ditetapkan Bapeten?
- Pengelolaan limbahnya bagaimana?

Jawaban :

- Karena hasil penelitian di bawah ketentuan Bapeten (1 Bq/g) sehingga tidak perlu ada intervensi.
- Pada penelitian ini proses pelindian menggunakan air tidak dihasilkan limbah yang ada hanya produk yaitu natrium zirkonat dan natrium silikat yang masih mempunyai nilai tinggi karena mengandung silikat.

3. Penanya : Niken HA

Pertanyaan :

- Bagaimana dan standar apa yang digunakan untuk menentukan konsentrasi anak luruh U dan Th ?
- Di abstrak tertulis silikat dapat terambil sebanyak 84,5% maksudnya silikat terambil dari larutannya natrium silikat? Dan apa tujuan dipisahkan silikat?

Jawaban :

- Dalam penelitian ini untuk hasil analisisnya menggunakan jasa dari unit lain.
- Sesuai dengan tujuan penelitian ini, pelindian adalah pemisahan silikat dari zirconium menggunakan air sebagai media

ANALISIS UNSUR ABU TERBANG DARI PLTU BATUBARA DENGAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON

Muji Wiyono, Dadong Iskandar, Eko Pudjadi dan Wahyudi

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
E-mail : muji_w@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS UNSUR ABU TERBANG DARI PLTU BATUBARA DENGAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON. Telah dilakukan penentuan kandungan unsur pada cuplikan abu terbang dari salah satu PLTU batubara di Pulau Jawa dengan metode analisis aktivasi neutron (AAN). Abu terbang setelah keluar dari Electrostatic Precipitator (EP) dicuplik menggunakan probe isokinetik. Cuplikan yang sudah terkumpul dikocok selama dua menit dan dikeringkan dalam oven pada suhu105ºC selama dua jam. Cuplikan abu terbang dan *Standard Reference Material (SRM) NIST 1633b Coal Fly Ash* masing-masing dimasukkan dalam vial polietelin ukuran 0,273 ml dengan berat sekitar : 10-15 mg, 15-20 mg dan 25-30 mg. Vial abu terbang dan vial SRM kemudian dimasukkan dalam tiga kapsul polietelin dan diberi kode. Masing-masing kapsul kemudian diiradiasi pada Rabbit System Reaktor Serbaguna Siwabessy pada Daya 15 MW selama 1 menit (iradiasi pendek), 15 menit (iradiasi menengah), dan 3 jam (iradiasi panjang). Sampel hasil iradiasi selanjutnya dicacah menggunakan Spektrometer Gamma dengan detektor HPGe buatan Canberra GC-2020 dan dianalisis menggunakan perangkat lunak Genie 2000 dan Excel 2007. Hasil analisis menunjukkan bahwa cuplikan abu terbang dari PLTU batubara mengandung unsur mayor yaitu : Al, Mg, Ca, Mn, Ti, K, Na, Ba, Fe, Ca dan Zn dan unsur minor yaitu : V, Cr, As, Sc, Se, Sr dan Co.

Kata Kunci : kandungan unsur, abu terbang, analisis aktivasi neutron.

ABSTRACT

ANALYSIST OF ELEMENTS CONTENTS IN FLY ASH FROM COAL POWER PLANT WITH NEUTRON ACTIVATION ANALYSIST. *Determination of element contents in fly ash from one of the coal power plant at Java Island has been done by the method of neutron activation analysis (NAA). Fly ash be sampled at outlet Electrostatic Precipitator (EP) by using isokinetic probe. Colected fly ash be mixed two minute and dryed with ovent at temperature 105ºC while two hours. Fly ash and NIST Standard Reference Material (SRM) 1633b Coal Fly Ash each were put into polyethylene vials of 0.273 mL with various weights of 10-15 mg, 15-20 mg and 25-30 mg and then were put in three polyethylene capsules and encoded. Each polyethylene capsule was then irradiated at Rabbit System of Siwabessy Multipurpose Reactor at the Power of 15 MW for 1 menutes (short irradiation), 15 minutes (middle), and 3 hours (long). The content of elements in these samples was then measured by using a gamma spectrometer with HPGe detector of Canberra GC-2020 and was analyzed with Genie 2000 and Excell 2007 shoftwares. The result showed that fly ash from coal power plant contained mayor elements : Al, Mg, Ca, Mn, Ti, K, Na, Ba, Fe, Ca dan Zn and elements : V, Cr, As, Sc, Se, Sr dan Co.*

Keywords: element content, fly ash, Neutron Activation Analysis

I. PENDAHULUAN

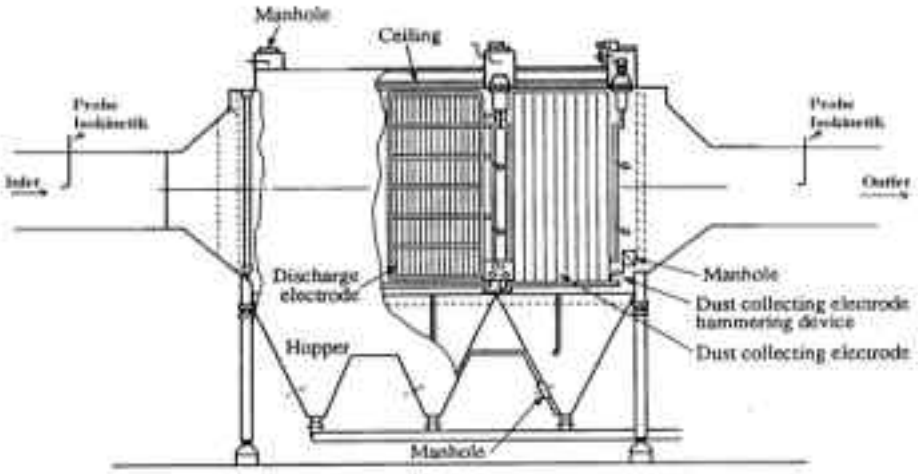
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batubara menjadi pilihan utama pemerintah, karena mampu menghasilkan energi yang cukup besar dengan didukung cadangan batubara yang cukup banyak. Dalam rangka mempersiapkan ketersediaan energi nasional, pemerintah telah meluncurkan program percepatan PLTU 10.000 MW dengan bahan bakar non minyak bumi yaitu memanfaatkan batubara berkalori rendah. Berdasarkan Perpres No. 71 Tahun 2006, akan dibangun 40 PLTU yang berlokasi di Jawa dan luar Jawa dan saat ini telah terealisai 10 lokasi di Jawa [1].

Pembakaran batubara disatu sisi memberikan manfaat bagi ketersediaan energi tetapi dilain sisi juga memberikan dampak negatif karena menimbulkan polutan yang dapat mencemari lingkungan dan berdampak terhadap kesehatan penduduk [2]. Dalam pembakaran batubara di PLTU pada suhu ~ 1700 ^{o}C akan dihasilkan limbah berupa abu terbang (*fly ash*) dengan diameter partikel orde mikrometer yang akan lepas ke lingkungan. Sebaran abu terbang di udara sangat dipengaruhi oleh diameter partikel dan ketinggian cerobong. Partikel abu terbang dengan ukuran kurang dari 2 µm digolongkan sebagai partikel halus dan jika keluar dari cerobong dengan ketinggian lebih dari 250 m akan berada di udara dalam orde jam sampai hari dengan jangkauan lebih dari 50 km [2]. Dalam abu terbang terkandung unsur oksida Si, Al, Fe, dan Ca sekitar 95-99% dan Na, P, K, dan S sekitar 0,5-3,5% [3]. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan lingkungan dengan menganalisis kandungan unsur dalam abu terbang dari PLTU dengan bahan bakar batubara.

Dalam upaya untuk mengetahui kandungan unsur dalam abu terbang, telah dilakukan analisis kandungan unsur dari salah satu PLTU batubara di Pulau Jawa menggunakan metode AAN. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai data dukung manajemen pengelolaan lingkungan di Badan Lingkungan Hidup Daerah setempat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Abu terbang (*fly ash*) adalah bagian dari sisa pembakaran batubara berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari tungku pembakaran yang mempergunakan bahan bakar batubara pada pusat pembangkit listrik tenaga uap. Panas yang dihasilkan bergantung pada sumber batubara yang dipergunakan, efisiensi, suhu pembakaran dan cara pengendapan abu dari gas pembakaran. Dalam pembakaran batubara hingga suhu ~ 1700 ^{o}C akan dihasilkan limbah berupa abu terbang dengan diameter partikel orde mikrometer yang akan lepas ke lingkungan. Untuk mereduksi pencemaran udara di lingkungan biasanya digunakan sistem penyaring debu yaitu Electrostatic Precipitator (EP) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengambilan cuplikan abu terbang di saluran keluaran *(outlet) Electrotatic Precipitator* (EP)

Dalam abu terbang sekitar 95-99% merupakan unsur oksida Si, Al, Fe, dan Ca dan sekitar 0,5-3,5% terdiri dari Na, P, K, dan S. Unsur mayor (dominan) dalam abu terbang antara lain : Al, Ca, Fe, Mg, K, Si, Na, S dan Ti dan unsur tertelusur *(trace element)* seperti : As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Sr, Th, U, V dan lain-lain [4] .

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis unsur dalam abu terbang adalah AAN. Teknik AAN merupakan salah satu teknik analisis nuklir untuk penentuan unsur yang didasarkan pada pengukuran radioaktivitas imbas yang terbentuk jika suatu inti atom sasaran diiradiasi dengan neutron. Metode AAN memiliki akurasi yang sangat baik, selektif, dapat menentukan unsur secara simultan, batas deteksinya mencapai mikrogram, serta merupakan teknik yang komplementer dengan teknik non nuklir lainnya seperti ICP-MS *(inductively coupled plasma mass spectrometry)* atau AAS *(atomic absorption spectrometry)* [5].

Apabila unsur-unsur stabil dalam cuplikan diiradiasi dengan neutron, akan terdapat bermacam-macam reaksi inti yang terjadi. Reaksi yang paling sering terjadi dan yang paling banyak digunakan dalam AAN adalah reaksi neutron-gamma (n, γ) seperti dalam contoh berikut :

$$^{127}I + {}^{1}n \longrightarrow {}^{128}I + \gamma \quad \text{..... (1)}$$

Pemilihan reaksi untuk mengaktifkan cuplikan yang tepat diperlukan fasilitas iradiasi yang bersesuaian. Ada tiga jenis fasilitas iradiasi neutron yaitu : reaktor nuklir, akselerator dan sumber neutron isotopik *(Isotopic Neutron Source).* Pada reaktor nuklir pada umumnya digunakan bahan bakar uranium yang mempunyai dua isotop utama, yaitu ^{235}U dan ^{238}U. Inti ^{235}U apabila menyerap neutron akan mengalami pembelahan menjadi dua inti baru sambil

melepaskan 2 atau 3 neutron seperti reaksi inti berikut :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{A_1}_{Z_1}X + ^{A_2}_{Z_2}Y + 2\,(atau\,3)\ ^{1}_{0}n \quad \text{..... (2)}$$

Neutron yang dihasilkan langsung dari pembelahan uranium mempunyai energi yang sangat tinggi yang disebut neutron cepat dengan energi diatas 0,1 MeV. Energi neutron tersebut tidak efektif untuk mengiradiasi cuplikan. Untuk mendapatkan neutron dengan energi lebih rendah, dalam reaktor nuklir diperlukan moderator dengan bahan-bahan yang mempunyai berat atom ringan seperti air, air berat (D_2O) dan grafit untuk memperlambat gerakan neutron menjadi neutron epitermal (0,2 eV – 0,1 MeV) dan neutron termal (di bawah 0,2 eV). Neutron termal tersebut adalah yang paling efektif untuk mengiradiasi cuplikan.

Aktivitas imbas pada cuplikan yang diiradiasi pada reaktor nuklir dihitung dengan persamaan [6] :

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-0,693.t/T}) \quad \text{..... (3)}$$

dengan

A = aktivitas imbas pada saat iradiasi selesai (Bq).

N = cacah butir atom nuklida yang diiradiasi.

ϕ = flux neutron (neutron cm^{-2} s^{-1}).

σ = tampang lintang mikroskopis (cm^2).

t = waktu iradiasi.

T = waktu paro nuklida radioaktif hasil iradiasi.

Untuk mendapatkan hasil iradiasi yang baik, maka berat sampel, durasi iradiasi, durasi tunda dan durasi pencacahan harus disesuaikan dengan jenis cuplikan dan unsur yang akan dianalisis, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut [7]:

Tabel 1. Kondisi iradiasi di Reaktor GA Siwabessy di Rabbit System pada daya 15 MW dengan neutron termal untuk cuplikan geologi, biologi dan klinis.

Jenis sampel	Unsur yang ditentukan	Perkiraan berat sampel (mg)	Durasi iradiasi	Durasi Tunda	Durasi Pencacahan
Geologi (tanah, sedimen, batuan)	Na, Mg, Mn, Al, Ca, Ti, V, I	10 – 15	55 detik - 1 menit	5 menit	3 menit
	K, Ga, As, Hg, Br, Mo, La, W, Au	15 - 20	10-15 menit	1-2 hari	30 menit
	Sc, Cr, Co, Fe, Se, Rb, Sr, Zr, Ag, Sn, Sb, Te, Ba, Ce, Eu, Tb, Hf, Ta, Th	25 - 30	1 – 4 jam	3-4 minggu	1 jam
Biologi (pangan, tumbuhan)	Na, Mg, Mn, Al, Ca, Ti, V, Cu, Cl	30 - 40	1 – 3 menit	5 menit	5 menit
	K, Ga, As, Hg, Br, Mo, La, W, Au	40 - 50	15 – 20 menit	1 hari	30 menit
	Sc, Cr, Co, Fe, Se, Rb, Sr, Zr, Ag, Sn, Sb, Te, Ba, Ce, Eu, Tb, Hf, Ta, Th	80 - 100	2 – 4 jam	2 minggu	8 jam
Klinis (rambut, darah)	Na, Mg, Mn, Al, Ca, Cl	10 - 15	1-2 menit	5 menit	5 menit
	K, As, Hg, Br	10 - 15	15-20 menit	1 hari	30 menit
	Sc, Cr, Co, Fe, Se, Rb, Sr, Zr, Zn	15 - 20	1-2 jam	2 minggu	8 jam

Untuk memastikan bahwa cacahan/area dari puncak yang dianalisis layak untuk dihitung, maka nilai cacahan harus lebih besar dari limit deteksi (L_D). Limit deteksi dengan tingkat kepercayaan 95 % dihitung menggunakan metode Currie sebagai berikut [8]:

$$L_D = 2{,}71 + 3{,}29\sqrt{\left[\, B\left(1+\frac{n}{2m}\right) \,\right]} \quad \text{..... (4)}$$

Atau secara praktis adalah sebagai berikut :

$$L_D = 2{,}71 + 5{,}7\sqrt{B} \quad \text{..... (5)}$$

dengan B = cacahan integral dikurangi cacahan net area

Sedangkan kandungan unsur dalam cuplikan setelah diiradiasi dan dicacah dihitung dengan persamaan [6] :

$$W_{cuplikan} = \frac{Cps_{cuplikan}}{Cps_{standar}} \; x \; W_{standar} \quad \text{..... (6)}$$

dengan

$Cps_{cuplikan}$: laju cacah bersih cuplikan (cps).

$Cps_{standar}$: laju cacah bersih SRM NIST 1633b *Coal Fly Ash* (cps).

$W_{cuplikan}$: kandungan unsur dalam cuplikan (mg/kg).

$W_{standar}$: kandungan unsur dalam SRM NIST 1633b *Coal Fly Ash* (mg/kg).

Ketidakpastian pengukuran *(uncertainty)* kandungan unsur dalam cuplikan abu terbang ($\mu W_{cuplikan}$) dengan tingkat kepercayaan 68,3 % dihitung dengan persamaan [9] :

$$\mu W_{cuplikan} = W_{cuplikan}\sqrt{\left(\frac{\sigma Cps_{cuplikan}}{Cps_{cuplikan}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Cps_{standar}}{Cps_{standar}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma W_{standar}}{W_{standar}}\right)^2} \quad \text{..... (7)}$$

dengan

$\sigma Cps_{cuplikan}$: deviasi standar laju cacah bersih cuplikan.

$\sigma Cps_{standar}$: deviasi standar laju cacah bersih standar.

$\sigma W_{standar}$: deviasi standar kandungan unsur dalam SRM NIST 1633b *Coal Fly Ash.*

III. TATA KERJA

Vial polietilen volume 0,273 ml direndam selama dua puluh empat jam dalam air aquabidest dan asam nitarat dengan perbandingan 1 : 1, kemudian dikocok dan dibilas dengan air aquabidest hingga PH air bilasan sama dengan tujuh. Vial direndam dalam azeton dan dikocok selama dua menit kemudian dikeringkan dalam lampu *infrared*.

Abu terbang setelah keluar dari *Electrostatic Precipitator* (EP) dicuplik menggunakan probe isokinetik seperti pada Gambar 1. Cuplikan abu terbang yang terkumpul selanjutnya dikocok selama dua menit dan dikeringkan dalam oven pada suhu105ºC selama dua jam. Cuplikan abu terbang ditimbang menggunakan timbangan A & D GH-202 dan dimasukkan dalam vial polietilen dengan massa : 10-15 mg untuk cuplikan irradiasi pendek, 15-20 mg untuk cuplikan irradiasi menengah dan 25-30 mg untuk cuplikan iradiasi panjang. Masing-masing vial polietilen ditutup, dipatri dan diberi kode. Hal yang sama dilakukan untuk *Standard Reference Material 1633b Coal Fly Ash (*SRM 1633b*).* Untuk irradiasi menengah

dan panjang vial polietilen dibungkus dengan aluminium foil.

Untuk iradiasi pendek, dua vial berisi cuplikan abu terbang dan satu vial berisi SRM 1633b dimasukkan dalam kapsul polietilen kemudian diiradiasi pada *Rabbit System* RS-3 reaktor Serbaguna GA Siwabessy selama satu menit pada daya 15 MW pada fluks neutron termal sekitar 10^{13} $n.cm^{-2}.s^{-1}$. Vial cuplikan abu terbang dan SRM 1633b masing-masing ditunda lima menit kemudian dicacah selama tiga menit pada spektrometer gamma dengan detektor HPGe milik PTBIN-BATAN yang telah dikalibrasi energinya.

Untuk iradiasi menengah, lima vial berisi cuplikan abu terbang dan satu vial berisi SRM 1633b dimasukkan dalam kapsul polietilen pada lapis pertama dan lima vial berisi cuplikan abu terbang dan satu vial berisi SRM 1633b yang lain dimasukkan pada kapsul polietilen yang sama pada lapis kedua. Setelah ditutup rapat kemudian diiradiasi pada *Rabbit System* RS-3 reaktor Serbaguna GA Siwabessy selama 15 menit pada daya 15 MW dan fluks neutron termal sekitar 10^{13} $n.cm^{-2}.s^{-1}$. Setelah didiamkan selama 2 hari, sepuluh vial berisi cuplikan abu terbang, dua vial berisi SRM 1633b masing-masing dicacah selama 30 menit pada spektrometer gamma dengan detektor HPGe model GC-2020 buatan Canberra yang telah dikalibrasi energinya.

Untuk iradiasi panjang, lima vial berisi cuplikan abu terbang dan satu vial berisi SRM 1633b dimasukkan dalam kapsul aluminium pada lapis pertama dan lima vial berisi cuplikan abu terbang dan satu vial berisi SRM 1633b yang lain dimasukkan pada kapsul aluminium yang sama pada lapis kedua. Setelah ditutup rapat kemudian diiradiasi pada *Rabbit System* RS-3 reaktor Serbaguna GA Siwabessy selama 3 jam pada daya 15 MW dan fluks neutron termal sekitar 10^{13} $n.cm^{-2}.s^{-1}$. Setelah didiamkan selama 3 minggu, sepuluh vial berisi cuplikan abu terbang dan dua vial berisi SRM 1633b masing-masing dicacah selama 60 menit pada spektrometer gamma dengan detektor HPGe model GC-2020 buatan Canberra yang telah dikalibrasi energinya.

Selanjutnya spektrum-γ hasil cacahan dianalisis dengan perangkat lunak GENIE 2000 dan Excel 2007. Untuk menentukan kandungan unsur dan ketidakpastiannya dihitung sesuai dengan Persamaan 4 dan Persamaan 5.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

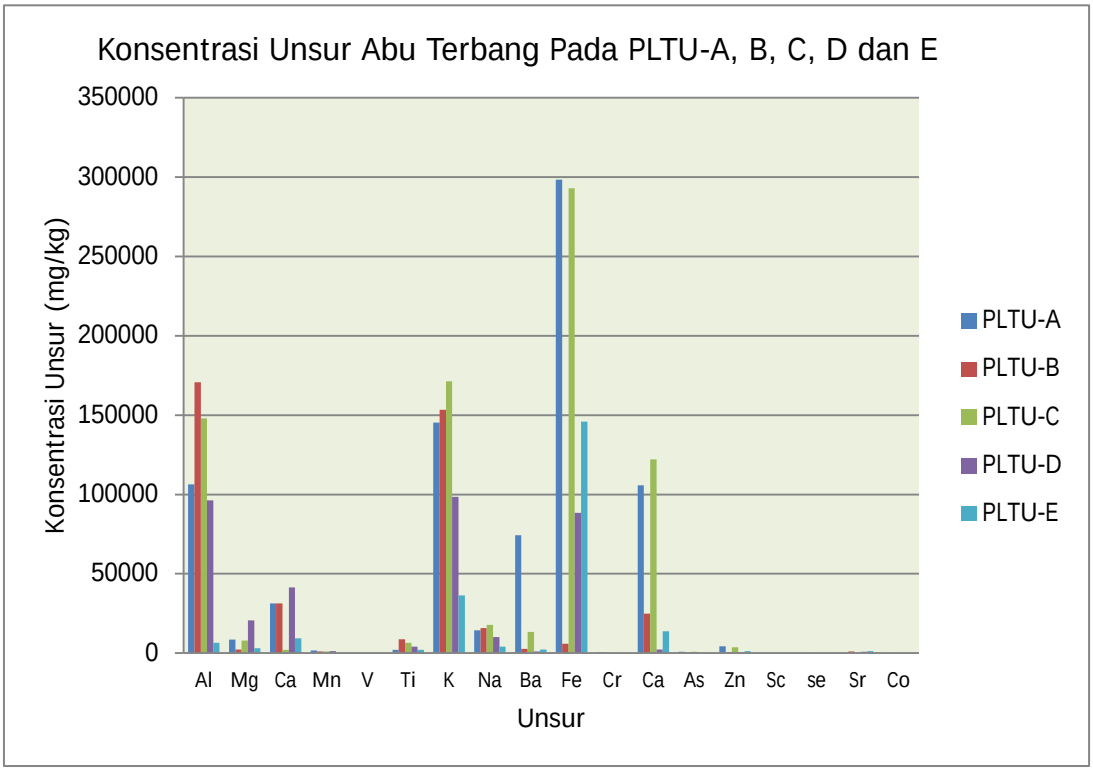
Hasil analisis kandungan unsur dalam cuplikan abu terbang dari salah satu PLTU batubara di Pulau Jawa disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 2. Partikel abu terbang yang keluar dari EP pada PLTU-A, PLTU-B, PLTU-C, PLTU-D dan PLTU-E yang dianalisis dengan metode AAN mengandung 17 unsur yaitu Al, Mg, Ca, Mn, V, Ti, K, Na, Ba, Fe, Cr, As, Zn, Sc, Se, Sr dan Co. Unsur-unsur yang dominan (mayor) di dalam partikel abu terbang tersebut adalah Al, Mg, Ca, Mn, Ti, K, Na, Ba, Fe dan Zn, sedangkan unsur lain yang termasuk unsur minor adalah V, Cr, As, Sc, Se, Sr dan Co.

Tabel 2. Kandungan unsur dalam cuplikan abu terbang dari salah satu PLTU batubara di Pulau Jawa

Unsur	Konsentrasi Unsur (mg/kg)				
	PLTU-A	PLTU-B	PLTU-C	PLTU-D	PLTU-E
Al	106380 ± 1548	170791 ± 2562	147823 ± 1737	96204 ± 997	6589 ± 98
Mg	8526 ± 946	2190 ± 298	7834 ± 929	20679 ± 1578	2987 ± 365
Ca	31359 ± 4155	31246 ± 3457	2041 ± 128	41354 ± 3468	9392 ± 1071
Mn	1667 ± 99	1085 ± 102	1063 ± 151	1248 ± 89	136 ± 12
V	131 ± 15	62 ± 8	135 ± 18,06	152 ± 7	153 ± 2
Ti	2022 ± 186	8802 ± 1041	6454 ± 586	4125 ± 461	2129 ± 243
K	145286 ± 332	153299 ± 350	171372 ± 390,2	98441 ± 226	36306 ± 84
Na	14318 ± 58	15781 ± 63,2	17852 ± 71,39	10067 ± 41	4091 ± 17
Ba	74318 ± 6885	2730 ± 205	13278 ± 1755	1008 ± 151	2302 ± 168
Fe	298404 ± 1346	5968 ± 157	292988 ± 5432	88336 ± 138	145842 ± 2365
Cr	600 ± 34	162 ± 15	389 ± 35	183 ± 17	109 ± 8
As	900 ± 105	47 ± 6	765 ± 105	57 ± 9	258 ± 25
Zn	4310 ± 486	377 ± 45,8	3746 ± 477,8	477 ± 61	1243 ± 109
Sc	0,27 ± 0,005	27 ± 2	0,11 ± 0,004	21 ± 2	25 ± 3
Se	1,25 ± 0,11	16 ± 1	1,43 ± 0,116	15 ± 1	27 ± 3
Sr	38 ± 5	958 ± 36,6	73 ± 9	837 ± 67	1162 ± 46
Co	73 ± 8	37 ± 4	37 ± 3	61 ± 5	109 ± 11

Konsentrasi unsur Al berkisar antara 6.589 ± 98 mg/kg hingga 170.791 ± 2.562 mg/kg terendah di PLTU-E dan tertinggi di PLTU-B. Konsentrasi unsur antara PLTU-A, PLTU-B, PLTU-C, PLTU-D dan PLTU-E mempunyai rentang yang cukup besar. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar berbeda, kondisi suhu pembakaran di *boiler* dan kondisi penyaring *Electrostatic Precipitator*.

Unsur-unsur yang terkandung dalam abu terbang mempunyai toksisitas yang berbeda-beda dan mempunyai dampak negatif pada tubuh bilamana menghirup udara yang tercemar abu terbang. Toksisitas Al dapat terjadi pengurangan atau hilangnya memori, pengurangan aktivitas enzim yang terakumulasi dalam plasma darah penyebab anemia, perusakan jaringan pernapasan di paru-paru dan menimbulkan efek beracun kronis pada ginjal [10].



Gambar 2. Konsentrasi unsur abu terbang dari PLTU-A, PLTU-B, PLTU-C, PLTU-D dan PLTU-E.

Konsentrasi *Magnesium* (Mg) berkisar antara 2.190 ± 298 mg/kg yaitu di PLTU-B hingga 20.679 ± 1.578 mg/kg. Toksisitas Mg dapat menyebabkan penyakit *cardiovascular*, sendi otot, kulit kering, tekanan darah rendah, depresi, kelelahan, beresiko terhadap beberapa kanker, diare, osteoporosis, menurunnya fungsi tulang belakang, dehidrasi dan kram kejang otot [11]. Konsentrasi *Calcium* (Ca) berkisar antara 2.041 ± 128 mg/kg yaitu di PLTU-C hingga 41.354 ± 3.468 mg/kg. Toksisitas Ca akan menyebabkan pengapuran pembuluh darah, penyakit jantung dan urat darah *(cardiovascular)*, penyakit jantung ischemic dan stroke, tekanan darah tinggi, asam perut rendah, sakit otot/tulang sendi, depresi, kelelahan, glaucoma, osteoporosis, osteoarthritis, terjadi pegerasan kapur, kulit kering, sembelit *(constipation)*, peningkatan resiko terhadap ginjal *(hypercalcaemia)*, sehingga terjadi radang air kencing [10,11, 12].

Konsentrasi *Manganese* (Mn) berkisar antara 136 ± 12 mg/kg yaitu di PLTU-E hingga 1.667 ± 99 mg/kg. Toksisitas Mn secara berlebihan dapat menyebabkan insomnia, nyeri otot, kejang kejang, sempoyongan apabila jalan, kaku anggota badan, kadang-kadang tertawa atau menangis diluar kesadaran dan impotensi [13, 14, 15].

Konsentrasi *Vanadium* (V) dan *Titanium* (Ti) masing-masing berkisar antara 62 ± 8 mg/kg di PLTU-B hingga 153 ± 2 mg/kg di PLTU-E dan 2.022 ± 186 mg/kg di PLTU-A hingga 8.802 ± 804 mg/kg. Tosisitas

V dapat menyebabkan gangguan saluran pernapasan dan juga berakibat pada cancerogenic, sedangkan toksisitas Ti dapat menyebabkan ketidak aktifan organisme jaringan dan *prosthesis* (sakit gigi) [16].

Konsentrasi *Potassium* (K) berkisar antara 36.306 ± 84 mg/kg terendah di PLTU-E hingga 171.372 ± 390 mg/kg tertinggi di PLTU-C. Toksisitas K adalah denyut jantung tidak teratur, tekanan darah rendah, penyebab berbagai kanker, penyakit ginjal, kejang otot (kram), infeksi pada kencing, siklus menstruasi tidak lancer, bisul, sakit punggung, memperlemah system kekebalan, impotensi, sulit tidur (insomnia) dan sifat lekas marah[17].

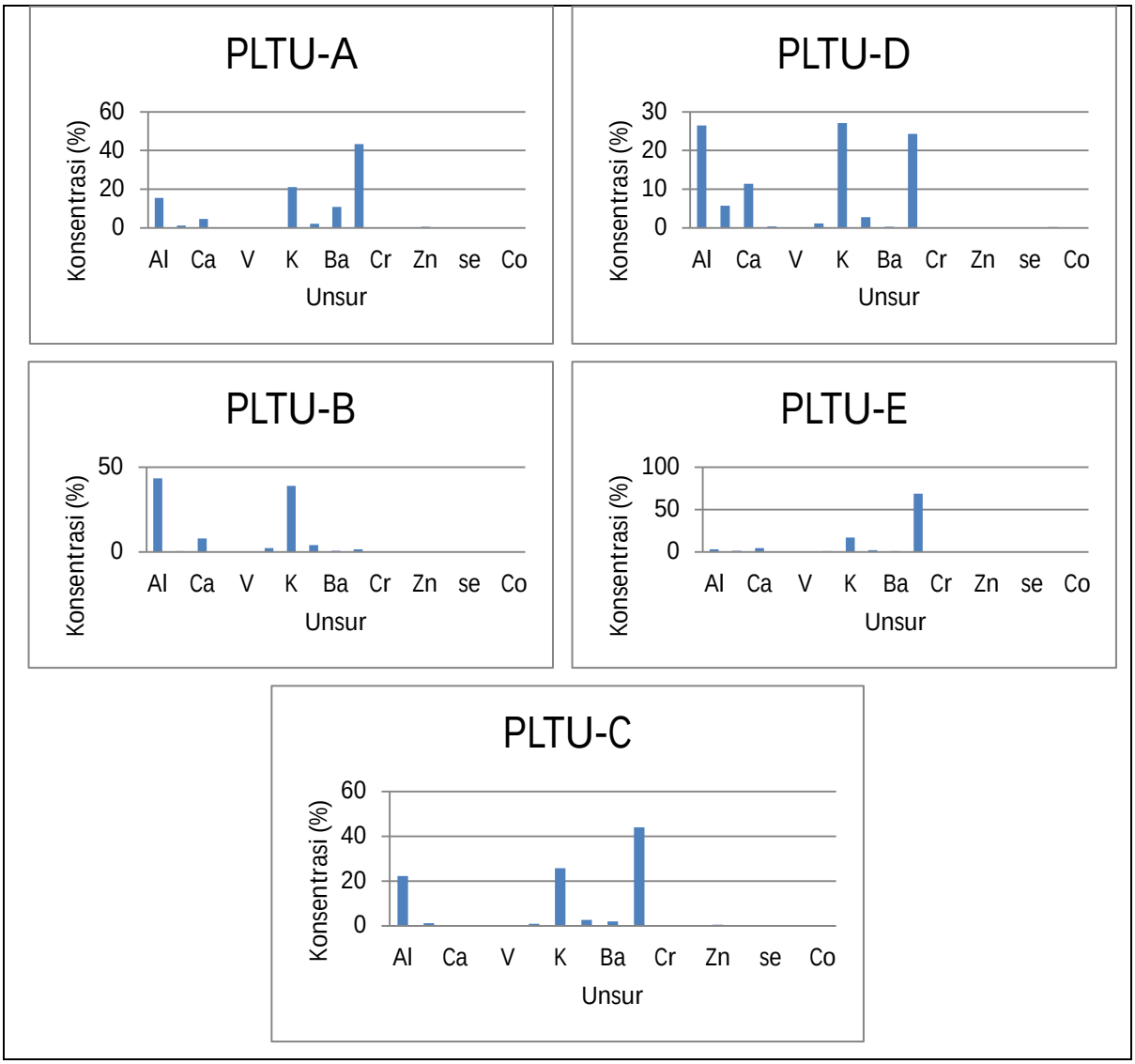
Konsentrasi *Natrium* (Na) berkisar antara 4.091 ± 17 mg/kg yaitu terendah di PLTU-E hingga 17.852 ± 71 mg/kg tertinggi di PLTU-C. Toksisitas Na adalah sering sensistif, hiperaktif, dan mudah haus *(hyperhidrosis).* Akumulasi Na terjadi di rambut, juga di ginjal dan usus yang mengalami kronis [18, 19].

Konsentrasi *Barium* (Ba) dan *Ferro* (Fe) masing-masing berkisar antara 1.008 ± 151 mg/kg yaitu di PLTU-D hingga 74.318 ± 6.885 mg/kg di PLTU-A dan berkisar antara 5.968 ± 157 mg/kg yaitu di PLTU-B hingga 298.404 ± 1.346 mg/kg di PLTU-A. Gejala akut dari unsur Ba meliputi kelebihan air liur, muntah diare, tekanan darah meningkat, otot gemetar, lemas, parises, gelisah dan pemompan jantung tidak teratur, sedangkan toksisitas Fe ditandai sakit perut, diare atau muntah yang berwarna kecoklatan atau warna darah [20].

Konsentrasi *Chrom* (Cr) dan *arsenic* (As) masing-masing berkisar antara 109 ± 8 mg/kg yaitu di PLTU-D hingga 600 ± 34 mg/kg di PLTU-A dan berkisar antara 47 ± 6 mg/kg yaitu PLTU-B hingga 900 ± 105 mg/kg di PLTU-A. Toksisitas Cr dapat menyebabkan borok chrom semakin lama semakin dalam, sedangkan toksisitas As menyebabkan badan lemas dan menyebabkan kematian [13, 14, 15].

Konsentrasi *Zinc* (Zn) dan *Scandium* (Sc) masing-masing berkisar antara 377 ± 46 mg/kg yaitu di PLTU-B hingga 4.310 ± 486 mg/kg di PLTU-A dan berkisar antara 0,11 ± 0,004 mg/kg yaitu PLTU-C hingga 27 ± 2 mg/kg di PLTU-B. Toksisitas Zn dapat menyebabkan iritasi pada *gastrointestinal* dan *cyanosis* yang dapat menyebabkan kerusakan kulit [16].

Konsentrasi unsur *Selenium* (Se), *Strontium* (Sr) dan *Cobalt* (Co) dalam abu terbang termasuk dalam unsur minor. Gejala toksisitas Se ada di perubahan rambut, gigi, infeksi kulit (dermatitis) dan kehilangan kuku, berbau nafas seperti bau bawang putih atau asam, muak, muntah, sakit perut, kegelisahan, banyak keluar ludah *(hypersalivation)* dan kejang otot [21]. Kelebihan unsur Sr mengakibatkan diare, kebusukan bigi, rakhitis dan kejang pada perut [22]. Sedangkan kelebihan unsur Co mengakibatkan alergi pada pernapasan *(bronchial asthma)* dan kuli *(dermatitis)* [16].



Gambar 3. Persentase konsentrasi unsur pada abu terbang antara PLTU-A, PLTU-B, PLTU-C, PLTU-D dan PLTU-E

Persentase konsentrasi unsur pada PLTU-A, B, C, D dan E disajikan pada Gambar 3. Persentase unsur lebih dari 5% adalah unsur Al, K, Ba, Fe dan Ca pada PLTU-A, unsur Al, Ca dan K di PLTU-B, unsur Al, K dan Fe di PLTU-C, unsur Al, Mg, Ca, K dan Fe di PLTU-D dan unsur K dan Fe di PLTU E. Sedangkan persentase unsur kurang dari 5% adalah unsur Mg, Ca, Mn, V, Ti, Na, Cr, As, Zn, Sc, Se dan Co di PLTU-A, unsur Mg, Mn, V, Ti, Na, Ba, Fe, Cr, As, Zn, Sc, Se, Sr dan Co di PLTU-B, unsur Mg, Ca, Mn, V, Ti, Na, Ba, Cr, As, Zn, Sc, Se, Sr dan Co di PLTU-C, unsur Mn, V, Ti, Na, Ba, Cr, As, Zn, Sc, Se, Sr dan Co dan unsure Al, Mg, Ca, Mn, V, Ti, Na, Ba, Cr, As, Zn, Sc, Se, Sr dan Co di PLTU-E.

Ada beberapa unsur mayor dalam abu terbang yang tidak dapat dianalisis dengan metode AAN yaitu unsur Si dan unsur S. Hal

ini dikarenakan kedua unsur tersebut mempunyai tampang lintang mikroskopis yang rendah sehingga tidak terjadi radionuklida imbas yang optimal pada saat diiradiasi dengan neutron termal. Kedua unsur tersebut direkomendasikan dianalisis dengan metode gravimetri dan *X-ray Fluorescence* (XRF) dan unsur S dengan metode *Isotope Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometry* (ID-TIMS) [4].

V. KESIMPULAN

Abu terbang dari salah satu PLTU batubara di Pulau Jawa mengandung unsur mayor yaitu : Al, Mg, Ca, Mn, Ti, K, Na, Ba, Fe, Ca dan Zn dan unsur minor yaitu : V, Cr, As, Sc, Se, Sr dan Co dengan toksisitas yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

1. MULYANINGSIH, R., KUNTORO, I., Analisis Unsur Dalam Tumbuhan Bahan Pangan di Sekitar Pusat Listrik Tenaga Uap Labuhan, Prosiding Seminar Nasional Analisis Aktivasi Neutron, Serpong, (2010).
2. PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI – BATAN, Pengukuran Efisiensi Penyaring Debu Elektrostatik Precipitator (EP) dan Karakteristik Partikel Abu Terbang di PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Suralaya Merak – Banten, Laporan, Jakarta (2008).
3. http://repository.ipb.ac.id/ bitstream/ handle/ 123456789/ 46890/ A11fru_BAB II Tinjauan Pustaka.pdf?sequense=6
4. National Institute Of Standards & Technology, Certificate of Analysis Standard Reference Material 1633b Coal Fly Ash, (2004).
5. PUSDIKLAT, Pelatihan Petugas Analisis Aktivasi Neutron, Jakarta (2011).
6. SUSETYO, W., Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Gadjah Mada Univessity Press, Yogyakarta (1988).
7. PUSDIKLAT, Petunjuk Praktikum Prosedur Preparasi Sampel, Pelatihan Petugas Analisis Aktivasi Neutron, Jakarta (2011).
8. PUSDIKLAT, Petunjuk Praktikum Pengukuran Sampel, Pelatihan Petugas Analisis Aktivasi Neutron, Jakarta (2011).
9. MARTIN, J., Physics For Radiation Protection, John Wiley & Sons, Inc, New York (2000).
10. ANONYMOUS, about trace elememts : aluminium, arsenic, berillium, calcium, cadmium, Center For Biotic Medicine, [http://www.microelementsru/English/01-05en.shtml], (2003).
11. RONALD, R., DRI/RDA for Calcium & Magnesium + Vitamin A, D, K, Acu-Cell Nutrition, www.acu-cell.com/acn2.html (2004).
12. ANONYMOUS, Metal in nutrition : Calcium – metals in health and disease, www.portfolio. Mvm.ed.ac.uk/student webs/ session2/ group29/index.htm (2003).
13. SUMA'MUR, P.K., Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja, Cetakan ke 4, Penerbit Gunung Agung, Jakarta (1984).
14. SOEDOMO, M., Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung (1999).
15. DARMONO, Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam), Universitas Indonesia Press, Jakarta (2001).

16. ANONYMOUS, about trace elememts : Titanium, Zinc, Cobalt, Vanadium, Center For Biotic Medicine, [http://www.microelements.ru/English/01-05en.shtml], (2003).
17. RONALD, R., Zinc, Pottasium, Acu-Cell Nutrition, http://www.acu-cell.com/znk.html (2004).
18. RONALD, R., Sodium, Phosphorus, Acu-Cell Nutrition, http://www.acu-cell.com/pna.html (2003).
19. MASSARO, E. J., Handbook of Human Toxicology, CRC Press, Boca Raton, New York (1997).
20. MARIJAH MCCAIN, Chemtrails and Barium Toxicity, http:/www.rense.com/general21/tox.htm, Martin Marietta Energy Systems, Inc., the U.S. Departement of Energy, (1997).
21. BC CANCER ENERGY, Complementary and Alternative Cancer Therapies: Selenium, http://www.bccancer.bc.ca/PPI/Unconventional Therapies/Selenium.htm (2009).
22. RONALD, R., Strontium, Acu-Cell Nutrition, http://www.acu-cell.com/sr.html (2004).
23. PACYNA. J. M., Coal-Fired Power Plants as a Sources of Environmental Contamination by Traces Metals and Radionuclides, Habilitation Thesis. Technical University of Wroclaw, Poland (1980).

TANYA JAWAB

1. Penanya : Niken HA.

Pertanyaan :

- Apa tujuan dari beda waktu irradiasi (irradiasi pendek, menengah dan panjang) ?
- Apa tujuan dari beda waktu tunda pencacahan (5 menit, 3 hari dan 2 minggu)?

Jawaban :

- Tujuan dari beda waktu irradiasi adalah untuk mendapatkan hasil irradiasi cuplikan yang optimal agar dapat dianalisis dengan baik pada unsur-unsur yang dikehendaki karena masing-masing unsur mempunyai waktu paro yang berbeda-beda. Irradiasi pendek diperlukan pada unsur dengan waktu paro orde menit seperti Na, Mg, Mn, Al, Ca, Ti, V dan I, irradiasi menengah untuk unsur dengan waktu paro orde jam seperti Ka, Ga, As, Hg, Br, Mo, La, W dan Au sedangkan irradiasi panjang untuk unsur dengan waktu paro orde hari seperti Sc, Cr, Co, Fe, Se, Rb, Sr, Sr, Ag, Sn, Sb, Te, Ba, Ce, Eu, Tb, Hf, Ta dan Th.
- Tujuan dari beda waktu tunda pencacahan adalah agar diperoleh waktu mati detektor *(dead time)* kurang dari 20% pada pencacahan cuplikan irradiasi pendek, 5% untuk cuplikan irradiasi menengah dan 1% untuk cuplikan irradiasi panjang sehingga diperoleh cacahan yang dapat dianalisis dengan baik.

2. Penanya : Ekaningtyas H

Pertanyaan :

- Dari hasil analisis abu terbang dari beberapa PLTU unsur-unsurnya berbeda, apakah juga diketahui sumber batubaranya, dan apa dampak untuk lingkungan sekitar PLTU?

Jawaban :

- Sumber batubara berasal dari PT. Bukit Asam Muara Enim. Untuk mengetahui dampak lingkungan sekitar PLTU perlu dilakukan penelitian tersendiri dengan mengukur konsentrasi udara, air, tanah, tumbuh-tumbuhan di sekitar PLTU.

TINJAUAN MANAJEMEN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT AKTIVITAS TINGGI HASIL PRODUKSI RADIOISOTOP

Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS., dan Farida Tusafariah

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi ? BATAN
Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka ? BATAN
E-mail : suhaedi.muhammad@yahoo.com

ABSTRAK

TINJAUAN MANAJEMEN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT AKTIFITAS TINGGI HASIL PRODUKSI RADIOISOTOP. Salah satu jenis limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi radioisotop adalah limbah radioaktif padat aktivitas tinggi yang berupa kapsul sasaran, botol gelas, kolom gelas, *cold finger* dan Iodium Trap serta kaleng berisi *needle* dan *syring*. Limbah radioaktif padat aktivitas tinggi yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop ini tidak bisa langsung dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif ? Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR ? BATAN) tapi harus disimpan sementara untuk meluruhkan dan menurunkan paparan radiasinya yang cukup tinggi. Guna menyempurnakan penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi tersebut, dibuat sistem manajemen sehingga penanganan limbah tersebut dapat dilakukan secara efektif, optimal, ekonomis, aman dan selamat serta sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Sistem manajemen yang dimaksud di dalamnya meliputi : prosedur penanganan limbah radioaktif, penyediaan sarana penyimpanan sementara dan pengiriman limbah radioaktif, sistem pencatatan jenis dan jumlah radioaktif yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop, sistem inventarisasi jenis dan jumlah radioaktif, sistem penyortiran jenis dan jumlah radioaktif, sistem pewadahan limbah radioaktif dan perkiraan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh petugas yang menangani limbah radioaktif.

Kata Kunci : Manajemen Limbah Radioaktif, Limbah Radioaktif Padat Aktivitas Tinggi

ABSTRACT

REVIEW OF HIGH ACTIVITY SOLID RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FROM RADIOISOTOPE PRODUCTION. One type of radioactive waste generated from radioisotope production process is high activity solid radioactive waste in the forms of the target capsule, glass bottles, glass column, the cold finger trap iodine trap, the cans of needle and syring. High activity solid radioactive waste generated from radioisotope production processes can not be directly sent to the Radioactive Waste Technology Center - the National Nuclear Energy Agency (PTLR - BATAN) but must be stored temporarily to reduce the radiation exposure. In order to improve the handling of high-activity radioactive waste solid, a waste management system is made so that treatment can be done effectively, optimal, economical, safe, secure and in accordance with applicable regulations. The management system includes : procedures for handling radioactive waste, the provision of temporary storage and shipment of radioactive waste, the system records of the type and amount of radioactivity resulting from radioisotope production processes, inventory systems of the the amount of radionuclides, sorting systems of the type and amount of radionuclides, contains system of radioactive waste and estimate the magnitude of radiation doses received by workers who handle the radioactive wastes.

Keywords: Radioactive Waste Management, High Activity Solid Radioactive Waste

I. LATAR BELAKANG

Salah satu jenis limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi radioisotop adalah limbah radioaktif padat aktivitas tinggi. Limbah radioaktif padat aktivitas tinggi ini berupa kapsul sasaran, botol gelas, kolom gelas, *cold finger* dan Iodium Trap serta kaleng berisi *needle* dan *syring*. Mengingat limbah radioaktif padat aktivitas tinggi memiliki paparan yang cukup tinggi, maka limbah tersebut tidak bisa langsung dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif ? Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR ? BATAN). Sesuai dengan pasal 22 ayat 2 Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif disebutkan bahwa limbah aktivitas tinggi hanya wajib disimpan sementara oleh Penghasil limbah. Penyimpanan sementara limbah padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop ini dimaksudkan untuk meluruhkan dan menurunkan paparan radiasi sehingga limbah tersebut dapat dikirim ke PTLR ? BATAN sesuai dengan ketentuan berlaku.

Penyimpanan sementara limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop tidak bisa dilakukan di sembarang tempat tapi di dalam Hot Cell Limbah yang telah dilengkapi dengan sistem ventilasi dan sistem filtrasi yang memenuhi persyaratan keselamatan sehingga tidak menimbulkan dampak radiologi baik bagi manusia maupun lingkungan.

Penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop dalam tahapan penyimpanan sementara tidak sesederhana yang dibayangkan, perlu dilakukan secara terencana dan cermat serta koordinasi dengan berbagai pihak terkait.

Berdasarkan pengalaman yang ada selama ini, harus ada penyempurnaan dalam pelaksanaan kegiatan penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop. Mengingat selama beroperasinya Instalasi Produksi Radioisotop Dan Radiofarmaka (IPRR) baru dua kali dilakukan penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi (pada tahun 1993 dan tahun 2010), maka untuk masa yang akan datang perlu dibuat sistem manajemen limbah radioaktif padat aktivitas tinggi sehingga penanganan limbah tersebut dapat dilakukan secara efektif, optimal, ekonomis, aman dan selamat serta sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

II. TUJUAN

Penerapan sistem manajemen limbah radioaktif padat aktivitas tinggi dimaksudkan agar limbah tersebut dapat ditangani secara efektif, optimal, ekonomis, aman dan selamat serta sesuai dengan ketentuan yang berlaku sehingga tidak mengganggu pelaksanaan kegiatan produksi radioisotop dan tidak menimbulkan dampak radiologi baik bagi manusia maupun lingkungan. Sistem manajemen ini diharapkan bisa dijadikan

sebagai bahan masukan yang dapat digunakan untuk penyempurnaan pelaksanaan penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop.

III. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan sistem manajemen limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop ini adalah :

1. Kajian terhadap peraturan mengenai limbah radioaktif.
2. Kajian terhadap prosedur penanganan limbah radioaktif aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop yang dikeluarkan oleh Medhi Physics.
3. Tinjauan pengalaman khususnya dalam masalah penanganan limbah radioaktif aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop baik pada saat Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR) masih dalam naungan manajemen BATAN maupun ketika sudah dalam naungan manajemen PT Batan Teknologi (Persero).
4. Studi literatur terkait dengan penanganan radioaktif aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil tinjauan baik dari segi literatur, dokumen dan prosedur kerja serta pengalaman di lapangan dalam penanganan limbah radioaktif khususnya limbah padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop, telah disusun sebuah sistem manajemen yang diharapkan bisa dijadikan sebagai salah satu alternatif solusi terhadap masalah penanganan limbah radioaktif bagi institusi penghasil limbah radioaktif padat aktivitas tinggi. Lingkup sistem manajemen yang dimaksud di dalamnya meliputi :

1. Prosedur penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop.
2. Penyediaan sarana penyimpanan sementara dan pengiriman limbah radioaktif.
3. Sistem pencatatan jenis dan jumlah radioaktif yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop.
4. Sistem inventarisasi jenis dan jumlah radioaktif yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop.
5. Sistem penyortiran jenis dan jumlah radioaktif yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop.
6. Sistem pewadahan limbah radioaktif yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop.
7. Perkiraan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh petugas yang menangani limbah radioaktif.

4.1. Prosedur Penanganan Limbah Radioaktif

Mengingat penanganan limbah padat aktivitas tinggi yang dihasilkan dari proses produksi radioisotop sangat berbeda dengan penanganan penanganan limbah padat aktivitas rendah dan sedang (baik padat

terkompaksi, maupun padat terbakar) ataupun limbah radioaktif cair baik aktivitas rendah, sedang maupun tinggi, maka prosedur penanganannya harus dibuat secara terpisah dari prosedur penanganan limbah jenis dan kategori lain.

Prosedur penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop di dalamnya minimal berisi :

1. Penyusunan rencana teknis penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi.
2. Pengecekan data jenis dan jumlah limbah radioaktif yang tersimpan.
3. Penyortiran jenis limbah radioaktif berdasarkan nomor batch produksi dan umur limbah.
4. Pemindahan limbah radioaktif baik untuk keperluan pewadahan maupun untuk keperluan penyimpanan sementara.
5. Pewadahan dan pelabelan bungkusan limbah radioaktif untuk keperluan pengiriman ke PTLR ? BATAN.

Prosedur ini harus dibuat secara legal dan disahkan oleh satuan jaminan kualitas sehingga menjadi dokumen resmi.

4.2. Penyediaan Sarana Penyimpanan Sementara Dan Pengiriman Limbah Radioaktif.

Agar limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop dapat disimpan dengan baik, rapih serta untuk lebih memudahkan dalam inventarisasi dan penyortiran, maka perlu disiapkan sarana baik untuk penyimpanan sementara maupun untuk pewadahan limbah radioaktif sebelum dikirim ke PTLR ? BATAN.

Sarana yang dibutuhkan untuk penanganan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop minimal terdiri dari :

1. Hot cell limbah radioaktif dengan spesifikasi seperti yang ditetapkan oleh Medhi Physics ? USA.
2. Rak yang terbuat dari bahan stainles steel untuk tempat penyimpanan limbah kapsul sasaran (hasil produksi Mo ? 99) dan kapsul aluminium (hasil produksi I ? 131), bentuknya bisa kotak atau silinder.
3. Drum limbah ukuran 60 liter untuk tempat penyimpanan limbah padat aktivitas tinggi yang sudah dikompaksi di dalam *hot cell* dan untuk wadah limbah yang akan dikirim ke PTLR ? BATAN.
4. Sel drum dengan kapasitas 100 liter untuk wadah limbah yang akan dikirim ke PTLR ? BATAN.
5. Sel beton dengan spesifikasi sesuai yang ditetapkan oleh PTLR ? BATAN untuk wadah limbah yang akan dikirim ke PTLR ? BATAN.

Biaya yang dibutuhkan untuk perawatan dan perbaikian *Hot Cell* limbah radioaktif serta pengadaan sarana lainnya harus dianggarkan secara rutin dalam anggaran biaya usaha perusahaan yang didukung oleh komitmen pihak manajemen.

4.3. Pencatatan Jenis dan Jumlah Radioaktif Yang Dihasilkan Dari Proses Produksi Radioisotop.

Guna memantau perkembangan jenis dan jumlah limbah radioaktif khususnya limbah padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop, maka setiap kali selesai proses produksi, sebaiknya dilakukan pencatatan jenis dan jumlah limbah radioaktif yang dihasilkan baik dari proses produksi radioisotop Mo-99 maupun I-131. Dengan adanya pencatatan ini maka akan lebih memudahkan dalam pelaksanaan kegiatan inventarisasi. Contoh format pencatatan jenis dan jumlah limbah yang dihasilkan diberikan pada Tabel 1.

4.4. Inventarisasi Jenis dan Jumlah Radioaktif yang Dihasilkan dari Proses Produksi Radioisotop.

Guna memantau perkembangan jenis dan jumlah limba serta status hasil penanganan, limbah padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop, maka setiap tiga bulan sekali (triwulanan) perlu dilakukan kegiatan inventarisasi. Hasil kegiatan inventarisasi ini dapat digunakan sebagai bahan pelaporan ke Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Contoh format pencatatan hasil kegiatan inventarisasi limbah radioaktif diberikan pada Tabel 2.

4.5. Penyortiran Jenis Dan Jumlah Radioaktif Yang Dihasilkan Dari Proses Produksi Radioisotop.

Sebelum dilakukan pengiriman limbah radioaktif padat aktivitas tinggi ke PTLR ? BATAN, terlebih harus dahulu dilakukan penyortiran jenis limbah radioaktif yang ada di *Hot Cell* baik limbah kapsul sasaran, kapsul aluminium maupun limbah padat terkompaksi. Penyortiran dilakukan berdasarkan umur limbah dimana limbah dengan umur yang lebih lama (tua) diprioritaskan untuk dikirim ke PTLR ? BATAN.

Limbah padat terkompaksi yang sudah disortir di dalam Hot Cell limbah, dimasukkan ke dalam drum yang bebas kontaminasi radioaktif dengan ukuran 60 liter yang bagian luarnya dibungkus dengan plastik dengan jumlah tertentu, kemudian dikeluarkan dari dalam Hot Cell limbah untuk diukur paparan radiasi pada permukaan drum dan pada jarak 1 meter dari permukaan. Bila paparan radiasi pada permukaan drum nilainya dibawah 200 mR/jam, maka dilakukan persiapan untuk keperluan pengiriman ke PTLR ? BATAN. Namun bila paparan radiasi pada permukaan drum nilainya lebih besar dari 200 mR/jam, drum yang berisi limbah dimasukkan kembali ke dalam Hot Cell limbah untuk dikurangi jumlah limbahnya agar paparan radiasi pada permukaan drum nilainya dibawah 200 mR/jam.

Sedangkan untuk limbah kapsul sasaran maupun kapsul aluminium yang sudah disortir di dalam Hot Cell berdasarkan umur, dimasukkan ke dalam rak kapsul bentuk silinder kemudian dimasukkan ke dalam drum ukuran 60 liter lalu dikeluarkan dari dalam Hot cell, Bila paparan radiasi pada

permukaan drum nilainya dibawah 200 mR/jam, maka dilakukan persiapan untuk keperluan pengiriman ke PTLR ? BATAN. Namun bila paparan radiasi pada permukaan drum nilainya lebih besar dari 200 mR/jam, drum yang berisi limbah dimasukkan kembali ke dalam Hot Cell limbah untuk dikurangi jumlah limbahnya agar paparan radiasi pada permukaan drum nilainya dibawah 200 mR/jam.

4.6. Pewadahan dan Pelabelan Bungkusan Limbah Radioaktif untuk Keperluan Pengiriman ke PTLR ? BATAN.

Limbah radioaktif padat terkompaksi aktivitas tinggi yang sudah ada di dalam drum dengan nilai paparan radiasi di bawah 200 mR/jam yang sudah siap dikirim ke PTLR ? BATAN, sebelum dilabel sebaiknya plastik pembungkus drum dilepas lebih dulu dan drumnya dites usap untuk memastikan bahwa drum sudah bebas kontaminasi guna mencegah terjadinya penyebaran kontaminasi.

Drum yang berisi limbah padat terkompaksi yang sudah dinyatakan bebas kontaminasi dimasukkan ke dalam sel drum atau sel beton, setelah ditutup, oleh petugas proteksi diukur paparan radiasinya baik pada permukaan maupun pada jarak 1 meter. Selanjutnya dilakukan penempelan label untuk pengiriman limbah dimana pada label tersebut berisi informasi tanggal pengukuran, nama dan tanda tangan petugas proteksi radiasi, jenis limbah, kategori limbah, paparan radiasi baik pada permukaan maupun pada jarak 1 meter dari permukaan.

Sedangkan drum yang di dalamnya berisi limbah kapsul sasaran di dalam rak kapsul yang nilai paparan radiasi pada permukaannya di bawah 200 mR/jam dimasukkan ke dalam sel drum atau sel beton, setelah ditutup, oleh petugas proteksi diukur paparan radiasinya baik pada permukaan maupun pada jarak 1 meter. Selanjutnya dilakukan penempelan label untuk pengiriman limbah dimana pada label tersebut berisi informasi tanggal pengukuran, nama dan tanda tangan petugas proteksi radiasi, jenis limbah, kategori limbah, paparan radiasi baik pada permukaan maupun pada jarak 1 meter dari permukaan.

Agar dapat berjalan dengan lancar, maka untuk waktu pelaksanaan pengiriman limbah radioaktif padat aktivitas tinggi hasil proses produksi radioisotop, terlebih dahulu harus dilakukan koordinasi dengan pihak PTLR ? BATAN .

4.7. Perkiraan Besarnya Dosis Radiasi Yang Diterima Oleh Petugas Yang Menangani Limbah Radioaktif.

Guna mengetahui seberapa besar dampak radiologi khususnya yang dialami oleh petugas yang melakukan kegiatan penanganan limbah padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop, maka perlu dibuat perkiraan besarnya dosis radiasi personil yang diterima.

Besarnya dosis radiasi (dalam mSv) yang diterima oleh pekerja radiasi dapat ditentukan melalui persamaan :

$$D = \frac{(R \times T)}{6000} \quad \text{mSv} \qquad (1)$$

dengan : R : paparan radiasi (mR/jam), T : waktu kerja (menit), 6000 : faktor konversi dari jam ke menit dan dari mR ke mSv.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pada uraian tersebut di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Mengingat penanganan limbah padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop sifatnya sangat spesifik, maka prosedur penanganannya harus dibuat terpisah dari penanganan limbah radioaktif jenis lain.
2. Sebelum dilakukan kegiatan penanganan limbah padat aktivitas tinggi hasil produksi radioisotop, terlebih dahulu harus dibuat perencanaan yang matang termasuk kebutuhan sarana dan perlengkapan yang diperlukan, jumlah petugas yang terlibat serta pembagian tugas secara jelas agar dapat berjalan dengan lancar, aman, selamat dan ekonimis.
3. Guna memudahkan pelaksanaan inventarisasi, maka setiap selesai proses produksi radioisotop harus dilakukan pencatatan jenis dan jumlah limbah radioaktif padat aktivitas tinggi yang dihasilkan.
4. Guna mengetahui perkembangan jenis dan jumlah limbah radioaktif padat aktivitas tinggi yang ada, maka harus dilakukan inventarisasi secara reguler minimal sekali dalam tiga bulan (triwulanan).
5. Kegiatan penyortiran limbah radioaktif harus dilakukan berdasarkan pada umur limbah dalam pengertian limbah radioaktif yang umurnya lama jadi prioritas untuk dikirim ke PTLR ? BATAN.
6. Guna menghindari terjadinya penyebaran kontaminasi, wadah yang berisi limbah khususnya drum harus dites usap dan didekontaminasi lebih dulu sebelum dikirim ke PTLR ? BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. MEDHI PHYSICS, Dokumen Pengelolaan Limbah Radioaktif di Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR), Medhi Physics, 1989.
2. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka- BAPETEN/V-99, tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Dengan Radiasi , Jakarta, 1999.
3. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 03/Ka ? BAPETEN/V-99, tentang Ketentuan Keselamatan Untuk Pengelolaan Limbah Radioaktif.
4. PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA, Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 2002 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.

5. PUSAT PRODUKSI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA, Petunjuk Pelaksanaan Pemantauan dan Penanganan Limbah Radiosktif di Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR), Nomor Dokumen BT141-A03-013 Revisi 0, 2007.
6. PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA, Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif

TANYA JAWAB

1. Penanya : Wahyuningsih

Pertanyaan

- Limbah radioaktif padat aktivitas tinggi biasanya banyak terdapat dimana?
- Apa saja nama unsur radioaktif tersebut ?

Jawaban :

- Radioaktif padat aktivitas tinggi biasanya banyak terdapat di instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka.
- Nama unsurnya cukup banyak ada sekitar 150 buah.

2. Penanya : Mutia

Pertanyaan :

- Limbah radioaktif padat aktivitas tinggi tidak langsung dikirim ke PTLR-BATAN tapi harus disimpan di *Hot Cell*, berapa lama waktu penyimpanannya (di *Hot cell*) atau sampai aktivitas berapa baru bisa dikirim ke PTLR-BATAN?
- Bagaimana prosedur penyimpanan jika limbah tersebut berasal dari luar PT Batek (misal perusahaan NDT atau perusahaan swasta yang menghasilkan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi). Apa harus disimpan di Hot Cell atau disimpan di perusahaan tersebut baru dikirim ke PTLR-BATAN jika aktivitas telah terpenuhi?

Jawaban :

- Tergantung nilai laju paparan radiasi pada permukaan wadahnya, jika sudah < 200 mR/j baru bisa dikirim ke PTLR.
- Limbah radioaktif padat aktivitas tinggi yang berasal dari luar PT Batek, harus dikirim langsung ke negara asal pengirim radioaktif tersebut atau dikirim ke PTLR-BATAN.

3. Penanya : Dartini

Pertanyaan :

- Definisi limbah radioaktif padat aktivitas tinggi apakah dilihat dari aktivitas tinggi pada proses produksi radioisotop, ataukah dilihat dari media yang terkontaminasi limbah padat radioaktif tersebut?
- Tidak ada penjelasan mengenai alat pelindung diri yang digunakan untuk menangani limbah radioaktif?

Jawaban :

- Dilihat dari kandungan aktivitas, waktu paruh dan laju paparan radiasi pada permukaan wadah.
- Penjelasan mengenai alat pelindung diri yang digunakan untuk menangani limbah radioaktif ada di dalam prosedur penanganan limbah radioaktif tersebut.

4. Penanya : Nunung Isnaini

Pertanyaan :

- Apakah sistem manajemen limbah ini sudah dikaji lebih lanjut sehingga menjadi SOP yang paten, sehingga bisa diterapkan oleh instansi-instansi terkait?
- Bagaimana dengan manajemen limbah yang berjalan saat ini, apa perbedaannya dengan manajemen limbah yang dikaji dalam penelitian ini?

Jawaban :

- Sudah dikaji dan bisa dijadikan SOP baku.
- Manajemen limbah yang ada saat ini hanya untuk aktivitas rendah dan sedang, dimana pengelolaannya sangat berbeda dengan limbah radioaktif padat aktivitas tinggi.

KALIBRASI SPEKTROMETER GAMMA *IN-SITU* UNTUK PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS DI TANAH

Wahyudi [1)], Dadong Iskandar [1)], Zalfi Hendri Eka Putra [2)], dan I Putu Elba [2)]

[1)] Pusat Teknologi keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
[2)] Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir – BAPETEN
E-mail : wah_yudi@batan.go.id

ABSTRAK

KALIBRASI SPEKTROMETER GAMMA *IN-SITU* UNTUK PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS DI TANAH. Telah dilakukan kalibrasi spektrometer gamma in situ GC-2520 buatan Canberra USA untuk pengukuran radioaktivitas di tanah. Kalibrasi spektrometer gamma *in situ* digunakan untuk melakukan pengukuran tingkat radiaktivitas lingkungan secara langsung baik untuk radioaktivitas alam di tanah maupun untuk kontaminasi radioaktivitas artifisial di permukaan tanah. Kalibrasi dilakukan dengan menempatkan detektor HPGe di atas permukaan tanah secara horizontal. Sumber standar diletakkan pada jarak 100 cm dari permukaan detektor pada sudut $\phi = 0^o$ kemudian dilakukan pencacahan selama 1800 detik. Setelah selesai, sumber standar dipindah kedudukannya pada sudut 15º, 30º, 45º, 60º, 75º, dan 90º. Spektrum hasil pencacahan dianalisis untuk menentukan peak deteksi efisiensi pada puncak energi yang muncul dari sumber standar yang selanjutnya digunakan untuk mementukan faktor kalibrasi spektrometer gamma in situ. Untuk mengetahui validitas hasil kalibrasi maka spektrometer gamma in situ digunakan untuk melakukan pengukuran secara langsung dan dilakukan sampling tanah pada daerah pengambilan data secara *in situ* kemudian dilakukan pengukuran di laboratorium. Hasil analisis konsentrasi radionuklida di tanah secara *in situ* dan analisis di laboratorium diperoleh hasil yang tidak jauh berbeda.

Kata kunci : spectrometer gamma, kalibrasi, *in-situ*

ABSTRACT

CALIBRATION OF IN SITU GAMMA SPECTROMETER FOR RADIOACTIVITY MEASUREMENTS IN THE SOIL. *Calibration of in situ gamma spectrometer GC-2520 made in by Canberra ? USA for radioactivity measurements in the soil has been carried out. Calibration of in situ gamma spectrometre is used to measurements of the environmental radioactivity directly such as for the natural radioactivity in soil and for radioactivity in surface soil artificial contamination. Calibration was done by the placed of HPGe detector on the soil surface horizontaly. Standard source was placed at a distance of 100 cm from the surface of the detector at an angle of $\phi = 0^o$ then counted for 1800 seconds. Once completed, the standard source moved his position at an angle 15º, 30º, 45º, 60º, 75º, and 90º. Spectrum of the result of aquisition was analyzed to determine peak detection efficiency at the peak energy that comes from standard sources were then used to determine of in situ gamma spectrometer calibration factor. To find out the validity of the calibration results of in situ gamma spectrometre, the detector was used to direct measurements and compared the soil sampling conducted in the area of data collection then analyzed in the laboratory. The results of the measurement of radionuclide concentrations in soil by in situ and laboratory analysis results were not much different.*

Keywords : gamma spectrometer, calibtration, in-situ

I. PENDAHULUAN

Dengan pesatnya perkembangan teknologi nuklir maka terdapat tuntutan yang menghendaki keselamatan masyarakat dan lingkungan perlu dikembangkan kapasitas pengamatan melalui pengukuran tingkat radioaktivitas lingkungan secara cepat, tepat dan akurat. Pengukuran secara langsung sudah banyak dikembangkan terutama pengukuran laju pajanan radiasi dengan berbagai satuan sesuai kebutuhan analisis. Untuk pengukuran tingkat radioaktivitas lingkungan pada umumnya dilakukan dengan teknik sampling.

Pengukuran tingkat radioaktivitas lingkungan dengan menggunakan spektrometer gamma *in situ* yang dilengkapi dengan detektor Germanium kemurnian tinggi (HPGe) telah lakukan oleh Beck et. all, 1972, dan telah dikembangkan oleh Sakai, et all, 1976 dengan menggunakan detektor Germanium Lithium (GeLi) [1,2]. Pengukuran secara *in situ* ini juga telah dipakai sebagai salah satu kegiatan monitoring lepasan zat radioaktif secara rutin di fasilitas nuklir seperti di *Japan Atomic Energy Institute* – Tokai Jepang [4].

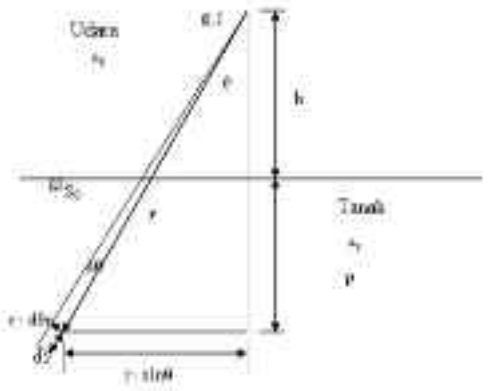
Di Indonesia, telah banyak pengunaan teknologi nuklir, untuk itu perlu suatu alat yang dapat mendeteksi tingkat radioaktivitas secara cepat, tepat dan akurat. Beberapa institusi telah memiliki spektrometer gamma *in situ* yang dilengkapi detektor HPGe seperti Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi (PTKMR) - BATAN, Pusat Teknologi Pengelolaan Limbah Radioaktif (PTLR) - BATAN dan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Supaya dapat digunakan untuk melakukan pengukuran secara cepat dan akurat spektrometer gamma *in situ* perlu dikalibrasi [3]. Spektrometer gamma *in situ* milik PTKMR-BATAN telah dilakukan kalibrasi [3] dan telah diaplikasikan untuk pengukuran radioaktiviats lingkungan di beberapa lokasi [5,6,7], sedangkan spektrometer gamma *in situ* milik BAPETEN masih dalam taraf validasi untuk pengukuran dan perlu dilakukan kalibrasi.

Laporan ini menguraikan tentang kalibrasi spektrometer gamma *in situ* milik BAPETEN yang dilakukan di PTKMR – BATAN. Kalibrasi dilakukan dengan mengadopsi metode kalibrasi yang dikembangkan oleh Sakai et. all, 1976 [2]. Kalibrasi spektrometer gamma *in situ* digunakan untuk melakukan pengukuran tingkat radiaktivitas lingkungan secara langsung baik untuk radioaktivitas alam di tanah maupun untuk kontaminasi radioaktivitas artificial di permukaan tanah.

II. TEORI

Untuk melakukan pengukuran tingkat radioaktivitas lingkungan menggunakan sistem spektrometer gamma *in situ* perlu dijelaskan beberapa konsep teoritis meliputi distribusi radionuklida di dalam tanah.

Distribusi radionuklida di tanah dikelompokkan dalam tiga kategori yaitu; radionuklida terdistribusi homogen dalam tanah, radionuklida terdistribusi homogen di permukaan tanah, dan radionuklida terdistribusi secara exponnensial terhadap kedalaman tanah yang secara teori dapat dilihat pada Gamber 1 dan secara perhitungan di uraikan dalam persamaan berikut [1,2,3];



Gambar 1. Skema konsentrasi radionuklida di tanah.

..... (1)

dengan :

S : konsentrasi radionuklida pada kedalaman z dalam tanah (pCi/g)

S_0 : konsentrasi radionuklida pada permukaan tanah (pCi/g)

α : resiprokal dari panjang relaksasi vertikal (cm^{-1})

ρ : densitas tanah (g/cm^3)

z : kedalam tanah (cm)

Untuk pengendapan radionuklida di permukaan tanah yang masih baru, nilai $\alpha \approx \infty$ cm^{-1}, untuk distribusi radionuklida homogen, nilai $\alpha \approx 0$ cm^{-1}, sedangkan untuk pengendapan radionuklida yang talah lama bergantung pada umur pengendapan dan migrasi radionuklida pada tanah dengan nilai antara 0,05 cm^{-1} sampai 0,16 cm^{-1}.

Untuk menetukan konsentrasi radionuklida di tanah pada pengukuran menggunakan spektrometer gamma *in situ* perlu ditentukan faktor kalibrasi untuk setiap radionuklida yang diamati, secara empirik dapat ditentukan menggunakan persamaan[1,2];

— = — . — . — ..... (2)

dengan :

— : faktor kalibrasi aktivitas (cps / pCi/g)

— : laju cacah per unit radiasi gamma yang mengenai detektor pada arah normal [cps / (γ / cm^2.dt)].

— : faktor koreksi sudut yang diakibatkan tidak seragamnya tanggapan detektor terhadap radiasi gamma pada variasi sudut datang.

— : fluk radiasi gamma total yang mengenai detektor per unit aktivitas radionuklida dalam tanah [(γ / cm^2.dt) / (pCi/g)].

Radiasi gamma yang mengenai detektor pada arah normal bergantung pada energi gamma yang mengenai detektor dan besarnya nilai α/ρ dari tanah. Untuk konsentrasi radionuklida terdistribusi homogen digunakan nilai $\alpha/\rho = 0$, sedangkan untuk *fresh fall out* digunakan nilai $\alpha/\rho = \infty$,

ini berarti *fresh fall out* dianggap radionuklida terdistribusi homogen di permukaan tanah. Untuk menentukan besarnya nilai $\frac{}{\varphi}$ menggunakan persamaan sebagai berikut[1,2] ;

$$\frac{}{\varphi} = \varepsilon \cdot 4\pi r^2 \quad \text{..... (3)}$$

dengan :

ε : peak deteksi efisiensi (cps/dps).

r : jarak antara sumber standar dan detektor (cm).

Perhitungan peak deteksi efisiensi setiap energi pada suatu radionuklida ditentukan dengan persamaan umum sebagai berikut [8];

$$= \frac{}{} \quad \text{..... (4)}$$

dengan :

: peak efisiensi deteksi (cps/ dps)

N_i : cacahan pada puncak energi radionuklida yang diamati (cacah)

T : waktu pencacahan (detik)

A_t : aktivitas sumber standar pada saat pencacahan (Bq)

P_γ : *Yield* (%)

Besarnya faktor koreksi sudut yang diakibatkan tidak seragamnya tanggapan detektor terhadap radiasi gamma pada variasi sudut datang ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [1,2];

$$\frac{}{} = \frac{}{\varphi} \quad \frac{\varphi}{} \quad \text{..... (5)}$$

dengan :

R(θ) adalah pengaruh sudut datang terhadap detektor pada peak deteksi efisiensi.

Pengaruh sudut datang dari radionuklida di tanah bergantung besarnya sudut datang, untuk sudut θ = 0º mempunyai jarak paling dekat dengan detektor, sedangkan semakin besar sudut datang maka jarak radionuklida ke detektor akan semakin jauh. Besarnya faktor koreksi yang diakibatkan sudut datang radionuklida di tanah dihitung dengan persamaan berikut [1,2]:

..... (6)

dengan :

r : jarak setiap radionuklida pada variasi tempat ke detektor (cm)

: cos

z : posisi kedalaman radinuklida dalam tanah (cm)

: aktivitas radionuklida pada permukaan tanah ( )

α : resiprokal dari panjang relaksasi vertikal (cm^{-1})

ρ : densitas tanah (g/cm^3)

Besarnya nilai fluk bergantung pada distribusi radionuklida di tanah. Untuk radionuklida alam seperti ^{40}K, Seri-^{238}U, Seri-^{232}Th diasumsikan homogen di dalam tanah, sehingga untuk perhitungan dipilih nilai fluk dengan satuan pCi/g (Tabel 1), sedangkan untuk radionuklida yang hanya terdistribusi homogen di permukaan tanah seperti ^{131}I, ^{137}Cs, ^{60}Co dan lainnya dipilih nilai fluk dengan satuan mCi/km^2 (Tabel 2) yang di adopsi dari Beck, et. al., 1972[1]. Sedangkan untuk menghitung laju dosis dari sumber radionuklida alam dipakai Tabel 3.

Tabel 1. Unscatered fluk per pCi/g pada satu meter di atas permukaan tanah untuk radionuklida yang terdistribusi homogen di tanah untuk ^{226}Ra dan ^{232}Th [1]

Decaying Isootope	E (keV)	γ's/dis *	Flux (γ's/cm^2-s	Decaying Isootope	E (keV)	γ's/dis *	Flux (γ's/cm^2-s
^{226}Ra	186	0,034	4.58(-3)	^{212}Pb	239	0.490	7.25(-2)
^{214}Pb	242	0,070	1.04(-2)	^{224}Ra	241		
	295	0.179	2.91(-2)	^{228}Ac	270	0.065	1.02(-2)
	352	0.350	6.01(-2)	^{208}Tl	277		
^{214}Bi	609	0.430	9.42(-2)	^{228}Ac	282		
	666	0.015	3.39(-3)	^{212}Pb	301	0.034	5.53(-3)
	768	0.048	1.17(-2)	^{228}Ac	338	0.129	2.18(-2)
	934	0.031	8.10(-3)	Mixed	328-340	0.172	2.90(-3)
	1120	0.145	4.21(-2)	^{228}Ac	463	0.047	9.20(-2)
	1238	0.056	1.72(-2)	^{208}Tl	510	0.096	1.93(-2)
	1378	0.046	1.49(-2)	^{208}Tl	583	0.300	6.39(-2)
	1401-08	0.038	1.25(-2)	^{212}Bi, ^{228}Ac	727	0.079	1.86(-2)
	1510	0.021	7.12(-3)	^{228}Ac	755	0.011	2.70(-2)
	1730	0.028	1.02(-2)		772	0.017	4.10(-3)
	1765	0.147	5.39(-2)		795	0.049	1.20(-2)
	1848	0.021	7.91(-3)		830+35+40	0.038	9.40(-3)
	2205	0.047	1.95(-2)	^{208}Tl	860	0.047	1.18(-2)
^{228}Ac	2448	0.015	6.66(-3)	^{228}Ac	911	0.290	7.55(-2)
	129	0.025	2.90(-3)		965+69	0.230	6.13(-2)
	210	0.041	5.80(-3)		1548	0.046	1.23(-2)
				^{208}Tl	2614	0.360	0.167

* Transitions for which γ's/dis <.02 are not listed except where they are required to correct measurements of the flux from some other natural or fallout emitter. Series equilibrium is assumed.

Tabel 2. Unscatered fluk per mCi/km^2 pada satu meter di atas permukaan tanah untuk radionuklida yang terdistribusi homogen di permukaan tanah (*fresh fall out*) [1]

Isotope	Eγ(keV)	γ' s/dis	(α / ρ) – cm^2 /g					
			0.0625	0.206	0.312	0.625	6.25	∞(Plane)
^{144}Ce	134	0.108	6.51(-5)	1.59(-4)	2.04(-4)	2.90(-4)	5.63(-4)	6.99(-4)
^{141}Ce	145	0.490	3.03(-4)	7.43(-4)	9.43(-4)	1.34(-3)	2.57(-3)	3.21(-3)
^{131}I	364	0.824	6.92(-4)	1.58(-3)	1.96(-3)	2.67(-3)	4.82(-3)	5.88(-3)
^{125}Sb	428	0.296	2.63(-4)	5.89(-4)	7.39(-4)	9.88(-4)	1.75(-3)	2.15(-3)
^{140}La	487	0.45	4.13(-4)	9.19(-4)	1.14(-3)	1.54(-3)	2.71(-3)	3.30(-3)
^{103}Ru	497	0.89	8.20(-4)	1.84(-4)	2.27(-3)	3.08(-3)	5.43(-3)	6.59(-3)
^{106}Ru	512	0.206	1.94(-4)	4.34(-4)	5.33(-4)	7.16(-4)	1.27(-3)	1.53(-3)
^{140}Ba	537	0.238	2.29(-4)	5.11(-4)	6.25(-4)	8.37(-4)	1.47(-3)	1.78(-3)
^{125}Sb	601	0.184	1.84(-4)	4.02(-4)	4.90(-4)	6.57(-4)	1.14(-3)	1.38(-3)
^{103}Ru	610	0.054	5.33(-5)	1.18(-4)	1.44(-4)	1.93(-4)	3.40(-4)	4.06(-4)
^{106}Ru	622	0.10	1.00(-4)	2.19(-4)	2.68(-4)	3.59(-4)	6.29(-4)	7.55(-4)
^{137}Cs	662	0.846	8.73(-4)	1.89(-3)	2.32(-3)	3.08(-3)	5.38(-3)	6.42(-3)
^{95}Zr	724	0.435	4.67(-4)	9.98(-4)	1.22(-3)	1.61(-3)	2.82(-3)	3.33(-3)
^{95}Zr	757	0.543	5.91(-4)	1.27(-3)	1.54(-3)	2.07(-3)	3.54(-3)	4.22(-3)
^{95}Nb	766	0.998	1.09(-3)	2.35(-3)	2.85(-3)	3.85(-3)	6.59(-3)	7.77(-3)
^{140}La	816	0.231	2.58(-4)	5.47(-4)	6.67(-4)	8.97(-4)	1.54(-3)	1.81(-3)
^{54}Mn	835	1.0	1.13(-3)	2.39(-3)	2.89(-3)	3.89(-3)	6.66(-3)	7.84(-3)
^{140}La	1597	0.956	1.38(-3)	2.71(-3)	3.26(-3)	4.21(-3)	6.93(-3)	8.03(-3)
^{60}Co	1173	1.0	1.27(-3)	2.62(-3)	3.16(-3)	4.12(-3)	6.93(-3)	8.10(-3)
^{60}Co	1333	1.0	1.34(-3)	2.72(-3)	3.27(-3)	4.24(-3)	7.08(-3)	8.23(-3)

Table 3. Laju paparan (μR/hr) pada 1 meter di atas tanah untuk radionuklida alam yang terdistribusi secara uniform di tanah [1]

Isotope		
^{40}K	0.179	1.49 per % K
^{226}Ra+daughters	1.80	0.61 per $0.358x10^{-6}$ ppm Ra
^{214}Pb	0.20	0.07 per $0.358x10^{-6}$ ppm Ra
^{214}Bi	1.60	0.54 per $0.358x10^{-6}$ ppm Ra
^{238}U+daughters	1.82	0.62 per ppm ^{238}U
^{232}Th+daughters	2.82	0.31 per ppm ^{232}Th
^{228}Ac	1.18	0.13 per ppm ^{232}Th
^{208}Tl	1.36	0.15 per ppm ^{232}Th
^{212}Bi	0.09	0.01 per ppm ^{232}Th
^{212}Pb	0.09	0.01 per ppm ^{232}Th
Other	0.09	0.01 per ppm ^{232}Th

Note : Values quoted in reference 1 based on old decay scheme data and buildup factor calculations were ;

^{238}U ? 0.76 (μR/h) / ppm
^{232}Th ? 0,36 (μR/h) / ppm
^{40}K ? 1.71 (μR/h) / % K

Dari beberapa faktor kalibrasi yang telah ditentukan di atas, maka dapat dihitung untuk faktor kalibrasi spektrometer gamma *in situ* untuk pengukuran konsentrasi radioaktivitas di tanah berdasarkan analisis puncak spektrum untuk setiap energi gamma dari radionuklida dihitung dengan menggunakan persamaan ;

= ——— ..... (6)

dengan :

: konsentrasi radionuklida berdasarkan energi tertentu (pCi/g)

: cacah total spesifik untuk radionuklida pada energi tertentu (cacah)

T : lamanya pengambilan data (detik)

— : faktor kalibrasi aktivitas (cps / pCi/g)

Dalam perhitungan terdapat nilai ketidakpastian hasil pengukuran, berdasarkan persamaan 2 dan 3 dapat dihitung nilai ketidakpastian dengan persamaan [2,3]:

= ..... (7)

dengan ;

: ketidakpastian total (%)

— : ketidakpastian faktor kalibrasi (%)

: ketidakpastian dari pencacahan (%)

III. TATA KERJA

Peralatan :

Spektrometer gamma *in situ* merupakan sistem spektrometer gamma portabel yang terdiri dari detektor Germanium kemurnian tinggi koaksial tipe P dengan efisiensi relatif sekitar 25 % terhadap detekktor NaI(Tl) 3″ϕ x 3″ dan resolusi 2,0 keV untuk energi 1332,50 keV, model GC-2520 buatan Canberra USA, dilengkapi dengan dewar untuk pendingin nitrogen cair kapasitas 5 kg. Alat tersebut dilengkapi dengan penganalisa salur ganda gamma *InSpector* 2000 buatan Canberra USA yang dioperasikan dengan Laptop. Untuk analisis dan akuisisi data digunakan program Genie 2000. Sebagai penyangga sumber standar digunakan tiang statis dari besi. Secara skematis alat yang digunakan pada kalibrasi spektrometer gamma *in situ* disajikan pada Gambar 2.

Peralatan lain yang alat sampling tanah dan alat preparasi tanah seperti : neraca analitis, oven, ayakan 100 mesh ASTM, alat giling tanah, Marinelli beaker, lem araldhit, dan spektrometer gamma laboratorium untuk analisis tingkat radioaktivitas ^{40}K, ^{226}Ra, dan ^{232}Th dalam sampel tanah [9,10].

Gambar 2. Kalibrasi spektrometer gamma *in situ*.

Bahan :

Bahan yang digunakan untuk mengkalibrasi sistem spektrometer gamma *in situ* yaitu ^{22}Na, ^{54}Mn, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{109}Cd, ^{133}Ba, dan ^{137}Cs, dengan rentang energi dari 81 keV sampai dengan 1332,50 keV buatan *Isotopes Products Laboratory* USA. Sumber standar tersebut dalam bentuk titik dengan aktivitas tiap radionuklida sekitar 1 µCi per 1 Desember 2009. Secara lengkap bentuk dan aktivitas sumber standar dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 4.

Gambar 3. Sumber standar yang digunakan untuk kalibrasi spektrometer gamma *in situ*.

Tabel 4. Data radionuklida yang digunakan untuk kalibrasi spektrometer gamma *in situ*.

Nuklida	Kode	Aktivitas		Waktu paro		Energi (keV)	Yield
		(kBq)	(µCi)	Nilai	satuan		
Ba-133	1389-77-1	38,92	1,052	10,57	tahun	80,9975	0,341
						276,4	0,0717
						302,8527	0,1832
						356,0146	0,62
						383,8505	0,0893
Cd-109	1389-77-2	38,41	1,038	462,6	hari	88,0341	0,0365
Co-57	1389-77-3	37,63	1,017	271,79	hari	122,0614	0,8568
						136,4743	0,1067
Co-60	1389-77-4	37,93	1,025	5,2719	tahun	1173,238	0,9989
						1332,502	0,99983
Cs-137	1389-77-5	35,48	0,986	30,25	tahun	661,66	0,852
Mn-54	1389-77-6	38,52	1,041	312,3	hari	834,843	0,99976
Na-22	1389-77-7	36,09	0,9755	2,603	tahun	511	1,805
						1274,542	0,9993

Ref. Date : 1 Desember 2009

Metodologi :

Detekktor HPGe ditempatkan di atas permukaan tanah secara horizontal. Sumber standar diletakkan pada jarak 100 cm dari permukaan detektor pada sudut $\phi = 0^o$ kemudian dilakukan pencacahan selama 1800 detik. Setelah selesai, sumber standar dipindah kedudukannya pada sudut 15º, 30º, 45º, 60º, 75º, dan 90º yang secara skematik disajikan pada Gambar 2. Spektrum hasil pencacahan dianalisis untuk menentukan peak deteksi efisiensi pada puncak energi yang muncul dari sumber standar. Sebagai pembanding hasil pengukuran dilakukan sampling tanah pada daerah pengambilan data secara *in situ* kemudian dilakukan pengukuran di laboratorium.

Aplikasi spektrometer gamma *in situ*

Pada pengukuran radioaktivitas menggunakan spektrometer gamma *in situ*, detektor ditempatkan pada tripot dengan jarak 100 cm antara permukaan tanah dengan permukaan detektor yang secara skematis seperti Gambar 4. Lama waktu pengambilan data dilakukan sesuai dengan perkiraan konsentrasi di tanah. Untuk radionuklida dengan konsentrasi rendah pengambilan data dilakukan minimal satu sampai dengan empat jam, sedangkan untuk daerah konsentrasi tinggi dapat dilakukan dengan durasi waktu yang lebih pendek. Analisis konsentrasi radionuklida dilakukan dengan mengamati cacahan pada puncak energi gamma yang muncul. Konsentrasi radionuklida dalam tanah ditentukan berdasarkan besarnya nilai cacahan pada puncak energi yang teramati

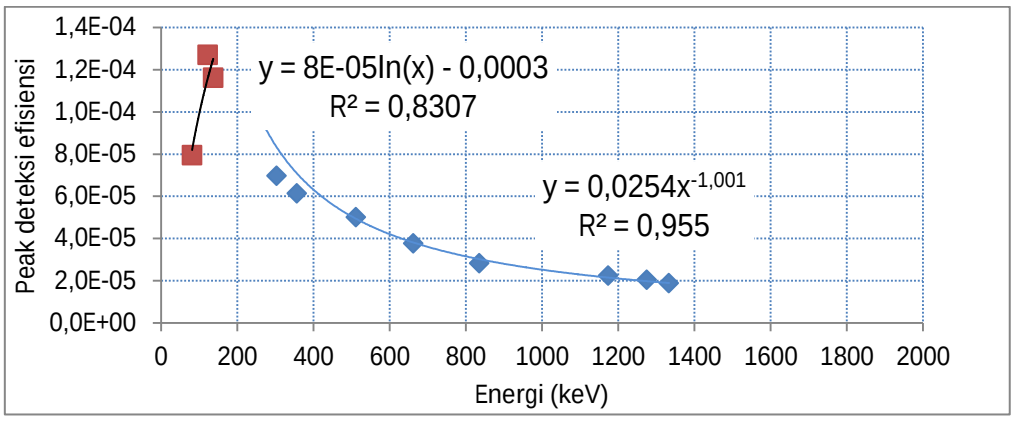
dibagi dengan faktor kalibrasi yang telah dibuat. Untuk radionuklida dengan energi gamma tunggal konsentrasi radionuklida ditentukan secara langsung, sedangkan untuk radionuklida dengan multi energi perlu mengamati beberapa puncak pada energi lain yang muncul.

Gambar 4. Pengukuran radioaktivitas lingkungan menggunakan spektrometer gamma *in situ*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

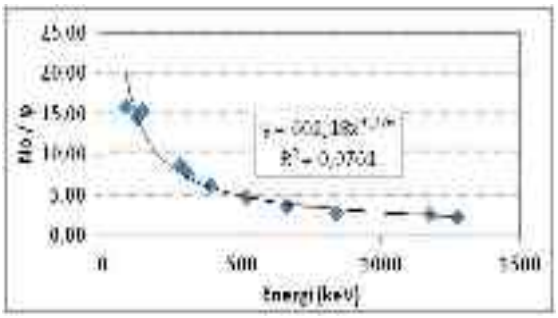
Hasil analisis pada pengukuran sumber standar pada jarak 100 cm dari permukaan detektor diperoleh nilai peak deteksi efisiensi. Besarnya nilai peak deteksi efisiensi secara kurva disajikan pada Gambar 5. Peak deteksi efisiensi pada kalibrasi efisiensi diperoleh nilai efisiensi mula-mula rendah kemudian naik secara exponensial, setelah itu pada energi sekitar 150 keV akan turun secara exponensial seiring dengan naiknya energi gamma. Hal tersebut seusai dengan karakteristik spektrometer gamma dengan detektor HPGe yang mempunyai efeisiensi puncak (knee) pada energi sekitar 140 keV.

Kurva efisiensi ini digunakan untuk menentukan besaranya nilai $\overline{\Phi}$ pada Persamaan 3. Sedangkan nilai fluk ditentukan berdasarkan distribusi radionuklida di tanah dengan mempertimbangkan nilai α/ρ yang bervariasi dari 0 (*uniform*) sampai ∞ (*plane*). Penggunaan nilai α/ρ bergantung dari asumsi radionuklida yang terdistribusi di tanah, untuk distribusi radionuklida alam yang terdistribusi homogen di dalam tanah maka dipakai nilai $\alpha/\rho = 0$ cm^2/g, sedangkan untuk radionuklida *fresh fall out* digunakan nilai $\alpha/\rho = \infty$ cm^2/g.



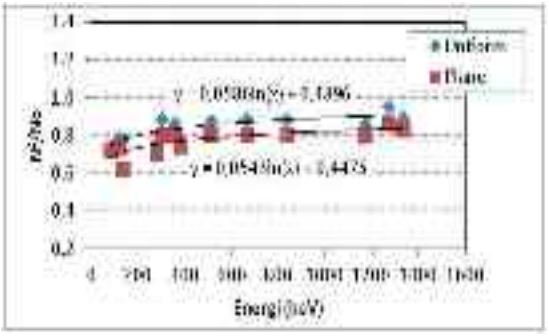
Gambar 5. Peak deteksi efisiensi spektrometer gamma *in situ* jarak antara detektor dan sumber standar 100 cm.

Dengan menggunakan persamaan 3, maka N_0/φ dapat dihitung dengan menggunakan effisiensi kalibrasi dari Gambar 5. Hasil N_0/φ dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai N_0/φ bergantung pada energi gamma, N_0/φ tinggi untuk energi rendah kemudian menurun secara eksponensial dengan kenaikan energi gamma. Ini merupakan karakteristik secara umum dari spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe.



Gambar 6. Grafik hubungan antara N_0/φ fungsi energi gamma.

Respon detektor bergantung sudut datang dari sumber radiasi, besarnya nilai N_f/N_o terhadap variasi sudut datang bergantung pada respon sudut untuk detektor ke sumber radiasi dan variasi sumber radiasi yang terdistribusi di tanah ke detektor. Pengaruh variasi respon detektor terhadap sudut datang di tentukan dengan melakukan pengukuran sumber standar pada variasi sudut datang mulai dari 0º, 15º, 30º, 45º, 60º, 75º, dan 90º. Sedangkan variasi datangnya sumber radiasi pada radionuklida yang terdistribusi di tanah dihitung dengan mengadopsi perhitungan yang dilakukan oleh Sakai, et. al, 1976. Besarnya nilai — untuk radionuklida yang terdistribusi homogen di dalam tanah dan terdistribusi homogen di permukan tanah di sajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Besarnya nilai N_f/N_o fungsi energi gamma.

Setelah N_o/φ dan N_f/N_o ditentukan dengan eksperimen dan analisis, maka dengan memakai Tabel 1-3, faktor kalibrasi spektrometer gamma *in-situ* dapat ditentukan dengan memakai Persamaan 2. Hasil perhitungan untuk Tabel 1 dan Tabel 2 ditunjukkan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.

Hasil analisis pengukuran radioaktivitas alam menggunakan spectrometer gamma *in situ* di daerah sekitar Waduk Jatiluhur dengan menggunakan hasil kalibrasi seperti tertera pada Tabel 5 ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 5. Faktor kalibrasi spektrometer gamma in situ untuk pengukuran konsentrasi radioaktivitas alam yang terdistribusi homogen di dalam tanah.

No	Nuklida	Energi (keV)	Yield (%)	N_o / φ	N_f / N_o	φ / S	N_f / S
1.	K-40	1460,75	10,67	2,108703	0,91660	3,63E-02	0,07016
2.	U-238 series						
	Ra-226	186,21	2,51	10,437207	0,79583	4,58E-03	0,03804
	Pb-214	241,98	7,12	8,509139	0,81125	1,04E-02	0,07179
		295,21	18,2	7,297002	0,82286	2,91E-02	0,17473
		351,93	35,1	6,362228	0,83321	6,01E-02	0,31859
	Bi-214	609,32	44,6	4,157797	0,86533	9,42E-02	0,33892
		768,36	4,76	3,472850	0,87893	1,17E-02	0,03571
		1120,29	14,7	2,591392	0,90104	4,21E-02	0,09830
		1764,52	15,1	1,820759	0,92769	5,39E-02	0,09104
3.	Th-232 series						
	Pb-212	238,63	43,5	8,591907	0,81052	7,25E-02	0,50488
	Ac-228	338,42	11,26	6,565790	0,83083	2,18E-02	0,11892
	Tl-208	583,19	30,58	4,300981	0,86278	6,39E-02	0,23712
	Ac-228	794,79	4,34	3,380971	0,88095	1,20E-02	0,03574
	Tl-208	860,56	4,50	3,180940	0,88556	1,18E-02	0,03324
	Ac-228	911,16	26,6	3,041866	0,88893	7,55E-02	0,20415
	Ac-228	968,97	16,23	2,899607	0,89255	6,13E-02	0,15865
	Tl-208	2614,53	35,88	1,342049	0,95072	1,67E-01	0,21308

Tabel 6. Faktor kalibrasi spektrometer gamma *in situ* untuk pengukuran konsentrasi radioaktivitas buatan yang terdistribusi homogen di permukaan tanah.

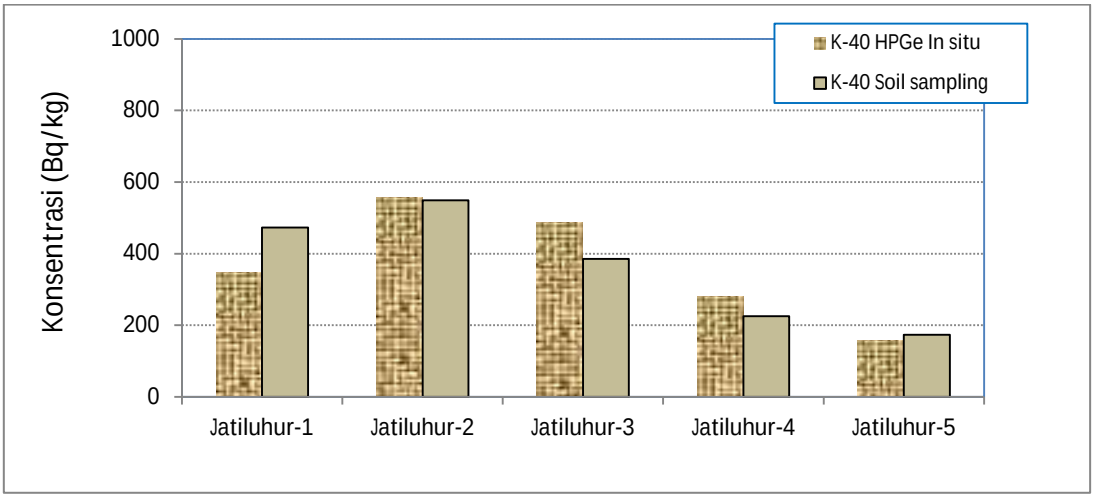
No	Nuklida	Energi (keV)	Yield (%)	N_o / φ	N_f / N_o	φ / S	N_f / S
1.	I-131	364,48	81,6	6,192522	0,76779	5,88E-03	0,02796
2.	Cs-137	661,66	85,20	3,898645	0,80017	6,42E-03	0,02003
3.	Mn-54	843,843	99,976	3,228102	0,81337	7,84E-03	0,02059
4.	Co-60	1173,24	99,89	2,499667	0,83127	8,10E-03	0,01683
		1332,5	99,983	2,264564	0,83818	8,23E-03	0,01562

Tabel 7. Hasil analisis pengukuran radioaktivitas alam menggunakan spektrometer gamma *in situ* di daerah sekitar Waduk Jatiluhur.

Lokasi	K-40		Ra-226		Th-232	
	Bq/kg	Dev.	Bq/kg	Dev.	Bq/kg	Dev.
Jatiluhur-1	345,71	34,49	26,18	3,64	38,25	5,72
Jatiluhur-2	556,65	54,81	42,30	5,25	56,83	7,94
Jatiluhur-3	486,33	47,86	41,02	5,09	61,65	8,04
Jatiluhur-4	279,79	28,05	25,10	3,58	33,13	5,23
Jatiluhur-5	158,21	16,39	19,44	3,14	18,15	2,83

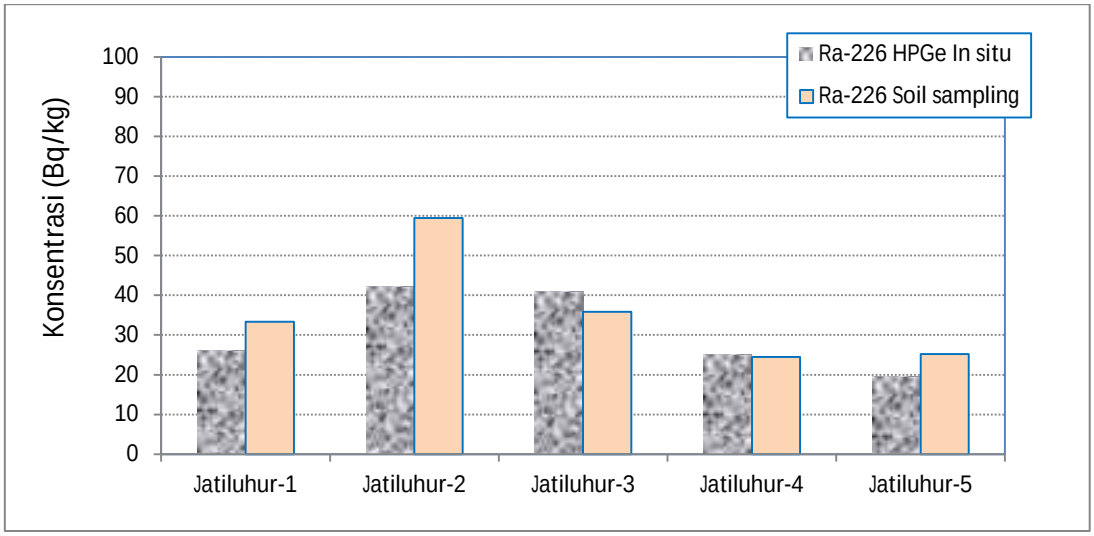
Jika hasil pengukuran secara *in situ* dibandingkan dengan pengukuran radioaktivitas dari sampel tanah di laboratorium, diperoleh hasil seperti disajikan pada Gambar 8, 9, dan 10. Konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, dan ^{232}Th dalam tanah dianggap homogen di tanah, untuk hasil pengukuran ^{40}K dan ^{232}Th dengan spektrometer gamma *in situ* mempunyai kecenderungan nilai yang berdekatan untuk kelima data hasil pengukuran walaupun terjadi perbedaan hasil.

Untuk radionuklida ^{40}K, hasil pengukuran secara *in situ* berdekatan dengan metode sampling maupun pengukuran dengan menggunakan laboratorium Perbedaan hasil pengukuran yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh faktor random dari radionuklida di tanah.

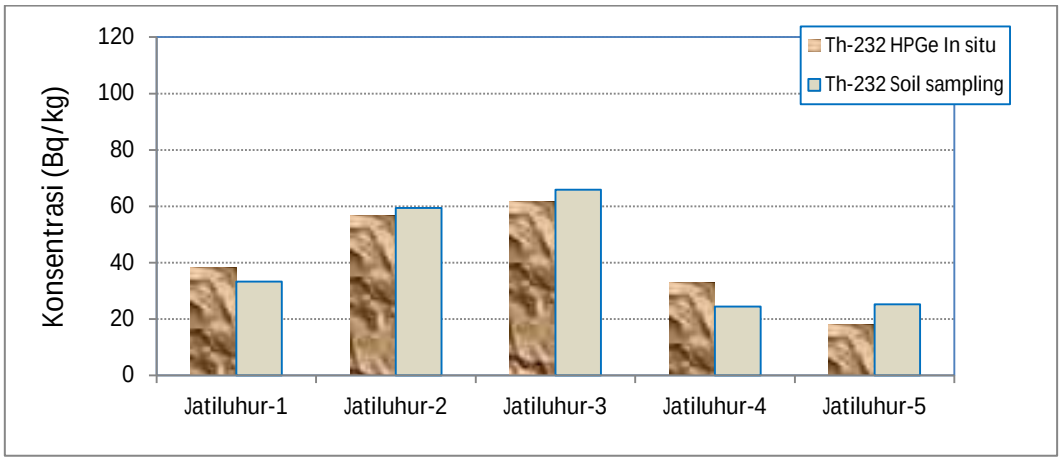


Gambar 8. Hasil analisis ^{40}K antara spektrometer gamma *in situ* dan laboratorium.

Untuk pengukuran konsentrasi ^{226}Ra, hasil pengukuran menggunakan spektrometer gamma *in situ* pada umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan teknik sampling hasilnya relatif sama kecuali Jatiluhur-2, yaitu hasil analaisis dengan teknik sampling lebih tinggi dibandingkan dengan spektrometer gamma *in situ*. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tanah yang disampling banyak mengandung kapur sehingga konsnentrasi ^{226}Ra hasil pengukuran di laboratorium lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran secara *in situ*.



Gambar 9. Hasil analisis ^{226}Ra antara spektrometer gamma *in situ* dan sampling.



Gambar 10. Hasil analisis ^{232}Th antara spektrometer gamma *in situ* dan sampling.

Untuk pengukuran konsentrasi ^{232}Th, hasil pengukuran menggunakan spektrometer gamma *in situ* pada umumnya berdekatan dengan data hasil pengukuran laboratorium. Hal ini kemungkinan pada saat pengukuran lepasan thoron di udara kondisi saat pengukuran pada kondisi yang stabil. Untuk kondisi tanah basah hasil pengukuran secara *in situ* lebih tinggi dibandingkan dengan tanah kering, karena pada tanah basah thoron beserta luruhannya akan terperangkap di bawah permukaan air dan akan memberikan kontribusi pencacahan yang lebih besar saat dilakukan pengukuran secara *in situ*.

Perbedaan hasil pengukuran konsentrasi ^{40}K, ^{226}Ra, dan ^{232}Th di tanah menggunakan spektrometer gamma *in situ* dan teknik sampling diperoleh data seperti disajikan pada Gambar 8, 9, dan 10. Perbedaan hasil pengukuran kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kondisi random dari radionuklida yang terdistribusi pada tanah yang dilakukan pengukuran. Untuk pengukuran menggunakan spektrometer gamma *in situ* dapat dilakukan secara cepat dan didapat data yang mewakili daerah pengukuran yang luas. Sedangkan untuk teknik sampling sampel yang diukur hanya mewakili sebagian kecil bagian tanah dan memerlukan waktu analisis yang cukup lama yaitu sekitar satu bulan.

Keunggulan pengukuran secara *in situ* adalah dapat mewakili daerah pengukuran yang luas serta diperoleh data radionuklida hasil pengukuran yang lebih teliti. Karena pada pengukuran dengan menggunakan spektrometer gamma *in situ* yang dilengkapi dengan detektor HPGe akan diperoleh spektrum hasil pengukuran yang terpisah dengan baik. Spektrum tersebut dapat dianalisis berdasarkan energi gamma untuk menentukan jenis radionuklida, sehingga analisis akan lebih akurat.

Kalau dibandingkan dengan hasil sampling, maka pengukuran secara in situ mempunyai perbedaan yang tidak terlalu jauh. Secara lengkap hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, dan ^{232}Th di tanah antara metode *in situ* dan sampling disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 8. Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{40}K, ^{226}Ra, dan ^{232}Th di tanah antara metode *in situ* dan sampling.

	K-40			Ra-226			Th-232		
Lokasi	In-situ	Sampling	% Beda	In-situ	Sampling	% Beda	In-situ	Sampling	% Beda
Jatiluhur-1	345,71	472,96	-26,91	26,18	33,31	-21,41	38,25	33,31	14,82
Jatiluhur-2	556,65	549,02	1,39	42,30	59,46	-28,86	56,83	59,46	-4,42
Jatiluhur-3	486,33	385,11	26,28	41,02	35,88	14,32	61,65	65,88	-6,43
Jatiluhur-4	279,79	224,90	24,41	25,10	24,45	2,67	33,13	24,45	35,49
Jatiluhur-5	158,21	173,41	-8,77	19,44	25,22	-22,91	18,15	25,22	-28,03

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida yang terdistribusi di tanah menggunakan spektrometer gamma *in situ* yang telah dikalibrasi akan memberikan data ukur yang lebih cepat, tepat dan mewakili daerah pengukuran yang luas. Untuk konsentrasi ^{40}K terdapat perbedaan 1,39 sampai dengan 26,91%, ^{226}Ra 2,67 sampai dengan -28,86% dan ^{232}Th -4,42 sampai dengan -28,03%. Dari kedua metode pengukuran ini diperoleh nilai yang tidak jauh berbeda yaitu di bawah 30% sehingga hasil pengukuran secara *in situ* dapat digunakan sebagai salah satu metode pengukuran konsentrasi radioaktivitas di tanah secara cepat, tepat, akurat dan representatif.

V. KESIMPULAN

Telah dilakukan kalibrasi spektrometer gamma *in situ* yang dilengkapi dengan detektor HPGe GC-2520 buatan Canberra – USA dengan hasil kalibrasi disajikan pada Tabel 5 dan 6. Hasil pengukuran menggunakan spe ktrometer gamma *in situ* di Waduk Jatiluhur dibandingkan dengan pengukuran spektrometer gamma di Laboratorium diperoleh hasil yang tidak berbeda jauh yaitu di bawah 30%, sehingga hasil kalibrasi spektrometer gamma *in situ* dapat digunakan untuk melakukan pengukuran konsentrasi radioaktivitas di tanah pada jarak satu meter dari permukaan tanah dengan hasil yang cepat dan mewakili daerah pengukuran yang luas.

DAFTAR PUSTAKA

1. BECK, H.L., DeCAMPO, J., and GOGOLAK, C., In Situ Ge(Li) and NaI(Tl) gamma-ray spectrometry. Health and Saftey Laboratory-258, United State atomic energy, Technical Information Center, New York, September 1972.
2. SAKAI, E., TERADA, H., and KATAGIRI, M., *In-situ* measurement of the environtment gamma-rays by portable Ge(Li) detectors, Document of JAERI-M 6498, Japan Atomic Energy Research Institute, 1976.
3. ISKANDAR, D., WAHYUDI, dan BUNAWAS, Kalibrasi spektrometri gamma *in-situ* untuk pengukuran radioaktivitas lingkungan, Prosiding PIKRL-VII, P3KRBIN-BATAN, Jakarta, 24-25 Agustus 1999, hal. 221-228.
4. WAHYUDI, Monitoring of radioactive effluents, Report on research activity at Japan Atomic Energy Reserach Institute, Tokai Research Establisment, Tokai-Japan, March 23, 2000.
5. BUNAWAS dan WAHYUDI, Penentuan ^{228}Th, ^{226}Ra, dan ^{40}K dalam tanah menggunakan spektrometer gamma *in-situ*, Prosiding PPI-PDIPTN, P3TM-BATAN Yogyakarta, 25-26 Juli 2000, hal 154-158.
6. SUTARMAN, WAHYUDI, dan WARSONA, A., Penentuan konsentrasi ^{238}U, ^{232}Th dan ^{40}K dalam tanah dan laju paparan total menggunakan spektrometer gamma *in situ* di daerah Jawa Barat, Prosiding PIKRL-VIII, 23-24 Agsutus 2000, hal. 42-49.
7. SYARBAINI, BUNAWAS dan WAHYUDI, Aplikasi spektrometer gamma *in situ* dalam keselamatan nuklir, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir II, BAPATEN, Jakarta, 6-8 Mei 2002, hal. 164-174.
8. DEBERTIN, K., and HELMER, R.G., Gamma and X-Ray spectrometry with semiconductor detectors, Elsevier

Science Publishers BV., Nort Holland, 1988.

9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - A Guidebook, Tech. Rep. Ser. No.295, IAEA, Vienna, 1989

10. BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan, BATAN, Jakarta, 1998.

TANYA JAWAB :

1. **Penanya : Wahyuningsih**
   Pertanyaan :

   - Kriteria apa saja sebagai tempat uji coba alat setelah dikalibrasi?

   Jawaban :

   - Sesuai dengan alat yang kita kalibrasi, untuk spectrometer gamma in situ dilakukan uni coba pengukuran di daerah lapangan yang terbuka, rata, jauh dari bangunan.

PEMANFAATAN *CELL LINE* HepG2 SEBAGAI INANG PARASIT PADA UJI PRA KLINIS VAKSIN MALARIA IRADIASI

Mukh Syaifudin dan Siti Nurhayati

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
E-mail : mukh_syaifudin@batan.go.id

ABSTRAK

PEMANFAATAN *CELL LINE* HepG2 SEBAGAI INANG PARASIT PADA UJI PRA KLINIS VAKSIN MALARIA IRADIASI. Malaria masih merupakan salah satu penyakit infeksi yang serius mengancam kesehatan manusia. Salah satu tahapan siklus hidup parasit malaria pada manusia dan hewan adalah invasi hepatosit dan berkembang biak didalamnya. Setelah itu parasit matang akan menuju sel eritrosit dan muncul gejala klinis malaria. Siklus tahap hati ini memerlukan waktu cukup lama (sekitar 2 minggu) dan merupakan tahap paling penting antara lain untuk mengembangkan vaksin sporozoit. Salah satu kendala pengembangan vaksin tahap ini adalah inang yang sesuai untuk mempelajari dan menelusuri perkembangan parasit tahap eksoeritrositik dan daya imun yang muncul, sehingga dikembangkan suatu sistem seperti *cell line* HepG2. Litbang antara lain bertujuan menguji perkembangan parasit dalam hepatosit dan menguji kemampuan obat untuk mematikan parasit serta respon imun setelah pemberian vaksin. Sasaran utama pemberian vaksin adalah membuat parasit tidak berkembang biak dan atau sel hati yang terinfeksi mengalami kematian apoptosis. Salah satu data menyiratkan bahwa sporozoit iradiasi mampu menginvasi hepatosit secara *in vitro* dan berkembang menjadi trophozoit tetapi tidak mencapai kematangannya serta menginduksi respon imun lebih efektif daripada sporozoit yang dimatikan atau fraksinya. Hasil-hasil pengkajian lain untuk uji pra klinis dalam sel hepatosit ini dibahas dalam makalah ini.

Kata kunci : HepG2, tahap hati, malaria, vaksin.

ABSTRACT

THE UTILIZATION OF HepG2 CELL LINE AS A HOST OF PARASITES IN PRE-CLINICAL TEST OF IRRADIATION MALARIA VACCINE. *Malaria remains one of the most devastating infectious diseases that threaten humankind. One stage of malaria parasites' life cycle in human and animal is the invasion of hepatocyte and its inside development. After that the mature parasites are moves to erythrocyte cells and clinical symptoms of malaria appeared. This liver stage cycles needs a quite long time (around 2 weeks) and as the most crucial step such as to develop sporozoite vaccine. One obstacle in developing this stage vaccine is a host that is representative and compatible to study and tracking the development of the exoerythrocytic (EE) stage and elicited immune power, so that it is crucial to develop a system such as HepG2 cell line. Research and development were done to know the proliferation of parasites in hepatocyte and the capability of drug to kill parasites and immune responses after vaccine administration. The main purpose of vaccine treatment is to prevent the proliferation of parasites and or infected liver cells are going to die through apoptosis. One obtained data showed that irradiated sporozoites invaded hepatocyte in vitro and developed into trophozoites but did not reach its maturity and also induced more effective immune response compared to dead sporozoites or its fraction. The results of other pre-clinical assessments in this hepatocyte cells are presented in this paper.*

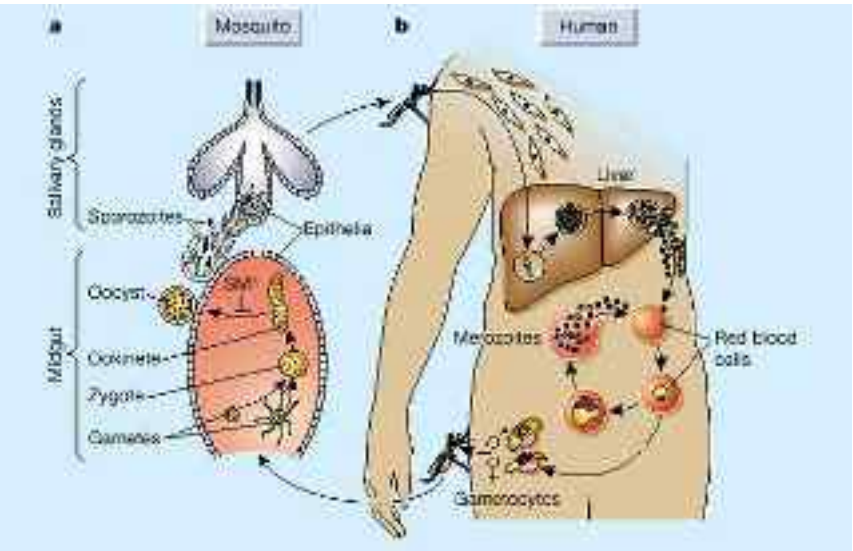
Keywords : HepG2, liver stage, malaria, vaccine

I. PENDAHULUAN

Malaria adalah penyakit yang ditemukan di lebih dari 100 negara, terutama di daerah tropis di benua Afrika, Asia, dan Amerika Latin. Lebih dari 90% kasus malaria dan kematian akibat malaria terjadi di benua Afrika [1]. Saat ini malaria masih menyebabkan angka kematian yang tinggi (sekitar 3 juta kematian per tahun di seluruh dunia) dan memiliki kecenderungan untuk terus meningkat. Laporan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) tahun 2000 menyebutkan Indonesia menempati urutan ke-26 dengan jumlah kasus 919,8 per 100.000 orang [2]. Epidemi fokal ditemukan setiap tahun terutama di luar Pulau Jawa dan Bali, sehingga masih ditemukan kejadian luar biasa (KLB) di beberapa daerah [3]. Di Indonesia tahun 2007 lalu, kematian karena malaria sekitar 1,7 juta jiwa. Dari perhitungan Badan Perencanaan Nasional, Kemenkes, dan lembaga lain, bahwa biaya pemberantasan malaria di Indonesia memerlukan 4 dollar AS per orang per tahun.

Penggunaan obat yang tidak tepat untuk malaria akan menyebabkan mutasi gen yang mengarah ke kekebalan parasit terhadap obat. Variasi genetik *P. falciparum* pun menentukan diversitas gejala klinis, patologi, transmisisi karakteristik dan respon terhadap obat. Satu alternatif untuk mengatasi hal ini adalah penggunaan vaksin, tetapi karena alasan tersebut dan kompleksnya siklus hidup parasit maka vaksin yang efektif dan dapat dipergunakan secara global masih sulit dibuat [4]. Vaksin terbukti merupakan salah satu upaya pencegahan penyakit infeksi yang *cost effective* dan untuk membuat vakain malaria diperlukan pengetahuan serta penelitian mengenai mekanisme imunitas terhadap malaria. Imunitas ini sangat kompleks karena melibatkan hampir seluruh komponen sistem imun baik imunitas spesifik maupun non spesifik, imunitas humoral maupun selular yang timbul secara alami maupun didapat [4]. Salah satu yang menarik adalah imunitas terhadap sporozoit pada tahap hati.

Siklus parasit malaria dimulai setelah nyamuk *Anopheles* yang mengandung parasit malaria dalam kelenjar ludahnya menggigit manusia yakni berupa sporozoit dan dalam waktu sekitar 30 menit akan masuk ke dalam aliran darah dan menuju jaringan hati dengan membentuk stadium schizon. Setelah sekitar 2 minggu, sel hati akan pecah dan melepaskan merozoit/kriptozoit yang kemudian masuk ke sel eritrosit membentuk stadium schizon (eritrositik), dengan berbagai bentuk dari tropozoit muda sampai schizon tua/matang, hingga eritrosit pecah mengeluarkan merozoit dan muncul malaria. Sebagian besar merozoit masuk kembali ke eritrosit dan sebagian kecil membentuk gametosit jantan dan betina yang siap untuk dihisap oleh nyamuk malaria betina lain dan melanjutkan siklus hidup di tubuh nyamuk (stadium sporogoni) (Gambar 1) [5,6]. Khusus untuk *Plasmodium vivax* dan *P. ovale* di jaringan hati (schizon jaringan), sebagian parasit yang berada dalam sel hati tidak melanjutkan siklusnya ke sel eritrosit tetapi tertanam di jaringan hati sebagai hipnozoit, yang menyebabkan malaria relaps [7].



Gambar 1. Siklus hidup parasit malaria yang kompleks meliputi perubahan morfologi di dalam nyamuk *Anopheles sp* (a) dan inang manusia (b) [5].

Perkembangan parasit dalam hati memerlukan waktu yang cukup lama, sekitar dua minggu, sehingga merupakan tahap paling penting untuk mengembangkan vaksin sporozoit. Salah satu kendala pengembangan vaksin tahap ini adalah belum adanya inang yang sesuai untuk mempelajari dan menelusuri tabiat sporozoit dan daya imun yang dimunculkannya serta tujuan lain, sehingga dikembangkan suatu sistem seperti *cell line* HepG2. Model *in vivo* dan *in vitro* menunjukkan bahwa parasit intra-hepatik menjadi target antibodi, sitokin, sel fagositik dan sitotoksik, serta faktor-faktor non spesifik lainnya. Setelah inokulasi sporozoit ke dalam lapisan dermis, maka antigen ini akan dipresentasikan oleh sel dendritik dalam nodus limpa alur kulit (*skin-draining*) untuk menginisiasi respon CD8+ sel T. CD8+ sel T yang telah di-*prime* lalu bermigrasi ke hati dimana mereka dapat mengeliminasi infeksi setelah mengenali antigen yang dipresentasikan oleh hepatosit. Proses presentasi antigen yang diperlukan untuk mem-*prime* sel T spesifik sporozoit berbeda dengan untuk mengeliminasi parasit tahap hati. Perbedaan presentasi antigen antara sel dendritik dan hepatosit ini memiliki konsekuensi penting dalam pengembangan vaksin malaria berbasis sporozoit iradiasi [8].

II. VAKSIN MALARIA IRADIASI

Pengendalian atau pemusnahan malaria masih terkendala berbagai hal. Ada argumen yang kuat akan pentingnya pengembangan vaksin untuk penyakit akibat parasit ini. Vaksin memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan obat. Secara teori pemberian vaksin satu kali (tunggal) dapat melindungi seseorang sepanjang hidupnya. Sedangkan kemoterapi atau obat memerlukan pemberian berkali-kali dan untuk malaria dapat berlangsung selama

bertahun-tahun sehingga ada kemungkinan munculnya efek negatif pada inang akibat penggunaan waktu lama dan akumulasi residu obat dalam jaringan dan kelenjar susu. Pemberian obat yang lama tentunya juga menjadi mahal dan menyebabkan penyebaran resistensi parasit terhadap obat. Pada awalnya keberhasilan vaksin anti-viral dan anti-bakteri memunculkan penerapan ide tersebut untuk pengembangan vaksin anti parasit secara langsung. Akan tetapi saat ini hanya diperoleh keberhasilan yang sangat terbatas dalam memproduksi vaksin anti parasit [9].

Radiasi pengion telah digunakan secara meluas untuk membuat vaksin. Efek radiasi pengion pada sel hidup disebabkan oleh munculnya radikal bebas dan hancurnya makromolekul. Efek radiasi paling penting adalah penurunan kemampuan parasit untuk bereproduksi setelah masuk ke dalam sel inang dan menyebabkan efek yang moderat pada inang. Hasil tersebut menyiratkan bahwa kromosom dan makromolekul sangat rentan terfragmentasi dan tidak dapat diperbaiki dalam waktu yang ada [10]. Iradiasi juga menurunkan efek patogenitas mikroorganisme jika diinokulasikan ke dalam tubuh hewan dan menurunkan kemampuan hidup sporozoit dalam sel kultur. Dengan demikian tujuan utama penelitian vaksin adalah mengatenuasi parasit untuk digunakan dalam imunisasi hewan atau sukarelawan tanpa menimbulkan efek berbahaya dari infeksi virulen [11]. Aplikasi iradiasi menarik lainnya adalah untuk mengidentifikasi tahapan perkembangan imunogenik yang merupakan suatu langkah penting dalam mendesain suatu vaksin.

Perbedaan efek iradiasi yang teramati antara strain laboratorium dan lapangan adalah kecil, namun isolat lapangan berbeda dari laboratorium dalam hal respon terhadap obat anti-parasit dan kemampuannya dalam berkembang biak dalam kultur sel. Studi lebih lanjut masih diperlukan untuk menentukan apakah mutan imunogenik yang berpotensi penting dapat diperoleh dengan iradiasi. Meskipun vaksin yang saat ini dikembangkan menggunakan parasit malaria yang dilemahkan dengan radiasi untuk melindungi dari infeksi, segi keamanan dan efektivitasnya bergantung pada dosis iradiasi yang tepat [12]. Iradiasi dapat menghasilkan mutasi random dan memutus DNA parasit. Jika dosisnya mencukupi, maka parasit tetap bertahan hidup dan tetap infektif terhadap hepatosit, akan tetapi siklus tahap hati ini akan berakhir selama infeksi awal hepatosit [13].

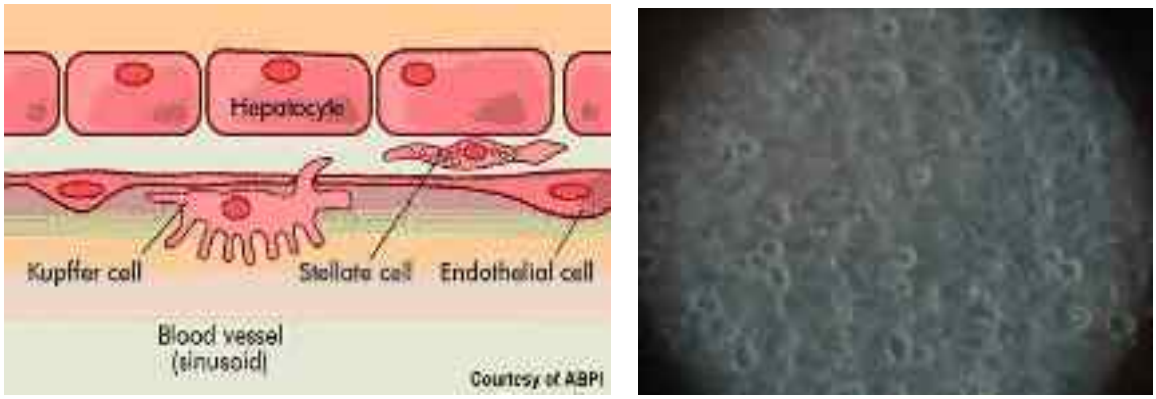
III. LITBANG MALARIA DENGAN *CELL LINE* HepG2

Hati adalah gerbang kritis untuk invasi sporozoit yang dapat menjadi target intervensi yang sangat tepat sebelum berkembang menjadi parasit tahap darah sebagai penyebab munculnya penyakit infektif ini. Di dalam hati, meskipun sporozoit mampu melewati sel Kupffer sebelum menginfeksi hepatosit, hepatosit merupakan satu-satunya sel yang

memungkinkan parasit berkembang biak sempurna. Untuk mempelajari perkembangan parasit maka dikembangkan berbagai macam *cell line* seperti HepG2.

HepG2 adalah *cell line* yang diperoleh dari sel karsinoma hati manusia, yakni dari pasien laki-laki berumur 15 tahun dari etnik Caucasian-American dengan karsinoma hepatoseluler ber diferensiasi. Secara morfologi, sel tersebut merupakan sel epitel, memiliki model kromosom nomor 55 dan tidak bersifat tumor pada mencit *nude*. Sel dapat mengeluarkan berbagai macam protein plasma mayor yakni albumin, transferin dan protein tahap akut fibrinogen, alfa-2makroglobulin, alfa 1-antitripsin, transferin dan plasminogen. Sel ini berhasil ditumbuhkan dalam sistem kultivasi skala besar. Permukaan virus hepatitis B tidak terdeteksi pada sel ini. Sel HepG2 menunjukkan resistensi terhadap G418 (400 µg/mL), suatu antibiotik aminoglikosida yang strukturnya sama dengan gentamisin. Sel juga memberikan respon terhadap stimulasi hormon pertumbuhan manusia [14]. Sel ini cocok sebagai sistem model *in vitro* untuk mempelajari hepatosit manusia. Pada kondisi kultur yang baik, sel HepG2 menunjukkan morfologi yang kuat dan diferensiasi fungsional dengan formasi domain muka sel apical dan basolateral terkendali [15].

Karena derajat morfologi dan diferensiasi fungsionalnya yang tinggi secara *in vitro*, maka sel HepG2 merupakan model yang baik untuk mempelajari lalu lintas intraseluler dan dinamika *bile canalicular* serta protein membran sinusoidal dan lipid dalam hepatosit manusia *in vitro*. Sel HepG2 dan turunannya dapat digunakan sebagai sistem model untuk mempelajari metabolism dan toksisitas *xenobiotics*, deteksi *cytoprotective*, antigenotoksik (lingkungan dan diet) serta agensia kogenotoksik, memahami hepatokarsinogenesis, dan untuk studi sasaran obat. Sel HepG2 juga digunakan untuk ujicoba peralatan bio-artifisial hati. Berbagai penelitian vaksin malaria juga dilakukan dengan menggunakan sel HepG2 ini [16]. Gambaran sel hepatosit dan mikroskopis HepG2 ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Gambaran sel hepatosit dengan keberadaan sel Kupffer dan sel Stellate (kiri) dan tampilan mikroskopik kultur *in vitro* HepG2 pasase 15 yang menunjukkan morfologi seperti sel epitel (perbesaran 100 kali) (kanan).

Sistem kultur *in vitro* telah dikembangkan untuk mempelajari tahapan eksoeritrositik (EE) parasit malaria *P.berghei* sebagai model [17]. Sporozoit *P. berghei* mampu menginvasi seluruh sel dan seluruh tahapan siklus EE dapat disempurnakan dalam *cell line* paru dan hepatoma manusia, sel HeLa dan hepatosit mencit [18,19]. Seperti parasit untuk manusia dan primata, sporozoit *P. berghei* mudah menginfeksi kultur hepatosit primer manusia dan primata dengan perkembangan EE lengkap. Tetapi hepatosit primer tidak tumbuh terus menerus dalam kultur dan perlu diisolasi dari hati. Oleh karena itu perlu dikembangkan sistim model *cell line* hepatosit manusia. *Cell line* yang disebut HepG2-A16 mendukung penuh siklus EE *P. berghei* dan beberapa strain *P. vivax*. *P. falciparum* juga dapat mencapai pematangan sempurna dalam *cell line* ini. Calvo-Calle et al. [20] mencatat perkembangan *P. falciparum* tahap hati di luar tahap uninukleat dalam *cell lines* hepatoma manusia huH-1 tetapi tidak menemukan pematangan tahap hati.

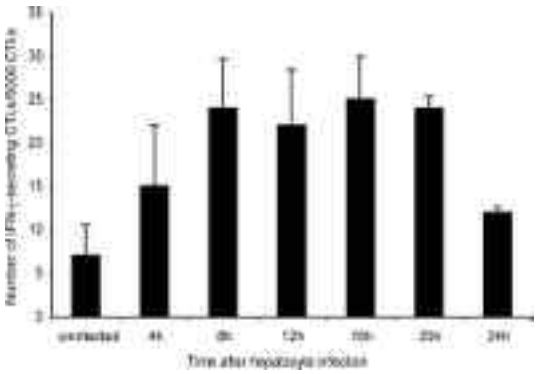
IV. VAKSIN TAHAP HATI

Kelaziman pengembangan vaksin melawan parasit malaria tahap hati didasarkan pada studi yang menunjukkan bahwa imunitas steril pada hewan dan manusia melawan parasit dapat diperoleh dengan imunisasi sprozoit iradiasi [21,22]. Meskipun sporozoit mampu melewati sel Kupffer sebelum menginfeksi hepatosit [23], sel hepatosit ini merupakan satu-satunya sel yang memungkinkan perkembangan sempurna parasit malaria setelah infeksi. Imunisasi hepatosit terinfeksi *P. berghei* (tetapi bukan sel hati non parenkim terinfeksi) memunculkan proteksi melawan tantangan sporozoit [24]. Telah diduga bahwa pada malaria, hepatosit mengekspresi kompleks *multiple histocompatibility complex* (MHC) kelas I-peptida pada permukaannya dan bahwa pengenalan kompleks ini oleh CD8 sel T diperlukan untuk proses proteksi [25]. Kenyataan ini didukung oleh studi yang

menunjukkan bahwa mencit yang diimunisasi sporozoit iradiasi tidak terlindungi dari tantangan sporozoit, tanpa melibatkan induksi IL-12, IFN-gamma, dan sel T proliferasi [26].

Bongfen SE dkk [27] meneliti respon protektif terhadap sporozoit yang diarahkan untuk melawan *circumsporozoite protein* (CSP) parasit dan melibatkan induksi CD8 sel T dan produksi IFN-gamma. Peptida yang berasal dari CSP terdeteksi pada permukaan hepatosit terinfeksi dalam konteks molekul MHC kelas I. Akan tetapi masih belum banyak diketahui bagaimana CSP dan antigen sporozoit lainnya diproses dan disajikan ke CD8 sel T. Mereka meneliti bagaimana hepatosit utama dari mencit BALB/c memproses CSP dari *Plasmodium berghei* setelah infeksi sporozoit dan mempresentasi peptida dari CSP pada CD8 sel T yang direstriksi secara *in vitro*.

Hasil penelitian Bongfen SE dkk juga menunjukkan bahwa hepatosit mampu memproses dan mempresentasikan Ag sporozoit setelah infeksi, tetapi tingkat aktivasi sel T $CD8^+$ bervariasi dengan lamanya infeksi. Untuk menentukan waktu optimal yang diperlukan untuk memproses dan mempresentasi CSP setelah infeksi, hepatosit diinfeksi dengan sporozoit selama periode total 24 jam. Sekresi IFN-γ oleh $CD8^+$ sel T Pb-CS setelah dikultur bersama dengan hepatosit terinfeksi ditentukan dengan uji ELISPOT. Aktivasi optimal sel T terjadi jika hepatosit diinfeksi sporozoit selama 8 hingga 20 jam, tertinggi pada 16 jam. Aktivasi menurun jika sel T dikultur kurang dari 8 atau lebih dari 20 jam. Hal ini menunjukkan bahwa waktu optimal yang diperlukan bagi hepatosit untuk memproses dan mempresentasi CSP pada $CD8^+$ sel T adalah antara 8 dan 20 jam [27]. Hasil penelitiannya disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Hepatosit primer secara optimal memproses dan menyaji peptide asal-CSP pada 8–20 jam setelah infeksi sporozoit. Sekresi IFN-γ oleh sel T $CD8^+$ spesifik setelah dikultur bersama dengan hepatosit terinfeksi dan ditentukan dengan uji IFN-γ ELISPOT [27].

Dengan menggunakan HepG2, Chatterjee S. dkk [28] menguji dan menspesifikasi proses invasi sporozoit terhadap sel hati yang diduga dimediasi oleh suatu reseptor. Daerah deret II dari protein CS *P. falciparum* yang meliputi nonapeptida (WSPCSVTCG) tersebar pada semua protein CS yang telah dikumpulkan, termasuk *P. berghei*. Daerah II ini ditemukan pada protein CS dari *P. vivax*, *P. malariae*, *P. knowlesi*, *P. berghei* dan *P. yoelii*. Dua deret

peptide berbasis *P. falciparum* deret daerah II yakni P18 dan P32 ternyata menghambat invasi sporozoit dalam sel HepG2 *in vitro*. Penghambatan diperbesar jika peptida tersebut diinkubasi terlebih dahulu dengan sel HepG2 sebelum inokulasi sporozoit. Daerah II adalah ligand sporozoit untuk reseptor hepatosit, dan terdapat sedikit perbedaan daerah deret II sekitar nonapeptida antara *P. falciparum* dan *P. berghei*. Karena motif yang merepresentasi deret krusial terlibat dalam invasi sporozoit pada hepatosit, antibodi daerah II haruslah menghambat invasi sporozoit. Mereka menemukan bahwa antibody poliklonal yang muncul pada peptide P32 berbasis *P. falciparum* menghambat invasi sporozoit pada HepG2. Lebih jauh, mencit inbred (C57BL/6) yang diimunisasi dengan P32 terlindung dari tantangan letal sporozoit *P. berghei*. Hasil ini menyiratkan bahwa daerah II protein CS mengandung epitop sel T dan sel B sehingga deret peptide daai *P. falciparum* dapat ditapis dalam model rodensia *P. berghei* dan daerah II dapat diyakini bermanfaat sebagai satu komponen vaksin malaria.

Chattopadhyay dkk [29] juga menguji interaksi sporozoit dan hepatosit yang mengarah ke respon inang sistemik yang berbeda, kompleks dan terkoordinasi. Belum diketahui apakah invasi ini merupakan adaptif primer untuk parasit, atau untuk inang atau keduanya. Peneliti ini menggunakan profil ekspresi gen sel HepG2-A16 yang diinfeksi sporozoit *P. falciparum* untuk mengetahui kejadian seluler dini dalam inang dan faktor-faktor yang mempengaruhi infektifitas dan perkembangan sporozoit. Mereka menunjukkan bahwa dalam 30 menit setelah paparan sporozoit jenis ganas (non iradiasi) menyebabkan ekspresi paling tidak 742 gen berubah secara selektif. Gen ini mengatur fungsi-fungsi biologik seperti proses imun, adesi dan komunikasi sel, lajur-lajur metabolism, pengaturan siklus sel dan tranduksi sinyal. Fungsi ini merefleksikan kejadian seluler yang konsisten dari respon awal pertahanan sel inang dan perubahan sel inang untuk menahan perkembang biakan atau daya tahan hidup sporozoit. Sporozoit iradiasi juga menyebabkan perubahan ekspresi gen yang sangat mirip, tetapi mengarah ke analisis komparatif antara profil ekspresi gen hati disebabkan oleh sporozoit iradiasi dan non-iradiasi mengidentifikasi 29 gen, termasuk glypican-3 yang spesial dalam meng-up-regulasi hanya pada sporozoit iradiasi. Pengungkapan ini sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi dasar molekuler ketidak mampuan sporozoit iradiasi berkembang secara intrahepatik dan kegunaannya sebagai imunogen untuk mengembangkan imunitas protektif melawan parasit malaria tahap pra-eritrositik.

Ketika sporozoit *P. berghei* menginvasi sel HepG2 *in vitro* setelah inkubasi selama 24 jam, sporozoit iradiasi dan non-iradiasi mengalami transformasi menjadi trophozoit bulat. Empat puluh jam kemudian, sebagian besar parasit

eksoeritrositik iradiasi tidak bertambah ukurannya, sedangkan yang non iradiasi bertambah ukurannya hampir 4 kalinya. Hanya 5% sporozoit iradiasi berkembang menjadi schizont. Tujuh puluh dua jam kemudian, kemunculan merozoit dapat teramati hanya pada sporozoit non iradiasi [30]. Data ini menyiratkan bahwa sporozoit iradiasi mampu menginvasi hepatosit secara *in vitro* dan berkembang menjadi trophozoit tetapi tidak mencapai kematangan. Sporozoit iradiasi ini juga menginduksi respon imun lebih efektif daripada sporozoit yang mati atau fraksinya. Temuan ini meyakinkan bahwa sporozoit haruslah terlihat (*viable*) untuk memunculkan proteksi. Sporozoit yang dinon aktifkan dengan pemanasan tidak mampu menembus hepatosit dan oleh karenanya tidak dapat melindungi terhadap re-infeksi.

Penelitian oleh Purcell L.A. dkk [31] dengan menggunakan jenis sel hati yang lain yakni Hepa 1-6 menemukan bahwa infeksi hepatosit oleh sporozoit *in vitro* secara nyata menurun, dan parasit yang diberi obat menunjukkan penghentian perkembangan tahap hati. Inokulasi mencit dengan sporozoit yang diberi perlakuan *in vitro* dengan sentanamisin untuk menghasilkan infeksi tahap darah. Penelitian ini menunjukkan bahwa sporozoit yang diatenuasi secara kimia dapat menjadi satu alternatif untuk memproduksi vaksin tahap darah untuk malaria.

V. PENUTUP

Pengetahuan tentang karakteristik atau tabiat parasit dalam sel hati masih menjadi tantangan besar para peneliti obat dan vaksin. Untuk vaksin, mekanisme protektif yang muncul pasca pemberian vaksin terutama berfungsi untuk melawan parasit tahap hati atau membuat sel hati terinfeksi melakukan kematian melalui apoptosis. Oleh karena itu, pengungkapan komposisi antigenik parasit tahap hati merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan. Saat ini ditemui adanya kesulitan dalam memperoleh sukarelawan yang bersedia untuk memberikan biopsi organ hatinya untuk studi atau penelitian vaksin malaria. Namun akhir-akhir ini telah diperoleh suatu kemajuan luar biasa dalam memperoleh sistem *in vitro* sel hati untuk maksud tersebut antara lain *cell lines* HepG2.

Satu keunggulan *cell line* HepG2 dibandingkan dengan *cell line* dan kultur hepatosit manusia primer yang diperoleh dan diuji sebelumnya adalah penyempurnaan yang besar dalam hal laju kerentanan infeksi yang merupakan hal kritis untuk menggunakan kultur tahap hati *in vitro* dalam berbagai aplikasi eksperimental. Jadi saat ini satu-satunya sistem *in vitro* yang paling dapat dihandalkan untuk mengkultur *P. falciparum* adalah hepatosit manusia primer [32,33]. Masih diperlukan teknik yang mudah dan murah untuk mengisolasi hepatosit terinfeksi yang mendukung penelusuran dan pengungkapan secara lebih mendetail siklus

hidup parasit malaria tahap hati *in vivo*. Sistem *in vitro* seperti *cell line* hepatoma manusia HepG2 yang mendukung perkembangan parasit malaria rodensia *P. berghei* telah menjadi temuan yang sangat penting, tetapi tidak untuk *P. falciparum* kecuali satu *cell line* yang efisiensinya masih rendah [34].

Selain mempelajari bagaimana terjadinya infeksi oleh sporozoit, studi tentang proses imun dalam kaitannya dengan pengembangan atau uji pra klinis vaksin juga sedang berlangsung. Pengembangan saat ini bertumpu pada dasar-dasar untuk pengkulturan parasit malaria tahap hati pada sel manusia secara *in vitro* secara rutin, terstandardisasi, dan efisien [15,19]. Sistem kultur ini akan menjamin kelangsungan penelitian malaria antara lain untuk identifikasi antigen hati yang protektif, uji tapis obat melawan parasit tahap hati, dan uji keamanan vaksin sporozoit-utuh teratenuasi-hidup (*live-attenutaed whole sporozoites*) [29]. Masih banyak hasil-hasil penelitian lain yang mendukung pentingnya pengembangan vaksin sporozoit dengan menggunakan radiasi pengion.

Jadi vaksinasi melawan beberapa agensia penyebab penyakit seperti malaria yang mematikan terbukti mampu menyelamatkan milyaran manusia setiap tahunnya dan mampu memperbaiki kualitas hidup puluhan juta penduduk di dunia dengan mencegah atau menurunkan secara nyata transmisi beberapa penyakit infeksi pandemik dan yang ditransmisikan secara lokal. Jadi, ada alasan untuk percaya bahwa keberhasilan vaksin malaria tidak hanya akan menurunkan secara nyata kematian dan kesakitan tetapi juga menjadi alat/cara penting dalam usaha mengontrol penyakit ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. TDR. Malaria. Available at http://www.who.int/tdr/diseases/malaria/diseaseinfo.htm [Disunting pada 15 Mei 2007].
2. GLOBALIS INDONESIA. Indonesia: Malaria Cases. Available at http://globalis.gvu.unu.edu/ indicator_detail.cfm?IndicatorID=74&Country=ID [Disunting 23 Mei 2007].
3. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Malaria Epidemics/Outbreaks in SEA Region. Available at http://www.searo.who.int/en/Section10/Section21/Section1987.htm [Disunting 23 Mei 2007].
4. NUGROHO, A., HARIJANTO, P., dan DATAU, E., Imunologi pada Malaria. Dalam : Harijanto PN, editor. Malaria. Epidemiologi, Patogenesis, Manifestasi Klinis, & Penanganan. Jakarta: EGC; 2000: 128-50.
5. LYCETT, G.J. and KAFATOS, F.C., Medicine: Anti-malarial mosquitoes?, *Nature*, 417, 387-388, 2002.
6. VAN AGTMAEL, M.A., EGGELTE, T.A. and VAN BOXTEL, C.J., Artemisinin drugs in the treatment of malaria: from medicinal herb to , pages 199–205.
7. MORRIS, K.M., ADEN, D.P., KNOWLES, B.B. and COLTEN, H.R., Complement biosynthesis by the human hepatoma-derived cell line HepG2, *J. Clin. Invest*. 70, 906-913, 1982.
8. CHAKRAVARTY S, COCKBURN IA, KUK S, OVERSTREET MG, SACCI JB, et al. CD8+ T lymphocytes protective

against malaria liver stages are primed in skin-draining lymph nodes, *Nature Medicine* 13, 1035−1041, 2007.

9. GILBERT, J.M., FULLER, A.L., SCOTT, T.C., dan MCDOUGALD, L.R., Biological effects of gamma-irradiation on laboratory and field isolates of Eimeria tenella (Protozoa; Coccidia), *Prasiotol Res* 84, 437-441, 1998.
10. SCHELLER, L. F., and AZAD, A.F., Maintenance of protective immunity against malaria by persistent hepatic parasites derived from irradiated sporozoites., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92: 4066−4068, 1995.
11. WAKI, S., YONOME, I., and SUZUKI, M., *Plasmodium falciparum:* attenuation by irradiation, *Experimental Parasitology* 56(3), 339−345, 1983.
12. LUKE, T.C. and HOFFMAN, S.L., Rationale and plans for developing a non-replicating, metabolically active, radiation-attenuated *Plasmodium falciparum* sporozoite vaccine, *Journal of Experimental Biology*, 206, 3803−3808, 2003.
13. SILVIE, O., et al. Effects of irradiation on *Plasmodium falciparum* sporozoite hepatic development: implications for the design of pre-erythrocytic malaria vaccines, *Parasite Immunology*, 24, 221−223, 2002.
14. VAN IJZENDOORN, S.C.D. and HOEKSTRA, D., Polarized Sphingolipid Transport from the Subapical Compartment: Evidence for Distinct Sphingolipid Domains, *Molecular Biology of the Cell*, 10, 3449−3461, October 1999.
15. VAN PELT, J.F., DECORTE, R., YAP, P.S., FEVERY, J., Identification of HepG2 variant cell lines by short tandem repeat (STR) analysis, *Mol Cell Biochem*. 2003 Jan;243(1-2):49-54.
16. ANONIM. Malaria. http://www.infeksi.com/articles.php?lng=in&pg=46 [Disadur pada 26 Juli 2007].
17. SATTABONGKOT, J., YIMAMNUAYCHOKE, N., LEELAUDOMLIPI, s., RASAMEESORAJ, M., JENWITHISUK, R., COLEMAN, R.E., UDOMSANGPETCH, R., CUI, L. and BREWER, T.G., Establishment of a human hepatocyte line that supports in vitro development of the exo-erythrocytic stages of the malaria parasites *Plasmodium falciparum* and *P. vivax*, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 74(5), 2006, 708−715.
18. HOLLINGDALE, M.R., LEEF, J.L., MCCULLOUGH, M., and BEAUDOIN, R.L., *In vitro* cultivation of the exoerythrocytic stage of *Plasmodium berghei* from sporozoites, *Science* 213: 1021−1022, 1981.
19. LONG, G.W., LEATH, S., SCHUMAN, R,, HOLLINGDALE, M.R., BALLOU, W.R., SIM, B.K.L., and HOFFMAN, S.L., Cultivation of the exoerythrocytic stage of *Plasmodium berghei* in primary cultures of mouse hepatocytes and continuous mouse cell lines, *In Vitro Cell Develop Biol*, 25, 857−862, 1989.
20. CALVO-CALLE, J.M., MORENO, A., ELING, W.M., and NARDIN, E.H., *In vitro* development of infectious liver stages of *P. yoelii* and *P. berghei* in human cell lines, *Exp Parasitol*, 79, 362−373, 1994.
21. CLYDE, D. F., Immunization of man against falciparum and vivax malaria by use of attenuated sporozoites. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 24: 397−401, 1975.
22. NUSSENZWEIG, R. S., VANDERBERG, J., MOST, H. and ORTON, C., Protective immunity produced by the injection of x-irradiated sporozoites of *Plasmodium berghei*, *Nature* 216: 160−162, 1967.
23. FREVERT, U., ENGELMANN, S., ZOUGBEDE, S., STANGE, J., NG, B., MATUSCHEWSKI, K., LIEBES, L. and YEE, H., 2005. Intravital observation of *Plasmodium berghei* sporozoite infection of the liver. *PLoS Biol.* 3: E192.

24. RENIA, L., M. M. RODRIGUES, and V. NUSSENZWEIG. 1994. Intrasplenic immunization with infected hepatocytes: a mouse model for studying protective immunity against malaria pre-erythrocytic stage. *Immunology* 82: 164–168.

25. GOOD, M. F., and D. L. DOOLAN. 1999. Immune effector mechanisms in malaria. *Curr. Opin. Immunol.* 11: 412–419.

26. WHITE, K. L., SNYDER, H. L. and KRZYCH, U, MHC class I-dependent presentation of exoerythrocytic antigens to CD8_ T lymphocytes is required for protective immunity against *Plasmodium berghei*, *J. Immunol.* 156: 3374–3381, 1996.

27. BONGFEN, S.E., TORGLER, R., ROMERO, J.F., RENIA, L. and CORRADIN, G., *Plasmodium berghei*-infected primary hepatocytes process and present the circumsporozoite protein to specific CD8_T cells in vitro, *The Journal of Immunology*, 2007, 178: 7054 –7063.

28. CHATTERJEE, S., SHARMA, W.P. and CHAUHAN, V.S., A conserved peptide sequence of the *Plasmodium falciparum* circumsporozoite protein and antipeptide antibodiwes inhibit *Plasmodium berghei* sporozoite invasion of Hep-G2 cells and protect immunized mice against *P. berghei* sporozoite challenge, *Infection and Immunity* 63(11), 4375-4381, 1995.

29. CHATTOPADHYAY, R., DE LA VEGA, P., PAIK, S.H., MURATA, Y., FERGUSON, E.W., RICHIE, T.L. and OOI, G.T., Early Transcriptional Responses of HepG2-A16 Liver Cells to Infection by *Plasmodium falciparum* Sporozoites, *The Journal of Biological Chemistry, 286, 26396-26405*, 2011.

30. SIGLER, C., LELAND, P. and HOLLINGDALE, M., *In vitro* infectivity of irradiated *Plasmodium falciparum* sporozoites to cultured hepatoma cells, *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 33, 544-547, 1984.

31. PURCELL, L.A., YANOW, S.K., LEE, M., SPITHILL, T.W. and ANA RODRIGUEZ, A., Chemical attenuation of *Plasmodium berghei* sporozoites induces sterile immunity in mice, *Infection and Immunity*, Vol. 76(3), 1193–1199, 2008.

32. MAZIER, D., BEAUDOIN, R.L., MELLOUK, S., DRUILHE, P., TEXIER, B., TROSPER, J., MILTGEN, F., LANDAU, I., PAUL, C., and BRANDICOURT, O., Complete development of hepatic stages *of Plasmodium falciparum in vitro*, *Science*, 227: 440–442, 1985.

33. KAPPE, S.H.I. and DUFFY, P.E., Malaria liver stage culture: *in vitro* veritas?, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 74(5), 2006, pp. 706–707.

34. KARNASUTA, C., PAVANAND, K., CHANTAKULKIJ, S., LUTTIWONGSAKORN, N., RASSAMESORAJ, M., LAOHATHAI, K., WEBSTER, H.K., and WATT, G., Complete development of the liver stage of *Plasmodium falciparum* in a human hepatoma cell line, *Am J Trop Med Hyg 53:* 607–611, 1995.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Robert (PRR)

Pertanyaan :

- Saya pernah menderita malaria, bagaimana/ apakah sudah ada uji klinis?
- Berapa harganya dan siapa yang memproduksinya?

Jawaban :

- Vaksin ini telah diuji pada anak-anak di Afrika dan mampu menekan kasus malaria hingga 50%.
- Harganya belum dapat diketahui tetapi investasinya sangat besar, tetapi diusahakan semurah mungkin atau gratis karena sebagian besar penderita malaria adalah golongan miskin.

2. **Penanya : Kunto Wiharto**

   Pertanyaan :
   - Secara keseluruhan bagaimana prospek vaksin malaria radiasi dibandingkan dengan vaksin klasik?
   - Seberapa jauh penelitian vaksin malaria radiasi itu telah berprogresi dalam mencapai target?

   Jawaban :
   - Prospeknya sangat bagus dan lebih unggul daripada vaksin klasik karena dapat memunculkan respon imun lebih lama, vaksin iradiasi adalah *live-attennated.*
   - Di luar negeri telah dilakukan imunisasi tahap IIIb anak-anak di Afrika dan melindungi dari malaria hingga ±50%, di Indonesia masih perlu perbaikan litbang vaksin, di Indonesia masih jauh dari target karena banyak kendala baik SDM dan peralatan dsb.

INTERFERON GAMMA SEBAGAI PARAMETER IMMUNOLOGI DALAM PENGEMBANGAN VAKSIN MALARIA IRADIASI

Darlina

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
E-mail : mdarlina@batan.go.id

ABSTRAK

Respon imun terhadap parasit Plasmodium pada organisma yang terkena malaria bersifat dikotomi antara stadium pre-eritrositik dan eritrositik. Pada stadium pre-eritrositik yang berperan adalah respon selular sedangkan proteksi terhadap stadium eritrositik umumnya adalah respon imun humoral. Sejumlah penelitian mempelajari eksitensi peranan imunitas selular terhadap parasit stadium darah terutama produksi interferon gamma (IFN gamma). Pada makalah tinjauan ini dirangkum berbagai fungsi efektor antiparasit yang diinduksi IFN gamma dan sejumlah data tentang efek dan peranan protektif interferon gamma sebagai parameter immunologi dalam pengembangan vaksin malaria radiasi. Peranan IFN gamma pada penelitian vaksin ditunjukkan pada penelitian mencit yaitu mencit yang diinfeksi dengan sporozoit yang dilemahkan dengan radiasi (RAS), mencit yang diinfeksi dengan sporozoit diikuti dengan pemberian obat klorokuin (CPS), dan mencit kontrol positif (*naive*). Respon imun IFN gamma tertinggi terjadi pada kelompok RAS dan semua mencit terproteksi melalui uji tantang hingga 9 bulan paska imunisasi terakhir. Bukti efek protektif IFN gamma terhadap parasitemia, menunjukkan respon IFN gamma dapat digunakan sebagai parameter dalam strategi pengembangan vaksin malaria radiasi.

Kata kunci : Interferon gamma, , respon imun, vaksin malaria, radiasi

ABSTRACT

Immune response against the Plasmodium parasite the causative organism is a dichotomy between pre-erythrocytic stage and erythrocytic . Where the role of protection at the pre-eriythrocytic is the cellular response, while protection generally The erythrocytic stage is humoral immune response. Numerous experiment have studied the existence of the role of cellular immunity against blood-stage parasites, especially the production of interferon gamma (IFN gamma). At this review summarized various antiparasitic effector functions induced IFN gamma as well as some data about the protective effects and the role of IFN gamma in mechanism protective response as the immunological parameters of radiation malaria vaccine development. The role of IFN gamma in vaccine research is shown in the study Krystelle et al. in 3 groups of mice that mice vaccinated with radiation-attenuated sporozoites (RAS), mice that infected sporozoites followed by administering the drug chloroquine (CPS), the positive control mice (naive). IFN gamma immune response was highest among RAS and all mice were protected through a challenge test up to 9 months after last immunization. Evidence of a protective effect against parasitemia IFN gamma, IFN gamma showed a response can be used as a parameter in malaria vaccine development strategy radiation.

Key words: Interferon gamma, an immune response, malaria vaccine, radiation

I. LATAR BELAKANG

Malaria merupakan salah satu penyakit infeksi yang menempati tingkat prevalensi tinggi dan merupakan masalah di daerah tropis. Malaria disebabkan oleh parasit protozoa dari genus Plasmodium. Sampai saat ini diketahui empat spesies yang

menginfeksi malaria: *Plasmodium falciparum, P. vivax, P. ovale,* dan *P. malariae*. Semua Plasmodium mempunyai siklus hidup yang sama, dan mempunyai morfologi yang unik serta menyukai sel darah merah. Hampir semua kasus malaria berat dan kematian adalah disebabkan infeksi *P.falciparum*. Pertumbuhan malaria akibat *P. falciparum* sangat cepat sehingga menimbulkan anemia berat bagi penderitanya. Selain itu parasit ini dapat bersekuestrasi ke saluran endothelial sehingga dapat menimbulkan efek yang parah pada penderitanya [1]

Parasit malaria masuk ke dalam tubuh inangnya melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina terinfeksi. Ketika nyamuk menghisap darah, nyamuk menginokulasi sporozoit ke dalam kulit kemudian bermigrasi ke pembuluh kapiler yang akhirnya mencapai sirkulasi darah. Setelah berada di dalam aliran darah, migrasi sporozoit berakhir didalam hati melalui mekanisme yang melibatkan interaksi antara protein permukaan utama dari sporozoit yang diketahui sebagai *circumsporozoite protein* (CSP) dengan proteoglikan heparin sulfat (HPSG) pada permukaan hepatosit. Parasit kemudian melintasi sel kuppfer yang melapisi sinusoid hati kemudian masuk ke hepatosit inang. Di dalam hepatosit sporozoit mulai berdiferensiasi dan bereplikasi dalam 6 sampai 7 hari tanpa menimbulkan gejala, menghasilkan 10.000-30.000 anak parasit (merozoit). Setelah hepatosit pecah akan melepaskan merozoit ke dalam aliran darah dan menginfeksi sel darah merah [2,3].

Setelah menginvasi eritrosit inang, merozoit akan bertransformasi menjadi tropozoit muda yang disebut dengan bentuk *ring*. Tropozoit muda akan berkembang menjadi tropozoit matang, mereka akan berskizogoni membentuk skizon yang mengandung 8-12 calon parasit. Eritrosit kemudian akan pecah dan melepaskan anak parasit yang disebut merozoit ke dalam aliran darah dimana mereka akan menginfeksi sel darah merah dan melanjutkan siklus eritrositik. Pecahnya sel darah merah serentak dalam inang akan menyebabkan inflamasi sistemik dalam menanggapi lisis sejumlah sel darah merah dan adanya parasit dalam darah. Siklus ini terjadi dua atau tiga hari tergantung dari spesies Plasmodium, yang mengakibatkan demam periodik. Pada sebagian kecil tropozoit muda akan mulai berdiferensiasi menjadi gametosit jantan atau betina. Bentuk seksual parasit selanjutnya harus diambil oleh nyamuk anopheles yang tidak terinfeksi. Gametosit yang terkandung dalam sel darah merah diambil oleh nyamuk ketika menghisap darah dan akan melanjutkan siklus hidup di tubuh nyamuk (stadium sporogoni). Pada lambung nyamuk terjadi penyatuan antara sel gamet jantan (mikrogamet) dan sel gamet betina (makrogamet) yang menghasilkan zigot. Zigot akan berubah menjadi ookinet, kemudian masuk ke dinding lambung nyamuk berubah menjadi ookista. Setelah

ookista matang kemudian pecah, maka keluar sporozoit dan masuk ke kelenjar liur nyamuk yang siap untuk ditularkan ke dalam tubuh manusia [4].

Parasit Plasmodium mempunyai siklus hidup multi-stadium yang kompleks yang melibatkan stadium intraseluler dan ekstraseluler dalam vektor nyamuk Anopheles dan inang vertebrata. Sehingga respon imun pada malaria menjadi dua yaitu respon terhadap stadium pre-eritrositik (respon imun langsung terhadap sporozoit dan parasit stadium liver) dan respon stadium darah (respon imun langsung terhadap merozoit dan parasit intra-eritrositik). Sejumlah model parasit bentuk eritrositik dan sporozoit banyak digunakan untuk mempelajari mekanisme imunitas protektif [5].

Secara umum imunitas terhadap malaria sangat kompleks karena melibatkan hampir semua komponen sistim imun baik imunitas yang spesifik maupun non spesifik, imunitas humoral maupun selular yang timbul secara alami maupun didapat sebagai akibat infeksi. Pada proses ini banyak melibatkan sitokin-sitokin baik sebagai efektor langsung maupun sebagai pemacu. Interferon gamma merupakan salah satu sitokin yang berperan dalam meningkatkan pengenalan dan pembersihan parasit secara imunologi baik terhadap parasit bentuk eritrsositik maupun sporozoit. Pada makalah ini disajikan hasil kajian peranan interferon gamma dalam mekanisme respon protektif sebagai parameter immunologi pengembangan vaksin malaria radiasi.

II. VAKSIN UNTUK MENCEGAH MALARIA

Pada saat nyamuk menghisap darah, sporozoit disuntikkan ke dalam aliran darah, dan dalam 15-30 menit akan masuk ke dalam sel hati (hepatosit). Vaksin pre-eritrositik dirancang untuk mencegah sporozoit memasuki hepatosit dan atau mencegah perkembangan parasit di dalam hepatosit, sehingga vaksin ini disebut vaksin anti infeksi. Penelitian pra klinis menggunakan rodensia dan pada manusia dengan sporozoit yang diradiasi dapat memberikan imunitas steril yang kuat.. Respon imun yang ditimbulkan berupa pembentukan antibodi yang dapat menghambat invasi sporozoit atau membunuh sporozoit melalui opsonisasi dan pengaktifan sel limfosit T CD8+ dan CD4+. Limfosit T bekerja secara langsung memusnahkan hepatosit terinfeksi atau secara tidak langsung melalui sitokin atau *antibody dependent cellular cytotoxicity* (ADCC) [6].

Sebelum masuk ke sel hati sporozoit sangat peka terhadap antibodi antisporozoit yang efektif mencegah sporozoit masuk ke sel hati melalui mekanisme opsonisasi atau netralisasi. Antibodi antisporozoit dapat dikalahkan oleh sporozoit dalam jumlah besar, sehingga sebagian sporozoit masuk ke dalam sel hati (hepatosit). Sporozoit dalam beberapa menit akan melekat di sel hati.

Protein utama pada permukaan sporozoit adalah protein *circumsporozoit* (CS), yang diduga akan berikatan dengan *heparan sulfat proteoglikan* (HPSG) pada mikrovili hepatosit.

Sporozoit di dalam hati mengalami perkembangan selama 5 hari atau lebih, memberikan kesempatan bagi sistem imun inang untuk mengenali dan berespon terhadap antigen parasit. Molekul *human leukocyte antigen* (HLA) kelas I dan kelas II yang diekspresikan pada permukaan hepatosit terinfeksi memungkinkan pengenalan oleh sel limfosit T, maka parasit dapat dihancurkan oleh sel T CD8+ dan CD 4+ melalui interaksi sitotoksik secara langsung. Pemusnahan hepatosit terinfeksi yang diperantarai oleh sel T sitotoksik dapat menghilangkan sporozoit dalam jumlah besar [7].

Fase eritrositik dimulai ketika merozoit menginfeksi sel darah merah, dimana mereka mengalami siklus reproduksi dan reinfeksi yang akan menyebabkan simptom malaria. Setelah masuk ke dalam eritrosit, parasit intraeritrositik ini berkembang menjadi menjadi beberapa stadium (cincin, tropozoit, dan skizon). Bila merozoit ekstraselular menginvasi eritrosit, merozoit akan berubah menjadi tropozoit. Tropozoit akan mencerna sitoplasma sel eritrosit. Tahap berikutnya adalah skizogoni, dimana terjadi pembelahan inti, pembentukkan organel dan membran dimana segmen sitoplasma membentuk massa yang mengelilingi nukleus sehingga terpisah. Tiap skizon eritrosit yang pecah akan menghasilkan 6 – 32 merozoit yang akan menginfeksi eritrosit baru dan memulai siklus kembali. Banyaknya eritrosit yang lisis adalah salah satu penyebab anemia. Disamping memproduksi bentuk aseksual, sebagian parasit dalam darah berkembang menjadi gametosit jantan dan betina [8].

Tujuan pemberian vaksin stadium darah adalah untuk menekan keganasan parasit bukan menginduksi imunitas steril. Target pada vaksin stadium aseksual adalah merozoit. Imunitas pada stadium ini berupa antibodi yang mengaglutinasi merozoit sebelum skizon matang pecah, menghambat masuknya merozoit ke dalam sel eritrosit, membunuh eritrosit yang terinfeksi secara langsung atau melalui opsonisasi maupun mekanisme ADCC, menghambat sitoadherens, menghambat pelepasan atau menetralkan toksin yang dihasilkan parasit. Dalam hal ini yang berperan adalah limfosit T CD4+ yang membunuh Plasmodium intraeritrosit melalui sekresi sitokin yang selanjutnya akan mengaktifkan fagosit. Disamping antibodi, mekanisme imun yang diperantarai sel juga sangat berperan dalam imunitas terhadap malaria [9.10]. Vaksin eritrositik atau vaksin bentuk aseksual darah merupakan jenis vaksin yang paling mudah dikembangkan. Bentuk aseksual parasit bertanggung jawab terhadap timbulnya gejala klinis [11]. Proses masuknya merozoit ke dalam sel darah merah melibatkan sejumlah

protein parasit yang ada pada permukaan merozoit.

III. MEKANISME IMUN PROTEKTIF

Parasit yang masuk tubuh segera dihadapi oleh respon imun non-spesifik (respon imun bawaan) dan selanjutnya oleh respon imun spesifik (respon imun adaptif). Respon imun non spesifik berperan penting karena merupakan efektor pertama dalam memberikan perlawanan terhadap infeksi, terutama dilaksanakan oleh beberapa sel sistim imun dan sitokin serta limpa. Makrofag dan monosit merupakan sel efektor penting dalam perlindungan terhadap malaria. Peranan makrofag yang penting adalah sebagai sel penyaji antigen kepada limfosit T [10].

Respon imun spesifik dilakukan oleh sel limfosit T untuk imunitas seluler dan limfosit B untuk imunitas humoral. Respon imunitas seluler yang menghasilkan resistensi dan suseptibilitas pada infeksi parasit bergantung pada aktivitas fungsional sel T helper (CD4+) dan limfosit T sitotoksik (CD8+). Pada proses ini banyak melibatkan sitokin-sitokin baik sebagai efektor langsung maupun sebagai pemacu. Limfosit T dibagi menjadi limfosit T *helper* (CD4+) dam limfosit T sitotoksik (CD8+) [19]. Sel T *helper* berdasarkan jenis sitokin dibagi menjadi subset Th-1 (sitokin yang dihasilkan IFN-gamma dan IL-2) yang akan mengaktifkan imunitas seluler, dan subset Th-2 (sitokin yang dihasilkan IL-4, IL-5, IL-6, IL-10) yang akan mengaktifkan imunitas humoral. Mekanisme kerja limfosit dalam melawan infeksi malaria adalah sebagai pengatur yang dihasilkan oleh limfosit T *helper* (CD4+) meliputi membantu memproduksi antibodi dan mengaktifkan fungsi fagosit lainnya. Sedang peran efektor langsung fagositosis dilakukan oleh populasi limfosit T sitotoksik (CD8+) [13].

Sel T sitotoksik (CD8+) terutama melindungi infeksi pada stadium hepatosit yaitu secara tidak langsung dengan memproduksi IFN-gamma dan secara langsung dengan merusak hepatosit yang terinfeksi. Sel ini untuk bekerjanya harus mengenali molekul MHC-1 yang terdapat pada permukaan hepatosit maka sel T CD8+ tidak dapat bekerja pada stadium darah, hal ini berlawanan dengan sel T CD4+. Limfosit T yang berperan dalam imunitas terhadap parasit stadium eritrosit adalah limfosit T CD4+. Limfosit T CD4+ membunuh Plasmodium intraeritrosit melalui sekresi sitokin yang selanjutnya akan mengaktifkan fagosit [13]. Limfosit T CD4+ menghasilkan sitokin interferon gamma (IFN-γ) yang diduga berperan dalam respon imun yang bersifat protektif, untuk mempertahankan dan proliferasi sejumlah sel dalam sistim imun termasuk sel T, sel B, sel NK, dan sel LAK.

Tabel 1. Mekanisme respon imun dari beberapa stadium berbeda dari parasit malaria [8].

Stadium/target	Respon imun/mekanisme efektor	Dasar dari pendekatan
Stadium pra-eritrositik (1) Sporozoit (2) Bentuk hati	• Antibodi • Sel-sel CD4 and CD8 T , meliputi aktivitas sel T sitotoksik dan sekresi sitokin	Sporozoit dalam sirkulasi hanya beberapa menit. Parasit berkembang dalam sel hati, dimana dapat sebagai antigen dan dikenal sebagai molekul MHC oleh sel T Ekspresi permukaan sel antigen-antigen parasit
Stadium darah aseksual Merozoit/ sel darah merah terinfeksi	• Antibodi ? meliputi pencegah invasi pada sel darah merah, aktivitas ADCC (*antibody dependent cellular cytotoxicity)* menghambat eritrosit, aktivitas sito-adheren, anti-toksin atau reduksi radikal bebas	Tidak ada molekul MHC dinyatakan pada eritrosit terinfeksi. Vaksin-anti penyakit dapat langsung melawan toksin antigen parasit dengan cara menginduksi sitokin
Stadium seksual Gametosit/gamet/ ookinet	• Antibodi ? termasuk menghambat aktivitas mencegah aktivitas pra- dan/atau post-fertilisasi dalam nyamuk • Imunitas diperantarai sitokin	Perkembangan sporogoni adalah target yang penting, tidak ada molekul inang yang terlibat dalam stadium perkembangan parasit ini. Tidak ada molekul MHC dinyatakan pada eritrosit terinfeksi

Reaksi imunitas selular yang terjadi dalam tubuh inang baik yang imun maupun yang tidak imun selama infeksi malaria menyangkut aktivitas sel limfosit T dan sel makrofag yang merupakan kunci mekanisme pertahanan tubuh terhadap infeksi malaria. Aktivasi sel limfosit T dan sel makrofag dapat dilakukan dengan jalan imunisasi. Dengan demikian diharapkan selama infeksi malaria pada inang yang imun akan disekresi IFN- γ dan IL-2 lebih besar daripada inang yang tidak imun. Dengan meningkatnya aktivitas sel limfosit T dan sel makrofag diharapkan akan mempunyai efek proteksi selama infeksi malaria.

IV. INTERFERON GAMMA SEBAGAI PARAMETER RESPON IMUN

Resistensi terhadap malaria dapat berupa mekanisme respon imun bawaan dan adaptif. Mekanisme respon imun adaptif terbentuk setelah melalui mekanisme respon imun bawaan melalui serangkaian interaksi. Interferon gamma merupakan sitokin yang

berperan dalam respon imun bawaan maupun respon imun adaptif terhadap malaria. Interferon gamma akan disekresikan secara cepat oleh sel efektor seperti makrofag, monosit dan leukosit dalam memberikan perlawanan terhadap infeksi parasit malaria yang masuk kedalam tubuh [12]. Sekresi IFN- γ akan mengaktifkan sel efektor lain dan meningkatkan kemampuan fagositosis dan spesifitas sel efektor. Fagosit-fagosit ini akan menghasilkan radikal bebas seperti Nitrit oksid (iNOS), hidrogen peroksida (H_2O_2), O_2 singlet, OH^- yang akan menghambat pertumbuhan dan degenarasi parasit melalui stress oksidan [12,13,14,15](Tabel 2).

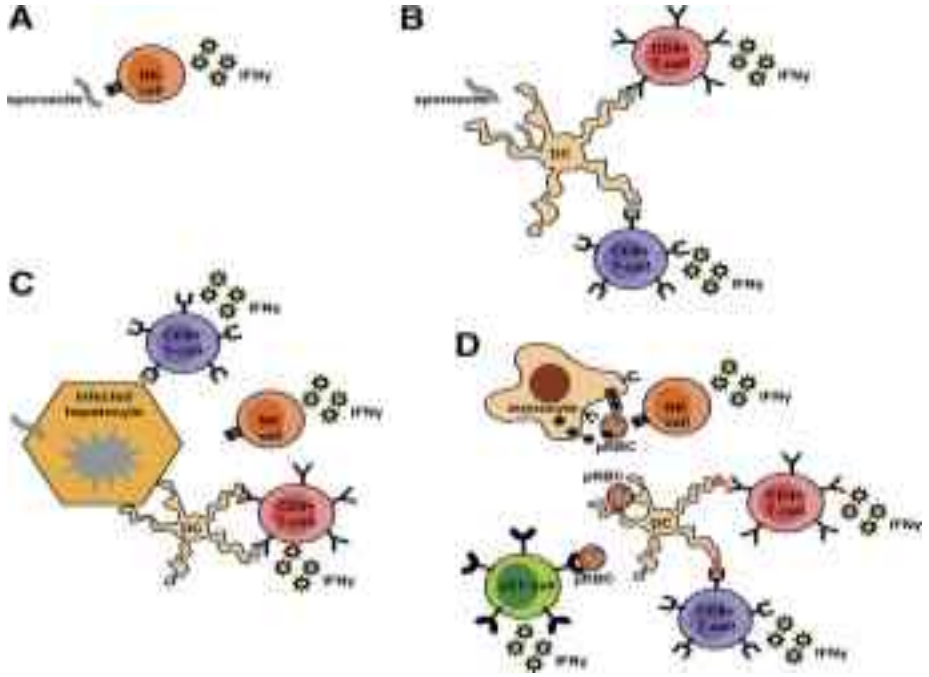
Selain itu interferon gamma juga berperan penting dalam komunikasi antara sel imun. TLR (*toll like receptor*) merupakan reseptor pengenal imun bawaan yang berperan sebagai reseptor yang mengenali dan berikatan dengan molekul sasaran yang akan mengirim sinyal ke sel kemudian akan memproduksi Interferon gamma yang akan mengaktifkan sel NK melalui ADCI dan menyebabkan inflamasi [16]. Disimpulkan bahwa subset Th-1 akan mengaktifkan mekanisme imunitas seluler baik yang spesifik maupun non spesifik untuk membunuh plasmodium intraeritrositik (Tabel 2). Imunitas adaptif berdasarkan sifat khusus limfosit (T dan B) dapat merespon secara selektif antigen yang berbeda. Mekanime adaptif muncul dengan cara interaksi antibodi dengan komplemen dan sel fagosit dari imunitas bawaan. Interferon merupakan sitokin yang disekresikan oleh makrofag dan sel T *helper* [17,18,19].

Tabel 2. Efek interferon gamma pada respon imun awal dan adaptif terhadap malaria.

F u n g s i	**Pustaka**
Respon imun awal atau bawaan Meningkatkan produksi spesi nitrogen reaktif (iNOS) oleh sel liver melawan parasit intrahepatik. Meningkatkan produksi oksigen reaktif (H2O2) dan spesi nitrogen (iNOS) oleh monosit melawan parasit stadium darah Meningkatkan fagositosis merozoit dan sel darah merah terinfeksi (pRBC) Menghambat gametosit infektif	Nussler dkk [12] Seguin dkk [13] Ockenhouse dkk [14] Ockenhouse dkk [14] Naotunne dkk [15]
Pengaruh sistem bawaan dan adaptif Proinflammatory yang memicu respon TLR Up-regulasi ekspresi MHC klas I dan II Meningkatkan ADCI terhadap parasit stadium darah.	McCall dkk [16] Hartgers dkk [17]
Respon imun adaptif Meningkatkan rasio antara sel Th1/Th2. Meningkatkan induksi respon sel memori (sentral).	Franklin dkk [18] Winkler dkk [19]

V. PERANAN INTERFERON GAMMA DALAM IMUNITAS TERHADAP PARASIT STADIUM PRE-ERITROSITIK DAN ERITROSITIK

Sporozoit akan masuk melalui kulit pada saat disuntikkan nyamuk. Dalam nodus limfa kulit sporozoit yang masuk akan difagositosis oleh sel dendritik yang akan disajikan sebagai APC oleh molekul kompleks histokompabilitas mayor−II (MHC-II) ke sel T CD4 dan sel T CD8 (presentasi silang terhadap MHC-1) (Gambar 2 B) [20,21]. Setelah masuk ke dalam aliran darah sporozoit bebas akan dikenali langsung oleh sel *natural killer* (NK) yang kemudian akan difagosit atau secara tidak langsung dengan memproduksi IFN-gamma (Gambar 2 A) [20]. Sporozoit yang masuk kedalam aliran darah akan menginfeksi sel hati (hepatosit). Hepatosit yang terinfeksi akan dikenali lansung oleh sel $TCD8^+$ [21]. Hepatosit yang terinfeksi melalui sel dendritik akan dipresentasikan menjadi APC yang akan direspon oleh sel T CD4 [22,23]. Kedua sel T akan memproduksi sitokin IFN gamma yang kemudian akan mengaktifkan Sel NK (Gambar 2C) [24]. Pada umumnya sebagian besar imunitas terhadap malaria stadium pre-eritrositik berupa respon imun seluler terhadap hepatosit terinfeksi, yang menghambat perkembangan parasit intraseluler melalui induksi intermediat nitrogen reaktif [25].



Gambar 1. Induksi dan sumber seluler IFN-γ melawan beberapa tahapan siklus hidup parasit [21]

Berbeda dengan respon imun terhadap parasit intra-eritrositik dan merozoit ekstraseluler dimana respon imun humoral merupakan komponen penting terhadap imunitas stadium darah. Meskipun demikian respon imun seluler terhadap darah yang terinfeksi parasit akan berkontribusi memproteksi manusia dalam keadaan tidak adanya antibodi [23]. Respon imun seluler tersebut dimediasi makrofag terutama fagositosis dan ADCC juga merupakan komponen penting pada imunitas stadium darah [22]. Darah yang terinfeksi parasit (pRBC) juga akan dipresentasikan menjadi antigen presentasi (APC) oleh sel dendritik. APC melalui MHC akan direspon oleh sel T CD4 dan sel T CD8. Selain itu sel T dapat mengenali langsung pRBC dalam darah dan limfa (Gambar 2D)[23]

Sel NK, sel T NK, sel T akan memproduksi IFN gamma sebagai respon imun terhadap kedua stadium parasit, meskipun subset limfosit tersebut mempunyai mekanisme aktifasi dan besarnya relatif bervariasi diantara kedua stadium parasit. Mereka berkontribusi terhadap total produksi IFN gamma melalui berbagai jalan. Hal ini merupakan langkah penting untuk memahami respon imunitas seluler yang protektif terhadap malaria. Dengan demikian interferon gamma merupakan komponen penting pada imunitas terhadap kedua stadium. Interferon gamma banyak berperanan dalam imunitas terhadap malaria berfungsi baik sebagai efektor maupun penginduksi respon imun bawaan maupun adaptif. Tidak diragukan lagi interferon gama membentuk *central determinant* pada jalur imunologi yang terlibat dalam proteksi terhadap malaria [26].

Pada penelitian vaksin berbasis protein rekombinan yang telah mencapai fase IIa dan Iib merupakan fase uji klinis pada manusia menunjukkan kadar interferon gamma yang tinggi dari hasil uji dengan metode ELISPOT secara konsisten ditunjukkan pada relawan yang terproteksi malaria dalam jangka waktu yang lama [27].

Pada penelitian inokulasi sporozoit kadar rendah yang diikuti dengan pemberian obat klorokuin, setelah 3 kali imunisasi dan uji tantang memberikan hasil tidak ditemukan parasitemia pada apusan darah dari relawan. Respon imun seluler kuat terjadi pada semua relawan yang mengandung memori *plutipotent* pada sel T yang memproduksi interferon gamma pada respon terhadap parasit stadium darah pada penelitian secara *in vitro* [25].

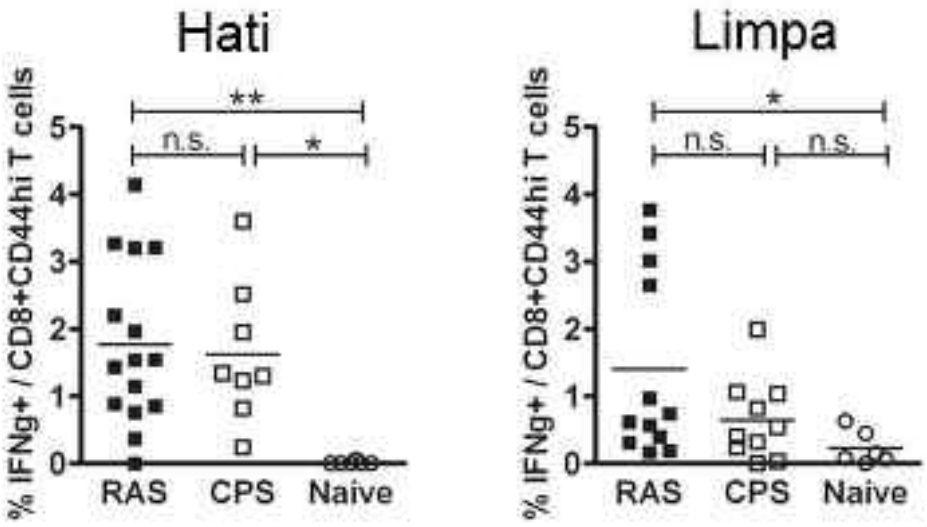
Pada penelitian Perren dkk. yang melakukan menginfeksi relawan dengan parasit stadium darah yang kemudian diikuti dengan pemberian obat sebelum terjadi periode patent. Inokulasi ini ternyata menginduksi respon imun yang dipoerantarai sel T CD4+ berupa proliferasi interferon gamma terhadap darah yang terinfeksi parasit tetapi respon antibodi tidak terukur dan relawan terproteksi terhadap uji tantang [28].

VI. IMPLIKASI INTERFERON GAMMA DALAM PENGEMBANGAN VAKSIN MALARIA RADIASI

Pada penelitian vaksin terhadap malaria pendekatan terbaik adalah melalui stadium sporozoit utuh yang dilemahkan dengan radiasi. Dimana sporozoit radiasi akan tertahan selama stadium liver dan akan menginduksi respon imun humoral dan sel CD8+, sel CD4+ dan interferon gamma terhadap sporozoit dan antigen stadium hati. Namun demikian dibutuhkan imunisasi berulang dengan jumlah total sedikitnya 1000 gigitan nyamuk untuk memicu proteksi steril. Elemen inti dari respon imun terhadap hepatosit terinfeksi adalah sel T CD8+, sel T CD4+ dan mediasi interferon gamma [12].

Pada penelitian Krystelle dkk. 3 kelompok mencit yaitu mencit yang divaksinasi dengan sporozoit yang dilemahkan dengan radiasi (RAS), mencit yang sporozoit diikuti dengan pemberian obat klorokuin (CPS), mencit kontrol positif (naive). Hasil penelitian menunjukkan bahwa IFN-γ merespon sel T CD8+ dengan fenotip memori (CD44hi) yang diinduksi oleh imunisasi RAS atau CPS yang diuji pada 21 hari setelah uji tantang pada hari ke 41 (C+21). Sel T CD8+CD44hi dari RAS dan CPS mencit menunjukkan respon IFN-γ yang sama meskipun sedikit lebih tinggi pada hati daripada limpa. Sel hati dan limpa dari mencit naïve menunjukkan tidak ada respon IFN-γ ex vivo terhadap Pbspz (Gambar 3) [29].

Proteksi dalam jangka waktu lama dievaluasi melalui uji tantang pada 3, 6, dan 9 bulan paska imunisasi terakhir . Pada kelompok mencit yang diimunisasi dengan RAS menunjukkan 100 % terproteksi selama waktu pengamatan, mencit yang diinduksi dengan CPS terproteksi kurang dari 100% (pada bulan ke 3 dan 6) dan turun hingga 50% pada bulan ke-9. Hal ini menunjukan adanya korelasi antara respon IFN gamma oleh sel TCD8 dengan proteksi dalam jangka waktu lama.



Gambar 2. Respon IFN- γ pada sel T CD8+CD44hi pada hati dan limpa [29].

Bukti efek protektif IFN gamma terhadap parasitemia, menunjukkan respon IFN gamma dapat digunakan sebagai parameter dalam strategi pengembangan vaksin malaria radiasi. Vaksin yang dapat memberikan respon IFN gamma yang kuat dan baik merupakan tujuan dalam pengembangan vaksin.

VII. PENUTUP

Interferon gamma merupakan komponen penting dalam respon imun terhadap parasit malaria stadium pre-eitrositik dan eritrositik. Interferon gamma merupakan sitokin yang berperan dalam respon imun bawaan maupun respon imun adaptif terhadap malaria. Interferon gamma banyak berperanan dalam imunitas terhadap malaria berfungsi baik sebagai efektor maupun penginduksi respon imun bawaan maupun adaptif. Interferon gama membentuk *central determinant* pada jalur imunologi yang terlibat dalam proteksi terhadap malaria. Proteksi jangka panjang pada kelompok mencit yang diinduksi RAS menunjukkan respon IFN gamma yang tinggi. Respon IFN gamma dapat digunakan sebagai parameter dalam strategi pengembangan vaksin malaria radiasi. Vaksin yang dapat memberikan respon IFN gamma yang kuat dan baik merupakan tujuan dalam pengembangan vaksin.

DAFTAR PUSTAKA

1. LUKE TC, HOFFMAN SL, Rationale and plans for developing a non-replicating, metabolically active, radiation-attenuated Plasmodium falciparum sporozoite vaccine. J Exp Biol 206: 3803–3808, (2003). Find this article online

2. MCCARTHY JS, GOOD MF, Whole parasite blood stage malaria vaccines: a convergence of evidence. Hum Vaccin 6: 114−123, (2010).
3. MILLER, L. H., HOWARD, R. J., CARTER, R., GOOD, M. F., NUSSENZWEIG, V.,NUSSENZWEIG, R. S., Research toward malaria vaccines. *Science* 234, 1349−1356, (1986).
4. LANDAU, I, GAUTRET P., Animal models rodents In: Malaria, Parasite biology, pathogenesis, and protection, Ed: Sherman, I.W. ASM Press, Washington, DC, 401-417, (1998).
5. CLYDE DF, et al., Immunization of man against falciparum and vivax malaria by use of attenuated sporozoites. *Am J Trop Med Hyg* 24(3), 397, (1975).
6. WARD RA, et al., Attempted immunization of rhesus monkeys against cynomolgi malaria with irradiated sporozoites. Proc Helminth Soc Wash,; 39(Special Issue):525, (1972).
7. YADEV, M.S., SEKARAN, S.D., and DHALIWAL, J.S., Induction of protection in rats and mice with radiation attenuate *Plasmodiium berghei* (in: Nuclear Techniques in the Study of Parasitic Infections, Proc. Symp. Vienna, 11) IAEA, Vienna 76, 1982.
8. ENGERS HD, GODAL T, Malaria vaccines development: current status, Parasitologi Today 14, 56 – 63, (1998).
9. PARSLOW TG. Lymphocytes and lymphoid tissue. In. Tem al, Parslow TG (Ed.): Basic Clinic Immunology, 8th ed, New York: Prentice-Hall International Inc., 94:61-63, 1994.
10. MELANKON-KAPLAN J AND WEIDANZ WP, Role of cell mediated immunity in resistance to malaria In Stevenson MM (Ed), Malaria: Host Responses to Infection, Boca Ratton C.R.C. Press Inc.,(1989).
11. TAMBAYONG E.H., Patobiologi Malaria dalam Harijanto P.N., (Ed) Malaria: Epiemiologi, Patogenesis, Manifestasi klinis dan Penanganannya, Penerbit buku kedokteran EGC, (2000).
12. NUSSLER, A. K., RENIA, L., PASQUETTO, V., MILTGEN, F., MATILE, H., MAZIER,D. In vivo induction of the nitric oxide pathway in hepatocytesafter injection with irradiated malaria sporozoites, malaria blood parasitesor adjuvants. *Eur. J. Immunol.* 23, 882−887, (1993).
13. SEGUIN, M. C., KLOTZ, F. W., SCHNEIDER, I., WEIR, J. P., GOODBARY, M., SLAYTER,M., RANEY, J. J., ANIAGOLU, J. U., GREEN, S. J., Induction of nitricoxide synthase protects against malaria in mice exposed to irradiated *Plasmodium berghei* infected mosquitoes: involvement of interferon _and CD8_ T cells. *J. Exp. Med.* 180, 353−358, (1994).
14. OCKENHOUSE, C. F., SCHULMAN, S., SHEAR, H. L. Induction of crisis forms in the human malaria parasite *Plasmodium falciparum* by _-interferon-activated, monocyte-derived macrophages. *J. Immunol.* 133, 1601−1608, (1984).
15. NAOTUNNE, T. S., KARUNAWEERA, N. D., DEL, G. G., KULARATNE, M. U.,GRAU, G. E., CARTER, R., MENDIS, K. N., Cytokines kill malaria parasites during infection crisis: extracellular complementary factors are essential. *J. Exp. Med.* 173, 523−529, (1991).
16. MCCALL, M. B., NETEA, M. G., HERMSEN, C. C., JANSEN, T., JACOBS, L., GOLENBOCK,D., VAN DER VEN, A. J., SAUERWEIN, R. W., *Plasmodium falciparum* infection causes proinflammatory priming of human TLR responses.*J. Immunol.* 179, 162−171, (2007).
17. HARTGERS, F. C., OBENG, B. B., VOSKAMP, A., LARBI, I. A., AMOAH, A. S., LUTY, A. J., BOAKYE, D., YAZDANBAKHSH, M., Enhanced Toll-like receptor responsiveness associated with mitogen-activated protein kinase activation in *Plasmodium falciparum*-infected

children. *Infect. Immun.* 76, 5149−5157, (2008).

18. FRANKLIN, B. S., PARROCHE, P., ATAIDE, M. A., LAUW, F., ROPERT, C., DEOLIVEIRA, R. B., PEREIRA, D., TADA, M. S., NOGUEIRA, P., DA SILVA, L. H.,BJORKBACKA, H., GOLENBOCK, D. T., GAZZINELLI, R. T., Malariaprimes the innate immune response due to interferon-_ induced enhancementof Toll-like receptor expression and function. *Proc. Natl.Acad. Sci. USA* 106, 5789−5794, (2009).
19. WINKLER, S., WILLHEIM, M., BAIER, K., SCHMID, D., AICHELBURG, A.,GRANINGER, W., KREMSNER, P. G., Reciprocal regulation of Th1-and Th2-cytokine-producing T cells during clearance of parasitemia in*Plasmodium falciparum* malaria. *Infect. Immun.* 66, 6040−6044, (1998).
20. TONGREN, J. E., CORRAN, P. H., JARRA, W., LANGHORNE, J., RILEY, E. M., Epitope-specific regulation of immunoglobulin class switching inmice immunized with malarial merozoite surface proteins. *Infect. Immun.*73, 8119−8129. *J. Immunol.* 143, 2038−2044, (2005).
21. SCHRODER, K., HERTZOG, P. J., RAVASI, T., HUME, D. A., Interferon-_: an overview of signals, mechanisms and functions. *J. Leukoc. Biol.*75, 163−189, (2004).
22. CHAKRAVARTY, S., COCKBURN, I. A., KUK, S., OVERSTREET, M. G., SACCI, J. B., ZAVALA, F., CD8_ T lymphocytes protective against malaria liver stages are primed in skin-draining lymph nodes. *Nat. Med.* 13, 1035−1041, (2007).
23. TSUJI, M., ROMERO, P., NUSSENZWEIG, R. S., ZAVALA, F., CD4_ cytolytic T cell clone confers protection against murine malaria. *J. Exp. Med.* 172, 1353−1357, (1990).
24. ROLAND, J., SOULARD, V., SELLIER, C., DRAPIER, A. M., DI SANTO, J. P., CAZENAVE, P. A., PIED, S., NK cell responses to *Plasmodium* infection and control of intrahepatic parasite development. *J. Immunol.* 177,1229−1239, (2006).
25. VIVIER, E., TOMASELLO, E., BARATIN, M., WALZER, T., UGOLINI, S., Functions of natural killer cells. *Nat. Immunol.* 9, 503−510, (2008).
26. BARBOSA, A., NANICHE, D., APONTE, J. J., MANACA, M. N., MANDOMANDO, I.,AIDE, P., SACARLAL, J., RENOM, M., LAFUENTE, S., BALLOU, W. R., ALONSO,P. L., *Plasmodium falciparum*-specific cellular immune responses after immunization with the RTS,S/AS02D candidate malaria vaccine in infants living in an area of high endemicity in Mozambique. *Infect. Immun.*77, 4502−4509, (2009).
27. GOOD, M. F., XU, H., WYKES, M., ENGWERDA, C. R., Development and regulation of cell-mediated immune responses to the blood stages of malaria: implications for vaccine research. *Annu. Rev. Immunol.* 23, 69−99, (2005).
28. PERRIN, L. H., DAYAL, R., Immunity to asexual erythrocytic stages of *Plasmodium falciparum*: role of defined antigens in the humoral response. *Immunol. Rev.* 61, 245−269, (1982).
29. KRYSTELLE NGANOU-MAKAMDOP*, GEERT-JAN VAN GEMERT, THEO ARENS, CORNELUS C. HERMSEN, ROBERT W. SAUERWEIN, long term protection after immunization with p. berghei sporozoites correlates with sustained ifnγ responses of hepatic cd8+ memory t cells,

TANYA JAWAB

1. **Penanya : Yunilda**

   Pertanyaan :

   - Apa sebabnya *sporozoit* langsung menuju ke organ sel hati ?

   Jawaban :

   - Sporozoit langsung menuju ke sel hepatosit (sel hati) karena pada dinding sel hati terdapat reseptor untuk sporozoit sedangkan didalam sel darah merah tidak ada, jadi sporozoit yang masuk ke dalam tubuh akan langsung menuju organ hati.

PENINGKATAN KEMAMPUAN FAGOSITOSIS MAKROFAG PERITONEUM MENCIT SELAMA INFEKSI *Plasmodium berghei* IRADIASI GAMMA

Harry Nugroho Eko S., Darlina, dan Teja Kisnanto

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
E-mail: eko7165@yahoo.co.id

ABSTRAK

PENINGKATAN KEMAMPUAN FAGOSITOSIS MAKROFAG PERITONEUM MENCIT SELAMA INFEKSI *Plasmodium berghei* IRADIASI GAMMA. Salah satu aspek penting dalam penelitian vaksin malaria adalah pengetahuan tentang respon imun tubuh. Makrofag merupakan sistem imun non spesifik sebagai respon terhadap infeksi benda asing atau antigen dalam tubuh. Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan fagositosis makrofag peritonium pada mencit (*Mus musculus*) yang diinfeksi *Plasmodium berghei* yang dilemahkan dengan radiasi gamma. Darah mencit donor yang mengandung 20% parasitemia *P. berghei* dibagi dalam empat kelompok, masing-masing sebanyak 2 mL diiradiasi dengan dosis 0 (kontrol positif), 150, 175 dan 200 Gy. Darah yang telah diiradiasi segera diinokulasikan ke mencit sebanyak $1x10^5$ parasit per mencit secara intraperitoneal. Masing-masing kelompok terdiri dari 10 ekor mencit. Setiap dua hari sekali selama 10 hari paska infeksi, cairan peritoneum diisolasi dan dikultur secara *in vitro* untuk pengamatan kemampuan fagositosis makrofag. Kemampuan fagositosis makrofag peritoneum diukur dengan menghitung persentase sel yang memfagosit partikel latex. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan fagositosis makrofag peritoneum mencit yang diinfeksi dengan *P. berghei* iradiasi 150, 175 dan 200 Gy masing-masing adalah 1,72%; 3,4% dan 1.96% lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Kesimpulan dari penelitian adalah peningkatan kemampuan fagositosis makrofag tertinggi dicapai pada dosis 175 Gy. Hal ini menunjukkan bahwa dosis 175 Gy dapat meningkatkan respon imun nonspesifik mencit.

Kata kunci: *Plasmodium berghei*, makrofag, fagositosis, radiasi gamma

ABSTRACT

INCREAMENT OF PHAGOCYTIC ACTIVITY OF MICE PERITONEAL MACROPHAGES DURING GAMMA IRRADIATED Plasmodium berghei INFECTION*. One important aspect in malaria vaccine research is knowledge of the body's immune response. Macrophage is a non-specific immune system in response to infections or foreign matter in the antigen body. Research has been conducted to determine the ability of macrophage phagocytosis peritonium at mice (Mus musculus) of infection with Plasmodium berghei that gamma radiation is attenuated. Neonatal blood donors containing 20% parasitemia P. berghei are divided into four groups, each as much as 2 mL dose irradiated with 0 (positive control), 150, 175 and 200 Gy. The blood that had been irradiated inoculated to mice quickly approx $1x10^5$ parasites per micel. Each group consists of l0 mice. Every two days for 10 days post infection,peritoneum fluid had been isolated and cultured to knew macrophage phagocytosis ability. The peritoneum macrophages phagocytosis ability measured by counting percentage of cell that phagocyted latex particle. The result showed that the ability of peritoneum macrophages phagocytosis of mice that infected with P. berghei irradiated 150, 175 and 200 Gy each is 1,72 %; 3.4 % and 1.96 % higher than control. Conclusion of the research is increament of macrophages phagocytosis highest attainable in doses 175 gy. It showed that doses 175 gy can increase nonspecific immune response of mice.*

Keywords: Plasmodium berghei, macrophages, phagocytosis, gamma radiation

I. PENDAHULUAN

Sampai saat ini malaria masih merupakan masalah kesehatan bagi dunia terutama di negara-negara tropis seperti Afrika, Amerika Tengah dan Latin termasuk Asia Tenggara [1]. Malaria adalah penyakit infeksi yang disebabkan oleh protozoa genus Plasmodium yaitu *Plasmodium falciparum, P. ovale, P. vivax* dan *P. malariae* [2].

Pemberantasan malaria sampai saat ini masih menghadapi berbagai kendala diantaranya adalah akibat meluasnya plasmodium yang resisten terhadap obat anti malaria dan nyamuk vektor yang resisten terhadap berbagai insektisida [3]. Pelemahan (atenuasi) mikroorganisma patogen merupakan strategi untuk pengembangan vaksin sejak pertama kali vaksin ditemukan oleh Louis Pasteur. Radiasi gamma dapat digunakan untuk menginaktifkan mikroorganisme untuk preparasi vaksin, disamping metode inaktifasi secara pemanasan atau kimia [4]. Ada beberapa kemungkinan strategi untuk pembuatan vaksin malaria yaitu: 1) Vaksin pre-eritrositik yang dirancang untuk mengaktifkan respon imun untuk membunuh atau menginaktifkan sporozoit, 2) vaksin stadium eritrositik dengan target merozoit bebas untuk mencegah invasi merozoit ke eritrosit atau sel darah merah yang terinfeksi sehingga dapat mencegah infeksi yang terjadi menjadi penyakit, 3) vaksin penghambat transmisi, yang dibuat untuk menghancurkan bentuk gametosit sehingga dapat mencegah transmisi dari strain resisten yang mungkin lolos dari sistem imun [3]. Iradiasi gamma digunakan untuk melemahkan parasit malaria dalam stadium eritrositik sehingga diharapkan dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan *plasmodium* di dalam eritrosit dan menyebabkan reduksi parsial parasitemia.

Malaria disebabkan oleh infeksi protozoa obligat intraseluler (*hemaprotozoa*) dari genus *plasmodium. Plasmodium* sp. dapat menyerang hewan melata, pengerat (rodensia), primata, burung, dan manusia. Dasar biologi *plasmodium* yang menyerang rodensia sama dengan *plasmodium* yang menyerang manusia seperti siklus hidup maupun morfologinya, genetik dan pengaturan genomenya, fungsi dan struktur pada kandidat vaksin antigen target sama, dengan penelitian terhadap aspek parasitologi, imunologi, dan pengembangan vaksin malaria banyak menggunakan parasit rodensia dan mencit sebagai bahan ujinya. *Plasmodium berghei* adalah *hemoprotozoa* yang menyebabkan penyakit malaria pada rodensia, terutama rodensia kecil [5].

Dalam pengembangan vaksin dibutuhkan pengetahuan mengenai mekanisme imunitas terhadap malaria. Imunitas terhadap malaria sangat komplek melibatkan seluruh komponen sistim imun baik imunitas spesifik maupun non spesifik, imunitas humoral maupun seluler yang timbul secara alami maupun diperoleh sebagai akibat infeksi. Parasit yang masuk ke

dalam tubuh akan segera bereaksi dengan sistem imun tubuh, pertama kali dengan respon imun non spesifik dan selanjutnya oleh respon imun spesifik. Respon imun non-spesifik ini penting karena merupakan efektor pertama dalam memberikan perlawanan terhadap infeksi, terutama dilaksanakan oleh beberapa sel sistim imun dan sitokin limpa [6].

Makrofag merupakan sel efektor penting dalam perlindungan terhadap malaria. Makrofag bekerja melalui berbagai cara yaitu fagositosis langsung terhadap plasmodium, sekresi sitokin guna mengaktifkan makrofag lainnya, sekresi *interleukin*-12 (IL-12) untuk merangsang sel *natural killer* (NK cell) untuk menghasilkan sitokin *interferon*-γ (IFN- γ), dan yang penting sebagai sel penyaji antigen kepada limfosit T [7].

Pada penelitian atenuasi *P.berghei* stadium eritrositik dengan radiasi gamma, dilakukan penghitungan makrofag aktif untuk mengetahui pengaruh besar dosis radiasi pada *P. berghei* terhadap respon imun non spesifik dari inang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kemampuan fagositosis makrofag peritoneum mencit sebagai imun non spesifik selama masa infeksi dengan *Plasmodium berghei* yang diiradiasi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Persiapan *P. berghei* sebelum iradiasi

P. berghei disuntikkan ke mencit secara intraperitoneal. Tiga hari kemudian, setiap dua hari sekali dilakukan pemeriksaan jumlah parasit dengan membuat apusan darah tipis. Jumlah sel darah merah dihitung menggunakan hemositometer. Bila jumlah *P. berghei* sudah mencapai parasitemia > 10%, mencit segera dianastesi dengan eter dan darahnya diambil langsung dari jantung menggunakan *syringe* 1 cc yang berisi anti koagulan (*citrat phospat dextrose*/CPD). Darah yang diperoleh dari mencit dibagi dalam beberapa kelompok dan diradiasi sesuai dengan variasi dosis, 0 (kontrol), 150, 175 dan 200 Gy dengan laju dosis 380,2 Gy/jam. Proses iradiasi dilakukan di IRPASENA BATAN.

Infeksi *P. berghei*

Inokulum merupakan *P. berghei* yang telah dilemahkan dengan sinar gamma, dengan dosis bervariasi. Jumlah parasit dihitung dengan menggunakan kamar hitung Neubauer. Inokulasi dilakukan dengan menyuntikkan 0,2 ml inokulum yang mengandung $\pm 1 \times 10^5$ *P. berghei* stadium eritrositik ke dalam jaringan *intraperitoneal* mencit.

Isolasi dan kultur makrofag

Dari ke 4 kelompok mencit, setiap 2 hari masing-masing kelompok dibunuh 2 ekor dengan narkose kloroform. Kulit mencit pada bagian perut dibuka dengan gunting bedah. Selubung peritoneum dibersihkan

dengan alkohol 70%, kemudian disuntikkan 10 ml medium RPMI tanpa serum dingin. Dilakukan pemijitan perut agar medium masuk ke rongga peritoneal dengan merata. Selanjutnya dilakukan aspirasi cairan intraperitoneal yang mengandung makrofag. Cairan intraperitoneal kemudian disentrifugasi pada 1200 rpm, suhu 4^oC selama 10 menit agar sel makrofag mengendap sempurna. Supernatan dibuang dan kemudian ditambahkan 1 mL medium RPMI komplit pada pellet. Jumlah sel dihitung dengan menggunakan haemasitometer dan ditentukan kepadatannya dengan larutan *tryphan blue*, kemudian diresuspensikan dengan medium RPMI sehingga didapat suspensi sel dengan kepadatan $2,5x10^6$ sel/mL. Suspensi sel yang telah dihitung ditumbuhkan dalam *multiwell plates* (24 sumuran) yang telah diberi *coverslips* bulat. Setiap sumuran diisi dengan 200 µL ($5x10^5$ sel/ml), diinkubasikan dalam inkubator 37^0C, CO_2 5%, selama 30 menit, kemudian ditambahkan medium RPMI komplit sebanyak 1 mL tiap sumuran dan inkubasi dilanjutkan selama 2 jam. Sel dicuci 2 kali dengan RPMI tanpa serum kemudian ditambahkan RPMI komplit 1 mL tiap sumuran dan inkubasi dilanjutkan sampai 24 jam [3].

Uji Fagositosis

Uji kemampuan fagositosis nonspesifik dilakukan secara *in vitro* menurut Leijh dkk [8] dengan menggunakan partikel latex berdiameter 3 µm. Partikel latex diresuspensikan dalam PBS sehingga didapatkan konsentrasi $2,5x10^7$/mL. Makrofag yang telah dikultur sehari sebelumnya dicuci dengan medium RPMI tanpa serum sebanyak 2 kali, kemudian ditambahkan suspensi latex 200 µL/ sumuran, dan diinkubasikan dalam inkubator 37^0C, CO_2 5%, selama 30 menit. Sel kemudian dicuci dengan PBS sebanyak 3 kali untuk menghilangkan latex yang tidak difagositosis dan dikeringkan pada suhu kamar.

Pewarnaan dan pengamatan

Sel difiksasi dengan methanol absolut selama 10 detik pada sumuran, kemudian dikeringkan pada suhu kamar. Setelah kering, sel dipulas dengan larutan Giemsas 10% selama 20 menit. Prosentase sel yang memfagosit partikel latex dan banyaknya partikel latex yang difagosit dihitung dari 300 sel yang diperiksa dengan mikroskop cahaya pada perbesaran 40 kali.

Analisis statistik

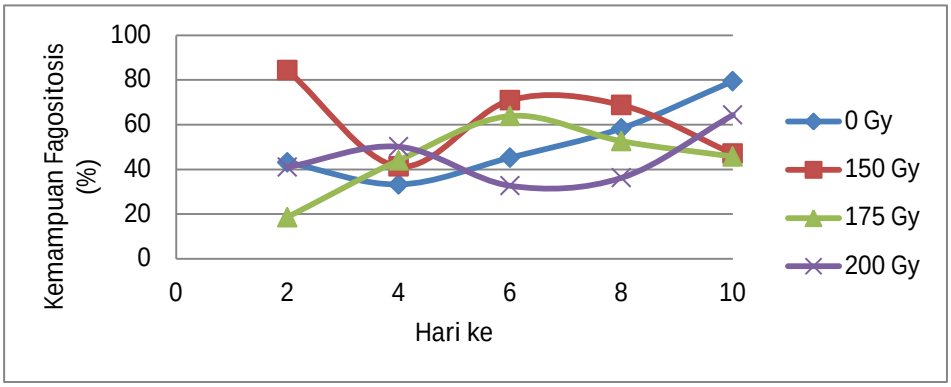
Dalam penelitian ini digunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 4 kelompok dosis radiasi yaitu 0, 150, 175 dan 200 Gy. Masing-masing perlakuan dibuat 2 kali ulangan. Analisis perbedaan kemampuan fagositosis antara kelompok perlakuan dan kelompok kontrol dilakukan selama 10 hari paska infeksi dengan uji anova, perbedaan dianggap bermakna jika $p<0,05$. Untuk memperjelas perbedaan kemampuan

fagositosis antara ke 4 kelompok tersebut, dibuat grafik garis hubungan sumbu X, yaitu waktu pengamatan paska infeksi, dengan sumbu Y, yaitu prosentase sel yang memfagosit partikel latex dan rerata jumlah partikel latex yang difagosit oleh 300 sel makrofag.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

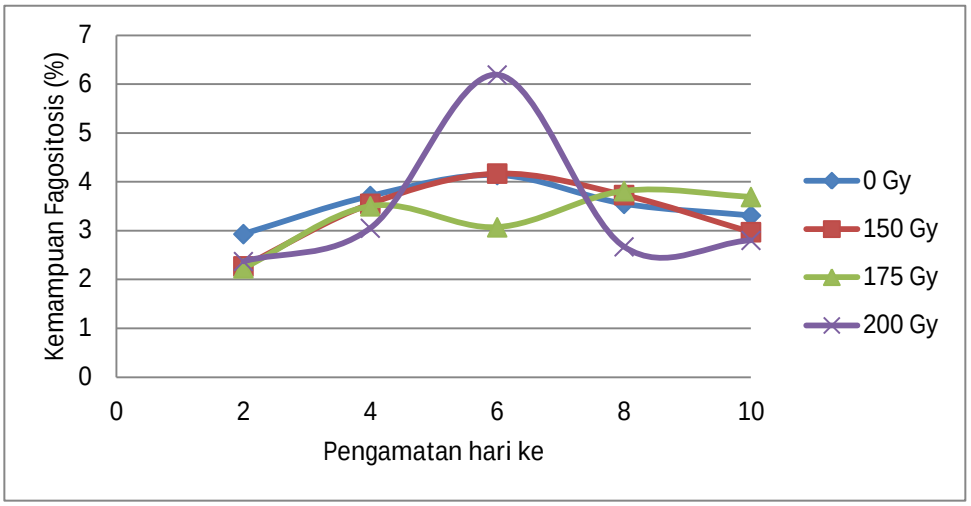
Untuk mengetahui perubahan aktivitas fungsional makrofag peritoneum mencit yang diinfeksi dengan P. *berghei* yang diiradiasi dan yang tidak diiradiasi sebagai sel efektor selama infeksi, dipelajari kemampuannya untuk memfagosit partikel latex secara *in vitro.* Kemampuan fagositosis sel makrofag diukur dengan cara menghitung peningkatan jumlah sel makrofag aktif (yang memfagosit latex). Keempat kelompok mencit menunjukkan kemampuan makrofag dalam memfagosit partikel latex yang berbeda sampai mencapai puncak tertentu lalu diikuti dengan penurunan. Prosentase sel makrofag yang memfagosit partikel latex *in vitro* pada kelompok mencit yang diinfeksi *P. berghei* yang diiradiasi pada dosis 175 Gray mencapai puncak peningkatan pada hari ke 6 (sampai 3,4 kali lebih tinggi) kemudian diikuti penurunan sampai hari ke 10. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Hal ini lebih tinggi daripada mencit yang diinfeksi dengan *P. berghei* tanpa iradiasi yaitu sekitar 2,4 kali dihitung dari hari ke 0 sampai dengan hari ke 10. Adanya peningkatan ini diduga disebabkan oleh fungsi makrofag dalam sistem imun non spesifik selular dan berperan untuk menangkap, memakan, membunuh dan akhirnya mencerna kuman [7]. Sistem imun non spesifik merupakan pertahanan tubuh terdepan dalam menghadapi serangan berbagai mikroorganisme, oleh karena dapat memberikan respon langsung terhadap antigen. Infeksi parasit menimbulkan respon imun humoral dan seluler. Infeksi yang kronik akan meningkatkan kadar imunoglobulin dalam sirkulasi, menimbulkan rangsangan antigen yang persisten dan pembentukan kompleks imun. Parasit dapat menimbulkan imunosupresi dan efek imunopatologik pada pejamu. Pada umumnya respon selular lebih efektif terhadap protozoa intraseluler, sedang antibodi lebih efektif terhadap parasit ekstraselular seperti dalam darah dan cairan jaringan. Sel T terutama sel Tc, dapat menghancurkan parasit intraseluler, misalnya T.cruzi. Limfokin yang dilepas oleh sel T yang disensitisasi dapat mengaktifkan makrofag untuk lebih banyak membentuk reseptor untuk Fc dan C3, berbagai enzim dan faktor lain yang dapat meninggikan sitotoksisitas [7].



Gambar 1. Prosentase makrofag peritoneum mencit yang memfagosit latex *in vitro* selama infeksi *P. berghei.*

Selama pengamatan, kemampuan fagosit makrofag dosis 150 Gy lebih tinggi, diikuti oleh dosis 0 Gy, 200 Gy dan 175 Gy. Hal ini dapat terjadi berkaitan dengan ketersediaan makrofag dalam cairan *intra peritoneum* mencit yang bervariasi. Jumlah rerata partikel latex yang difagosit oleh 300 makrofag untuk kelompok 0, 150, 175 dan 200 Gy berturut-turut adalah 2,93; 2,27; 2,23 dan 2,37 partikel latex. Peningkatan tertinggi dicapai kelompok perlakuan dosis 200 Gy yaitu sekitar 6,19 atau meningkat 2,6 kali dibanding kontrol yang hanya meningkat sebesar 1,4 kali seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rerata latex *in vitro* yang difagosit oleh 300 makrofag peritoneum mencit selama infeksi *P. berghei.*

Hasil penelitian menunjukkan ketidakselarasan antara kemampuan fagositosis makrofag dengan rerata latex yang difagosit. Kemampuan fagositosis makrofag tertinggi dicapai pada dosis 175 Gy, tetapi peningkatan rerata latex tertinggi pada dosis 200 Gy. Hal ini disebabkan karena ukuran makrofag yang berbeda-beda. Pada penelitian terhadap aktivitas fungsional makrofag selama infeksi *P. berghei* pada mencit *Swiss webster* ditunjukkan bahwa ukuran makrofag limpa sangat meningkat selama infeksi, dari diameter 12,5 µm pada kondisi normal pada hari ke 7 menjadi 22,9 µm, pada hari ke 14 menjadi 32,9 µm dan pada hari ke 21 pasca infeksi menjadi 39,1 µm [9]. Hal ini diduga dipengaruhi oleh jumlah makrofag yang tersedia dalam cairan intra peritoneal serta ukuran makrofag. Semakin besar ukuran makrofag, maka jumlah partikel latex yang difagosit pun juga akan semakin banyak.

Pada umumnya prosentase makrofag yang memfagosit partikel latex pada awal infeksi meningkat tajam, kemudian menurun pada akhir infeksi. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa pada awal infeksi *P. berghei* terjadi aktivasi makrofag dan aktivasi ini kemudian menurun dan kemungkinan akan berlanjut dengan supresi [3]. Wyler dkk menyebutkan bahwa supernatan yang didapat dari kultur makrofag mencit pada awal infeksi baik yang diinfeksi dengan *P. yoelii* maupun *P. berghei* banyak mengandung *limphocyte activating factors*, sedangkan pada akhir infeksi banyak mengandung faktor supresor, keadaan tersebut mengakibatkan terjadinya aktivitas bifasik metabolisme oksidatif makrofag.[10] Hal ini sesuai dengan hasil penelitian pada dosis 175 Gy dan 200 Gy. Tetapi pada dosis 0 Gy dan 150 Gy menunjukkan kondisi yang berbeda. Pada awal justru mengalami penurunan sampai hari ke 4 lalu diikuti dengan kenaikan. Kondisi ini dapat disebabkan materi parasit dan antigen dalam hal ini adalah partikel latex yang terlalu banyak,sehingga akan disekresi subnormal serta disekresikan pada substansi lain yang bersifat imunosupresif [10].

IV. KESIMPULAN

Kemampuan fagositosis makrofag peritoneum mencit yang diiradiasi tertinggi pada dosis 175 Gy meningkat sebesar 3,4 kali lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak diiradiasi (kontrol) yang meningkat 2,4 kali. Hal ini menunjukkan bahwa dosis radiasi 175 Gy merupakan dosis terbaik untuk meningkatkan kemampuan fagositosis makrofag. Peningkatan rerata latex yang difagosit tertinggi dicapai pada dosis 200 Gy sebesar 2,6 kali dibandingkan dengan kontrol yang meningkat 1,4 kali. Hal ini menunjukkan bahwa dosis radiasi 200 Gy merupakan dosis terbaik untuk meningkatkan rerata latex yang difagosit oleh makrofag.

DAFTAR PUSTAKA

1. KONDRACHINE,A.V., and TRIGG,P.I. Global Overview of Malaria. Indian J. Med.Res. 1997. 106: 39-52.
2. BRUCE-CHWATT, L.J., Essential Malariology. 2nd ed London. William Heinemann Medical Books. 1985.
3. WIJAYANTI, M.A., N. SOERIPTO, SUPARGIYONO, dan L.E. FITRI. Pengaruh Imunisasi Mencit dengan Parasit Stadium Eritrositik Terhadap Infeksi *Plasmodium berghei*, Berkala Ilmu Kedokteran, Vol 2, 53-59,1997.
4. RAZ EYAL, J. FERRER. Using gamma radiation preserves T-cell responses in bacteria vaccine, Professor of Medicine at University of California, San Diego (UCSD) School of Medicine, 2006.
5. LANDAU, I, P. GAUTRET. Animal models rodents In: Malaria, Parasites biology, and protection, Ed: Sherman, I.W. ASM Press, Washington, DC, 401-417 1998.
6. NUGROHO A., P.N. HARIJANTO, E.A. DATAU, Imunologi Malaria in Malaria: Epedemiologi, Patogenesis, manifestasi klinis, dan penanganan, P.N. Harijanto (Ed)., Jakarta: Penerbit buku kedokteran (EGC), 128-147, 2000.
7. KARNEN G.B., Immunologi Dasar, Balai penerbit FKUI, Jakarta, 2006
8. LEIJH PCJ, FURTH RV & ZWET TLV. In Vitro Determination of phagocytosis and intracellular killing by polymorphonuclear phagocytes. In: Weir DM, editor. Cellular Immunology, Vol. 2, London. Blackwell Scientific Publication. 1986: 74-85.
9. SHEAR H.L, NUSSENWEIGH RS, BIANCO C. Immunephagocytosis in murine malaria. J Exp Med. 1979. 149:1288.
10. WYLER D.J. Cellular aspects of immunoregulation in malaria. Bulletin of WHO. 1979. 57 (Suppl. 1) : 239-243

TANYA JAWAB

1. **Penanya : Robert D. H.**

   Pertanyaan :
   - Sejauh mana hasil penelitian ini telah diterapkan apakah suah mencapai uji klinis?
   - Secara komersial apakah vaksin ini dapat dipasarkan secara umum mengingat biaya perbuatannya?

   Jawaban :
   - Vaksin malaria yang sudah mencapai uji klinis adalah vaksin malaria sporozoit radiasi yang telah diproduksi oleh sanaria di Amerika secara masal dan telah dicoba uji klinis pada anak di Afrika dan hasilnya 50% anak terproteksi tetapi di BATAN masih dalam uji pra-klinis
   - Kami belum melakukan prediksi harga karena penelitian kami masih dalam uji pra-klinis

PENGARUH INFEKSI *Plasmodium berghei* IRADIASI GAMMA STADIUM ERITROSITIK TERHADAP JUMLAH ERITROSIT DAN LEKOSIT MENCIT SWISS WEBSTER

Tur Rahardjo dan Siti Nurhayati

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi ? BATAN
E-mail : turahardjo@batan.go.id

ABSTRAK

PENGARUH INFEKSI *Plasmodium berghei* IRADIASI GAMMA STADIUM ERITROSITIK TERHADAP JUMLAH ERITROSIT DAN LEKOSIT MENCIT SWISS WEBSTER. Program pemberantasan malaria terkendala oleh semakin meluasnya plasmodium yang resisten terhadap obat. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut adalah pemberian vaksin. Teknik nuklir dapat dimanfaatkan untuk pembuatan bahan vaksin karena respon imunnya lebih kuat dalam inang. Pada dosis iradiasi yang optimum mikroorganisme tidak mampu bereplikasi dan tidak menimbulkan infeksi. Telah dilakukan pengamatan pengaruh infeksi *P. berghei* iradiasi gamma stadium eritrositik terhadap jumlah eritrosit dan lekosit mencit *Swiss webster* pada 0 dan 1 jam pasca iradiasi. Sebanyak 186 ekor mencit *Swiss webster* dibagi dalam 6 kelompok perlakuan masing-masing diinfeksi *P. berghei* iradiasi untuk kontrol positif (+), 150 Gy 0 jam, 150 Gy 1 jam, 175 Gy 0 jam, 175 Gy 1 jam, sebanyak $1x10^7/mm^3$ parasitemia untuk setiap ekor dan kontrol negatif (tanpa parasit iradiasi). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dosis iradiasi 150 Gy adalah dosis yang optimal untuk melemahkan *P. berghei* ANKA karena mampu mempertahankan rerata jumlah sel eritrosit dan lekosit mencit tetap dalam batas-batas normal dan tidak ada pengaruh penundaan waktu penginfeksian pada 0 - 1 jam pasca iradiasi terhadap keganasan *P. berghei* ANKA dalam menginfeksi darah mencit.

*Kata kunci **:** malaria, vaksin, Plasmodium sp., radiasi pengion*

ABSTRACT

THE EFFECT OF INFECTION OF GAMMA IRRADIATED *Plasmodium berghei* OF ERYTHROCYTIC STADIUM ON ERYTHROCYTES AND LEUCOCYTES NUMBERS OF SWISS WEBSTER MICE. The program of eradication of malaria faced an obstacle due to the spread of drug resistant plasmodium. One alternative to overcome this problem is providing a vaccine. Nuclear technique can be used to create a vaccine material because it is more benefit where stronger immune response is found in host post treated with irradiated vaccine. At an optimal dose of irradiation microorganism could not replicate and not infectious. The observation of effects of gamma ray irradiated *P. berghei* on erythrocytes and leucocytes cells of mouse post infection has been done. One hundred eighty six *Swiss webster* mice were divided into 6 treatment groups each was infected with *P. berghei* irradiated with control (+), 150 Gy 0 and 1 hour, 175 Gy 0 and 1 hour post irradiation and negative control (without irradiated parasites). Results showed that irradiation of 150 Gy was the most effective dose in maintaining the of erythrocyte and leukocyte cells of host still in normal range post infection with *P. berghei* and there was no influence of time delay post-irradiation (0 to 1 hour) to the infectious of *P. berghei* in mouse blood.

Keywords : malaria, vaccine, Plasmodium sp, ionizing radiation.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah endemis malaria, walaupun telah dilakukan program pemberantasan penyakit malaria sejak tahun 1959, namun hingga saat ini angka kesakitan dan kematian masih cukup tinggi [2]. Lebih dari 90 juta penduduk Indonesia tinggal di daerah endemik malaria. Dari sekitar 30 juta kasus malaria setiap tahun, hanya sekitar 10% saja yang mendapat pengobatan di fasilitas kesehatan. Angka kejadian malaria terbesar terjadi di Propinsi Bagian timur Indonesia. Di Irian Jaya tercatat 16.771 kasus malaria pada tahun 2004, sedangkan di Jawa paling tidak terdapat 660 kasus dimana malaria merupakan penyakit yang timbul kembali (*re-emerging disease*). Di Aceh, melalui Program *Roll Back Malaria Partnership* berhasil mendiagnosa sebanyak 20.440 kasus malaria. Laporan terakhir menyebutkan 1,8 juta kasus malaria di seluruh Indonesia pada 2006, yang bertambah signifikan menjadi 2,5 juta pada 2007 [3].

Malaria ditularkan melalui nyamuk *Anopheles*. Empat jenis plasmodium yang dapat menginfeksi manusia yaitu *Plasmodium falciparum, Plasmodium malariae, Plasmodium vivax dan Plasmodium ovale*. Beberapa tanda dan gejala utama dari penyakit malaria adalah menggigil, demam tinggi, sakit kepala, anemia, pembesaran limfa, dan gagal ginjal. Sebelum gejala panas tinggi dan flu muncul, inkubasi parasit terjadi selama 10-14 hari [5]. Salah satu gejala klinik yang terjadi pada malaria yaitu anemia, terutama anemi tipe hemolitik, normokrom, aplastik dan megaloblastik. Anemia yang terjadi diakibatkan oleh hemolisis berulang pada eritrosit yang terinfeksi [6].

Malaria pada hewan pengerat disebabkan oleh empat spesies yaitu *P. berghei, P. chabaudi, P. yoelii, dan P. vinckei* dan telah terbukti analog dengan *Plasmodium* penyebab malaria pada manusia dalam hal struktur sel, fisiologi dan siklus hidup. *P. berghei* paling banyak digunakan sebagai model dalam penelitian malaria karena isolasi dan distribusinya lebih mudah dibandingkan *Plasmodium* lainnya. *P. berghei* merupakan model yang cocok untuk penelitian perkembangan biologi parasit malaria, dikarenakan, belum pernah ditemukan dapat menyebabkan malaria pada manusia dan dalam penelitian laboratorium umumnya ditularkan melalui suntikan darah hewan pengerat terinfeksi ke hewan pengerat lainnya. Memiliki kesamaan morfologi dengan parasit malaria pada manusia dan juga memiliki kesamaan protein permukaannya yang berperan dalam invasi sel darah merah.

Sporozoit dapat ditemukan di dalam hepatosit sejak beberapa menit sampai beberapa jam setelah diinokulasikan. Di dalam hepatosit, sporozoit akan berkembang menjadi merozoit setelah hepatosit pecah, merozoit akan menuju sirkulasi darah. Tetapi pada *P. berghei* tidak dijumpai stadium hipnozoit karena memiliki respon imun melawan stadium hipnozoit. Setelah menginvasi sel darah merah, merozoit akan

membentuk cincin dalam 16 jam menjadi tropozoit tua, kemudian memasuki tahapan pembelahan aseksual selama 6 ? 8 jam. Pada pembelahan aseksual ini tropozoit akan berkembang menjadi schizont dan ketika schizont menjadi matang, schizont akan melakukan pembelahan untuk menghasilkan merozoit. Pada eritosit tua, schizont ini mengandung 8-12 merozoit sedangkan pada retikulosit berjumlah 16-18 merozoit. Merozoit yang dikeluarkan setelah rupturnya sel darah merah akan mengulang siklus aseksual, tapi ada juga yang akan memasuki siklus seksual untuk membentuk gametosit. Merozoit yang mengikuti siklus seksual sebanyak 5 ? 25 %. Mekanisme pergantian fase aseksual menjadi fase seksual baik pada *P. berghei* atau *P falciparum* dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Gametosit berbentuk bulat besar dan memenuhi sel darah merahmatang. Setelah matang mikrogametosit dan makrogametositnya dibedakan berdasarkan densitas ribosom. Gametosit merupakan bentuk yang infeksius bagi nyamuk *Anopheles* dan hanya bentuk ini yang dapat melanjutkan fase sporogoni [7].

Pemanfaatan teknologi radiasi dalam bidang vaksin malaria telah digunakan sejak tahun 1967 dimana Nusszweinzig melakukan iradiasi nyamuk kermudian digigitkan ke mencit percobaan. Setelah dilakukan uji tantang terhadap sporozoit, 60% mencit memberikan proteksi terhadap sporozoit. Percobaan ini merupakan titik awal dari pengembangan vaksin malaria dengan menggunakan teknik nuklir. Hoffman menyatakan bahwa dosis optimal untuk melemahkan *P. falciparum* stadium sporozoit adalah antara 150 ? 200 Gy [8]. Imunisasi biasanya dilakukan secara berulang-ulang baik dengan parasit yang sudah dilemahkan, parasit yang sudah dimatikan atau fragmen parasit. Vaksin malaria yang sudah pemah diteliti adalah vaksin terhadap tiga stadium perkembangan Plasmodium yaitu vaksin terhadap sporozoit serta vaksin terhadap parasit stadium eritrositik bentuk aseksual dan bentuk seksual. Vaksin malaria stadium eritrositik digunakan untuk menghambat pertumbuhan dan perkembangan Plasmodium di dalam eritrosit serta Parasitemia [9].

Makalah ini menyajikan hasil uji respon hematologi pada inang pasca pemberian bahan vaksin iradiasi dosis 150 Gy dan 175 Gy pada stadium eritrositik dengan rentang waktu 0 jam dan 1 jam pasca iradiasi.

II. BAHAN DAN METODE

Sebanyak 196 ekor mencit *Swiss Webster* berumur ±2 bulan, dengan berat tubuh 35 gram yang diperoleh dari Kementerian Kesehatan Jakarta dikarantina di kandang hewan Laboratorium Biomedika selama sekitar 7 hari untuk adaptasi, dipantau kondisi fisik, berat badan, mata, telinga, makanan, minum dan kesehatan dengan standar pemeliharaan. Pada 10 ekor mencit diinokulasi secara intraperitoneum (IP) *P. berghei* strain ANKA dan dilakukan pengamatan parasitemia pada hari-hari ke 2,

3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 hari pasca infeksi. Setelah parasitemianya mencapai lebih dari 25% darah mencit diambil dari jantung kemudian darah diiradiasi dengan dosis 150, 175 Gy di Fasilitas Iradiasi Gamma Cell 220 PATIR BATAN pada laju dosis 380,4 Gy/jam dan kontrol (tanpa parasit). Darah ini digunakan untuk menginfeksi mencit dengan perlakuan sebagai berikut.

Sebanyak 186 ekor mencit Swiss Webster umur ±2,5 bulan dibagi dalam 6 kelompok setiap kelompok sebanyak 30 ekor kemudian diinokulasikan dengan kandidat bahan vaksin *P.berghei* ANKA pasca iradiasi gamma dosis 0 (kontrol positif), 150 Gy, 175 Gy sebanyak $1x10^7/mm^3$ parasitemia untuk setiap ekor dan kontrol negatif tidak diinfeksi palsmodium berghei iradiasi, dengan selang waktu infeksi 0 jam, 1 jam kemudian dilakukan pengamatan parasitimianya selama 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 hari pasca infeksi

Untuk pemeriksaan eritrosit dan lekosit setelah imunisasi kandidat bahan vaksin *P. berghei* pasca iradiasi gamma, darah mencit diambil sebanyak 1 ml, kemudian ditambahkan antikoagulan, dikocok lalu dilakukan pemeriksaan eritrosit dan lekosit sesuai prosedur standard. Pemeriksaan ini dilakukan pada hari-hari ke 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 pasca imunisasi kandidat bahan vaksin *P. berghei* strain ANKA.

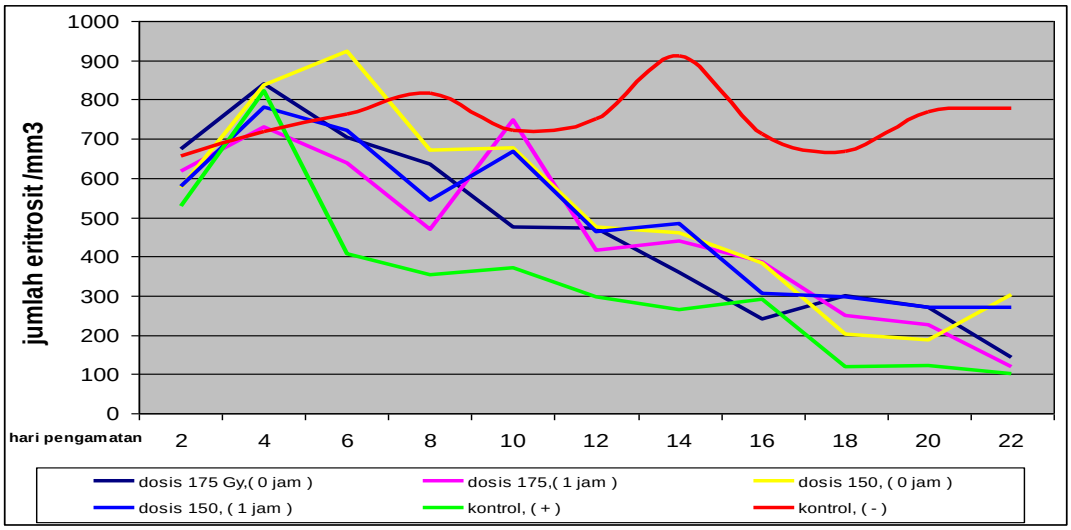
Tabel 1. Jumlah mencit pada setiap dosis iradiasi gamma *Plasmodium berghei* untuk masing-masing kelompok perlakuan.

Dosis iradiasi gamma	Waktu infeksi	Hari pengamatan pasca infeksi *Plasmodium berghei* iradiasi										
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
150 Gy (30 ekor)	0 jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
150 Gy (30 ekor)	1 jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
175 Gy (30 ekor	0 jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
175 Gy (30 ekor)	1 jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kontrol + (30 ekor)	0 jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kontrol - (12 ekor)	0 jam	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

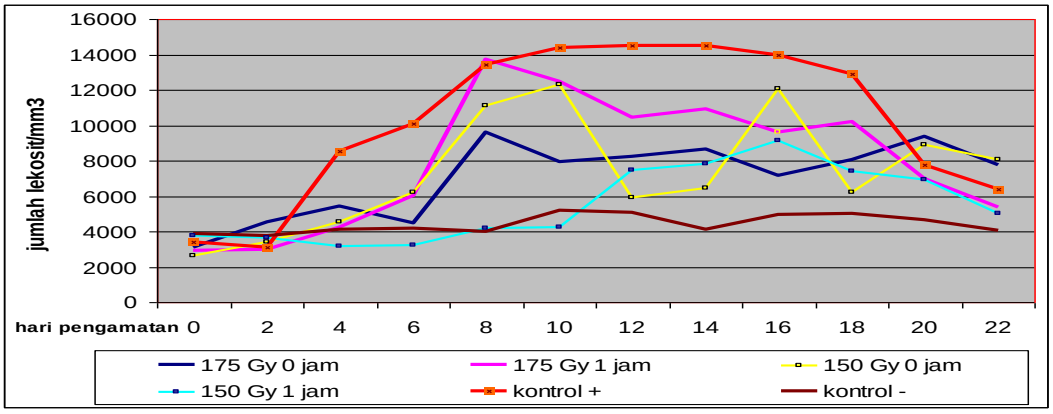
Pada Gambar 1 disajikan jumlah rerata eritrosit mencit pasca penyuntikan *P. berghei* iradiasi. Bila dibandingkan dengan kontrol pada hari ke- 2 ? 22 terlihat menurun untuk semua kelompok perlakuan pasca infeksi *P. berghei* iradiasi dosis 0 atau kontrol positif, 150 Gy 0 jam, 150 Gy 1 jam, 175 Gy 0 jam dan 175 Gy 1 jam mengalami penurunan pada hari ke-4. Untuk kelompok kontrol positif jumlah eritrositnya 823x $10^6/mm^3$, untuk 150 Gy 0 jam 779x$10^6/mm^3$, 1 jam 836x$10^6/mm^3$ dan 175 Gy 730x$10^6/mm^3$ 840x$10^6/mm^3$. Terlihat adanya penurunan jumlah eritrosit bila dibandingkan dengan kontrol negatif 751,18x$10^6/mm^3$ dan penurunan jumlah eritrosit terus berlangsung hingga hari ke-22 pasca infeksi sebesar 100 x $10^6/mm^3$ kontrol positif 269x10^6 , 150 Gy 0 jam 269x$10^6/mm^3$, 150 Gy 1 jam 302x$10^6/mm^3$ dan 175 Gy 0 jam 1431x$10^6/mm^3$, 175 Gy 1 jam 1191x$10^6/mm^3$. Hasil uji stastistik menunjukkan jumlah eritrosit untuk kelompok perlakuan dosis 150 Gy 0 jam, 150 Gy 1 jam dan 175 0 jam bila dibandingkan dengan kontrol negatif pada hari ke-22 distribusi datanya normal perbedaan antar dosis dikatakan tidak bermakna ($p>0,05$), sedangkan untuk dosis 175 Gy 1 jam, dan kontrol positif bila dibandingkan dengan kontrol negatif menunjukan perbedaan bermakna ($p<0,05$).

Plasmodium dalam eritrosit mendegradasi hemoglobin menjadi *Free Ferriprotoporfirin*, *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) dan globin. ROS sebagai *oxidative stress* terhadap plasmodium dapat menginduksi perubahan membran eritrosit dan mengaktivasi neutrofil sehingga meningkatkan fragilitas eritrosit [10]. Hal ini menyebabkan hemolisis intravaskular yang dapat terjadi pada eritrosit mengandung parasit, eritrosit tidak berparasit dan eritrosit yang disalut komplemen. Eritrosit berparasit menjadi kurang mampu mengubah bentuk (*deformability*) dan pembentukan *rouleoux* terganggu sehingga menyebabkan blokade pembuluh darah kecil. Penghancuran eritrosit berparasit maupun tidak berparasit terjadi secara cepat sehingga mengakibatkan splenomegali [11]. Pembentukan eritrosit juga terganggu (diseritropoiesis), karena depresi sumsum tulang. Hal ini menyebabkan retikulosit tidak dilepaskan ke dalam peredaran perifer selama fase akut. sebagian *Free Ferriprotoporfirin* diubah menjadi pigmen hemozoin dalam vakuola makanan plasmodium, karena toksik terhadap plasmodium. Sebagian lagi dikeluarkan dari vakuola makanan lalu dihancurkan oleh enzim dari plasmodium. Globin digunakan untuk mensintesis protein plasmodium. Proses ini menyebabkan turunnya jumlah eritrosit dalam darah dan menjebabkan anemi terutama anemi tipe hemolitik, normokrom, aplastik dan megaloblastik [9].



Gambar 1. Rerata jumlah eritrosit (/mm3) per hari darah mencit pasca infeksi *P. berghei* ANKA iradiasi pada kelompok perlakuan dosis 150 Gy 0 jam, 150 Gy 1 jam, 175 Gy 0 jam, 175 Gy 1 jam, kontrol positif dan kontrol negatif dengan interfal waktu infeksi 0 jam dan 1 jam.

Pada penelitian ini rerata jumlah leukosit untuk masing-masing kelompok perlakuan tampak pada Gambar 2. Bila dibandingkan dengan kontrol negatif pada hari ke 2 - 22 pasca infeksi *P. berghei* iradiasi, terlihat jumlah lekosit untuk kontrol positif 10.252,08/mm^3, dosis 150 Gy 0 jam 7.308,00/mm^3, 150 1 jam 5.502,42/mm^3 , 175 Gy 0 jam 7.020,58/mm^3, dan 175 Gy 1 jam 7.987,17/mm^3, kontrol negatif 4.413,58/mm^3 dan untuk dosis 150 Gy 1 jam 5.502,42/mm^3 bila dibandingkan dengan kontrol negatif 4.413,58/mm^3 tidak jauh berbeda. Hasil uji stastistik menunjukkan rerata jumlah lekosit untuk masing-masing kelompok perlakuan dosis 150 Gy 0 jam, 150 Gy 1 jam, 175 Gy 0 jam bila dibandingkan dengan kontrol negatif pada hari ke- 2 s/d 22 menunjukan distribusi data normal perbedaan antar dosis dikatakan tidak bermakna ($p>0,05$). sedangkan untuk dosis 175 Gy 1 jam, dan kontrol positif bila dibandingkan dengan kontrol negatif menunjukan perbedaan bermakna ($p<0,05$). Tingginya jumlah leukosit berkorelasi dengan tingginya tingkat infeksi. Jumlah eritrosit dan leukosit sejalan dengan hasil pemeriksaan parasitemia. Kelompok kontrol positif menunjukkan kadar leukosit yang paling tinggi menandakan banyaknya jumlah parasit yang menginfeksi.



Gambar 2. Rerata jumlah lekosit (/mm3) per hari darah mencit pasca infeksi *P. berghei* ANKA iradiasi pada kelompok perlakuan dosis 150 Gy o jam, 150 Gy 1 jam, 175 Gy 0 jam, 175 Gy 1 jam, kontrol positif dan kontrol negatif dengan interfal waktu infeksi 0 jam dan 1 jam.

Berdasarkan percobaan pada parasit atau bakteri dan sel ragi, dan juga dari penelitian ini diketahui bahwa vaksin iradiasi lebih efektif karena mampu menstimulasi respon protektif dari sel imun (sel T) melalui protein *toll-like receptor* dan tidak perlu disimpan dalam ruang dingin. Dosis sinar gamma optimal dan efektif untuk setiap bentuk dari tahapan perkembangan plasmodium masih perlu dikaji lebih lanjut. Berbagai penelitian membuktikan bahwa pelemahan pathogen dengan iradiasi lebih baik daripada pemanasan. Pengaruh dosis iradiasi terhadap daya infeksi parasit dievaluasi dari periode prepaten, persentase parasitemia, dan mortalitas mencit [12]. Hasil studi awal menunjukkan bahwa dosis iradiasi 75-125 Gy belum mampu melemahkan plasmodium, hal ini ditunjukkan oleh parasitemia yang terus meningkat (virulensi) dan semua mencit mati pada hari ke 16-22 paska inokulasi pertama [12] dan sampai saat ini dosis optimal dan efektivitas sinar gamma untuk stadium eritrositik telah diketahui, namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa jumlah eritrosit dan jumlah lekosit darah mencit yang diberi *P. berghei* ANKA stadium eritrositik sangat dipengaruhi oleh dosis iradiasi gamma (150 Gy dan 175 Gy) dan interval waktu infeksi 0 jam dan 1 jam pasca iradiasi. Dosis 150 Gy adalah dosis yang optimal untuk melemahkan *P. berghei* ANKA dan pengaruh penundaan waktu infeksi dari 0 jam s/d 1 jam tidak mempengaruhi keganasan *P. berghei* ANKA menginfeksi darah mencit.

DAFTAR PUSTAKA

1. HARIJANTO, P. *Malaria: epidemiologi, patogenesis dan manifestasi klinis dan penanganan*. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC. 2000.
2. DEPARTEMEN KESEHATAN, Mengendalikan penyakit malaria dan mulai menurunnya jumlah kasus malaria dan penyakit lainnya pada 2015.

3. ANONIM, Malaria cases in Indonesia increases to about 3 M in 2007: Health Official Says, Jakarta Post, January 21, 2008.
4. SOENARLAN dan GANDAHUSADA, S., The Fight against malaria in Indonesia Jakarta; National institute of Health Research and Development,1990
5. WEATHERALL, D.J., ABDULLA, S., The anemia of *Plasmodium falciparum* malaria, *BMB*, 38, 147-151, 1982.
6. RAHARDJO, T., NURHAYATI, S., dan DARLINA Pengamatan Hematologi pada Mencit Pasca Infeksi *Plasmodium berghei Iradiasi Gamma Stadium Eritrositik.* Prosiding Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VII. PTKMR-BATAN, Jakarta, 2011 **ISSN: 1412 -2499.**
7. WIJAYANTI, M.A., N. SOERIPTO, SUPARGIYONO dan L.E. FITRl. 1997. Pengaruh Imunisasi Mencit Dengan Parasit Stadium Eritrositik Terhadap Infeksi *Plasmodium berghei*, Berkala Ilmu Kedokteran Vol. 29, No.2: 53 - 59, Juni.
8. JEKTI, R.B., E. SULAKSONO, S. SUNDARI, R. MARLET A & SUBAHAGIO. 1996. Pengaruh Pasase Terhadap Gejala Klinis Pada Mencit Strain Derived Yang Diinfeksi *Plasmodium berghei* ANKA. Cermin Dunia Kedokteran No. 106: 34-40
9. ROBERT, C., PEYROL, S., POUVELLE, B., GAY-ANDRIEU, F., GYSIN, J. Ultrastructural aspects of plasmodium falciparum infected erythrocyte adherence to endothelial cells of saimiri brain microvascular culture, *Am J Trop Med Hyg* 1996; 54 (2), 169-177.
10. HOFFMAN, S.L., GOH, M.L., LUKE, T.C., Protection of humans against malaria by immunization with radiation-attenuated *Plasmodium falciparum, The Journal of Infectious Diseases*, **185**, 1155 ? 1164, 2002.
11. DEMICHELI, M.C., REIS, B.S., GOES, A.M., DE ANDRADE, A.S.R., Paracoccidioides brasiliensis: attenuation of yeast cells by gamma irradiation, *Mycoses*, 49(3), 184-189, 2006.
12. SYAIFUDIN, M., NURHAYATI, S. dan TETRIANA, D**.,** Pengembangan vaksin malaria dengan radiasi pengion, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung, 17-18 November 2008 ISBN : 978-979-1165-74-7 IV-98.

TANYA JAWAB:

1. Penanya : Teja Kisnanto

Pertanyaan :
- Kenapa harus menunggu 20% parasitemia untuk transport infeksi kemencit selanjutnya ?
- Apakah kalo dibawah 20% parasitemianya tidak akan tumbuh ?

Jawaban :
- Untuk memperoleh jumlah parasit yang optimum untuk menginfeksi mencit/hewan coba.
- Di bawah 20% dapat tumbuh tetapi perkembangannya lambat

2. Penanya : Okky B Kadharusman

Pertanyaan :
- Vaksin malaria seberapa cepat dapat diproduksi ?
- Seberapa efektif daya kekebalan yang diperoleh ?

Jawaban :
- Masih lama lebih dari 5 tahun
- Kalau bahan vaksin sudah diperoleh kekebalannya sangat efektif.

3. Penanya : Mukh Syaifudin

Pertanyaan :
- Berapa dosis radiasi yang paling baik (optimal) dan interval waktu penjuntikan berdasarkan parameter lekosit/ eritrosit?

Jawaban :

- Dari 100 Gy,150Gy,175Gy, 200Gy yang paling baik/ dosis optimal 150Gy ? 175 Gy
- Interfal waktu penjuntikan tidak berbeda nyata.

OTOMATISASI PENGHITUNGAN PERSENTASE PARASITEMIA *Plasmodium falciparum* MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK NISH ELEMENT D 2.3

Siti Nurhayati dan Dwi Ramadhani

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No.49, Jakarta Selatan
E-mail : dhani02@batan.go.id

ABSTRAK

OTOMATISASI PENGHITUNGAN PERSENTASE PARASITEMIA *Plasmodium falciparum* MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK NISH ELEMENT D 2.3. Salah satu metode untuk mengetahui efektifitas obat dan vaksin malaria adalah dengan menghitung persentase parasitemia *Plasmodium falciparum* pada preparat apusan tipis darah manusia yang terinfeksi malaria. Penghitungan persentase parasitemia umumnya dilakukan secara manual menggunakan mikroskop cahaya, yang membutuhkan waktu lama serta keahlian untuk menentukan parasitemia di dalam sel darah merah**.** Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan program yang dapat menghitung secara otomatis jumlah sel darah merah total dan sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum*. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah membuat *macro* pada perangkat lunak NISH Element D yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah sel darah merah total dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum* secara otomatis. Sebanyak tiga preparat apusan tipis darah manusia yang telah terinfeksi *P. falciparum* diamati dalam tiga waktu pengamatan yang berbeda yaitu pada hari ke 5, 7 dan 9 paska infeksi *P. falciparum*. Total sebanyak 150 citra dianalisis secara manual dan otomatis menggunakan program *macro* yang sudah dibuat. Jumlah penghitungan total sel darah merah secara manual dan otomatis adalah masing-masing sebanyak 14324 sel dan 14593 sel. Sedangkan jumlah penghitungan total sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum* secara manual dan otomatis adalah masing-masing sebanyak 135 sel dan 252 sel. Hasil pengolahan data secara statistik menggunakan Uji T menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antara jumlah total sel darah merah yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan manual ($P = 0{,}69$, $\alpha = 0{,}05$). Untuk hasil penghitungan jumlah total sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum* secara otomatis dibandingkan dengan manual hasil pengolahan secara statistik menggunakan Uji T menunjukkan bahwa terdapat perbedaan secara nyata antara hasil yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan manual ($P = 0$, $\alpha = 0{,}05$). Pengembangan lebih lanjut terhadap *macro* yang dibuat perlu dilakukan untuk meningkatkan keakuratan penghitungan jumlah sel darah merah terinfeksi *P. falciparum*.

Kata Kunci : Malaria, Perangkat Lunak, Parasitemia, *Plasmodium falciparum*

ABSTRACT

AUTOMATION Plasmodium falciparum PARASITEMIA PERCENTAGE COUNT USING NISH ELEMENT D 2.3 SOFTWARE. *Method that can be use to determine the effectiveness of anti malaria drugs and vaccines is calculated the percentage of Plasmodium falciparum parasitemia on thin blood smear of human that already infected with P. falciparum. The percentage of parasitemia count generally had done manually using a light microscope. This process is requires expertise to determine the parasitemia in the red blood cells and takes a longer time. To overcome this problem developing a program that can automatically calculate the total number of red blood cells and red blood cells that infected with P. falciparum must be done. Aim of this research is created a macro on NISH Element D 2.30 software that can be used to automatically calculate the total number of red blood cells and red blood cell infected with P. falciparum. Three human thin blood smears that have been infected with P. falciparum was observed at three different observation time which are on day 5, 7 and 9 post-infection of P. falciparum. Totally 150 images were analyzed manually and automatically using a macro program that has been made. Manually counting the total number of red blood cells are 14324 cells, while the automatic are 14593 cells. Manually counting total number the infected red blood cells are 135 cells, while the automatic are 252 cells. Statistical analysis using T-test showed that there is no significant difference between the total number of red blood cells are obtained automatically compared to the manual ($P = 0.69$, $\alpha = 0.05$). While statistical analysis using T-test for total number the infected red*

blood cells of P. falciparum obtain automatically compared with manually process showed that there are a significant differences between the results obtained are automatically compared to the manual (P = 0, α = 0.05). Further development of the macro is needs to be done to improve the accuracy of counting the number of red blood cells infected with P. falciparum.

Keywords: Malaria, Software, Parasitemia, Plasmodium falciparum

I. PENDAHULUAN

Malaria adalah penyakit infeksius dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius. Setengah dari populasi di dunia terutama pada negara berkembang berisiko terkena penyakit malaria [1]. *World Health Organization* (WHO) menyatakan bahwa sebanyak kurang lebih satu juta kematian terjadi akibat malaria dan lebih dari 250 juta orang terinfeksi malaria tiap tahunnya. Malaria disebabkan oleh parasit dari *genus Plasmodium* dan *Plasmodium falciparum* berkontribusi menyebabkan kematian sebesar 98% [1,2].

Pemahaman mengenai fenomena biologis *P. falciparum* meningkat seiring dengan ditemukannya metode kultur *in vitro* parasitemia. Penghitungan persentase parasitemia dalam sel darah merah adalah salah satu cara untuk mengetahui respon *P.falciparum* terhadap obat anti malaria. dan resistensi *P. falciparum* terhadap obat anti malaria. Penghitungan persentase parasitemia dilakukan dengan menghitung jumlah sel darah merah yang terinfeksi parasitemia dan jumlah total sel darah merah secara manual menggunakan mikroskop cahaya. Proses penghitungan persentase parasitemia secara manual merupakan proses yang membutuhkan waktu lama serta memerlukan keahlian untuk menentukan parasitemia didalam sel darah merah [3].

Proses penghitungan persentase parasitemia dapat dilakukan secara otomatis menggunakan komputer untuk mengolah citra digital preparat apusan tipis yang diperoleh dari sistem pengambilan citra khusus untuk mikroskop. Pengolahan citra digital saat ini memiliki peranan penting dalam penelitian biologi. Pengolahan citra digital bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin (dalam hal ini adalah komputer). Setelah kualitas citra menjadi lebih baik, dilakukan proses pengenalan pola (*pattern recognition*) untuk mengenali suatu objek tertentu di dalam citra. Pengenalan pola diawali dengan pengelompokan data numerik dan simbolik di dalam citra secara otomatis oleh komputer. Tujuan pengelompokan adalah untuk mengenali suatu objek di dalam citra. Manusia bisa mengenali objek yang dilihatnya karena otak manusia telah belajar mengklasifikasi objek-objek di alam sehingga mampu membedakan suatu objek dengan objek lainnya. Kemampuan sistem visual manusia tersebut yang dicoba ditiru oleh komputer. Komputer menerima masukan

berupa citra objek yang akan diidentifikasi, memproses citra tersebut, dan memberikan keluaran berupa deskripsi objek di dalam citra [4].

Sio *dkk* pada tahun 2006 berhasil membuat MalariaCount yaitu suatu program pengolahan citra digital yang dapat digunakan untuk mendeteksi parasitemia pada citra apusan tipis darah manusia. MalariaCount dibuat dalam lingkungan bahasa pemrograman MATLAB 6.5. MalariaCount memiliki beberapa tahapan pengolahan citra untuk dapat mendeteksi keberadaan parasit serta menghitung persentase parasitemia secara otomatis. Tahapan pertama adalah proses pendeteksian tepi sel darah merah pada citra dengan sebelumnya dilakukan perbaikan citra dengan operasi ekualisasi histogram adaptif (*adaptif histogram equalization*). Ekualisasi histogram bertujuan untuk menghasilkan histogram citra yang seragam. Histogram citra adalah histogram dari nilai intensitas pixel pada sebuah citra. Histogram citra menampilkan banyaknya pixel dalam suatu citra yang dikelompokkan berdasarkan level nilai intensitas pixel yang berbeda [5] .

Setelah dilakukan pendeteksian tepi sel darah merah dalam citra berikutnya dilakukan proses operasi morfologi yaitu *hole filling* seperti terlihat pada Gambar 1.3 sehingga terlihat bahwa tiap sel darah merah ditunjukkan oleh bagian berwarna putih. *Hole filling* merupakan proses pengisian suatu *hole*, *hole* didefinisikan sebagai area *background* (bagian berwarna hitam pada Gambar 1.2) yang dikelilingi oleh *foreground pixel* (bagian berwarna putih) yang saling berkonektivitas. Terkadang dalam citra apusan tipis terdapat citra sel darah merah yang saling bersinggungan atau tumpang tindih sehingga menjadi satu kesatuan. Untuk memisahkan citra sel darah merah tersebut dilakukan proses segmentasi sehingga dapat diketahui jumlah total sel darah merah dalam citra apusan tipis. Tahapan terakhir adalah tahapan pendeteksian parasit di dalam sel darah merah. Proses pendeteksian parasit di dalam sel darah merah dilakukan dengan cara mengerosi citra biner hasil *hole filling*. Proses erosi akan memperkecil wilayah terang hingga tersisa bagian parasit yang berada di dalam sel darah merah (Gambar 1.4 dan 1.5).

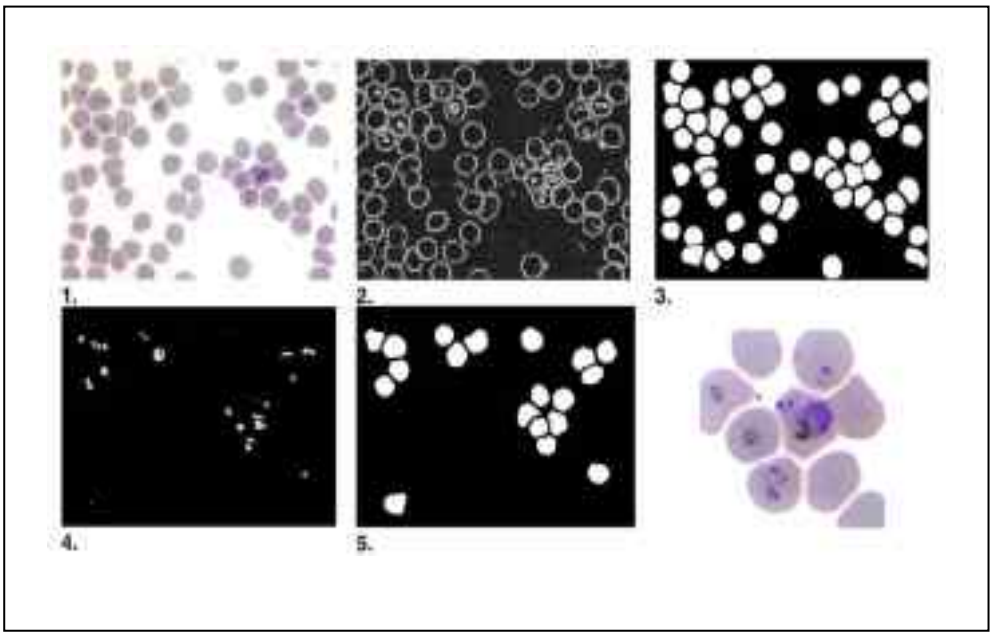
Proses pengolahan citra dan pengenalan pola pada citra digital preparat apusan tipis darah manusia dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak NISH Element. NISH Element adalah perangkat lunak pencitraan yang dapat digunakan untuk pengambilan citra dari mikroskop (akuisisi citra) serta penyimpanan data citra. NISH Element menyediakan fasilitas pembuatan *macro* yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah total sel darah merah pada citra preparat apusan tipis dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi *Plasmodium. Macro* adalah baris-baris kode pemrograman yang berisi perintah untuk menentukan masukan dan keluaran dalam bahasa pemrograman tertentu.

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah membuat *macro* pada perangkat lunak NISH Element D yang dapat digunakan untuk menghitung secara otomatis total sel darah merah dan sel darah merah yang terinfeksi parasit *Plasmodium*. Hasil yang diperoleh secara otomatis akan dibandingkan dengan hasil penghitungan secara manual untuk mengetahui tingkat keakuratan *macro* dalam menghitung total sel darah merah dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi parasit pada citra digital preparat apusan tipis darah.

II. TATA KERJA

II.1. Pengambilan citra preparat apusan tipis *Plasmodium falciparum*

Preparat apusan tipis diamati pada perbesaran 1000X menggunakan mikroskop cahaya Nikon E200 dengan lensa objektif Nikon E Plan 100X/1,25 dan dilengkapi kamera digital Nikon DS-Fi1 yang terhubung secara langsung ke komputer. Citra digital preparat apusan tipis diambil dengan menggunakan perangkat lunak NISH Element D 2.3. Sebanyak tiga preparat dari tiga hari pengamatan yang berbeda yaitu pada hari ke 5, 7 dan 9 paska infeksi *P. falciparum* diamati dan dilakukan pengambilan sebanyak lima puluh citra dari setiap preparat. Total sebanyak 150 citra diperoleh dan disimpan dalam komputer.



Gambar 1. Tahapan pengolahan citra pada penelitian Sio *dkk* [3]

II.2. Analisa citra preparat apusan tipis Plasmodium falciparum

Perangkat lunak NISH Element D 2.3 digunakan untuk menganalisa citra digital dengan membuat macro yang dapat menghitung secara otomatis jumlah sel darah merah total dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi Plasmodium. Macro tersebut terdiri dari beberapa tahapan untuk menghitung secara otomatis jumlah sel darah merah total dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi Plasmodium, tahapan tersebut adalah.

II.2.1. Pendeteksian total sel darah merah

Proses pendeteksian total sel darah merah dilakukan dengan mengkonversi citra digital berwarna menjadi citra kelabu (*grayscale*). Proses pengkonversian citra digital berwarna menjadi citra grayscale dapat dilakukan secara otomatis oleh NISH Element D dengan menjalankan perintah (*command*) sebagai berikut.

ColorToGray();

Sebelum proses pengambangan pada citra kelabu dilakukan proses negasi atau proses perubahan nilai *pixel* terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$U' = 2^X - U \text{ [5].}$$

Dengan U' dan U adalah nilai citra setelah dan sebelum dilakukan proses negasi dan X menyatakan nilai bit dari *gray level* citra. Proses negasi bertujuan agar citra sel darah merah yang semula berwarna gelap pada citra *grayscale* akan berubah menjadi terang setelah dilakukan proses negasi. Hal tersebut dikarenakan pada NISH Element D proses pengambangan akan mengubah daerah terang menjadi merah pada citra biner sebagai hasil proses pengambangan.

ComplementColor();
AutoContrastEx();

Setelah proses negasi dilakukan, proses pengambangan kemudian dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

DefineThreshold(95,95,95,255,255,255,0);
Threshold();

Nilai T yang digunakan pada proses pengambangan adalah 95 berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan bahwa dengan nilai T sebesar 95, seluruh citra sel darah merah akan terkonversi menjadi merah (Gambar 1) pada citra biner sebagai hasil proses pengambangan. Citra biner adalah citra digital yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai *pixel* yaitu umumnya adalah hitam dan putih. Terkadang citra sel darah merah memiliki bagian berwarna putih pada bagian tengah sehingga perlu dilakukan proses *hole filling* pada citra biner hasil proses pengambangan. Proses *hole filling* merupakan salah satu metode matematika morfologi (*mathematical morphology*) yang dapat dilakukan menggunakan NISH Element D dengan menjalankan perintah berikut.

FillHoles();

Setelah proses *hole filling* dilakukan proses pemisahan sel darah merah yang saling bersentuhan atau tumpang tindih secara otomatis. Proses pemisahan citra sel darah merah dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

MorphoSeparateObjects(15,2);

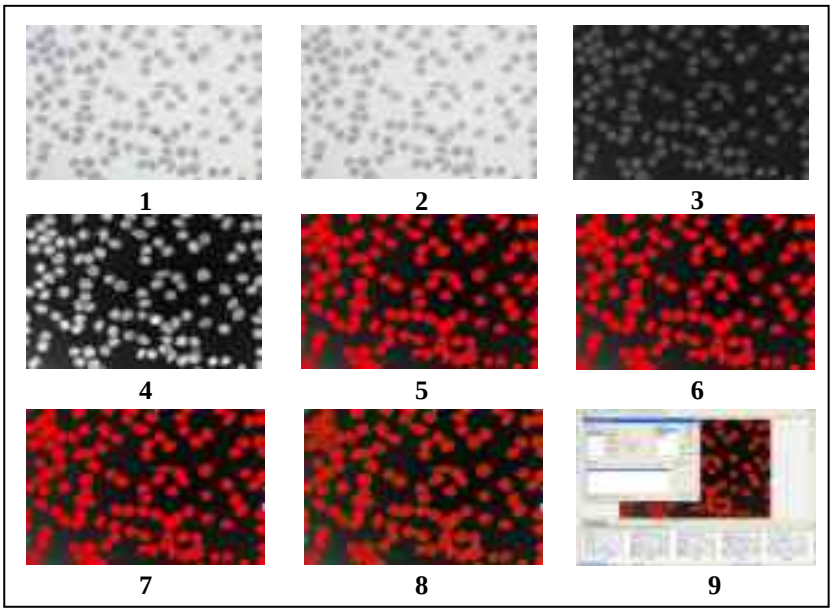
Terkadang pada citra biner hasil proses pengambangan terdapat citra objek pengotor seperti kotoran pewarna Giemsa yang memiliki nilai *pixel* hampir sama dengan citra parasit pada apusan tipis darah. Untuk menghilangkan objek tersebut pada citra biner hasil proses pengambangan dilakukan metode matematika morfologi yaitu *clean*. Proses *clean* dilakukan dengan mengerosi citra terlebih dahulu sehingga objek kecil akan hilang kemudian operasi dilasi dilakukan pada objek yang tersisa sehingga kembali seperti semula. Proses *clean* dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

CleanBinary(10,100);

Terakhir dilakukan proses penghitungan secara otomatis total jumlah objek berwarna merah yang merupakan citra biner dari seluruh sel darah merah pada citra apusan tipis darah. Proses tersebut dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

ScanObjects();
_ObjectData();

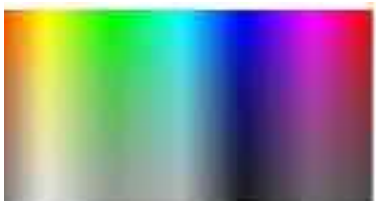
Flowchart pendeteksian total sel darah merah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Flowchart* pendeteksian total sel darah merah. **1.** Citra awal sebelum dilakukan pengolahan citra. **2.** Konversi citra menjadi citra kelabu **3.** Negasi citra kelabu **4.** Peningkatan kontras citra, **5.** Proses pengambangan citra dengan nilai T sebesar 95 menghasilkan citra biner yang menjadi layer tersendiri di atas citra asli **6.** Proses *hole filling* pada citra biner **7.** Proses *clean* pada citra biner **8.** Proses penghitungan jumlah objek berwarna merah di dalam citra **9.** Hasil penghitungan objek berwarna merah yang menunjukkan jumlah total sel darah merah.

II.2.2. Pendeteksian parasit *Plasmodium falciparum*

Proses pendeteksian parasit dilakukan dengan meningkatkan saturasi citra terlebihdahulu agar parasit yang berada di dalam sel darah merah dapat di deteksi dengan baik. Saturasi menunjukkan tingkat kemurnian atau pun kedalaman warna, sekaligus menunjukkan seberapa besar suatu warna mengandung warna putih. Saat nilai saturasi berkurang, maka nilainya akan mendekati keabu-abuan (Gambar 3) [7].

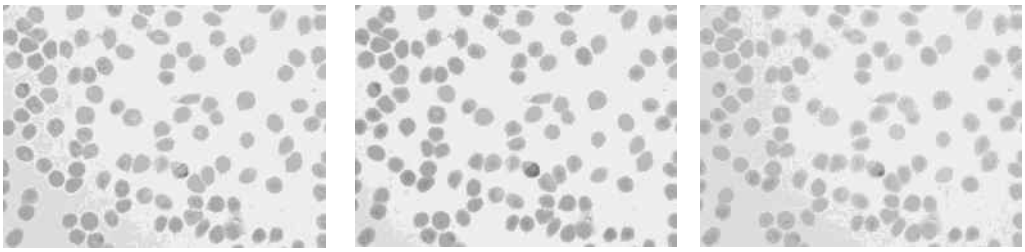


Gambar 3. Tingkat saturasi warna [7]

Proses peningkatan citra pada NISH Element D dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

ChangeSaturationEx(100);

Langkah selanjutnya adalah mengolah citra pada kanal hijau (*green channel*) dengan terlebih dahulu dilakukan ekstraksi kanal hijau citra. Ekstraksi kanal hijau citra akan menghasilkan citra kelabu, sehingga proses pengambangan dapat dilakukan untuk mendeteksi parasit dalam sel darah merah. Berbeda dengan proses pendeteksian total sel darah merah yang dilakukan dengan mengubah citra berwarna menjadi citra kelabu terlebih dahulu, proses pendeteksian parasit dilakukan dengan mengekstraksi kanal hijau dikarenakan pada kanal hijau memiliki kontras tertinggi antara parasit dan materi lainnya (Gambar 4.2).



Gambar 4. Perbedaan kontras citra dari tiap kanal citra. **1.** Kanal merah (*Red channel*) **2.** Kanal Hijau (*Green Channel*) **3.** Kanal Biru (*Blue Channel*)

Proses ekstrasi kanal citra berwarna umum dilakukan untuk memilih terlebih dahulu kanal yang memiliki kontras tertinggi dari objek yang ingin dikenali. Hal tersebut dikarenakan dengan mengolah citra pada kanal dengan kontras tertinggi akan menghasilkan citra biner yang terbaik untuk dilakukan penghitungan secara otomatis [8]. Perintah ekstraksi kanal hijau pada NISH Element D dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

Extract(1);

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses negasi, sama seperti pada proses pendeteksian total sel darah merah sebelum dilakukan proses pengambangan. Proses negasi dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

ComplementColor();

Selanjutnya dilakukan proses pengambangan dengan nilai ambang (T) sebesar 200. Hal tersebut berdasarkan hasil percobaan bahwa dengan nilai ambang (T) sebesar 200 hanya parasit di dalam sel darah merah yang terdeteksi. Proses pengambangan kemudian dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

DefineThreshold(200,200,200,255,255,255,0);
Threshold();

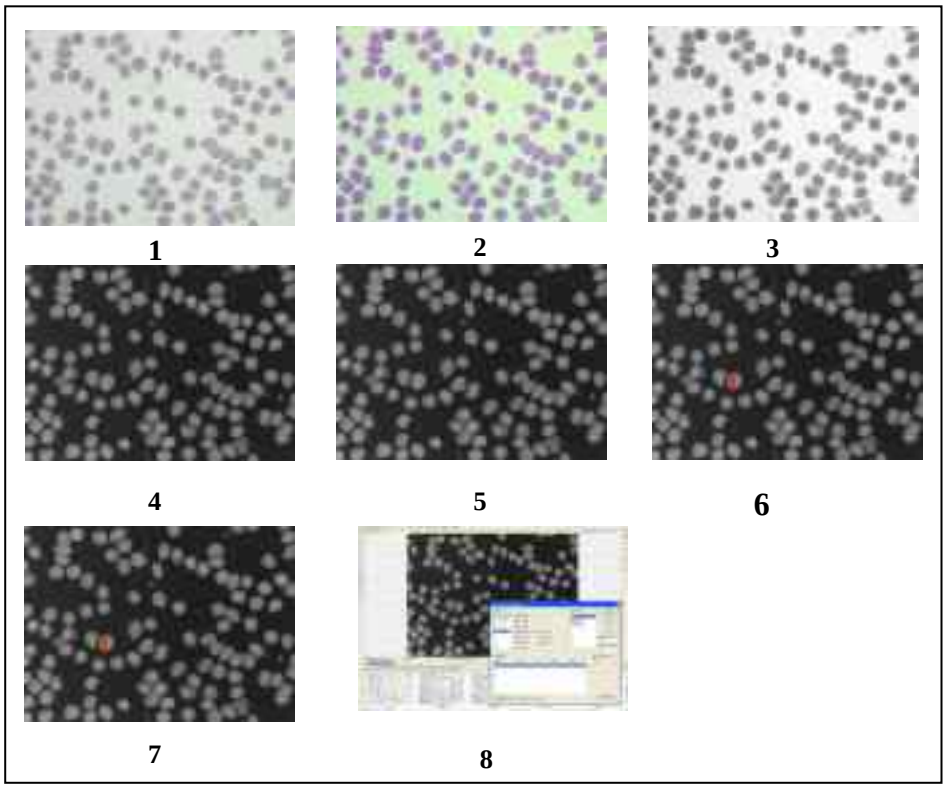
Proses selanjutnya adalah proses dilasi pada citra biner hasil proses pengambangan. Dilasi dilakukan dengan tujuan agar dua area pada citra biner sebagai hasil proses pengambangan pada citra akan menjadi satu sehingga menunjukkan jumlah darah yang terinfeksi oleh parasit bukan jumlah parasit dalam sel darah merah. Proses dilasi dilakukan dengan perintah sebagai berikut.

DilateBinary(10,100);

Terakhir dilakukan proses penghitungan secara otomatis total jumlah objek berwarna merah yang merupakan citra biner dari seluruh sel darah merah pada citra apusan tipis darah. Proses tersebut dilakukan dengan perintah sebagai berikut

ScanObjects();
_ObjectData();

Flowchart pendeteksian parasit dapat di lihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Flowchart pendeteksian parasit **1.** Citra awal sebelum dilakukan pengolahan citra. **2.** Peningkatan saturasi citra **3.** Ekstraksi kanal hijau citra **4.** Negasi citra kelabu **5.** Proses pengambangan citra dengan nilai T sebesar 200 **6.** Proses dilasi pada citra biner **7.** Proses penghitungan jumlah objek berwarna merah di dalam citra **8.** Hasil penghitungan objek berwarna merah yang menunjukkan jumlah total sel darah merah.

Macro yang telah dibuat dapat dijalankan secara otomatis pada perangkat lunak NISH Element D setelah selesai dilakukan proses pengambilan citra tiap preparat. Secara keseluruhan *macro* yang di buat ditunjukkan pada Gambar 7.

```
_DuplicateDocument();
ColorToGray();
ComplementColor();
AutoContrastEx();
DefineThreshold(95,95,95,255,255,255,0);
Threshold();
FillHoles();
MorphoSeparateObjects(15,2);
CleanBinary(10,100);
ScanObjects();
_ObjectData();
UndoNext();
UndoNext();
UndoNext();
UndoNext();
UndoNext();
UndoNext();
UndoNext();
UndoNext();
ChangeSaturationEx(100);
Extract(1);
ComplementColor();
DefineThreshold(200,200,200,255,255,255,0);
Threshold();
DilateBinary(10,100);
ScanObjects();
_ObjectData();
```

Gambar 7. *Macro* untuk penghitungan otomatis jumlah sel darah merah total dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi *Plasmodium*.

II.3. Pengolahan data statistik

Hasil penghitungan jumlah total sel darah merah serta sel darah merah yang terinfeksi parasit secara otomatis dan manual diolah secara statistik menggunakan Uji *T* dengan hipotesis H_0 adalah tidak terdapat perbedaan secara nyata hasil yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan secara manual. Taraf nyata yang digunakan (α) adalah 0,05.

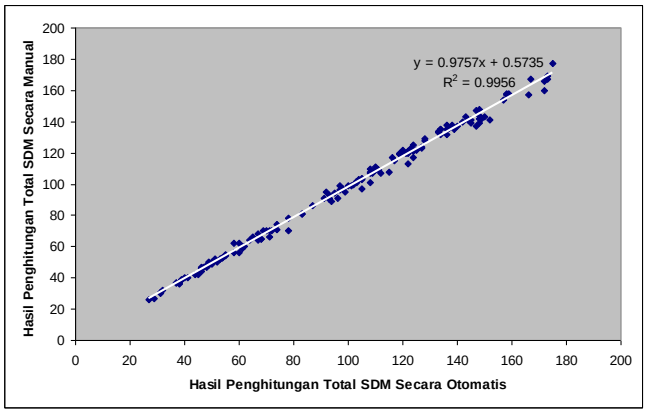
III. HASIL PENELITIAN

Hasil penghitungan jumlah total sel darah merah (SDM) serta sel darah merah yang terinfeksi secara otomatis dan manual dari 150 citra disajikan pada tabel 1. Jumlah penghitungan total sel darah merah secara manual dan otomatis adalah masing-masing sebanyak 14324 sel dan 14593 sel. Sedangkan jumlah penghitungan total sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum* secara manual dan otomatis adalah masing-masing sebanyak 135 sel dan 252 sel.

Analisis statistik menggunakan uji *T* terhadap hasil penghitungan jumlah total sel darah merah secara otomatis dibandingkan dengan manual menunjukkan tidak terdapat perbedaan secara nyata antara hasil yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan manual (P = 0,69). Untuk hasil penghitungan jumlah sel darah merah terinfeksi secara otomatis dibandingkan dengan manual uji *T* menunjukkan terdapat perbedaan secara nyata antara hasil yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan manual (P = 0). Diagram pencar (*scatter plot*) menunjukkan terdapat korelasi yang kuat (r = 0,99) antara hasil penghitungan jumlah total sel darah merah secara otomatis dibandingkan dengan manual (Gambar 8).

Tabel 1. Hasil penghitungan jumlah total sel darah merah serta sel darah merah yang terinfeksi secara otomatis dan manual dari 150 citra berbeda

	Otomatis	Manual	Perbedaan
Total SDM	14593	14324	269
Total SDM Terinfeksi	252	135	117



Gambar 8. Diagram Pencar (*scatter plot*) antara hasil penghitungan jumlah total sel darah merah secara otomatis dibandingkan dengan manual.

IV. PEMBAHASAN

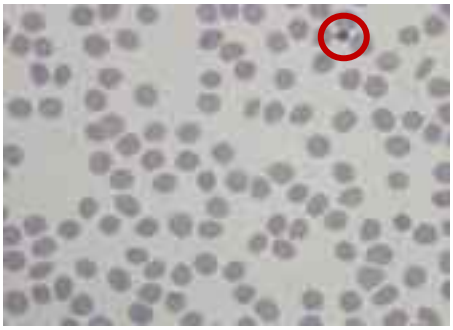
Hasil pengolahan data secara statistik menunjukkan perbedaan secara nyata antara hasil jumlah total sel yang terinfeksi parasit secara manual dan otomatis. Hasil pengolahan secara otomatis cenderung lebih tinggi (*overestimated*) dibandingkan dengan hasil secara manual. Hal tersebut kemungkinan karena disebabkan beberapa faktor. Pertama adalah bahwa nilai intensitas warna *pixel* pada citra parasit terutama parasit bentuk cincin (*ring*) tidak berbeda jauh dengan nilai intensitas warna *pixel* citra sel darah merah. Perbedaan nilai intensitas *pixel* yang rendah antara parasit bentuk ring dan sel darah merah menyebabkan proses pengambangan yang dilakukan gagal mendeteksi keberadaan parasit sehingga secara otomatis *macro* gagal mendeteksi keberadaan sel yang terinfeksi parasit bentuk cincin. Penelitian Savkare *dkk* memperlihatkan hasil yang serupa yaitu jumlah total sel yang terinfeksi parasit secara otomatis cenderung lebih tinggi dari penghitungan manual [6].

Secara umum citra parasit hasil pewarnaan dengan Giemsa akan menunjukkan warna ungu tua, sedangkan citra sel darah merah ditunjukkan dengan warna ungu muda atau terkadang berwarna merah muda (*pink*) (Gambar 9a). Makin tinggi nilai intensitas warna ungu atau semakin tua warna ungu maka akan semakin tinggi tingkat keberhasilan pendeteksian parasit menggunakan proses pengambangan. Hal tersebut terlihat dari hasil percobaan bahwa parasit dalam tahap cincin dalam sel darah merah (Gambar 9b) lebih sulit dideteksi melalui proses pengambangan dibandingkan dengan parasit pada tahap *thropozoite* (Gambar 9c) dan *schizont* (Gambar 9d)

Gambar 9. Citra sel darah merah normal dan terinfeksi parasit. **a**. Sel darah merah normal dengan berbagai bentuk dan warna **b**. Parasit tahap cincin **c.** Parasit tahap *trophozoite* awal yang merupakan tahap transisi dari cincin kebentuk sempurna **d.** Parasit tahap *schizont* yang dicirikan dengan bentuk oval cukup besar didalam sel darah merah [9].

Faktor kedua adalah program *macro* gagal menghitung jumlah sel darah merah merah yang terinfeksi dengan benar. Hal tersebut umumnya terjadi pada sel yang terinfeksi parasit dalam bentuk cincin lebih dari satu. Rendahnya nilai intensitas parasit bentuk cincin dapat menyebabkan area hasil proses pengambangan yang terbentuk sangat kecil, sehingga setelah dilakukan proses dilasi pada kedua area pada citra biner tetap tidak menyatu menjadi satu area. Jarak antara kedua parasit bentuk cincin di dalam sel darah merah yang berjauhan akan makin mempersulit penyatuan dua area yang terbentuk. Faktor lain adalah terdapat sel darah putih yang oleh *macro* dideteksi

sebagai sel darah merah yang terinfeksi, karena inti pada sel darah putih memiliki intensitas warna yang hampir sama dengan parasit yaitu ungu tua. Kotoran Giemsa pada preparat apusan tipis dideteksi sebagai parasit oleh *macro* sehingga penghitungan jumlah sel yang terinfeksi secara otomatis akan lebih tinggi dari nilai yang sebenarnya (Gambar 10).



Gambar 10. Pengotor dari zat pewarna Giemsa (dalam lingkaran merah)

Meskipun *macro* yang dibuat belum akurat dalam menentukan jumlah sel yang terinfeksi parasit, pengolahan data menggunakan *macro* pada NISH Element D memiliki beberapa kelebihan. Pertama citra dapat langsung di proses tanpa harus memindahkan data citra untuk di analisa dengan menggunakan komputer lain. Peningkatan keakuratan *macro* dapat dilakukan dengan mengubah nilai ambang yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan parasit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai ambang (T) sebesar 200 cukup akurat untuk mendeteksi keberadaan parasit pada salah satu preparat tetapi tidak untuk kedua preparat yang lain. Strategi lain yang dapat dilakukan adalah menghitung secara manual jumlah sel yang terinfeksi, meskipun dengan cara tersebut berarti penghitungan nilai persentase parasitemia tidak lagi dilakukan secara otomatis.

Peningkatan keakuratan macro akan meningkat seiring dengan meningkatnya kualitas apusan tipis darah. Preparat apusan tipis yang bersih dari kotoran pewarna Giemsa dan sel-sel darah merah terpisah dengan baik satu dengan lainnya akan meningkatkan keakuratan *macro* baik dalam mendeteksi jumlah total sel darah merah dan sel darah merah yang terinfeksi parasit. Meskipun demikian pada kenyataan sebenarnya sulit sekali untuk membuat preparat apusan tipis yang memiliki kualitas baik secara konsisten pada tiap waktu pengamatan yang berbeda. Terlebih bahwa tidak ada prosedur baku dapat untuk menghasilkan preparat apusan tipis berkualitas baik. Selain hal tersebut pada proses pengambilan (akuisisi) citra preparat apusan tipis terdapat faktor ketidakrataan sumber cahaya (*uneven illumination*) yang dapat menyebabkan penurunan intesitas warna parasit di dalam sel darah merah sehingga parasit gagal dideteksi oleh *macro*.

Keberadaan pengotor dari pewarna Giemsa serta sel darah putih dan faktor ketidakrataan pencahayaan pada citra merupakan permasalahan yang umum ditemui pada beberapa penelitian mengenai penghitungan secara otomatis persentase parasitemia. Penelitian Sio *dkk* [3], Diaz *dkk*

[9] serta Ma *dkk* [10] menunjukkan bahwa kualitas preparat apusan tipis yang baik (bersih dari pengotor Giemsa, sel-sel darah merah terpisah dengan baik satu dengan lainnnya) dapat meningkatkan keakuratan penghitungan secara otomatis persentase parasitemia.

Hasil penghitungan jumlah total sel darah merah secara otomatis menggunakan *macro* cenderung lebih tinggi (*overestimated*) dari nilai yang sebenarnya, namun pada beberapa citra hasilnya lebih rendah dari nilai sebenarnya. Hal tersebut dapat terjadi karena terdapat sel darah merah yang saling tumpang tindih (*overlapping*) atau bersinggungan dan gagal dipisahkan oleh *macro* sehinga di hitung sebagai satu objek. Semakin sedikit terdapat sel darah merah yang saling tumpang tindih maka akan semakin akurat penghitungan jumlah total sel darah merah secara otomatis menggunakan *macro* yang telah dibuat. Hal tersebut sesuai dengan peryataan Diaz *dkk* [9] bahwa deteksi sel darah merah menggunakan teknik segmentasi konvensional yaitu pengambangan sangat bergantung terhadap kualitas preparat apusan tipis. Semakin terpisah dengan baik antara sel-sel darah merah satu dengan lainnya maka akan semakin tinggi tingkat keberhasilan pendeteksian.

V. KESIMPULAN

Program *macro* untuk penghitungan secara otomatis jumlah sel darah merah total dan jumlah sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum* pada perangkat lunak NISH Element D 2.3 telah berhasil di buat. Secara keseluruhan *macro* belum akurat dalam menghitung jumlah sel darah merah yang terinfeksi oleh *P. falciparum*. Pengembangan lebih lanjut terhadap *macro* perlu dilakukan untuk meningkatkan keakuratan penghitungan jumlah sel darah merah yang terinfeksi *P. falciparum*.

DAFTAR PUSTAKA

1. WMR UNICEF, World Malaria Report. Technical Report, WMR and UNICEF, 2005
2. HISAEDA, H., YASUTOMO, K., HIMENO, K. Malaria: immune evasion by parasite. *Int. J. Biochem. Cell Biol*. 37, 700-706, 2009.
3. SIO, S.W., SUN, W., KUMAR, S., BIN, W.Z., TAN, S.S., ONG, S.H., KIKUCHI, H., OSHIMA, Y., DAN TAN, K.S. MalariaCount: an image analysis-based program for the accurate determination of parasitemia. *J Microbiol Methods*, 68:11-18, 2007.
4. MUNIR, R. Pengolahan Citra Digital Dengan Pendekatan Algoritmik. Informatika, Bandung, 2004.
5. PUTRA, D. Pengolahan Citra Digital. Andi, Yogyakarta, 2010.
6. SAVKARE, S.S., dan NAROTE. S.P. Automatic Classification of Normal and Infected Blood Cells for Parasitemia Detection. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 11(2):94-97, 2011.
7. KURNIA, R dan NURHADI, S. Deteksi Objek berbasis Warna dan Ukuran Dengan Bantuan Interaksi Komputer-Manusia. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. IST AKPRIND, Yogyakarta, 2008.
8. SYSKO, L.R, DAN DAVIS, M.A. From Image to Data Using Common Image-

Processing Techniques. *Current Protocols in Cytometry*, 12.21.1-12.21.17, 2010.

9. DIAZ, G., GONZALEZ, F.A., and ROMERO, E. A semi-automatic method for quantification and classification of erythrocytes infected with malaria parasites in microscopic images. *Journal of Biomedical Informatics* 42, 296–307, 2007.
10. MA, C., HARRISON, P., WANG, L., DAN COPPEL, R.L. Automated estimation of parasitaemia of Plasmodium yoelii-infected mice by digital image analysis of Giemsa-stained thin blood smears. *Malaria Journal*, 9:348, 2010.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Kunto Wiharto

Pertanyaan :

- Apakah komputasi untuk penghitungan sel darah merah yang terinfeksi parasit malaria dapat diterapkan untuk biodosimetri ?

Jawaban :

- Bila proses biodosimetri yang dilakukan berdasarkan analisis mikronukleus maka sudah dibuat perangkat lunak yang dapat menghitung secara otomatis mikronukleus untuk prediksi dosis korban kecelakaan radiasi namun untuk analisis disentrik masih sulit mengembangkan perangkat lunak yang dapat mendeteksi secara otomatis disentrik untuk keperluan biodosimetri.

BIODOSIMETRI PAPARAN RADIASI DOSIS TINGGI DENGAN TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION*

Dwi Ramadhani, Viria Agesti S, dan Sofiati Purnami

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
E-mail : dhani02@batan.go.id

ABSTRAK

BIODOSIMETRI PAPARAN RADIASI DOSIS TINGGI DENGAN TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION*. Paparan radiasi pengion pada tubuh dapat menyebabkan perubahan struktur kromosom (aberasi kromosom) pada limfosit darah tepi. Aberasi kromosom yang spesifik akibat paparan radiasi pengion adalah kromosom disentrik. Analisis kromosom disentrik dapat digunakan untuk memprediksi besarnya nilai paparan radiasi pengion yang diterima tubuh. Khusus untuk paparan radiasi pengion dosis tinggi, prediksi nilai dosis menggunakan analisis kromosom disentrik memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jumlah sel limfosit darah tepi menurun secara drastis sebagai akibat respon fisiologik terhadap radiasi pengion dosis tinggi. Kedua, sel limfosit darah tepi dapat mengalami kematian sel (apoptosis) sehingga menyebabkan pendeteksian kromosom disentrik sulit dilakukan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan teknik yang mudah dan cepat. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah *Premature Chromosome Condensation* (PCC). Beberapa penelitian membuktikan bahwa teknik PCC dapat digunakan untuk memprediksi tingkat paparan radiasi pengion dosis tinggi, salah satunya adalah prediksi tingkat dosis pada korban kecelakaan radiasi di Tokaimura, Jepang. Dengan demikian prediksi tingkat dosis pada korban kecelakaan akibat paparan radiasi pengion dosis tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan teknik PCC karena memberikan hasil yang lebih cepat, sehingga penentuan tindakan medis paling tepat dapat dilakukan untuk menangani korban.

Kata Kunci : Aberasi Kromosom, Biodosimetri, PCC, Prediksi Dosis, Radiasi Pengion

ABSTRACT

BIODOSIMETRY OF HIGH DOSE RADIATION EXPOSURE USING PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION TECHNIQUE. *Radiation exposure can cause chromosome aberrations in the human peripheral blood lymphocytes cells. Dicentric is a specific chromosome aberrations that caused by ionizing radiation. Dicentric analysis can be used to predict the radiation doses value. Unfortunately for high dose ionizing radiation exposure, the predicted using dicentric analysis has several limitations. First total numbers of peripheral blood lymphocyte cells are decrease drastically as a result of physiological response to high dose of ionizing radiation. Secondly the peripheral blood lymphocyte cells can undergo to cell death program (apoptosis) that makes the dicentric analysis difficult to do. To overcome these problems another technique that easy to doing and provide a quick results is required. Premature Chromosome Condensation (PCC) technique can be used to solve these problems. Several studies have been shown that PCC technique can be used to predict the value of high dose ionizing radiation exposure for example predict the dose of ionizing radiation on the victims of high doses radiation accidents at Tokaimura, Japan. Thus it can be concluded that the prediction of high dose radiation exposure victims should be done using the PCC technique because it gives a faster result, so determining the most appropriate medical treatment can be done to save the victims.*

Keywords: Chromosome Aberration, Biodosimetry, PCC, Dose Prediction, Ionizing Radiation

I. PENDAHULUAN

Perubahan struktur kromosom pada sel limfosit darah tepi (aberasi kromosom) dapat digunakan untuk memprediksi besarnya dosis radiasi pengion yang diterima oleh tubuh (dosimeter biologis). Perubahan struktur kromosom akibat pajanan radiasi dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu aberasi kromosom stabil dan tidak stabil. Aberasi kromosom stabil dalam sel tidak akan hilang setelah proses pembelahan mitosis berikutnya, contohnya adalah translokasi (terjadi perpindahan fragmen antar satu atau lebih kromosom). Sedangkan aberasi kromosom tidak stabil akan hilang setelah proses pembelahan mitosis berikutnya, contohnya adalah kromosom disentrik (kromosom dengan dua sentromer), fragmen asentrik (fragmen kromosom yang tidak mengandung sentromer) dan kromosom cincin. Perubahan struktur kromosom yang spesifik akibat paparan radiasi pada tubuh ialah kromosom disentrik [1,2].

Analisis aberasi kromosom tak stabil, khususnya disentrik dalam sel limfosit darah tepi telah digunakan sebagai dosimeter biologis pada kasus kecelakaan radiasi selama lebih dari tiga dekade [1]. Dalam banyak kasus kecelakaan radiasi seringkali pekerja radiasi tidak menggunakan dosimeter fisik sehingga pengukuran dosis radiasi yang di terima oleh pekerja tidak dapat dilakukan. Pada kondisi tersebut maka teknik yang dapat diandalkan untuk mengukur dosis serap pada individu yang dicurigai terkena paparan radiasi berlebih adalah analisis aberasi kromosom disentrik sebagai biodosimetri. Teknik biodosimetri berdasarkan analisis aberasi kromosom telah berhasil digunakan untuk penilaian dosis serap pada korban kecelakaan radiasi di Chernobyl, Goiania dan Tokaimura yang paparan dosisnya cukup tinggi [1,2].

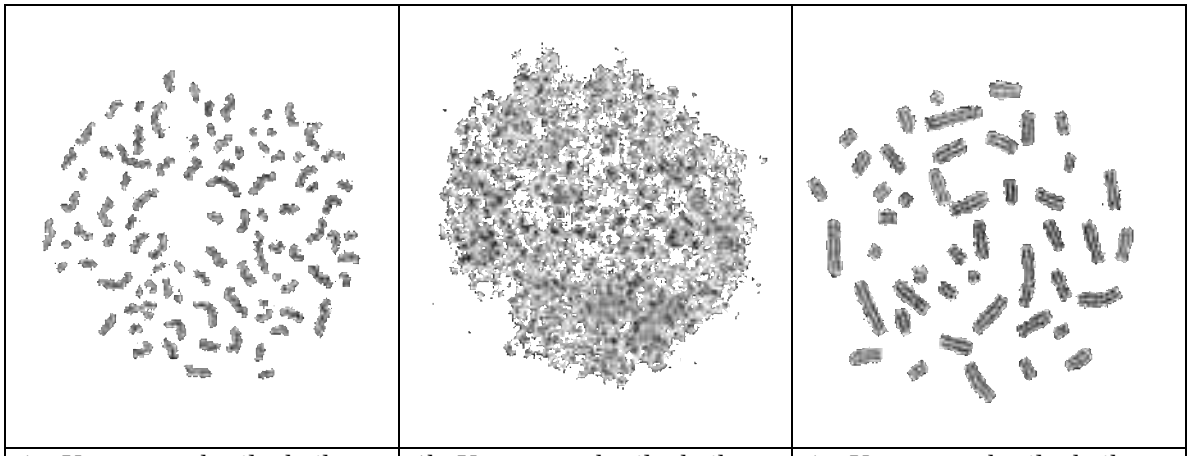
Prediksi dosis serap pada korban kecelakaan radiasi harus dilakukan sesegera mungkin. Prediksi dosis hingga 5 Gy dapat dilakukan dengan analisis aberasi kromosom tak stabil. Pada paparan radiasi dosis tinggi (6 hingga 40 Gy) terdapat tiga permasalahan utama yang muncul. Pertama jumlah sel limfosit secara drastis akan menurun dalam darah sebagai akibat respon fisiologik terhadap radiasi dosis tinggi. Kedua terjadi keterlambatan dalam menstimulasi sel limfosit untuk membelah dikarenakan keterlambatan pengiriman sampel darah korban kecelakaan radiasi menuju laboratorium rujukan untuk dilakukan analisis aberasi kromosom [3].

Masalah terakhir dan yang terpenting adalah sel limfosit pada darah tepi korban selain tertahan (*arrest*) pada fase G_2 atau G_1 dan dapat mengalami kematian sel (apoptosis). Ketiga permasalahan tersebut dapat membatasi penggunaan teknik analisis aberasi kromosom tak stabil untuk memprediksi dosis serap korban yang terpapar radiasi dosis tinggi [3-5]. Untuk mengatasi keterbatasan teknik analisis aberasi kromosom tak stabil sebagai biodosimetri

dosis tinggi diperlukan teknik yang mudah, cepat dan dapat diandalkan. Makalah ini membahas mengenai teknik *Premature Chromosome Condensation* (PCC) sebagai biodosimetri radiasi dosis tinggi dan aplikasinya untuk mengetahui kerusakan sitogenetik akibat mutagen kimiawi.

II. TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION* (PCC)

Teknik PCC pertama kali diperkenalkan oleh Johnson dan Rao pada tahun 1970 [6]. Johnson dan Rao melakukan percobaan dengan menggabungkan sel pada tahap interfase dengan sel pada tahap mitosis menggunakan virus Sendai. Hasil percobaan Johnson dan Rao menunjukkan bahwa bentuk struktur kromatin yang terkondensasi pada sel interfase saat dilakukan penggabungan berbeda-beda tergantung pada fase dari sel interfase tersebut berada. Sel interfase pada fase G_1 saat penggabungan akan menghasilkan kromosom yang terdiri dari satu kromatid tunggal (*univalent*), sedangkan sel interfase pada fase G_2 akan menghasilkan kromosom yang terdiri dari dua kromatid (*bivalent*) dan mirip dengan bentuk kromosom saat berada pada tahap mitosis. Terakhir yaitu sel interfase pada fase S akan menghasilkan bentuk kromosom yang tampak hancur seperti serpihan (*pulverized*) (Gambar 1) [6,7].



1a. Kromosom hasil teknik PCC dari sel interfase pada fase G_1	1b. Kromosom hasil teknik PCC dari sel interfase pada fase S	1c. Kromosom hasil teknik PCC dari sel interfase pada fase G_2

Gambar 1. Bentuk kromosom sebagai hasil penggabungan pada teknik PCC dari tiga fase yang berbeda (G_1,S,S_2) [6,7].

Teknik PCC secara konvensional dilakukan dengan menggabungkan antara sel darah tepi pada tahap interfase dengan sel *Chinese Hamster Ovary* (CHO) yang berada pada tahap mitotis dengan bantuan polietilen-glikol (PEG) atau virus Sendai sehingga menyebabkan terjadinya percepatan (*premature*) kondensasi kromosom pada sel interfase [2,5,7]. PEG atau virus yang berfungsi untuk merubah permeabilitas membran sehingga memudahkan terjadinya penggabungan memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, keberhasilan pengabungan sangat bergantung pada strain virus dan aktivitas viral dari virus tersebut. Kedua, penggunaan virus dan manipulasi virus untuk proses penggabungan hanya bisa dilakukan oleh laboratorium tertentu yang memiliki fasilitas lengkap untuk penanganan virus. Terakhir, khusus untuk PEG, persentase keberhasilan penggabungan umumnya lebih rendah dibandingkan menggunakan virus [7].

Beberapa percobaan kemudian dilakukan untuk menemukan senyawa kimia lain yang lebih mudah diperoleh serta menghasilkan persentase penggabungan sel yang cukup tinggi. Percobaan pertama yang berhasil adalah mengunakan kafein dan asam okadaik, akan tetapi sel harus terlebih dahulu disinkronisasi pada fase S dengan menggunakan inhibitor sintesis DNA seperti hidroksiurea atau timidin. Konsekuensinya adalah bentuk kromosom yang terlihat pada sel interfase setelah dilakukan penggabungan terlihat hancur seperti serpihan (*pulverized*) [7].

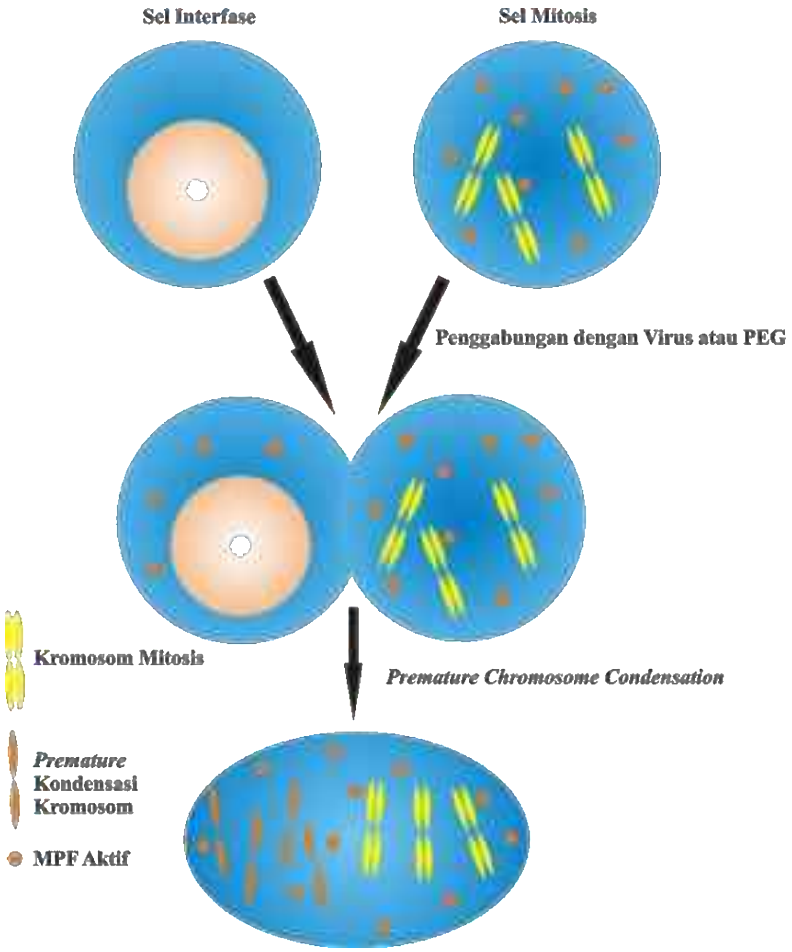
Percobaan pertama yang berhasil melakukan penggabungan dengan menggunakan sel interfase sel somatik yang berada fase apapun tanpa terlebih dahulu menghentikan sel interfase pada fase S adalah percobaan yang dilakukan Gotoh *dkk* yang menggunakan *calyculin* A atau asam okadaik [8]. *Calyculin* A atau asam okadaik adalah inhibitor spesifik protein fosfatase tipe 1 dan 2A. *Calyculin* A dapat menyebabkan terjadinya percepatan kondensasi kromosom pada berbagai macam tipe sel baik ditambahkan secara langsung maupun dalam bentuk suspensi. Penggunaan *calyculin* A untuk menginduksi terjadinya percepatan kondensasi kromosom juga dianggap lebih mudah bila dibandingkan dengan menggunakan virus karena cukup menggantikan penggunaan *colcemid* atau *colchisin* dengan *calyculin* A pada proses kultur limfosit untuk analisis kromosom [7,8].

III. MEKANISME MOLEKULAR PCC

Mekanisme secara detail proses kondensasi kromosom pada proses pembelahan sel hingga saat ini masih belum jelas. Pemahaman terhadap proses percepatan kondensasi kromosom pada teknik PCC diharapkan dapat memberikan gambaran lebih mendalam mengenai proses kondensasi kromosom pada pembelahan sel secara mitosis. *Incunabula* adalah molekul yang pertama kali di duga dapat menyebabkan

terjadinya bentuk kromosom *pulverization* (tampak hancur seperti serpihan) dan disebabkan oleh virus pada saat penggabungan sel menggunakan virus pada teknik PCC [9].

Pemahaman tersebut kemudian berubah dengan penelitian yang dilakukan oleh Johnson dan Rao pada tahun 1970 [6]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan disimpulkan beberapa hal. Pertama adalah terdapat molekul tertentu yang dapat menyebabkan terjadinya percepatan kondensasi kromosom dan terakumulasi di dalam nukleus sel pada tahap metafase. Kedua, molekul tersebut menginduksi nukleus pada sel yang berada pada tahap interfase setelah terjadi proses penggabungan antara sel interfase dengan sel metafase. Terakhir, molekul tersebut bermigrasi dari sel metafase ke sel interfase untuk kemudian menyebabkan terjadinya percepatan proses kondensasi kromosom. Proses percepatan kondensasi kromosom membutuhkan waktu kurang lebih selama 1 jam (Gambar 2) [6].



Gambar 2. Proses penggabungan antara sel tahap interfase dengan sel metafase pada teknik PCC [6]

Germinal Vesicle Breakdown (GVBD) merupakan fenomena yang serupa, karena terjadi percepatan kondensasi kromosom sel telur (oosit) pada tahap metafase saat terjadi proses pembelahan meiosis sel telur. *Maturation Promoting Factor* (MPF) merupakan molekul yang menginduksi terjadinya GVBD. Beberapa penelitian kemudian menunjukkan bahwa MPF tidak hanya meregulasikan terjadinya percepatan kondensasi kromosom pada pembelahan meiosis, namun juga pada pembelahan mitosis sel sehingga kepanjangan MPF kemudian dirubah menjadi *Maturation/Mitosis promoting Factor* [6].

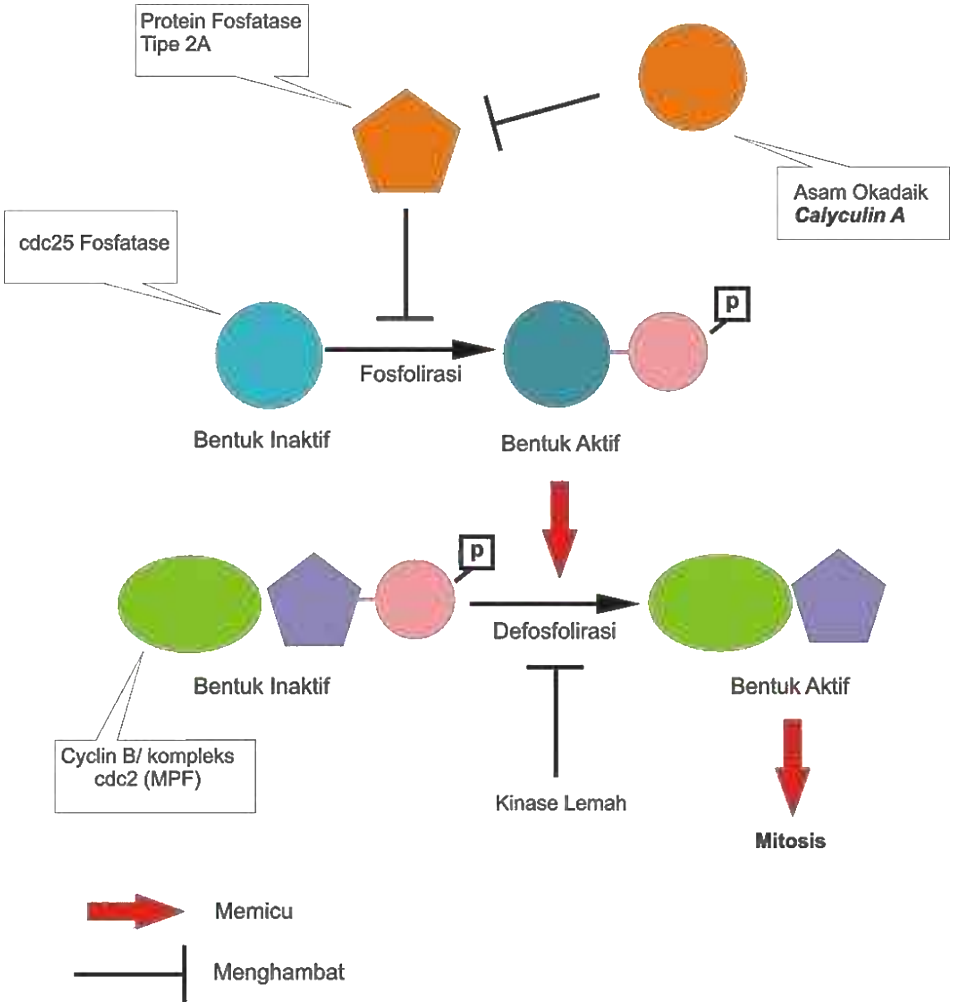
Penelitian Sunkara *dkk* [10] memperlihatkan bahwa aktivitas MPF di dalam ekstrak sitoplasma sel HeLa mammalia dapat menginduksi terjadinya proses GVBD dan menyebabkan proses percepatan kondensasi kromosom pada oosit amfibi. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan spesies tidak menjadi hambatan untuk MPF dapat menginduksi terjadinya percepatan kondensasi kromosom. MPF tersusun dari protein yang jumlahnya tidak tetap dan cenderung konstan selama siklus sel. Protein yang jumlahnya tidak tetap di sebut *cyclin* sedangkan yang jumlahnya cenderung tetap adalah enzim Cdc2p. Enzim Cdc2p di kontrol oleh gen cdc2 (cdc merupakan singkatan dari *cell division cycle*). Cdc2p adalah tirosin kinase yaitu suatu enzim yang dapat mentransfer gugus fosfat dari ATP (adenosin trifosfat) ke asam amino suatu protein [11]. Kompleks Cdc2p serta *cyclinB* dan memegang peranan penting dalam regulasi pembelahan sel dan pertumbuhan sel [6,12].

Proses defosfolirasi (pengurangan gugus fosfat) pada kompleks Cdc2p serta *cyclinB* (MPF aktif) akan menginduksi terjadinya proses percepatan kondensasi kromosom. Oleh karena itu ketika terjadi penggabungan sel baik melalui virus maupun PEG, nukleus pada sel yang berada dalam tahap interfase terpapar MPF aktif yang terdapat pada nukleus pada sel dalam tahap fase mitosis sehingga menyebabkan percepatan kondensasi kromosom dalam nukleus sel interfase [6,12].

Aktivitas kompleks Cdc2p dan *cyclinB* dipengaruhi oleh Cdc25 yang merupakan tirosin fosfatase yang mengaktifkan kompleks Cdc2p/*cyclinB* dengan defosfolirasi. Aktivitas Cdc25 juga dilakukan dengan fosfolirasi maupun defosfolirasi dan sensitif terhadap protein fosfatase tipe 1 dan 2A (PP1 dan PP2A). *Calyculin A* merupakan molekul yang dapat menghambat aktivitas PP1 dan PP2A sehingga memengaruhi aktivitas Cdc25 dan kompleks Cdc2p/*cyclinB* sehingga pada akhirnya akan memicu percepatan kondensasi kromosom pada sel dalam tahap interfase (Gambar 3). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *Calyculin A* tidak secara langsung dapat meyebabkan terjadinya peristiwa kondensasi kromosom. *Calyculin A* terlebih dahulu menghambat aktivitas PP1

dan PP2A sehingga menyebabkan terjadinya percepatan kondensasi kromosom. Percepatan kondensasi kromosom hanya dapat terjadi bila terdapat protein MPF di dalam sel dan aktivitas MPF bergantung pada konsentrasi *cyclinB* [6].

Konsentrasi *cyclinB* berubah-ubah dalam tiap tahapan pada siklus sel. Konsentrasi *cyclinB* paling rendah terdapat saat fase G_1, kemudian meningkat secara bertahap pada fase S dan mencapai puncaknya pada fase G_2. Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa *calyculin A* akan paling banyak menyebabkan terjadinya percepatan kondensasi kromosom pada sel interfase yang berada di fase G_2 dikuti dengan sel pada fase G_1 dan sedikit pada sel G_1. Proses percepatan kondensasi kromosom pada sel interfase yang berada di fase G_2 oleh *calyculin A* hanya membutuhkan waktu kurang lebih selama lima menit, serta lebih cepat dibandingkan bila menggunakan penggabungan sel (20 menit) [6].

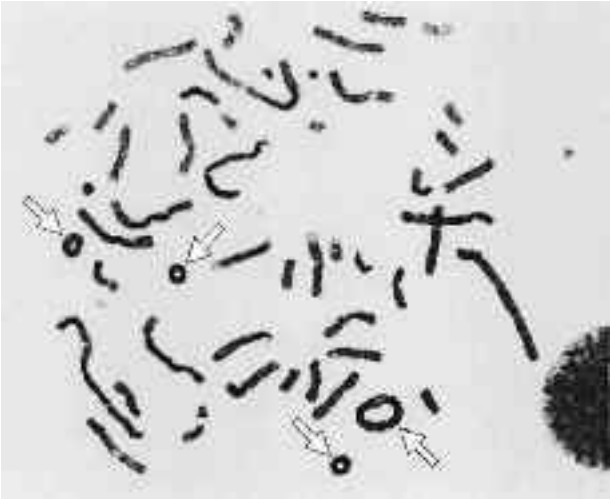


Gambar 3. Skema terjadinya percepatan kondensasi kromosom pada teknik PCC [6].

IV. APLIKASI TEKNIK PCC SEBAGAI BIODOSIMETRI DOSIS TINGGI

Penerapan teknik PCC sebagai biodosimetri dosis tinggi berhasil dilakukan pada tiga korban kecelakaan radiasi di Tokaimura Jepang pada tanggal 30 September 1999 [13]. Hayata *dkk* menggunakan teknik PCC berdasarkan menurunnya jumlah sel limfosit secara drastis yang mengindikasikan bahwa paparan radiasi seluruh tubuh pada korban kecelakaan tersebut cukup tinggi. Analisis menggunakan teknik PCC memberikan hasil yang tidak terlalu akurat bila dibandingkan dengan teknik konvensional berdasarkan jumlah disentrik dan kromosom cincin, namun teknik PCC memberikan hasil yang lebih cepat karena tidak memerlukan keahlian dalam menganalisis hasil teknik PCC.

Hayata *dkk* menggunakan dua metode analisis kromosom untuk memprediksi besarnya dosis yang memapar ketiga korban kecelakaan radiasi tersebut. Pertama berdasarkan jumlah terbentuknya kromosom bentuk cincin (*ring*) pada teknik PCC. Hal tersebut berdasarkan penelitian Kanda *dkk* yang menyatakan bahwa kromosom cincin yang terbentuk akibat paparan radiasi pada teknik PCC (Gambar 4) berbanding lurus dengan dosis radiasi hingga 20 Gy [14]. Kedua berdasarkan menggunakan metode konvensional yang berdasarkan jumlah kromosom disentrik dengan pewarnaan giemsa. Penelitian Hayata *dkk* memperlihatkan bahwa prediksi dosis terhadap ketiga korban kecelakaan radiasi tersebut menggunakan jumlah kromosom cincin yang terbentuk pada teknik PCC dapat dilakukan setelah 53,5 jam sesudah pengambilan sampel darah tepi pertama terhadap ketiga korban tersebut. Pengambilan sampel darah tepi pertama dilakukan 9 jam setibanya ketiga korban kecelakaan tersebut sampai pada laboratorium [13].



Gambar 4. Kromosom cincin yang terbentuk akibat paparan radiasi pada teknik PCC [13].

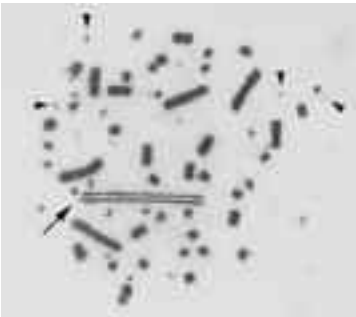
Gotoh *dkk* pada tahun 2005a mengajukan metode berdasarkan rasio panjang kromosom antara kromosom terpanjang dan kromosom terpendek pada hasil teknik PCC. Gotoh *dkk* menyatakan bahwa ratio panjang kromosom antara kromosom terpanjang dan kromosom terpendek akan meningkat seiring meningkatnya dosis paparan radiasi. Gotoh *dkk* melakukan penelitian dengan mengiradiasi sel limfosit darah tepi menggunakan sinar gamma pada dosis 0, 2, 5, 10, 20, 30 dan 40 Gy. Pada setiap dosis diamati sebanyak 50 sel interfase pada fase G_2 yang telah mengalami percepatan kondensasi kromosom (G_2-PCC) dan dilakukan pengambilan citra digital dari seluruh sel, kemudian panjang kromosom terpanjang dan terpendek di ukur menggunakan perangkat lunak pengolahan citra Image J versi 1.30 (Gambar 5).

Hasil penelitian Gotoh *dkk* memperlihatkan bahwa pada kelompok kontrol nilai rasio panjang kromosom antara kromosom terpanjang dan terpendek cenderung konstan pada nilai 5 karena panjang kromosom terpanjang (kromosom nomor 1) dan panjang kromosom terpendek (kromosom nomor 22) pada kelompok kontrol cenderung tetap antara individu [3]. Berbeda dengan kelompok kontrol pada darah yang diiradiasi dengan dosis yang semakin tinggi terlihat bahwa panjang kromosom terpanjang semakin meningkat, sementara panjang kromosom terpendek akan semakin menurun dan sebagai konsekuensi nilai ratio panjang kromosom antara kromosom terpanjang dan terpendek akan semakin meningkat (Gambar 5 dan 6). Gotoh *dkk* membuat persamaan matematis yang menggambarkan hubungan antara nilai dosis radiasi dan nilai rasio panjang kromosom antara kromosom terpanjang dan terpendek sebagai berikut.

$LR = 4.90 \times D^{0,5} + 2.14$ [3]

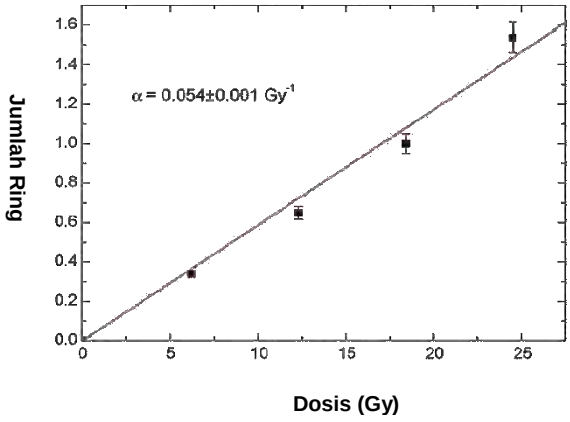
Keterangan :
LR : *Length Ratio* (Nilai Rasio)
D : Dosis (Gy)

Gambar 5. Kromosom terpanjang dan terpendek pada kelompok kontrol (0 Gy) [3].



Gambar 6. Kromosom terpanjang dan terpendek pada kelompok perlakuan dengan radiasi sebesar (40 Gy) [3].

Penelitian Balakrishnan *dkk* berhasil menggunakan teknik PCC untuk biodosimetri dosis tinggi secara *in vitro*. Balakrishnan *dkk* melakukan penelitian dengan mengiradiasi sel limfosit darah tepi menggunakan sinar gamma pada dosis 0; 6.2; 12,5; 18,4; 24,5 Gy. Pada setiap dosis dilakukan pengamatan terhadap 100 PCC *ring* menggunakan mikroskop cahaya. Penelitian Balakrishnan *dkk* memperlihatkan bahwa peningkatan frekuensi PCC *ring* meningkat secara linier seiring dengan peningkatan dosis dan nilai kemiringan (*slope*) kurva linier yang menggambarkan hubungan antara frekuensi PCC *ring* persel dengan besarnya nilai dosis adalah 0,054 ± 0,001 Gy^{-1} (Gambar 7) [1].

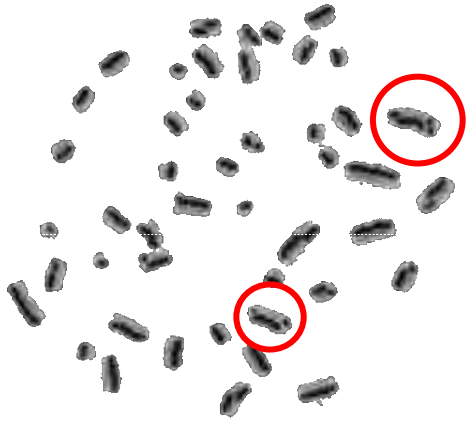


Gambar 7. Kurva linier yang menggambarkan hubungan antara frekuensi PCC *ring* dengan dosis radiasi [1].

Selain digunakan sebagai biodosimetri dosis tinggi, teknik PCC dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh faktor lingkungan terhadap materi genetik manusia pada sel interfase. Terzoudi *dkk* [15] melakukan penelitian dengan menggabungkan teknik *Sister Chromatid Exchange* (SCE) dengan teknik PCC untuk mengetahui pengaruh empat jenis mutagen kimia terhadap sel limfosit darah tepi. Analisis SCE pada umumya digunakan untuk memantau kerusakan sitogenetik yang diinduksi oleh mutagen kimia [16]. Teknik SCE secara konvensional memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, frekuensi SCE setelah terjadi paparan senyawa kimia yang bersifat genotoksik (dapat mengakibatkan perubahan materi genetik pada sel) diperoleh dengan menganalisis sel dalam tahap metafase setelah kultur limfosit untuk analisis kromosom. Hal tersebut berarti sel yang rusak akibat mutagen kimia dan tertahan pada fase G_2 tidak dapat dianalisis, sehingga hasil analisis SCE secara konvensional lebih rendah (*underestimate*) dari nilai sebenarnya [15]. Pada proses siklus sel terdapat mekanisme *checkpoint* yang berfungsi untuk mendeteksi kerusakan DNA di dalam inti sel. Apabila terdapat kerusakan DNA, mekanisme *checkpoint* akan memacu penghentian siklus sel sementara waktu (*cell cycle arrest*) untuk perbaikan DNA. *Checkpoint* pada G2 mencegah inisiasi mitosis sebelum replikasi DNA selesai dilakukan [11].

Metode yang digunakan oleh Terzoudi *dkk* [15] adalah melakukan teknik PCC terlebih dahulu dengan menambahkan *calyculin A* pada tiga konsentrasi yang berbeda yaitu 10, 50 dan 100 nM pada tiga waktu yang berbeda yaitu (0,5), 1 dan 3 jam sebelum kultur limfosit darah tepi selama 72

jam selesai dilakukan. Setelah proses kultur selesai dilakukan, preparat yang telah di buat diwarnai dengan metode *Fluorescence Plus Giemsa* (FPG) untuk mengetahui ada atau tidaknya SCE (Gambar 8).



Gambar 8. Contoh SCE (dalam lingkaran merah) yang tervisualisasikan pada G_2 PCC pada sel limfosit tepi yang terpapar mutagen kimiawi [15].

Berbeda dengan Terzoudi *dkk* yang menggabungkan teknik PCC dengan SCE, Kowalska *dkk* [17] mencoba menggabungkan teknik PCC dengan teknik *banding* pada kromosom. Teknik *banding* adalah teknik pembentukan pita-pita (*bands*) melintang pada kromosom. Beberapa daerah di kromosom akan memiliki pita terang sedangkan yang lainnya tampak gelap. Pita terang dan gelap akan berselang-seling pada kromosom. Masing-masing kromosom memiliki distribusi pita terang dan gelap yang berbeda-beda, sehingga memudahkan pengklasifikasian kromosom dan mendeteksi terjadinya kerusakan pada kromosom [18]. Penelitian Kowalska *dkk* [17] bertujuan untuk mengetahui bahwa penggunaan *calyculin A* tidak menyebabkan kelainan pada jumlah kromosom serta perubahan pada pola pita (*bands*) yang terbentuk dengan teknik *G-banding*.

Penelitian Kowalska *dkk* membuktikan bahwa penambahan *calyculin A* tidak menyebabkan kelainan pada jumlah kromosom serta perubahan pada pola pita (*bands*) kromosom. Penelitian Kowalska *dkk* juga membuktikan bahwa indeks mitosis yang diperoleh dengan penambahan *calyculin A* lebih tinggi 4 sampai 10 kali dibandingkan dengan indeks mitosis pada proses kultur limfosit konvensional untuk analisis kromosom. Dengan demikian penambahan *calyculin A* dapat dilakukan pada teknik *banding* yang digunakan untuk mengetahui kerusakan kromosom pada individu yang memiliki indek mitosis rendah seperti pada pasien yang sudah lanjut usia, pasien yang telah mengalami terapi radiasi dan kemoterapi, dan korban kecelakaan radiasi dosis tinggi [17].

V. PENUTUP

Prediksi dosis serap pada korban kecelakaan radiasi harus dilakukan sesegera mungkin untuk menentukan tindakan medis paling tepat dalam menangani korban. Pada paparan radiasi dosis tinggi yaitu diatas 5 Gy, teknik PCC telah terbukti efektif dalam penentuan dosis korban karena memberikan hasil yang lebih cepat dan mudah dilakukan. Beberapa penelitian membuktikan bahwa

teknik PCC dapat digunakan untuk memprediksi tingkat paparan radiasi pengion dosis tinggi. Dengan demikian prediksi tingkat dosis pada korban kecelakaan akibat paparan radiasi pengion dosis tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan teknik PCC karena memberikan hasil yang lebih cepat, sehingga penentuan tindakan medis paling tepat dapat dilakukan untuk menangani korban.

DAFTAR PUSTAKA

1. BALAKRISHNAN, S., SHIRSATH, K.S., BHAT, N., and ANJARIA, K. Biodosimetry for high dose accidental exposures by drug induced premature chromosome condensation (PCC) assay. *Mutation Research* 699:11?16, 2010.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY., Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies, IAEA, Vienna. 2011.
3. GOTOH, E., and TANNO, Y. Simple biodosimetry method for cases of high-dose radiation exposure using the ratio of the longest/shortest length of Giemsa-stained drug induced prematurely condensed chromosomes (PCC). *Int. J. Radiat. Biol.*, 81(5): 379 ? 385, 2005a.
4. GOTOH, E., TANNO, Y., and TAKAKURA, K. Simple biodosimetry method for use in cases of high-dose radiation exposure that scores the chromosome number of Giemsa-stained drug induced prematurely condensed chromosomes (PCC). *Int. J. Radiat. Biol.*, 81(1): 33 ? 40, 2005b.
5. SYAIFUDIN, M. Pemanfaatan Teknik *Premature Chromosome Condensation* dan Uji Mikronuklei dalam Dosimetri Biologi. *Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dan International Seminar on Occupational Health and Safety I*. Depok, 27 Agustus, 2008.
6. JOHNSON, R.T., and RAO, P.N. Mammalian cell fusion: induction of premature chromosome condensation in interphase nuclei. *Nature* 226: 717 ? 722, 1970.
7. GOTOH, E., and DURANTE, M. Chromosome Condensation Outside of Mitosis: Mechanism and New Tools. *Journal of Cellular Physiology* 209: 297-304, 2006.
8. GOTOH, E., ASAKAWA, Y., and KOSAKA, H. Inhibition of protein serine/threonine phophatases directly induces premature chromosome condensation in mammalian somatic cells. Biomed Res 16: 63-68, 1995.
9. KATO, H., and SANDBERG, A. 1967. Chromosome pulverization in human binucleated cells following colcemid treatment. *J Cell Biol* 34:35-46, 1967.
10. SUNKARA, P.S., WRIGHT, D.A., and RAO, P.N. Mitotic factors from mammalian cells induce germinal vesicle breakdown and chromosome condensation in amphibian oocytes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 76, No. 6, pp. 2799-2802, 1979.
11. TAMARIN, R.H. Principles of Genetics (7th) edition. xvi + 609 hlm, McGrawHill, New York, 2002.
12. TROUNSON, A., ANDERIESZ, C., and JONES, G. Maturation of human oocytes in vitro and their developmental competence. *Reproduction* 121, 51?75, 2001.
13. HAYATA, I., KANDA, R., MINAMIHISAMATSU, M., FURUKAWA, A., and SASAKI, M.S. Cytogenetical Dose Estimation for 3 Severely Exposed Patients in the JCO Criticality Accident in Tokai-mura. *J. Radiat. Res* 42: SUPPL., S149?S155, 2001.
14. KANDA, R., HAYATA, I., and LLOYD D.C. Easy biodosimetry for high-dose radiation exposures using drug-induced,

prematurely condensed chromosomes. *Int J Radiat Biol.* 75(4):441-6, 1999.

15. TERZOUDI, G.I., MALIK, S.I., PANTELIAS, G.E., MARGARITIS, K., MANOLA, K., and MAKROPOULOS, W. A new cytogenetic approach for the evaluation of mutagenic potential of chemicals that induce cell cycle arrest in the G2. *Mutagenesis* 18(6); 539±543, 2003.
16. JMRDANOVIC, J., BOGDANOVIC, G., CVETKOVIC, D., VELICANSKI, A., and CETOJEVIC-SIMIN, D. The frequency of sister chromatid exchange and micronuclei in evaluation of cytogenetic activity of Kombucha on human peripheral blood lymphocytes. *Arch Oncol* 15(3-4):85-8, 2007.
17. KOWALSKA, A., SREBNIAK, M., WAWRZKIEWICZ, A., and KAMIÑSKI, K. The influence of calyculin A on lymphocytes in vitro. *J. Appl. Genet.* 44(3);413-418, 2003.
18. SURYO. *Genetika Manusia*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1994..

TANYA JAWAB

1. Penanya : Darlina

Pertanyaan :

- Apakah PTKMR sudah mengantisipasi penghitungan biodosimetri jika terjadi kecelakaan radiasi?
- Apakah PTKMR sudah menguasai teknik PCC ?

Jawaban :

- Bila prediksi dosis berdasarkan analisis disentrik maka PTKMR sudah siap untuk memprediksi nilai dosis pada korban kecelakaan radiasi sebab saat ini telah dibuat kurva standar untuk prediksi dosis berdasarkan analisis disentrik
- Sampai saat ini belum tetapi karena teknik PCC hampir sama dengan teknik analisis disentrik hanya mengganti pemberian colchisin dengan calyculin maka untuk melakukan teknik PCC tentu tidak sulit dilakukan.

ESTIMASI DOSIS GLANDULAR DAN KUALITAS CITRA PADA MAMOGRAFI *COMPUTED RADIOGRAPHY* (CR)

Eunike S. Fajarini[1)], Heru Prasetio[2)], dan Dyah Dwi Kusumawati[3)]

[1)] RS Pantai Indah Kapuk, Jakarta
[2)] Departemen Fisika Univeritas Indonesia, Depok
[3)] Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi radiasi - BATAN
E-mail : prasetio@batan.go.id

ABSTRAK

ESTIMASI DOSIS GLANDULAR DAN KUALITAS CITRA PADA MAMOGRAFI *COMPUTED RADIOGRAPHY* (CR). Mamografi merupakan program skrining utama untuk deteksi dini kanker payudara, akan tetapi pemberian informasi tentang dosis yang diterima pasien masih jarang dilakukan. Padahal payudara merupakan salah satu organ sensitif terhadap radiasi pengion karena mampu menginduksi kanker. Sehingga perlu dilakukan estimasi dosis pasien pada pemeriksaan mamografi untuk mengetahui nilai dosis yang diterima oleh payudara. Estimasi dosis dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Mean Glandular Dose* (MGD) pada mamografi *Computed Radiography* (CR). Dengan melakukan koreksi terhadap kualitas citra pada *prosentase* (%) *glandularity*, yaitu *prosentase* (%) *glandularity* 25-49% dan 1-24%. Nilai *prosentase* (%) *glandularity* dievaluasi oleh radiolog. Dari hasil estimasi didapatkan total rerata MGD pada seluruh proyeksi pemeriksaan payudara 1,65 mGy pada rerata ketebalan kompresi 48,85 mm. MGD yang diperoleh masih di bawah limit berdasarkan rekomendasi FDA, ACR dan MQSA yaitu < 3 mGy per eksposi pada ketebalan 45 mm. MGD dipengaruhi oleh kombinasi antara ketebalan kompresi, kV, HVL dan *prosentase* (%) *glandularity*.

Kata kunci : *Mean Glandular Dose* (MGD), *Computed Radiography* (CR), kualitas citra, ketebalan kompresi, kV, *prosentase* (%) *glandularity*

ABSTRCT

GLANDULAR DOSE ESTIMATES AND IMAGE QUALITY IN MAMMOGRAPHY COMPUTED RADIOGRAPHY (CR). *Mammography is the primary screening program for early detection of mammae cancer, but the provision of information on the doses received by patients is rarely performed. Though the mammae is one of the organs are sensitive to ionizing radiation because it can induce cancer. So it is necessary to estimate the patient dose in mammography examinations to determine the value of the dose received by the mammae. Estimation of dose calculations performed using the Mean Glandular Dose (MG) on mammography Computed Radiography (CR). By correcting the image quality on percentage (%) glandularity, the percentage (%) glandularity 25-49% and 1-24%. Percentage Rate (%) was evaluated by radiologist glandularity. From the results obtained estimates of total average MGD to the entire projected 1.65 mGy mmammae examination at an average thickness of 48.85 mm compression. MGD is obtained under the limit based on the FDA, ACR and MQSA ie <3 mGy per eksposi at a thickness of 45 mm. MGD is influenced by a combination of compression thickness, kV, HVL and percentage (%) glandularity.*

Keywords : Mean Glandular Dose (MGD), Computed Radiography (CR), image quality, compression thickness, kV, the percentage (%) glandularity

I. PENDAHULUAN

Mammografi adalah suatu jenis pencitraan yang digunakan secara khusus untuk menunjukkan detail dari payudara. Teknik pencitraan mammografi menggunakan sinar-X energy rendah dengan tujuan mendapatkan kontras yang tinggi, untuk memperoleh resolusi tinggi teknik pencitraan pada mamografi menggunakan flm khusus yaitu film *single emultion* dengan kecepatan rendah, sehingga akan diperoleh citra dengan resolusi yang tinggi. Persyaratan khusus pada pencitraan mammografi tabung sinar X yang digunakan memiliki rentang beda potensial antara 25kV - 40 kV, dengan memanfaatkan target *Molybdenum* diharapkan sinar X katakteristik dari target mampu memberikan kontribusi yang signifikan dalam pembentukan citra. Mengingat energi yang digunakan akan menghasilkan interaksi yang dominan pada interaksi fotolistrik, maka kontras pada jaringan lunak akan lebih optimal, oleh karena itu Mammografi berperan sangat penting dalam deteksi dini kanker payudara. Mengingat rentang energy yang digunakan diantara 25-40kV, maka sebagian besar interaksi radiasi dengan materi adalah efek fotolistrik [1] dan konsekuensi yang terjadi adalah sebagian besar energy akan terserap oleh jaringan pada payudara dan memberikan kontribusi dosis yang signifikan. Sistim dosimetri dalam mamografi cukup unik karena salah satu komponen yang digunakan dalam estimasi dosis yang diterima payudara adalah citra yang dihasilkan dalam proses pengambilan gambar. Teknik perhitungan estimasi dosis yang diterima payudara telah dikeluarkan oleh IAEA, yaitu Technical Report Series No.457, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, IAEA, Vienna(2007). Pembuatan pedoman ini bertujuan untuk menyeragamkan teknik perhitungan estimasi dosis pasien. Dalam perkembangannya IAEA juga mengeluarkan beberapa publikasi yang membahas secara khusus dosimetri dalam pencitraan mamografi [2], akan tetapi sampai saat ini pedoman TRS No.457 merupakan satu-satunya pedoman dosimetri yang dapat digunakan karena belum ada publikasi lain yang direkomendasikan oleh IAEA dalam perhitungan estimasi dosis pada pencitraan mamografi. Dosis yang diterima oleh payudara dinyatakan dalam *Mean Glandular Dose* (D_G) atau Dosis Rerata Glandular yang menggambarkan besar dosis yang diterima oleh Glandular pada organ payudara karena glandular sangat sensitive terhadap radiasi dan jika menerima dosis pada nilai tertentu jaringan tersebut dapat berubah menjadi kanker.

II. METODOLOGI

Penentuan dosis dalam mamografi mengandalkan pengukuran diudara atau di *fantom* karena penggunaan detektor pada proses pencitraan tidak boleh dilakukan. Penggunaan detektor pada pencitraan mamografi akan merusak citra yang dihasilkan dan mempengaruhi diagnose

dokter dalam membaca citra payudara.IAEA TRS No. 457 menjelaskan bahwa pengukuran dosis mamografi dapat ditentukan melalui pengukuran dosis diudara atau Kerma udara (Ki) dan *Entrance Surface Air Kerma* (*ESAK*) dengan pengukuran menggunakan fantom. Berdasarkan kedua data pengukuran tersebut nilai *Mean Glandular Dose* (D_g) dapat ditentukan.

Pengukuran kerma udara harus dilakukan disetiap tegangan kerja yang mungkin digunakan untuk pegambilan gambar, demikian juga nilai ESAK. Berdasarkan rekomendasi dari IAEA TRS457, pengukuran ESAK sebaiknya dilakukan menggunakan fantom dari material PMMA dengan ketebalan 45mm yang setara dengan persentase glandular 50%. Dosis pada glandular (D_G) ditentukan berdasarkan hasil pengukuran kerma udara menggunakan persamaan (1).

..... (1)

dengan

: dosis pada glandular (mGy)

: Koefisien konversi kerma udara terhadap glandular 50% (mGy/mGy)

: Koefisien konversi glandular 50% terhadap persentase glandular pasien (mGy/mGy)

: faktor koreksi kombinasi target/filter

: Kerma udara (mGy)

Nilai , dan s dapat diperoleh pada buku Technical Report Series No.457, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, IAEA, Vienna,2007 di tabel 8.10 halaman 177, tabel 8.11 halaman 178-180 dan tabel 8.6 halaman 163. Nilai persentase glandular ditentukan berdasarkan gambar mamografi pada setiap pasien. Penentuan persen jaringan glandular ditentukan dengan cara membagi jumlah persentase glandular menjadi 4 kelas yaitu 0.1-25%, 25-50%, 50-75% dan 75-100% sesuai dengan IAEA TRS No. 457 [3].

Penggunaan fantom sebagai pengganti obyek payudara memiliki keterbatasan karena material fantom pada umumnya menggunakan PMMA tidak sama dengan jaringan payudara, dan ukuran fantom yang tidak selalu sama dengan kondisi pasien. Berdasarkan pengukuran ESAK, dosis glandular ditentukan berdasarkan persamaan (2) dan (3).

.....(2)

—— .....(3)

dengan

: Dosis glandular (mGy)

: Faktor konversi kerma udara ke dosis payudara dengan ketebalan 50mm, 50% glandular dari pengukuran pada fantom 45mm (mGy/mGy)

ESAK : *Entrance Surface Air Kerma* (mGy)

B : koreksi hamburan balik pada fantom PMMA

Nilai dan B dapat diperoleh pada buku Technical Report Series No.457, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, IAEA, Vienna,2007 di tabel 8.5 halaman 162 dan tabel 8.8 halaman 165. Pengukuran menggunakan fantom PMMA memiliki kelemahan karena hasil pengukuran yang diperoleh hanya pada satu kondisi yaitu pada ketebalan kompresi payudara 50mm dan 50% glandular. Pendekatan hasil pengukuran ke kondisi pasien sesungguhnya cukup sulit karena melibatkan beberapa koreksi yang ketersediaan literaturnya masih terbatas seperti koreksi jaringan PMMA ke payudara pada variasi persentase glandular. Akan tetapi pendekatan pada fantom dapat digunakan sebagai *benchmarking* kemampuan pesawat mamografi, karena dapat dilakukan tanpa pasien.

Sebelum melakukan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap parameter yang terkait dengan sistim dosimetri. Parameter uji kesesuaian minimal yang diperiksa terkait perhitungan dosis adalah kedapatulangan generator, akurasi tegangan kerja, akurasi waktu penyinaran, linieritas arus dan dosis, dan kualitas radiasi. Metode pengujian yang dilakukan mengikuti pedoman dari Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Testing, workbook 2:Mammographic Equipment,Radiological Council of Western Australia(2006)[4]. Pesawat yang dijadikan sampel uji adalah pesawat yang lolos uji kesesuaian minimal yang akan digunakan untuk pengukuran dosis sesuai pedoman IAEA TRS457.Uji kedapatulangan generator, akurasi tegangan kerja, akurasi waktu penyinaran, linieritas arus dan dosis, dan kualitas radiasi pada pesawat mamografi dilakukan menggunakan detektor *non-invasive* merk UNFORS tipe Platinum. Uji tambahan yang dilakukan untuk mendukung perhitungan dosis adalah uji akurasi indikator ketebalan kompresi.

Penelitian dilakukan menggunakan pesawat mamografi merk *Senographe 800 T GE Mammography* model pesawat/no. Seri panel control ZF000DMR/2107636 dengan tipe tabung GS 512-4, no. seri tabung 24604 TXI diproduksi tahun 1997. Kondisi maksimum 35 kV dan 600 mAs, dengan 0,8 mm Be filter tambahan dan 0,03 mm Mo. Penelitian ini memanfaatkan sistem pemeriksaan *automatic exposure control* (AEC) dan sistem pemrosesan citra menggunakan *computed radiography* (CR). *Source to Image Distance* (SID) adalah 66 cm, dengan kombinasi target/filter Mo/Mo. *Prosentase (%) Glandularity* dievaluasi oleh radiolog, mengikuti metode Steven B. Halls, MD, dengan pengelompokkan A (0% *glandularity*), B (1-24% *glandularity*), C (25-49% *glandularity*), D (50-74% *glandularity*), dan E (75- 100% *glandularity*).

Kemudian dilanjutkan dengan pencatatan parameter kondisi penyinaran pemeriksaan pasien mamografi. Data yang diperoleh sebanyak 35 pasien wanita dengan rentang usia tahun dengan jenis kompresi

craniocaudal (CC) *projection* dan *mediolateral oblique* (MLO) *projection* pada masing-masing payudara. Untuk menganalisa kualitas citra pada *prosentase (%) glandularity* yang sama, parameter yang dibutuhkan adalah kVp dan mAs. Sedangkan untuk pengevaluasian nilai *mean glandular dose* (MGD) pada setiap pasien adalah kVp, mAs, HVL, ketebalan payudara (mm) dan *prosentase* (%) *glandularity*.

Evaluasi *Mean Glandular Dose* (MGD) dilakukan pada seluruh data pasien, dengan memperhatikan variasi kV, mAs, tebal kompresi (mm) dan HVL mmAl). Setelah data kondisi penyinaran didapatkan, dilakukan perhitungan *Mean Glandular Dose* (MGD) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

..... (5)

Dengan :

: dosis rata-rata glandular (mGy)

: faktor konversi (mGy/mGy) yang digunakan untuk menghitung MGD dengan *prosentase* glandular 50 % dari nilai *Ki*

: koefisien konversi *prosentase* glandular *CD*Gg,*D*G50 pada glandular (*g*) 0,1-100% pada payudara

: tabel koreksi *spectral*

: *incident air kerma* (mGy)

Menurut *Food and Drug Administration* (FDA) Amerika Serikat, *American College of Radiology* (ACR) and *Mammography Quality Standards Act* (MQSA) memberikan rekomendasi bahwa batas dosis di glandular pada ketebalan payudara 4.5 cm setelah dikompresi adalah 3,0 mGy per *eksposure* karena jaringan tersebut menunjukkan resiko yang tinggi untuk perkembangan karsinoma.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji kesesuaian

Uji kesesuaian pesawat sinar-X hanya dilakukan untuk parameter-parameter yang berkaitan dengan kondisi penyinaran yaitu:

1. Kedapatulangan keluaran tabung sinar-X
2. Akurasi tegangan kerja (kV)
3. Akurasi waktu eksposi (t)
4. Uji linieritas keluaran radiasi dengan variasi arus
5. Penentuan kualitas radiasi tabung sinar-X

Hasil uji kesesuaian dapat dilihat pada Tabel 1-5. Berdasarkan pengukuran disimpulkan bahwa pesawat mamografi yang digunakan telah memenuhi standar uji kesesuaian dan dapat digunakan. Dan selanjutnya akan dilakukan pengambilan data dosis pasien. Dengan menggunakan persamaan dosis yang dikeluarkan tabung pada berbagai tegangan panel dapat ditentukan.

Tabel 1.Evaluasi kedapatulangan tegangan kerja, waktu dan dosis

No.	Kondisi panel			Hasil pengukuran		
	Tegangan kerja (kV)	Waktu penyinaran (ms)	Beban tabung (mA)	Tegangan terukur (kVp)	Waktu penyinaran (ms)	Dosis (mGy)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	25	N/A	18	25.04	0.21	1.17
2				25.05	0.21	1.15
3				25.02	0.21	1.15
4				25.01	0.21	1.15
5				25.09	0.21	1.15
Rerata				25.04	0.21	1.16
Deviasi				0.01	0.00	0.01
$\overline{\qquad}$				**0.0005**	**0.001**	**0.001**

Toleransi 0.05 atau 5% (perka BAPETEN)

Tabel 2. Lembar data dan evaluasi uji kesesuaian tegangan kerja

No	Tegangan kerja panel (kV)	Tegangan kerja terukur (kVp)	Perbedaan (%) $\overline{\qquad}$
(1)	(2)	(3)	(4)
1	22	22.23	1.05
2	23	23.16	0.70
3	24	24.08	0.33
4	25	25.04	0.16
5	26	26.09	0.35
7	27	27.07	0.26
8	28	28.09	0.32
9	29	29.1	0.34
10	30	30.19	0.63
11	31	31.11	0.35

Toleransi 10% (perka BAPETEN)

Tabel 3 . Lembar data dan evaluasi linieritas arus dan dosis

No.	Kondisi panel		Hasil pengukuran		Linieritas dosis	Linieritas dosis $\overline{\qquad}$
	Tegangan kerja (kV)	Beban tabung (mAs)	Dosis (mGy)	Output (mGy/mAs) $\overline{\qquad}$		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	25	17	1.075	0.063	X1	0.007
2		25	1.603	0.064	X2	0.005
3		50	3.239	0.065	X3	0.012
4		80	5.189	0.065	X4	0.013
5		100	6.480	0.065	X5	0.001
6		125	8.124	0.065	X6	0.014
7		160	10.418	0.065	X7	-

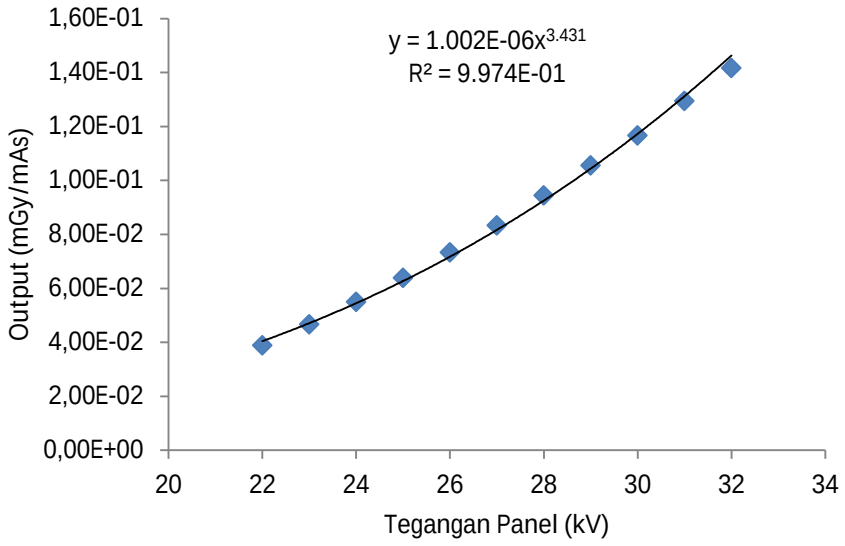
Tabel 4. Hasil uji kualitas radiasi pesawat mammografi

Tegangan panel (kV)	HVL Pengukuran (mmAl)	HVL Min (mmAl)	HVL Max (mmAl)
22	0.29	0.25	0.34
23	0.31	0.26	0.35
24	0.33	0.27	0.36
25	0.34	0.28	0.37
26	0.36	0.29	0.38
27	0.37	0.30	0.39
28	0.38	0.31	0.40
29	0.39	0.32	0.41
30	0.4	0.33	0.42
31	0.41	0.34	0.43
32	0.41	0.35	0.44

Untuk perhitungan dosis digunakan data hubungan antara tegangan kerja panel(kV) terhadap output seperti terlihat pada Tabel 5, dan kurva hubungan tegangan kerja dengan output dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 5. Hasil pengukuran output yang digunakan untuk perhitungan dosis berdasarkan panduan dari IAEA TRS457.

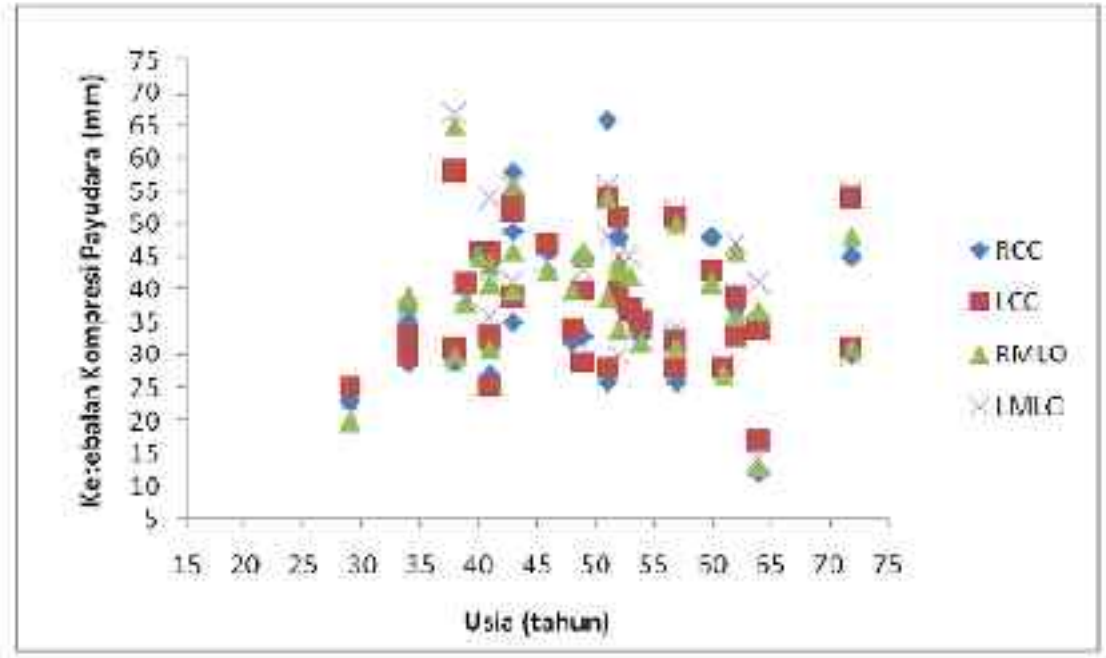
Tegangan panel (kV)	beban tabung(mAs)	dosis(mGy)	Output (mGy/mAs)
22	18	0.70	3.89E-02
23	18	0.84	4.67E-02
25	18	1.15	6.39E-02
26	18	1.32	7.33E-02
27	18	1.50	8.33E-02
28	18	1.70	9.44E-02
29	18	1.90	1.06E-01
30	18	2.10	1.17E-01
31	18	2.33	1.29E-01
32	18	2.55	1.42E-01



Gambar 1. Hubungan tegangan panel (kV) terhadap keluaran tabung (mGy/mAs)

Evaluasi *Mean Glandular Dose*

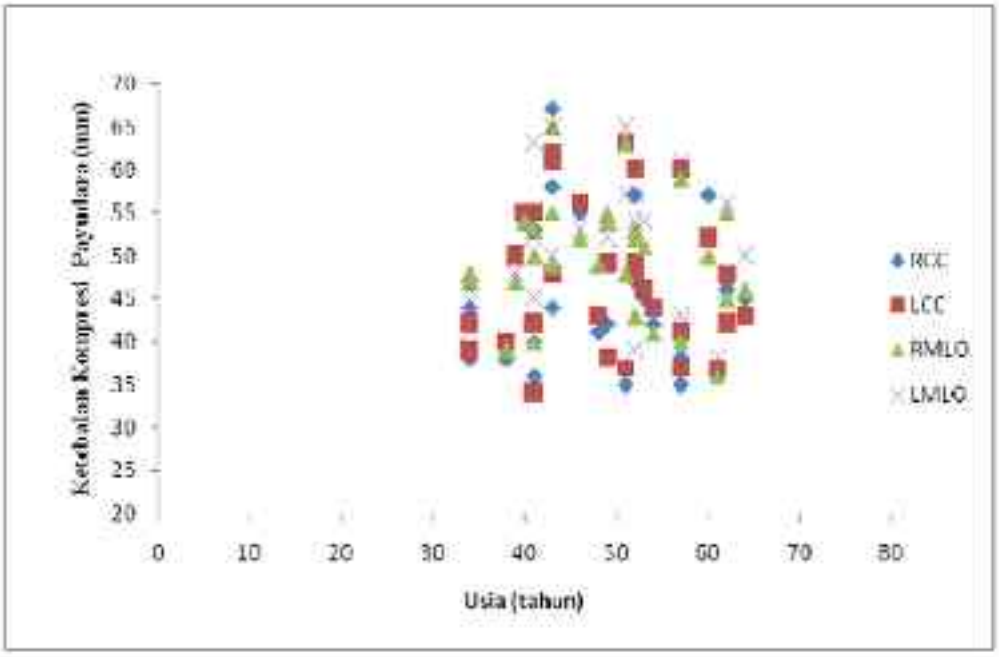
Setelah dilakukan perhitungan ketebalan kompresi payudara dengan factor koreksi ketebalan 9 mm. Dari 35 sampel, diperoleh data usia minimum adalah 29 tahun, sedangkan usia maksimum adalah 72 tahun.



Gambar 2. Grafik Hubungan Ketebalan Kompresi Payudara terhadap Usia

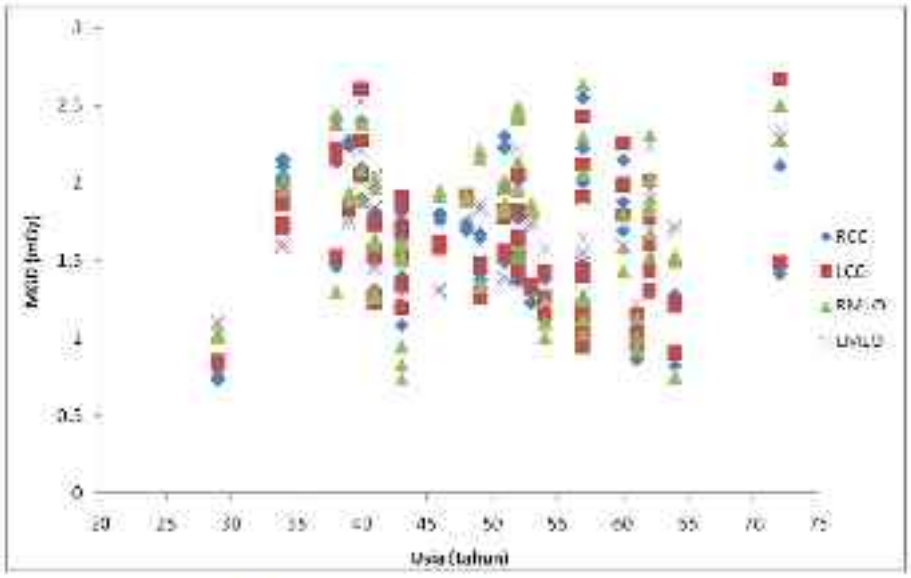
Penelitian yang berjudul *Mammographic Breast Glandularity in Malaysia Women : Data Derived from Radiography* yang dilakukan oleh Nooriah Jamal *et.al* tahun 2003 menyimpulkan bahwa komposisi glandular di payudara menurun sebanding ketebalan payudara setelah kompresi dan juga usia. Tetapi hasil data yang digambarkan pada Gambar 2 tidak menunjukkan adanya pola hubungan yang jelas antara ketebalan kompresi terhadap usia. Hanya saja pada grafik memperlihatkan nilai-nilai representatif yang terlihat berkumpul dalam suatu area tertentu. Seluruh data pasien yang diperoleh ditunjukkan dengan grafik, dijabarkan pada masing-masing proyeksi pemeriksaan. Pada grafik setiap proyeksi sudah dilakukan pengurangan data terhadap nilai-nilai yang tidak signifikan.

Gambar 3 merupakan nilai-nilai representatif/nilai-nilai yang signifikan dan berkumpul pada area tertentu. Ada 5 nilai yang dikeluarkan dari 35 data yang diperoleh, yaitu data-data nilai pada pasien usia 29, 38, 64, 72 dan 72 tahun. Nilai yang dikeluarkan adalah nilai dari data pasien dengan usia termuda dan tertua, dengan ketebalan tertinggi dan terendah.Dari grafik di atas dapat disimpulkan tidak ada hubungan yang kuat antara tebal kompresi dengan usia.



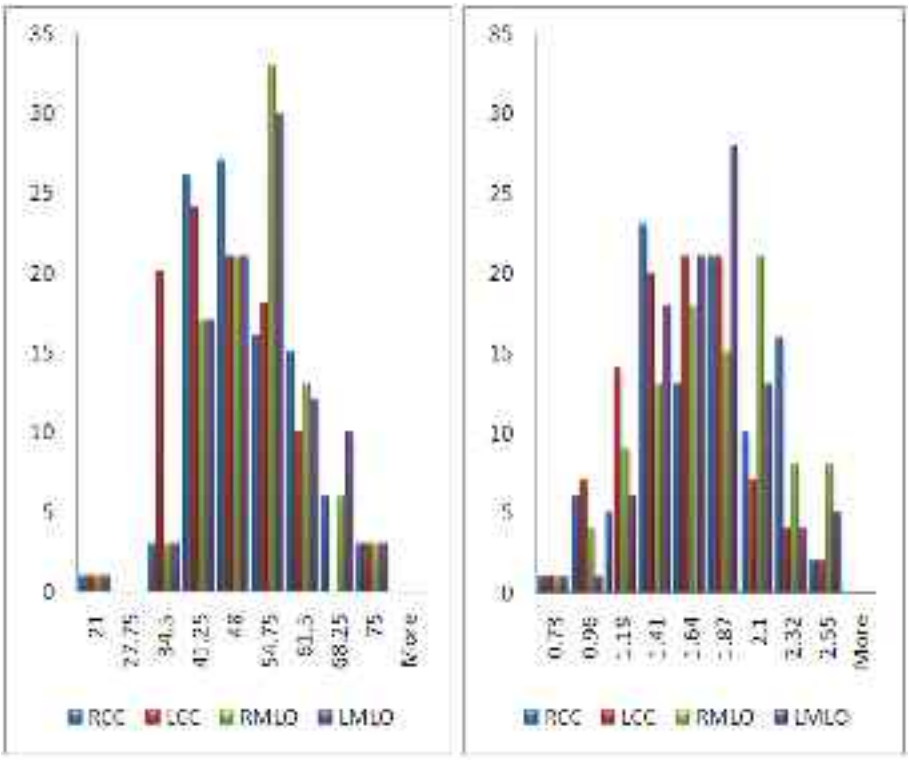
Gambar 3. Ketebalan kompresi berada pada rentang 35mm-65mm

Hubungan MGD dengan Usia



Gambar 4. Grafik Hubungan MGD terhadap Usia

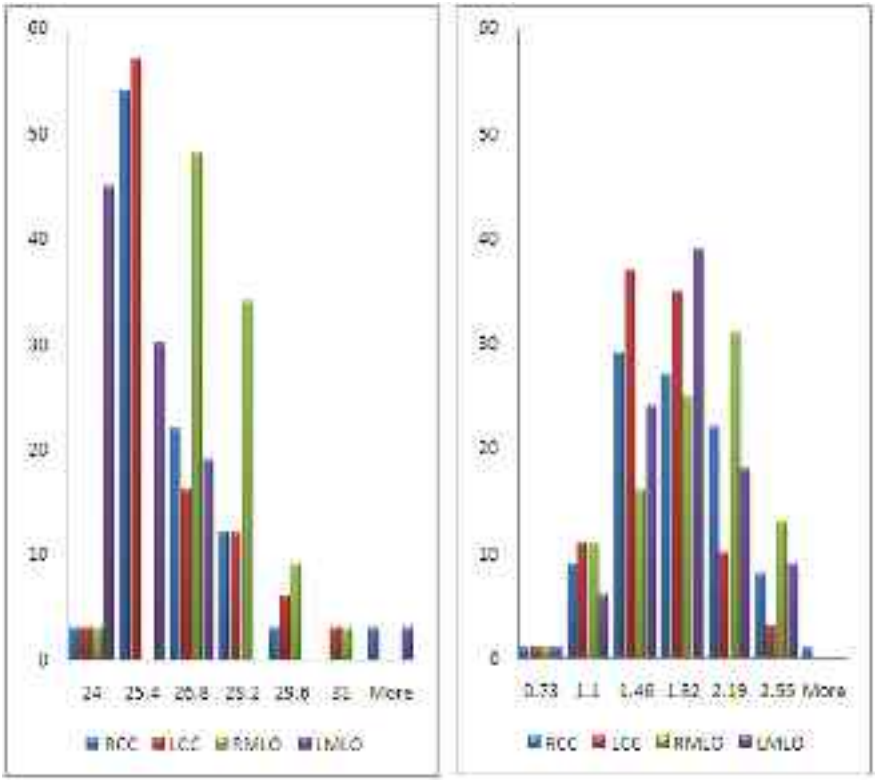
Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa MGD yang diperoleh tidak bergantung pada usia pasien. Tetapi gambar tersebut menunjukkan sebuah pola pengelompokkan pada satu area. MGD tidak dipengaruhi oleh usia dikarenakan komposisi glandular yang dimiliki setiap pasien sangat bervariasi dan spesifik.



Gambar 5. Korelasi distribusi ketebalan kompresi payudara dan distribusi *mean glandular dose* (MGD) seluruh *projection*

Gambar 5. menunjukkan hubungan distribusi antara ketebalan kompresi payudara dengan hasil *mean glandular dose* (MGD) pada semua *projection*. RCC *projection*, MGD terendah 0.73 mGy pada ketebalan kompresi 21 mm dan MGD terbesar 2.55 mGy pada ketebalan kompresi 75 mm. LCC *projection*, MGD terendah 0.83 mGy pada ketebalan kompresi 26 mm dan MGD terbesar 2.67 mGy pada ketebalan kompresi 83 mm. RMLO *projection*, MGD terendah 0.74 mGy pada ketebalan kompresi 22 mm dan MGD terbesar 2.63 mGy pada ketebalan kompresi 74 mm. LMLO *projection*, MGD terendah 0.84 mGy pada ketebalan kompresi 24 mm dan MGD terbesar 2.53 mGy pada ketebalan kompresi 76 mm.

Dari pembahasan tersebut dapat disimpulkan, semakin tebal kompresi payudara pada pasien, maka nilai MGD akan semakin besar. Ketebalan kompresi payudara merupakan salah satu faktor yang menentukan nilai MGD. Perolehan nilai MGD terbesar dari masing-masing proyeksi, termasuk dalam nilai aman yang direkomendasi oleh ACR, FDA dan MQSA.



Gambar 6. Distribusi MGD terhadap tegangan panel (kV).

Gambar 6 menunjukkan distribusi yang merata, terlihat kecenderungan peningkatan kV akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap MGD yang dihasilkan. Dari pembahasan tersebut disimpulkan, tegangan panel (kV) salah satu faktor yang mempengaruhi nilai MGD dan berhubungan dengan HVL. Peningkatan kV akan memperdalam penetrasi yang menyebabkan penurunan MGD. Selain kombinasi dengan kV, MGD juga dipengaruhi oleh kombinasi HVL, ketebalan kompresi payudara dan nilai *prosentase* (%) *glandularity* yang ditampilkan citra, sehingga sulit untuk menentukan MGD secara langsung tanpa mengevaluasi/melihat kualitas citra yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Perhitungan *mean glandular dose* (MGD) pada seluruh data masih dalam keadaan aman sesuai dengan rekomendasi FDA, ACR dan MQSA yaitu dibawah 3mGy. Pada RCC *projection* MGD rerata 1,62 mGy ketebalan kompresi rerata 46,7 mm. Pada LCC *projection* MGD rerata 1,60 mGy ketebalan kompresi rerata 49 mm. Pada RMLO *projection* MGD rerata 1,71 mGy ketebalan kompresi rerata 49 mm. Dan pada LMLO *projection* MGD rerata 1,67 mGy ketebalan kompresi rerata 50,7 mm. Tidak ada perbedaan yang signifikan pada perolehan nilai MGD pada masing-masing proyeksi pemeriksaan. Sehingga pengukuran MGD dapat dilakukan pada satu posisi.

Komponen yang sangat mempengaruhi dalam perhitungan MGD adalah kualitas radiasi dan % glandular, karena kedua nilai tersebut merupakan komponen utama dalam perhitungan MDG, sehingga dalam uji kesesuaian kedua parameter tersebut harus diukur dan dicatat selama pendataan data penyinaran pasien mamografi.

Dari kegiatan ini direkomendasikan dalam proses pengambilan data dosis pasien pada pemeriksaan mamografi pesawat yang akan dijadikan objek pengambilan data harus lulus uji kesesuaian, dan pengujian kualitas citra harus dilakukan untuk menjamin bahwa data yang diperoleh telah memenuhi criteria optimasi antara dosis dan kualitas citra atau memenuhi standar *good image quality*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Dwi Seno. K. MSi., atas komentar yang diberikan dalam penulisan makalah ini, dan rekan-rekan di lab Dosimetri Aplikasi Medik yang terlibat dalam proses pembuatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. http://www.edonnelly.com/calcmammospec.php?tube=1&kv=28, diakses 1 Januari 2011
2. PODGORSAK, E. B, *Radiation Oncology Physics:A Handbook for Teachers and Students,* McGill University, Montreal

3. http://wires.wiley.com/WileyCDA/WiresArticle/wisId-WSBM58.html, akses 1 jan2012

4. Kanal, Kalpana, Ph.D, DABR, Asisten Profesor, Diagnostic Physics, Dept. of Radiology UW Medicine, *Mammography ? Chapter 8*, Diagnostic Radiology Imaging Physics Course 2009-2010, 6 May ? 20 May 2010, Washington

5. Bushberg Jerrold T, Seibert J. Anthony, Leidholdt Jr Edwin M, Boone John M., *The Essential Physics of Medical Imaging ? Second Edition,* University of California, Davis, Saeramento, California, Lippincott Williams & Wilkins, 2002

6. IAEA Training Material on Radiation Protection in Diagnostic and Interventional Radiology: *Radiation Protection In Diagnostic and Interventional Radiology,* L-19 Optimization of Protection in Mammography

7. Jayaprakash, Shoba, Dr. *Patient Doses from Mammography Producers in India.* Mumbai: Dept. of Radiation Oncology, B. Y. L. Nair Hospital.

8. Carol H. Lee, MD, D. David Dershaw, MD, Daniel Kopans, MD, Phil Evans, MD, Barbara Monsees, MD, Debra Monticciolo, MD, R. James Brenner, MD, Lawrence Bassett, MD, Wendie Berg, MD, Stephen Feig, MD, Edward Hendrick, PhD, Ellen Mendelson, MD, Carl D'Orsi, MD, Edward Sickles, MD, Linda Warren Burhenne, MD: *Breast Cancer Screening With Imaging: Recommendations From the Society of Breast Imaging and the ACR on the Use of Mammography, Breast MRI, Breast Ultrasound, and OtherTechnologies for the Detection of Clinically Occult Breast Cancer,* American College of Radiology, 2010

9. IAEA Human Health Series No. 2, *Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography.*

10. IAEA Technical Reports Series No. 457, *Dosimetry In Diagnostic Radiology:An International Code of Practice.*

11. Van Engen R, Young KC, Bosmans H, Thijssen M. *The European protocol for the quality control of the physical and technical aspects of mammography screening. Part B: Digital mammography.* In: European Guidelines for Breast Cancer Screening, 4th edn. Luxembourg: European Commission, 2005 (In press and available online at www.euref.org [Accessed 26 June 2006]).

12. Nooriah Jamal, Kwan-Hoong Ng, Donald McLean, Lai-Meng Looi, Fatimah Moosa (Maret 2004). *Mammographic Breast Glandularity in Malaysian Women : Data Derived from Radiography,* Department of Radiology, University of Malaya, AJR: 182.

13. American College of Radiology, Mammography quality control manual, 1999. American College of Radiology publication PQMA99. Reston, VA: ACR, 1999. Document is available at *http://www.acr.org.*

14. Seibert, J. Anthony, *Physics of Computed Radiography, OverviewAcceptance Testing Quality Control,* Medical Center Sacramento, University of California Davis, AAPM 1999 Annual Meeting, Nashville.

15. Smith, Andrew, Journal of *Image Quality of CR Mammography*, Hologic. Inc, Bedford USA.

TANYA JAWAB

1. **Penanya : Akhmad Subarkah**

   Pertanyaan :
   - Apakah penggunaan CR tidak menaikkan kv/ mAS sehingga densitas dan kontras dapat dihasilkan dengan baik?
   - Menurut jurnal RSNA, screening mamografi pada usia dibawah 30 tahun tidak direkomendasikan karena akan meningkatkan resiko kanker payudara (2 kali lipat)?
   - Maksudnya % glandulatity? size/ kekebalan?

   Jawaban :
   - Penggunaan CR mungkin menaikkan kondisi penyinaran, tetapi jika CR telah dikalibrasi dan optimasi sehingga menghasilkan citra yang baik dengan dosis dibawah batas yang diperbolehkan tidak apa-apa, sehingga kalibrasi dan optimasi CR wajib dilakukan sebelum digunakan secara klinis.
   - Data yang diperoleh merupakan hasil mamografi yang sudah dijustifikasi oleh dokter, beberapa pasien yang disampling kecendrungan adalah suspect sehingga perlu mengikuti mamografi.
   - % glandula, adalah rasio kelenjar susu terhadap volume mammae secara keseluruhan, dalam mammae ada kelenjar susu dan lemak.

2. **Penanya : Kunto Wiharto**

   Pertanyaan :
   1. Adakah korelasi antara *good image quality* dengan usia pesawat mamografi?
   2. Kira-kira untuk keamanan pemeriksaan mamografi berapa usia tertua pesawat yang masih dapat direkomendasikan?

   Jawaban :
   - Kualitas citra mamografi ditentukan oleh waktu radiasi (HUL), ukuran focus dan fungsi generator. Selama parameter tersebut masih dalam kondisi yang baik citra yang dihasilkan diharapkan masih dalam batas layak secara klinis.
   - Umur kualitas pesawat umumnya ditentukan oleh perawatan, selama perawatan masih dijalankan dengan baik dan kualitas atau performa pesawat terjaga dengan baik maka citra yang dihasilkan akan cukup baik secara klinis.

3. **Penanya : Puji Widayati**

   Pertanyaan :
   - Faktor-faktor apa yang mempengaruhi perhitungan dosis glandular, sehingga aman ?

   Jawaban :
   - Faktor yang mempengaruhi tegangan panel, arus tabung dan kualitas radiasi, parameter yang terkait individu adalah % glandular, agar aman sebaiknya pemeriksaan mamografi dilakukan di pesawat yang lolos uji fungsi dan menggunakan AEC.

DETEKSI HIPOTIROID PADA IBU HAMIL DI DAERAH ENDEMIK GOITER MENGGUNAKAN *RADIOIMMUNO ASSAY* DAN *IMMUNO RADIOMETRIC ASSAY*

B Okky Kadharusman, Melyani, Irma S Hapsari, Kristina Dwi Purwanti,
Sri Insani Wahyu W, Pudji Pertiwi dan Muh Stani Amrullah A.

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

ABSTRAK

DETEKSI HIPOTIROID PADA IBU HAMIL DI DAERAH ENDEMIK GOITER MENGGUNAKAN *RADIOIMMUNO ASSAY* DAN *IMMUNO RADIOMETRIC ASSAY.* Hipotiroid Kongenital merupakan suatu kelainan fungsi tiroid pada bayi baru lahir yang didapatkan dari ibu penderita hipotiroid dalam masa kehamilan yang ditandai dengan menurunnya kadar hormon tiroid pada sirkulasi darah. Jumlah hormon tiroid yang diproduksi tubuh dipengaruhi kandungan iodium dalam makanan atau air minum sehari-hari. Salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya kadar iodium pada ibu hamil adalah kurangnya asupan iodium sehingga menyebabkan bayi yang dilahirkan mengalami hipotiroid. Bila ibu hamil tidak mendapat terapi suplementasi, dapat melahirkan bayi dengan Hipotiroid Kongenital yang berpotensi mengalami gangguan tumbuh kembang dan IQ yang rendah. Kadar hormon tirod dapat diperiksa dengan menggunakan teknik nuklir secara invitro yaitu teknik *Radioimmuno Assay (RIA) dan Immuno Radio Metric Assay (IRMA).* Penelitian dilaksanakan di daerah yang termasuk endemik goiter berat yaitu di 10 Puskesmas Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah. Telah dilakukan pemeriksaan hormon tiroid yaitu FT4 dengan teknik RIA dan TSH dengan teknik IRMA pada 400 sampel darah ibu hamil ,dari masing-masing Puskesmas diambil 40 sampel dengan rentang usia 15 - 43 tahun dengan rerata 25,95 ± 4,88 tahun dan rentang usia kehamilan adalah 14,99 ± 6,09 minggu, Dimana dari hasil yang ada ditemukan hasil Hipotiroid pada ibu hamil sebanyak 56 dari 400 sampel (14%) dengan insidensi terbanyak di daerah Salam didapatkan 11 dari 40 sampel (27,5%) dan Srumbung didapatkan 9 dari 40 sampel (22,5%). Hasil pemeriksaan ini bermanfaat sebagai digunakan data penunjang bagi upaya penanggulangan Hipotiroid pada ibu hamil , dengan target akhir peningkatan derajat kesehatan , kecerdasan dan tumbuh kembang bayi yang dilahirkan menjadi optimal.

Kata Kunci : Hipotiroid Kongenital, *Radio Immuno Assay*, *Immuno Radio Metric Assay*

ABSTRACT

DETECTION OF HYPOTHYROIDISM ON PREGNANT WOMEN IN THE ENDEMIC GOITER USING RADIOIMMUNO ASSAY AND IMMUNO RADIOMETRIC ASSAY. *Congenital hypothyroidism is an abnormality of thyroid function of the newborn baby from pregnant woman who suffer hypothyroidism that characterized by decreased levels of thyroid hormones in the blood circulation. Amount of thyroid hormone produced by the body is affected by content of iodine in daily food or drinking water. One factor that reduces the levels of iodine in pregnant women is low intake of iodine which can resulting babies born suffered hypothyroid. When the pregnant women do not receive supplement therapy, can give the newborn baby with congenital hypothyroidism who potentially have growth disorders and low IQ. Thyroid hormone levels can be examined by nuclear medicine technique such as Radioimmuno Assay (RIA) and Immuno Radiometric Assay (IRMA). Research carried out in areas of savere endemic goiter at 10 health centers ini Magelang regency, Central Java Province. Examination has been carried out with measured the thyroid hormone that is FT4 with RIA technique and TSH with IRMA technique on 400 blood samples of pregnant women, from each health center was taken 40 samples with an age range between 15-43 years with an average 25.95 ± 4.88 years and age of pregnancy range between 3-33 weeks was 14.99 ± 6.09, the results are found for the hypothyroidism in pregnant women as much as 56 of 400 samples (14%) with the highest incidence in the Salam area that obtained 11 of 40 samples (27.5%) and*

Srumbung obtained 9 of 40 samples (22.5%). The results of this examination is useful as supporting data for prevent pregnant woman from hyopthyroidism, with a final target is increasing the degree of health, intelligence and development of newborn baby to be optimal.

Keywords : Congenital hypothyroidism, *Radio Immuno Assay*, *Immuno Radio Metric Assay*

I. PENDAHULUAN

Upaya perbaikan status gizi masyarakat dalam pembangunan nasional semakin mendapat prioritas karena faktor gizi turut menentukan sumber daya manusia yang berkualitas yang sehat, cerdas dan produktif. Kekurangan gizi yang sampai saat ini masih menjadi masalah di Indonesia adalah Protein Energy Malnutrition, Anemia kekurangan zat besi, Kekurangan Iodium dan Kekurangan Vitamin A [1]. Gangguan Akibat Kurang Iodium / GAKI (goiter) merupakan salah satu masalah kesehatan masyarakat di Indonesia yang dampaknya sangat besar terhadap kelangsungan hidup dan kualitas sumber daya manusia. Selain dapat mengakibatkan Hipotiroid, j kekurangan Iodium pada wanita hamil dapat meningkatkan risiko abortus, lahir mati, cacat kongenital berupa gangguan perkembangan saraf, mental dan fisik yang disebut kretinism. Semua gangguan ini dapat menurunkan prestasi belajar anak usia sekolah dan produktivitas kerja orang dewasa serta dapat menimbulkan berbagai permasalahan sosial ekonomi masyarakat yang dapat menghambat pembangunan. [1,2,3,4].

Dewasa ini prevalensi GAKI di Indonesia relatif masih tinggi Menurut National Goiter Survey 1990 diperkirakan 42 juta penduduk berada di daerah risiko kekurangan Iodium dan diperkirakan telah telah kehilangan 140 juta IQ points [1]. Di antara jumlah tersebut, penderita gondok diperkirakan 10 juta orang dan 750.000-900.000 orang menderita kretin endemic [3].

Untuk menentukan tingkat endemisitas goiter digunakan Total Goitre Rate (TGR) yaitu angka prevalensi gondok yang dihitung berdasarkan seluruh stadium pembesaran kelenjar gondok, baik yang teraba (*palpable*) maupun yang terlihat (*visible*). TGR < 5% disebut non endemik, TGR 5-19,9% disebut endemik ringan, TGR 20-29,9% disebut endemik sedang dan TGR ≥ 30% endemik berat [4,5,6]. Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah karena beberapa kecamatan merupakan daerah endemik goiter berat.

Hormon tiroid sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan bayi, termasuk perkembangan otak/susunan saraf pusat dan pematangan seksual yang dapat menyebabkan keterbelakangan mental sehingga terjadi penurunan kecerdasan generasi penerus . Hormon tiroid diperlukan oleh semua tingkatan umur terutama pada masa bayi dan anak-anak. Jika kekurangan hormon tiroid pada ibu hamil tidak ditangani dengan baik akan sangat mempengaruhi perkembangan otak janin, penurunan IQ anak, gangguan tingkah laku dan keterampilan motorik, hambatan pertumbuhan mental dan fisik, gangguan ketahanan terhadap dingin. Oleh karena itu harus dilakukan upaya deteksi dini Hipotiroid pada ibu hamil agar dapat segera dilakukan upaya penanggulangan, sehingga bayi yang dilahirkan normal [7,8,9,10]. Keluhan dan gejala Hipotiroid pada kehamilan tidak khas dan dapat dikaburkan oleh perubahan fisiologis dalam kehamilan, oleh karena itu pada ibu hamil yang diduga menderita Hipotiroid sebaiknya segera dilakukan pemeriksaan kadar TSH dan T4 bebas pada awal kehamilan untuk mendeteksi penyakit tersebut lebih dini [5].

Dari penelitian terdahulu diketahui bahwa jumlah bayi/anak dengan Hipotiroid Kongenital yang diobati sebelum usia 3 bulan memiliki kemungkinan mencapai IQ normal (> 90) berkisar 75-85%, sedangkan 75% bayi/anak yang diobati setelah berumur lebih dari 3 bulan tetap mengidap keterbelakangan mental atau bisa menjadi normal dengan beberapa problem seperti kesulitan belajar, kelainan tingkah laku, atau kelainan neurologis nonspesifik.[5]

Upaya pemerintah dalam rangka penanggulangan masalah ini meliputi upaya jangka panjang dan jangka pendek. Upaya jangka panjang berupa peningkatan konsumsi garam berIodium sedangkan upaya jangka pendek berupa pemberian kapsul minyak beriodium, di daerah goiter sedang dan berat [11].

ANATOMI DAN FISIOLOGI KELENJAR TIROID

Kelenjar tiroid beratnya sekitar 15-25 gram dan terdiri dari dua lobus. Kelenjar ini mensintesis dan mensekresikan hormon tiroid L-tiroksin (T4) 80-100 µg dan L triiodotironin (T3) 4 µg setiap hari. Iodida merupakan komponen utama T4 dan T3. Jumlah hormon tiroid yang diproduksi dipengaruhi kandungan Iodine dalam makanan atau air [5,7]. Wanita hamil membutuhkan ± 200 µg iodine setiap hari. Asupan Iodine ini akan diubah menjadi iodide kemudian diabsorpsi di usus halus. Sekitar 80 % iodide diedarkan melalui ginjal dan diekresikan di urine, sedangkan 20% memasuki kelenjar tiroid sebagai bahan dasar pembuatan hormon tiroid [5,7]. Konsentrasi hormon tiroid bebas dalam sirkulasi darah diatur oleh hypothalamic-pituaitary-tiroid axis dan mekanisme umpan balik positif atau negatif. Hipotalamus mensekresi TRH

(*Thyrotropin Releasing Hormon*), merangsang hipofisis mensekresi TSH (*Thyroid Stimulating Hormon*), kemudian TSH menstimulasi kelenjar tiroid untuk menghasilkan hormon thyroid. Mekanisme umpan balik positif terjadi bila kadar hormon tiroid dalam darah kurang maka hipotalamus dan hipofisis akan mengeluarkan TRH dan TSH untuk merangsang kelenjar tiroid

HIPOTIROID KONGENITAL

Hipotiroid Kongenital adalah suatu kelainan bawaan berupa kurangnya kadar hormon tiroid yang dapat disebabkan oleh bermacam hal, antara lain : Gangguan pembentukan kelenjar tiroid (tidak terbentuk kelenjar tiroid, kelenjar tiroid kecil atau kelenjar tiroid tidak pada tempatnya), Gangguan pada pembentukan TSH di Hipofise, Gangguan pada pembentukan TRH di Hipotalamus, Defisiensi Iodium. Walaupun hormon tiroid dibutuhkan pada segala tingkatan usia tetapi sangat penting pada masa janin sampai usia 6 bulan yaitu masa dimana perkembangan susunan saraf pusat tercepat sedang terjadi. Gejala dan tanda klinis Hipotiroid Kongenital adalah bentuk dan muka khas mongoloid, ubun-ubun kecil terbuka/ melebar, suara tangis serak, apatis, somnolen, malas minum, sukar menelan, perut membuncit, kulit kering / kasar dan dingin, rambut tipis dan jarang, ikterus yang berlangsung lama. Setelah usia beberapa minggu terdapat gejala malas minum, konstipasi, perut buncit, Hernia Umbilicalis, lidah besar / tebal dan kasar, kesulitan bernafas, kulit pucat, reaksi reflex lambat. Pada awal kehamilan, bayi belum mampu membuat hormon tiroid sendiri. Oleh karena itu hormon tiroid harus ditransfer dari ibu melalui plasenta sampai kelenjar tiroid bayi mulai berfungsi pada akhir trimester I (pada usia 10 – 12 minggu) [4,5,6,7,8].

HIPOTIROID DALAM KEHAMILAN

Dalam kehamilan terjadi perubahan regulasi fungsi tiroid yang akan mempengaruhi konsepsi dan perjalanan kehamilan selanjutnya. Pada wanita normal terjadi modifikasi fungsi tiroid selama kehamilan, yaitu : 1). meningkatnya kadar HCG pada awal kehamilan akan menstimulasi kelenjar tiroid dan α-HCG yang menyerupai TSH dapat menempati reseptor TSH sehingga mengakibatkan Transient Hipertiroid; 2). Peningkatan ekskresi iodine dalam urin karena bersihan ginjal meningkat menyebabkan penurunan konsentrasi iodine dalam plasma sehingga mengarah pada keadaan Hipotiroid; 3). meningkatnya Tiroid Binding Globulin [2,5]

Penyebab Hipotirod pada kehamilan diantaranya adalah: Tiroiditis Hashimoto, terapi Grave's disease (Bedah, Iodium Radioaktif, Obat anti tiroid), defisiensi Iodium, gangguan pembentukan TSH di Hipofise, gangguan pembentukan TRH di Hipotalamus [5].

Gejala hipotiroid pada ibu hamil sering dikaburkan oleh pengaruh kehamilan antara lain lelah, lesu, kulit kering, dingin dan kasar, rambut kasar dan mudah rontok, pertambahan berat badan, konstipasi, gangguan konsentrasi, gerakan motorik yang lambat, suara parau dan kasar, wajah dan tangan sembab dan lain sebagainya. Selain itu pada wanita hamil yang menderita hipotiroid akan lebih mudah mengalami komplikasi obstetrik seperti hipertensi dalam kehamilan, solusio plasenta, persalinan prematur, pertumbuhan janin terhambat, *Intra Uterine Fetal Distress* (IUFD). Fungsi tiroid selama kehamilan akan terancam bila asupan iodine kurang dan penyakit autoimun [6]. Pada awal kehamilan, bayi belum mampu membuat hormon tiroid sendiri. Oleh karena itu hormon tiroid harus ditransfer dari ibu melalui plasenta sampai kelenjar tiroid bayi mulai berfungsi pada akhir trimester I (pada usia 10 – 12 minggu) [5].

Menegakkan diagnosis Hipotiroid dalam kehamilan merupakan hal yang penting untuk mendapatkan hasil yang optimal. Semua bayi baru lahir yang berada di daerah endemik goiter seharusnya dilakukan pemeriksaan kadar TSH dan T4 bebas untuk mengetahui status fungsi tiroid. Pada Hipotiroid akan didapatkan kadar TSH meningkat dan T4 bebas menurun. Pemeriksaan TSH dan T4 bebas ini dapat dilakukan dengan berbagai teknik seperti *radioimmuno assay* (RIA) dan *immuno radiometric assay* (IRMA), atau Enzym Immuno Assay (ELISA).[6] Teknik RIA dan IRMA merupakan teknik atau metode untuk mendeteksi dan mengukur interaksi antigen-antibodi menggunakan radioisotop [12,13,14,15]. Prinsip dasar teknik ini adalah reaksi imunologik antara antigen bertanda radioaktif Iodium -125 (I^{125}) dan antibodi spesifik dengan deteksi sinar gamma, yang telah terbukti sebagai teknik yang spesifik, sensitif dan sederhana [12,14,15].

II. BAHAN DAN TATA KERJA

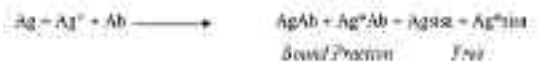
Dilakukan pemeriksaan menggunakan kit FT4 dengan teknik Radioimmuno Assay (RIA) dan kit TSH dengan teknik Immunoradiometric Assay (IRMA) terhadap 400 sampel darah ibu hamil dari 10 Puskesmas di Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah yaitu Puskesmas Salam. Srumbung, Dukun, Sawangan I, Sawangan II, Kaliangkrik, Pakis, Grabag I, Grabag II dan Windusari dimana masing-masing Puskesmas terdiri dari 40 sampel darah ibu hamil.

Pemeriksaan kadar hormon tiroid dilakukan dengan menggunakan dua teknik yaitu, Teknik RIA untuk menentukan kadar T4 bebas dan Teknik IRMA untuk menentukan kadar TSH [13,14].

1. Teknik *Radioimmuno Assay*

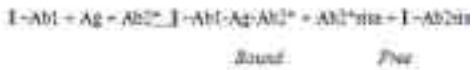
   Prinsip dasar teknik RIA adalah reaksi imunologik antara antigen (Analit/ Ligan/ Ag) dengan antibodi spesifik (zat pengikat/ binder/ Ab) membentuk kompleks (AgAb).

Ditambahkan analit Ag* yang identik dengan Ag tapi dilabel dengan zat radioaktif Iodium-125, dengan kata lain, Ag* bertindak sebagai marker/ petanda untuk Ag. Apabila jumlah Ab didalam sistem ini dibuat terbatas (kurang dari separuh jumlah Ag dan Ag*) maka hanya sebagian dari Ag yang dapat berikatan dengan Ab karena harus ber*kompetisi* dengan Ag*. Dengan membuat jumlah Ab dan Ag* tetap dan jumlah Ag yang diubah- ubah, dapat dibuat kurva Ag*Ab versus Ag (kurva standar/ *Dose- response curve*). Kadar analit yang ingin diketahui, dibaca dari kurva tersebut.



2. Tenik *Immuno Radiometric Assay*

   Prinsip dasar teknik IRMA secara umum sama dengan teknik RIA yakni reaksi imunologik antara antigen dalam sampel dan antibody dalam reagen, dimana sejumlah berlebih antibody bertanda radioaktif dibiarkan bereaksi/diinkubasi dengan antigen.



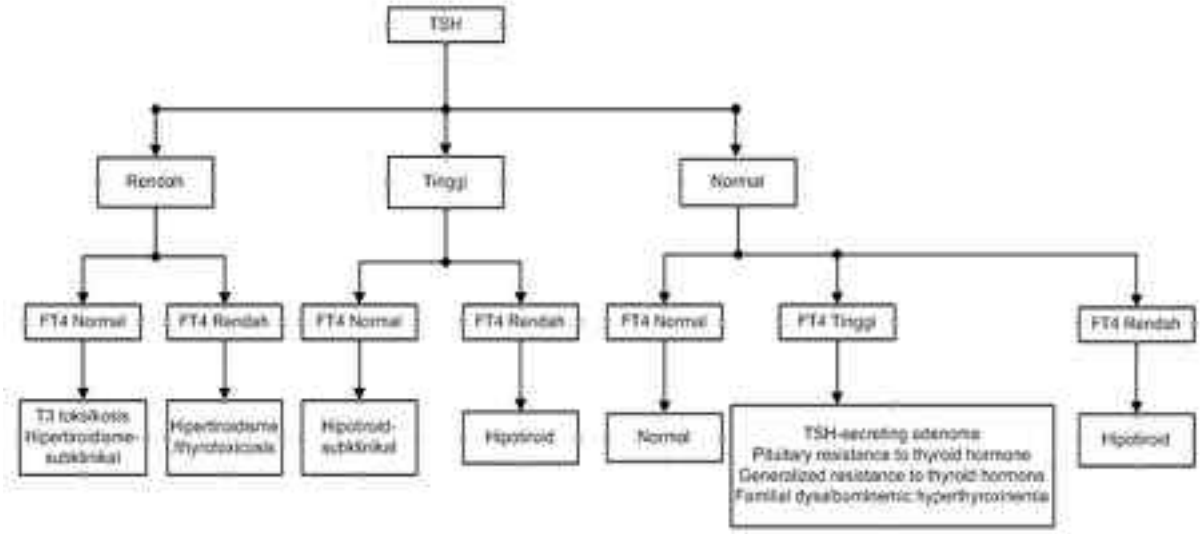
Fraksi *Bound* dan *Free* dipisahkan dengan dekantasi, selanjutnya dilakukan pengukuran radioaktifitas fraksi *Bound.* Hubungan antara radioaktivitas fraksi *Bound* dengan jumlah antigen dalam sampel adalah berbanding lurus.Hubungan ini digambarkan dalam kurva standar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN :

Kriteria yang digunakan untuk Diagnosa Hipotiroid adalah :

1. TSH meningkat, FT4 menurun
2. TSH meningkat, FT4 normal
3. TSH normal, FT4 menurun

Nilai normal pemeriksaan Free T4 adalah 0,77 – 1,7 ng/dl dengan menggunakan teknik RIA (Radio Immuno Assay), sedangkan nilai normal pemeriksaan TSH adalah 0,27 – 3,75 uIU/ml dengan menggunakan teknik IRMA (Immuno Radiometric Assay)



Gambar 1. Algoritma Diagnosa Hipotiroid [16].

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Hormon Tiroid (FT4 dan TSH) pada ibu hamil di Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah

	Pusk Salam	Pusk Srum bung	Pusk Dukun	Pusk Sawa ngan I	Pusk Sawa ngan II	Pusk Kaliang krik	Pusk Pakis	Pusk Grabag I	Pusk Grabag II	Pusk Windu sari	Jumlah
FT4 Normal TSH Normal	27	29	31	36	34	29	33	32	34	29	314
FT4 Menurun, TSH Meningkat	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	2
FT4 Normal TSH Meningkat	2	-	-	-	1	2	1	1	-	-	7
FT4 Menurun TSH Normal	9	9	6	3	2	4	2	-	5	7	47
FT4 Meningkat TSH Menurun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FT4 Normal TSH Menurun	2	2	2	-	3	5	4	7	1	4	30
FT4 Meningkat TSH Normal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	400

Tabel 3. Hasil pemeriksaan Hormon Tiroid (FT4 dan TSH) pada ibu hamil dengan diagnosa Hipotiroid di Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah

Hasil	Pusk Salam	Pusks Srum bung	Pusk Dukun	Pusk Sawa ngan I	Pusk Sawa ngan II	Pusk Kaliang krik	Pusk Pakis	Pusk Grabag I	Pusk Grabag II	Pusk Win dusari	Jumlah
FT4 menurun TSH mening kat	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	2
FT4 normal TSH mening kat	2	-	-	-	1	2	1	1	-	-	7
Ft4 menurun TSH normal	9	9	6	3	2	4	2	-	5	7	47
Jumlah	11	9	7	4	3	6	3	1	5	7	56

Tabel 4. Komparasi Usia ibu hamil yang mengikuti penelitian di Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah

Usia (Tahun)	Pusk Salam	Pusk Srum bung	Pusk Dukun	Pusk Sawa ngan I	Pusk Sawa ngan II	Pusk Kaliang krik	Pusk Pakis	Pusk Grabag I	Pusk Grabag II	Pusk Win dusari	Jumlah
15 - 25	18	15	13	22	16	29	24	19	21	20	197
26 - 35	21	22	24	17	19	11	13	18	17	18	180
36 - 45	1	3	3	1	5	-	3	3	2	2	23
Jumlah	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	400

Tabel 5. Komparasi Usia kehamilan ibu hamil yang mengikuti penelitian di Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah

Usia Kehamilan (Minggu)	Pusk Sala m	Pusk Srumb ung	Pusk Dukun	Pusk Sawan gan I	Pusk Sawan gan II	Pusk Kaliangkr ik	Pusk Pakis	Pusk Grabag I	Pusk Grabag II	Pusk Win dusari	Jumlah
1 - 12	12	14	13	11	17	15	15	13	7	8	125
13 - 24	28	26	27	29	23	25	25	26	27	28	264
25 - 36	-	-	-	-	-	-	-	1	6	4	11
Jumlah	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	400

Data yang diperoleh dari Puskesmas Salam, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 11 sampel (27,5%) dengan FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 2 sampel (5%), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 9 sampel (22,5%); dari Puskesmas Srumbung, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 9 sampel (22,5%) dengan FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 9 sampel (22,5%); dari Puskesmas Dukun , dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 7 sampel (17,5 %) dengan FT4 menurun dan TSH meningkat sebanyak 1 sampel (2,5 %), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 6 sampel (15 %); dari Puskesmas Sawangan I , dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 4 sampel (10 %) dengan FT4 menurun dan TSH meningkat sebanyak 1 sampel (2,5 %), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 3 sampel (7,5 %); dari Puskesmas Sawangan II, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 3 sampel (7,5 %) dengan FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 1 sampel (2,5 %), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 2 sampel (5 %); dari Puskesmas Kaliangkrik, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 6 sampel (15 %) dengan FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 2 sampel (5 %), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 4 sampel (10 %); dari Puskesmas Kaliangkrik, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 6 sampel (15 %) dengan FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 2 sampel (5 %), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 4 sampel (10 %); dari Puskesmas Grabag I, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 1 sampel (2,5 %) dengan FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 1 sampel (2,5%); dari Puskesmas Grabag II, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 5 sampel (12,5 %) dengan FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 5 sampel (12,5 %); dari Puskesmas Windusari, dari total 40 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 7 sampel (17,5 %) dengan FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 7 sampel (17,5 %). Data yang didapatkan dari 10 Puskesmas di Kabupaten Magelang , dari total 400 sampel diperoleh kasus yang didiagnosa Hipotiroid sebanyak 56 sampel (14%) dengan FT4 menurun dan TSH meningkat sebanyak 2 sampel (0,5 %), FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 7 sampel (1,75 %), FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 47 sampel (11,75 %)

Didapatkan kasus Hipotiroid pada ibu hamil di Kabupaten Magelang , dengan urutan yang terbanyak sebagai berikut : 1. Puskesmas Salam 11 sampel (27,5%), 2. Puskesmas Srumbung 9 sampel (22,5%), 3. Puskesmas Dukun 7 sampel (17,5%), 4. Puskesmas

Windusari 7 sampel ((17,5%), 5. Puskesmas Kaliangkrik 6 sampel (15%), 6. Puskesmas Grabag II 5 sampel (12,5%), 7. Puskesmas Sawangan I 4 sampel (10%), 8. Puskesmas Pakis 3 sampel (7,5%), 9. Puskesmas Sawangan I I 3 sampel (10%) dan 10. Puskesmas Grabag I 1 sampel (2,5%)

Kabupaten Magelang termasuk daerah endemik goiter yang dibeberapa kecamatan termasuk endemic berat. Pada penelitian ini dari 400 sampel darah ibu hamil di Kabupaten Magelang diperoleh kasus Hipotiroid sebanyak 56 sampel (14 %) dengan insidensi Hipotiroid pada ibu hamil terbanyak adalah Puskesmas Salam sebanyak 11 dari 40 sampel (27,5 %) serta Puskesmas Srumbung sebanyak 9 dari 40 sampel (22,5 %). Dari data responden diperoleh ibu hamil dengan rentang usia 15 – 43 tahun dengan rerata 25,95 ± 4,88 tahun sedangkan rentang usia kehamilan 3 – 33 minggu dengan rerata 14,99 ± 6,09 minggu.

Dari 400 sampel darah ibu hamil Kabupaten Magelang didapatkan 2 sampel (0,5 %) dengan FT4 menurun dan TSH meningkat sehingga dapat didiagnosa Hipotiroid yaitu 1 sampel dari Puskesmas Dukun dan 1 sampel dari Puskesmas Sawangan I. Sedangkan FT4 normal dan TSH meningkat sebanyak 7 sampel (1,75 %) yang dapat disebabkan Hipotiroid Subklinik dan dengan FT4 menurun dan TSH normal sebanyak 47 sampel (11,75 %) yang dapat disebabkan Hipotiroid sentral. Pada ibu hamil terutama pada awal kehamilan seringkali FT4 meningkat atau berada dalam rentang batas atas karena pengaruh HCG (Hormon Chorionic Gonadotropin), oleh sebab itu pada kehamilan kemungkinan hasil FT4 sebenarnya lebih rendah. Sedangkan kadar T3 dan T4 total tidak dapat dinilai karena akan meningkat dengan stimulasi hiperestrogen yang terjadi pada kehamilan.

Dengan adanya data ini, dapat memberi masukan kepada Dinas Kesehatan bahwa tingkat Hipotiroid pada ibu hamil di Kabupaten Magelang masih cukup tinggi (14 %) sehingga diperlukan sosialisasi pentingnya deteksi dini pada ibu hamil dengan pengambilan sampel darah , fortifikasi Iodium pada makanan (garam) dan pemberian capsul Iodium. Selain itu ibu hamil yang terdeteksi menderita Hipotiroid dapat diberikan pengobatan secepat mungkin sehingga bayi yang dilahirkan akan terhindar dari Hipotiroid Kongenital.

Secara tidak langsung dalam penelitian ini juga diperoleh data adanya kasus Hipertiroid subklinik sebanyak 30 sampel (7,5 %) sehingga dapat segera ditindak lanjuti.

IV. KESIMPULAN

1. Didapatkan 56 dari 400 sampel (14%) ibu hamil dengan Hipotiroid di Kabupaten Magelang dengan daerah Salam (11 dari 40 sampel = 27,5%) dan daerah Srumbung (9

dari 40 sampel = 22,5%) yang memiliki insidensi Hipotiroid tertinggi.

2. Rentang usia ibu hamil sebagai subyek penelitian adalah 15 – 43 tahun dengan rerata 25,95 ± 4,88 tahun dan yang paling banyak adalah usia 15 – 25 tahun (49,25%).
3. Rentang usia kehamilan ibu hamil sebagai subyek penelitian adalah 3 – 33 minggu dengan rerata 14,99 ± 6,09 minggu dan yang paling banyak adalah pada usia kehamilan 13 – 24 minggu (66%), sehingga masih ada kesempatan untuk memberikan pengobatan sebelum anak dilahirkan sehingga terhindar dari Hipotiroid Kongenital

Saran :

1. Dengan ditemukannya kasus Hipotiroid pada ibu hamil sebanyak 14% maka masih perlu dilakukan sosialisasi pentingnya fortifikasi Iodium dalam makanan (garam), pemberian capsul Iodium dan penegakkan diagnosa Hipotiroid pada ibu hamil melalui pemeriksaan hormon tiroid (FT4 dan TSH).
2. Ibu hamil yang ditemukan dengan Hipotiroid dapat segera dilakukan pengobatan untuk menghindari bayi lahir dengan Hipotiroid Kongenital
3. Mengingat masih cukup besar insidensi Hipotiroid pada ibu hamil di Kabupaten Magelang, maka penelitian serupa masih diperlukan dilakukan pada daerah lain yang termasuk daerah endemik goiter dengan TGR yang tinggi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. AZWAR AZRUL, Kecenderungan Masalah Gizi dan Tantangan di Masa Data, disampaikan pada Pertemuan Advokasi Program Perbaikan Gizi Menuju Keluarga Sadar Gizi, di Hotel Sahid Jaya, Jakarta, 27 September 2004
2. SOEWARTO SOETOMO, Hipotiroid Dalam Kehamilan: Masalah Dan Strategi Penatalaksanaan, RSUD Dr. Saiful Anwar Malang.
3. ANONIM, Rencana Aksi Nasional Kesinambungan Program Penanggulangan Goiter, 21 Oktober 2004, diambil dari www.gizi.net tanggal 13 maret 2009.
4. KARTONO DJOKO, *Urinary Iodine Concentration and Iodized Oil Capsules Distribution Amongst Pregnant Women*, Journal of The Indonesian Nutrition Association, vol XXIV, 2000.
5. MELYANI, Pentingnya Deteksi Dini Hipotiroid pada Ibu Hamil Dan Bayi Baru Lahir, Buletin Batan, Tahun XXVIII No 1, Jakarta, 2007.
6. MADINA NUSRAT, Magelang Yang Masih Terus Kekurangan Iodium, Kompas tanggal 10 Februari 2006.
7. ANONIM, Pelaksanaan Program Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan di Kabupaten Sumbawa, P3KRBIN, 2006.
8. ANONIM, Pelaksanaan Program Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan di Kabupaten Lombok, P3KRBIN, 2005.
9. ANONIM, Pelaksanaan Program Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan di Propinsi Jawa Timur, P3KRBIN, 2006.

10. ANONIM, Pelaksanaan Program Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan di Kabupaten Jepara, P3KRBIN, 2007.
11. ANONIM, Pendistribusian Kapsul BerIodium, www.gizi.net/pedoman-gizi diposting tanggal 17 Februari 2009.
12. DEPAMEDE SULAIMAN, Prinsip Dasar Teknik Radioimmunoassay, Kumpulan Makalah: Sosialisasi Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan, 2006.
13. SUSYATI, Aplikasi Teknik RIA/IRMA Pada Program Uji Saring Hipotiroidisme Kongenital Pada Bayi Baru Lahir, Seminar Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan, RSUD Dr.Saiful Anwar, Malang, Jawa Timur, 7 Juni 2003
14. SUSYATI, Laporan Akhir Pelaksanaan Kegiatan Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir Bidang Kesehatan di DIY dan Jawa timur, P3KRBiN, 2003
15. WAYAN REDIATNING, Dasar-dasar Radioimmunoassay, 25-27, Pengolahan Data Dalam RIA, 1-5, Trouble Shooting Dalam RIA, IQC dan EQAs Dalam RIA, 4-11, Diklat Operator Radioimmunoassay (RIA) PPR – BATAN – Serpong, PUSDIKLAT, Januari 1993.
16. MARK GURNELL, DAVID HALSALL, KRISHNA CHATTERJEE, Perplexing Thyroid Function Test, Department of Endocrinology University of Cambridge, UK.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Sri Aguswarini

Pertanyaan :

- Jika terjadi kelainan pada kelenjar tiroid sebaiknya tindakan apa yang harus dilakukan, apakah harus langsung tindakan operasi atau bisa dengan obat?

Jawaban :

- Tata laksana tergantung kepada jenis kelainan tyroid tersebut.

2. Penanya : Maskur

Pertanyaan :

- Mengapa pada penelitian ini dilakukan deteksi hipotiroid pada ibu hamil, apakah ibu hamil lebih rentan terkena hipotiroid disbanding dengan yang lain ?
- Apa dampak ibu hamil yang terserang hipotiroid ?
- Apa keunggulan metode RIA/ IRMA dalam deteksi hipotroid ?

Jawaban :

- Pada ibu hamil dampaknya juga kepada bayi yang dikandung.
- Dampaknya yaitu gangguan pada pertumbuhan gen.
- Keunggulan lebih sensitive, spesifik, dan murah.