

ISSN: 1412 - 2499

PROSIDING

Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan V

Tema:

“ Peran Teknologi Radiasi Pengion dan Non Pengion Dalam Bidang Keselamatan,
Kesehatan dan Lingkungan dalam Menyukseskan Pembangunan Nasional”

DEPOK, 14 OKTOBER 2009

Diselenggarakan oleh:



Pusat Teknologi Keselamatan
dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional



Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Indonesia

2009

KATA PENGANTAR

Dengan rahmat Allah Yang Maha Kuasa, PTKMR-BATAN bekerjasama dengan FKM-UI menyelenggarakan Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan V pada tanggal 14 Oktober 2009.

Tujuan dari seminar ini adalah sebagai wadah dan sarana temu ilmiah bagi para peneliti, akademisi, industri dan pemerhati IPTEK nuklir dan non-nuklir untuk berkumpul, berinteraksi dan bertukar informasi mengenai perkembangan teknologi keselamatan, kesehatan dan lingkungan. Tema Acara ini adalah “ Peran Teknologi Radiasi Pengion dan Non Pengion Dalam Bidang Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan dalam Menyukkseskan Pembangunan Nasional”

Pada seminar kali ini akan disajikan makalah dalam bentuk Sidang Pleno, Paralel dan Poster. Sidang pleno terdiri dari 4 makalah, Sidang Paralel 14 makalah, sedangkan Sidang Poster terdiri dari 14 makalah.

Untuk peserta pendengar selain dari instansi para penyaji makalah hadir juga dari para peneliti, akademisi, industri dan pemerhati IPTEK nuklir dan non-nuklir di seluruh Indonesia. Semoga penerbitan Prosiding ini dapat menambah khasanah ilmu pengetahuan sebagai media acuan dalam penelitian dan pengembangan keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Akhirnya, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya atas keterlambatan penerbitan prosiding ini. Kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan Prosiding, kami mengucapkan terima kasih.

Depok, 14 Oktober 2009

Panitia Penyelenggara

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Laporan Ketua Panitia	v
Susunan Panitia Seminar	vii
 <u>MAKALAH ORAL</u>	
ESTIMASI LAJU SEDIMENTASI DAN GEOKRONOLOGI POLUTAN DAERAH TELUK JAKARTA Ali Arman, Yulizon Menry dan Barokah Aliyanta	1
PENENTUAN KEDAPATULANGAN PADA ANALISIS RADIOSTRONTIUM DALAM SUSU Asep Setiawan	9
PENGARUH INFEKSI <i>Klebsiella pneumoniae</i> HASIL INAKTIVASI IRADIASI GAMMA TERHADAP DAYA TAHAN HIDUP MENCIT (<i>Mus musculus</i>) Rr.Bhintarti Suryohastari, S. Hermanto I.R.Munfarokhah dan I. Sugoro	18
ANALISIS DOSIS RADIASI YANG DITERIMA MATA, TIROID DAN CALVARIA PADA PASIEN YANG MENJALANI PEMERIKSAAN CT-SCAN BAGIAN KEPALA Dian Milvita , Desfitri Yana, Nunung Nuraeni dan Helfi Yuliati	25
FAKTOR TRANSFER RADIONUKLIDA ¹³⁴Cs DARI TANAH KE TANAMAN BAWANG PUTIH (<i>Allium sativum</i>) Juni Chussetijowati, Poppy Intan Tjahaya dan Putu Sukmabuana	31
PENENTUAN FAKTOR KOREKSI PADA PESAWAT TERAPI LINEAR ACCELERATOR (LINAC) VARIAN 2100C DENGAN VARIASI JARAK DAN VARIASI ARAH SUDUT DATANG SINAR RADIASI Melsy Putri Windayani, Dian Milvita, dan Heru Prasetyo	42
STUDI <i>p53</i>, AgNOR, MIB-1, INDEK MITOSIS DAN RESPON KEMORADIOTERAPI KANKER SERVIK Iin Kurnia, Irwan Ramli, Budiningsih Siregar Andri Andrijono , Cholid Badri	52
EFEK SISTEMATIS PENGUKURAN ARUS IONISASI PADA KAMAR PENGIONAN 4πγ. Pujadi, Gatot W dan Hermawan C.	62
SIMULASI KALIBRASI EFISIENSI PADA DETEKTOR HPGe DENGAN METODE MONTE CARLO MCNP5 Rasito, P. Ilham Y., Rini Heroe Oetami, dan Ade Suherman	71
PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP DAYA SAING KAWIN NYAMUK <i>Aedes aegypti</i> SEBAGAI VEKTOR DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD) Siti Nurhayati, Budi Santoso, Ali Rahayu dan Devita Tetriana	78

PENGUKURAN TINGKAT RADIASI DAN RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN DI INDONESIA Sutarman, Wahyudi, dan Asep Setiawan	86
RESPON IMUN SEBAGAI FAKTOR PENTING DALAM PENGEMBANGAN VAKSIN MALARIA DENGAN IRADIASI Mukh Syaifudin, Devita Tetriana, Darlina dan Siti Nurhayati	98
DISTRIBUSI KONSENTRASI 40K, 226Ra, 228Ra DAN 228Th DALAM SAMPEL TENORM DI FASILITAS PENELITIAN TENORM DI PTKMR – BATAN Wahyudi, Bunawas, Muji Wiyono dan Hidayati Rizkiyath Putri*)	113
EVALUASI BIOLOGIS RADIOFARMAKA 99mTc–CTMP UNTUK PENCITRAAN TULANG PADA HEWAN PERCOBAAN Yana Sumpena, Rizky Juwita Sugiharti, Iim Halimah, Misyetti, Rochestri Sofyan	124
<u>MAKALAH POSTER</u>	
PERAKITAN SISTEM TELEMONITOR RADIASI GAMMA PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH RADIOAKTIF MENGGUNAKAN RANGKAIAN KENDALI LOGIKA TERPROGRAM (MICROCONTROLLER) Adi Wijayanto, Arie Budiarti, L. Kwin P., M. Cecep Cepi H., Mahmudin	131
RESPON MAKROFAG PERITONEAL TERHADAP <i>Plasmodium berghei</i> STADIUM ERITROSITIK YANG DIIRADIASI Darlina, Devita T., dan Tur Rahardjo	139
PENGUKURAN KALIBRASI KELUARAN PESAWAT TERAPI LINIER ACCELERATOR (LINAC) DAN PENGUKURAN RESPON TLD-100 DENGAN METODA VARIASI DOSIS RADIASI dan LUAS LAPANGAN RADIASI Ellen Rhosa Rissi, Dian Milvita , dan Heru Prasetio	149
DOSIS RADIASI PASIEN RADIOLOGI ANAK PADA PEMERIKSAAN TORAK DI KOTA PADANG Hasnel Sofyan, Helfi Yuliati, Dian Milvita dan Sri Nengsih	158
PEMBUATAN SUMBER STANDAR Co-57 SEBAGAI SIMULATOR Tc-99m DENGAN SPEKTROMETER GAMMA Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto	165
PENGARUH SERAPAN DIRI TERHADAP EFISIENSI PENCACAHAN PARTIKEL ALFA PADA PENCACAH TIPE SCALER 2000 YANG DILENGKAPI DENGAN DETEKTOR ZnS(Ag) Makhsun, R. Buchari	174
STUDI AWAL KARAKTERISTIK SUMBER TENORM UNTUK FASILITAS KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI LINGKUNGAN Muji Wiyono, Bunawas dan Wahyudi	188

AKUMULASI DAN ELIMINASI RADIONUKLIDA Cs PADA IKAN LELE (<i>Clarias sp</i>) Poppy Intan Tjahaja dan Putu Sukmabuana	200
FAKTOR KOREKSI PENGUKURAN AKTIVITAS RADIOFARMAKA DENGAN <i>SYRINGE</i> DI KEDOKTERAN NUKLIR. Pujadi, Hermawan Candra dan Gatot Wurdianto	209
PENGGUNAAN RADIOFARMAKA ^{99m}Tc- HUMAN SERUM ALBUMIN NANOSFER UNTUK PENCITRAAN SUMSUM TULANG DAN DETEKSI INFLAMASI PADA HEWAN UJI Rizky Juwita Sugiharti, Iim Halimah, Prina Puspa Kania, Nanny Kartini	217
DETEKSI ABERASI KROMOSOM STABIL AKIBAT RADIASI GAMMA DENGAN TEKNIK FISH <i>DUAL PROBE</i> Sofiati Purnami, Yanti Lusiyanti, Dwi Ramadhani	227
PENGUKURAN TEGANGAN PUNCAK EFEKTIF BEBERAPA PESAWAT MAMMOGRAFI Suyati, Dyah Dwi K dan Nunung Nuraeni	236
PENENTUAN WAKTU OPTIMUM INKORPORASI P-32 PADA BAKTERI <i>Escherichia coli</i>, <i>Klebsiella pneumoniae</i> dan <i>Yersinia enterocolitica</i> Tiah Rachmatiah dan Irawan Sugoro	242
PENENTUAN KARAKTERISTIK PELURUHAN I-131 HASIL PRODUKSI LOKAL (09C31P403.036) DAN IMPOR (UN2910) MENGGUNAKAN SISTEM PENCACAH KAMAR PENGION Wijono, Pujadi dan Gatot Wurdianto	249
LAMPIRAN Lembar Pertanyaan Peserta Daftar Peserta	

LAPORAN KETUA PANITIA PADA PEMBUKAAN
SEMINAR NASIONAL KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINGKUNGAN V
GEDUNG PUSAT STUDI JEPANG
UNIVERSITAS INDONESIA, DEPOK, 14 OKTOBER 2009

- Yang kami hormati Kepala BAPETEN
- Yang kami hormati Bapak Deputi Kepala BATAN
- Yang kami hormati Bapak Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia
- Yang kami hormati Kepala Pusat di Lingkungan BATAN
- Yang kami hormati para Undangan
- Yang kami hormati Para Hadirin Penyaji dan Peserta Seminar

Assalamualaikum Wr Wb

Selamat pagi dan Salam sejahtera bagi kita semua

Marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah swt karena pada hari ini kita telah diberi kesempatan untuk dapat berkumpul disini dalam rangka menghadiri SNKKL V (Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan V). Masih dalam suasana Hari Raya Idul Fitri 1430 H, perkenankan kami menyampaikan Minal Aidin Walfaizin, mohon maaf lahir bathin.

SNKKL V ini diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR – BATAN) dan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia dan terkait juga dengan Hari Ulang Tahun Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia ke 44.

Bapak, Ibu, hadirin yang kami hormati

SNKKL V merupakan kelanjutan dari SNKKL I yang berlangsung dari tahun 2005 yang bertujuan memberikan kesempatan pada semua pihak terkait dengan masalah keselamatan, kesehatan dan lingkungan untuk membangun komunikasi, memperluas wawasan dalamidang iptek keselamatan, kesehatan dan lingkungan. Diharapkan kemitraan antara pakar, peneliti, praktisi dan pemangku kepentingan dalam bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan dapat lebih ditingkatkan lagi.

Seminar kali ini bertemakan “Peran Teknologi Radiasi Pengion dan Non Pengion Dalam Bidang Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan Dalam Menyukkseskan Pembangunan Nasional”. Tema ini diharapkan untuk mengingatkan kita bahwa, Teknologi Radiasi pengion dan Non Pengion merupakan suatu *asset* sangat berguna dalam menyukkseskan pembangunan bangsa Indonesia khususnya dalam bidang Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan. Dengan terciptanya komunikasi yang baik maka akan timbul pemahaman bersama dalam melihat peran

Teknologi Radiasi Pengion dan Non Pengion dalam Pembangunan Nasional yang berkelanjutan.

Bapak, Ibu, Hadirin yang kami hormati.

Perlu kami laporkan di sini, makalah yang terdaftar pada seminar ini berjumlah 33 makalah, baik yang berasal dari Batan maupun dari luar Batan seperti dari Universitas Andalas, Universitas Negeri Surakarta, Universitas Islam Negeri Jakarta dan Departemen Kesehatan. Setelah dilakukan penilaian oleh Tim Editor maka sebanyak 29 makalah diterima dan 4 makalah ditolak. Makalah yang ditolak lebih disebabkan oleh tidak ada kesesuaian dengan tema seminar ini. Sedangkan makalah yang diterima 15 dipresentasikan dalam bentuk oral 15 makalah dan dalam bentuk poster 14 makalah.

Peserta seminar ini juga dihadiri oleh berbagai kalangan baik dari peneliti, dosen, karyawan dari instansi pemerintah maupun swasta serta mahasiswa dari berbagai perguruan tinggi.

Pada seminar ini juga kami mendapat kehormatan dengan kehadiran 4 pembicara utama yang terhormat yaitu : Bapak Dr. Ir.As Natio, Kepala Bapeten, Prof. Dr. Suharsono, APU, Kepala P2O LIPI, Bapak Dr.Ir. Sjahrul M Nasri, M.Sc in Hyg, dan Bapak Afian Titof, MKKK, Praktisi Telekomunikasi Selular.

Bapak, Ibu, Hadirin yang kami hormati.

Kami menyadari bahwa Seminar ini sangat jauh dari kesempurnaan baik dari segi isi maupun penyelenggaraanya, oleh itu kami atas nama Panitia menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya.

Akhir kata kami ucapkan selamat datang, selamat mengikuti seminar, marilah kita berdiskusi, bertukar informasi dan saling menimba pengalaman baik dalam forum diskusi maupun dalam waktu rehat sehingga komunikasi antara kita akan berjalan lebih lancar lagi. Selanjutnya setelah kata sambutan ini, yang terhormat Bapak Deputi PDT BATAN, dan Bapak Dekan FKM UI berkenan memberikan sambutannya sekaligus membuka seminar ini secara resmi.

Terima kasih, Selamat Berseminar

Wassalamualaikum Wr. Wb

Ketua Panitia Seminar Nasional KKL V

Dr. Iin Kurnia, M.Biomed

SUSUNAN PANITIA

PENGARAH

1. Deputi Bidang PDT BATAN
2. Kepala PTKMR
3. Dekan FKM UI

PELAKSANA

Ketua : Dr. Iin Kurnia, M.Biomed

Wakil Ketua : 1. Heru Prasetyo, M.Si
2. Hendra,SKM,. M.KKK

Sekretariat : 1. Drs. Abdul Waid
2. Emil Lazuardi
3. Setyo Rini, SE

SEKSI-SEKSI

Persidangan : 1. Hermawan Chandra, S.Si
2. Devita Tetriana, S.Si
3. Wahyudi, S.ST
4. Ir. Gatot Suhariyono, M.Si

Konsumsi : 1. Dra. Siti Nurhayati
2. Nina Herlina, B.Sc

Dokumentasi : 1. Eka Djatnika Nugraha, A.Md
2. Toni Priatna

Perrengkapan : 1. Affan Ahmad, SKM
2. Muh. Stani A. A., A.Md
3. Itong Mulyana

TIM EDITOR

Ketua : Drs. Bunawas, APU

Wakil Ketua : Dra. Zubaidah Alatas, M.Sc

Anggota : 1. Prof. Eri Hiswara
2. Drs. Mukhlis Akhadi, APU
3. dr. Fadil Nazir, Sp.KN
4. Dr. Johannes R Dumais
5. Fatma Lestari, Ph.D

ESTIMASI LAJU SEDIMENTASI DAN GEOKRONOLOGI POLUTAN DAERAH TELUK JAKARTA

Ali Arman, Yulizon Menry dan Barokah Aliyanta

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya no 49, Jakarta 12440

ABSTRAK

ESTIMASI LAJU SEDIMENTASI DAN GEOKRONOLOGI POLUTAN DAERAH TELUK JAKARTA. Telah dilakukan penelitian di daerah Teluk Jakarta dengan tujuan untuk estimasi laju akumulasi sedimen dan geokronologi polutan menggunakan radionuklida alam ^{210}Pb . Sampel sedimen coring diambil menggunakan gravity core dari 2 lokasi (TJ22 dan TJ17A) di daerah Teluk Jakarta. Sampel dipotong tiap 2 cm, dipreparasi dan dianalisis menggunakan spektrometer alpha dengan detektor PIPS. Kandungan polutan (logam berat) diukur pada setiap lapisan sedimen dengan metode Analisis Pengaktifan Neutron. Umur sedimen ditentukan dengan model CRS (Constant Rate of Supply) dan laju sedimentasi ditentukan dengan model CIC (Constant Initial Concentration). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada lokasi TJ22 dan TJ17A masing-masing terdapat 3 lapisan sedimen yang berbeda dengan laju sedimentasi yang berbeda. Konsentrasi logam Cu dan Zn di kedua lokasi meningkat secara signifikan mulai tahun 1970-an hingga sekarang.

Katakunci: sediment, geokronologi, isotop alam, polutan, model sedimentasi.

ABSTRACT.

ESTIMATION OF SEDIMENTATION RATE AND GEOCHRONOLOGY POLLUTIONS IN JAKARTA BAY. The investigation of research in Jakarta Bay was done with the aims to estimate the sedimentation rates as well as the geochronology of pollutions using natural radionuclide ^{210}Pb . Sediment samples were collected using gravity corer from 2 different locations (TJ22 and TJ17A) from Jakarta Bay. Samples were sliced every 2 cm and analyzed by means of alpha spectrometer with PIPS detector. The pollutant contents were determined in each layer using neutron activation analysis method. Sediment age was determined by CRS model whilst the sedimentation rate was determined by CIC model. The result shows that in TJ22 and TJ17A have 3 distinctive layers which have different sedimentation rates. The concentration of Cr and Zn was increased significantly in both locations since 1970 up to now.

Keywords: sedimentation, geochronology, environmental isotop, pollutants, sedimentation model

1.PENDAHULUAN

Teluk Jakarta terletak di bagian utara kota metropolitan Jakarta berada pada koordinat 5050'LS – 607'LS dan 106042'BT – 10705'BT. Teluk Jakarta memiliki kedalaman rata-rata 15 m, luas area sekitar 514 km² yang membentang dari Tanjung Kait di sebelah barat (berbatasan dengan provinsi Banten) dan

Tanjung Gombang di sebelah timur (berbatasan dengan provinsi Jawa Barat)¹⁾. Terdapat 13 sungai yang berasal dari daerah Bogor dan sekitarnya dan melewati kota metropolitan Jakarta dan bermuara di teluk. Sungai-sungai tersebut memberi kontribusi yang besar pada proses sedimentasi di Teluk Jakarta dan juga adanya abrasi pada

daerah pantai. Laju sedimentasi yang cukup besar terjadi di daerah muara-muara sungai yang diakibatkan oleh aliran sungai yang membawa sedimen dari hulu dan selanjutnya terdeposit di teluk Jakarta.

Perubahan yang signifikan dalam lingkungan pesisir akibat pengaruh polutan terjadi mulai sekitar 50 sampai 100 tahun yang lalu. Perubahan lingkungan daerah pesisir dalam kurun waktu tertentu dapat dilihat melalui analisis kandungan polutan pada lapisan sedimen. Analisis tersebut akan menggambarkan antara lain; umur dan laju akumulasi sedimen, kontaminasi sedimen dan perubahan peruntukan daerah hulu (*upstream*). Walaupun telah banyak informasi tentang pencemaran daerah pesisir melalui analisis sedimen akan tetapi pada umumnya hanya dalam sedimen permukaan dan sedikit menyampaikan dari hasil analisis sedimen coring. Melalui analisis setiap lapisan sedimen coring terhadap kandungan radionuklida alam ^{210}Pb dapat ditentukan umur sedimen dan selanjutnya dianalisis kandungan logam berat pada setiap lapisan sedimen akan diperoleh kronologi pencemaran yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

Radionuklida alam ^{210}Pb dengan waktu paruh 22,3 tahun, telah digunakan secara luas untuk menentukan umur sedimen sejak Goldberg mengembangkan metodologi tersebut pada awal tahun 60-an²⁾. Pengukuran aktivitas spesifik ^{210}Pb pada lapisan sedimen coring dapat menentukan umur dan laju akumulasi sedimen hingga 150 tahun ke masa lampau. Sehingga penentuan umur sedimen

dengan ^{210}Pb sangat sesuai untuk digunakan sebagai tool untuk kajian perubahan dan kejadian dalam periode dimana aktivitas manusia mulai memberi dampak pada lingkungan dengan adanya perubahan yang signifikan pada lingkungan sekitar.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju sedimentasi serta geokronologi polutan logam berat Cu dan Zn di daerah Teluk Jakarta menggunakan radionuklida alam ^{210}Pb sebagai perunut melalui analisis profil unsupported ^{210}Pb .

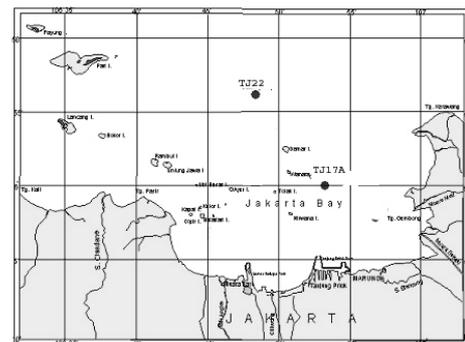
II. TATA KERJA (BAHAN DAN METODE)

Sedimen diambil menggunakan alat gravity core dengan diameter 4 cm dan panjang 50 cm pada 2 lokasi yaitu pada kedalaman 40 m (TJ 22) dan 20 m (TJ 17A) di daerah Teluk Jakarta (Gambar 1). Diperoleh tebalnya sedimen sampel coring pada lokasi TJ 22 dan TJ 17A adalah masing-masing 40 cm dan 30 cm. Sampel didinginkan dengan es batu dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis lebih lanjut. Sampel dipotong tiap 2 cm menggunakan alat potong dari bahan plastik untuk menghindari kontaminasi logam berat pada sampel. Selanjutnya sampel ditimbang, dikeringkan dan digerus dengan mortar. Kandungan air dan porositas ditentukan dari perbedaan berat basah dan berat kering sampel. Sampel dibagi dua, sebagian dianalisis kandungan logam beratnya dengan teknik aktivasi neutron untuk studi kronologi pencemaran dan sebagian dianalisis kandungan radionuklida alam ^{210}Pb untuk menentukan umur dan laju akumulasi

sedimen. Aktivitas ^{210}Pb ditentukan dari hasil pengukuran salah satu anak luruhnya yaitu ^{210}Po dengan asumsi terdapat kesetimbangan antara keduanya. Destruksi sampel mengikuti prosedur Sanchez-Cabeza⁴⁾ dengan sedikit modifikasi, secara singkat adalah pada 3 gram sampel sedimen kering diteteskan larutan standar ^{209}Po sebanyak 0,169 Bq sebagai tracer, ditambahkan 10 mL HCl(1:1), 10 mL HNO_3 (1:1), 15 mL H_2O dan beberapa tetes H_2O_2 dan dipanaskan pada suhu 800C sampai kering. Kemudian ditambahkan 10 mL HCl (1:1) dan 40 mL H_2O dan dipanaskan dan disaring. Filtrat dikeringkan sampai terbentuk endapan dan ditambahkan 4 mL HCl (1:1) dan diaduk. Selanjutnya ditepatkan volumenya menjadi 100 mL dengan menambahkan HCl 0,3N dan juga ditambahkan 400 mg asam askorbat. 50 mL diambil untuk deposisi spontan ^{210}Po dan ^{209}Po pada stainless steel disk. Kedua isotop dicacah dengan alpha spektrometer produksi Canberra dengan detektor PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon) area 450 mm², resolusi 20keV dan kondisi vakum. Pencacahan dilakukan selama sekitar 4 jam dan energi yang digunakan adalah 4,88 MeV untuk ^{209}Po (tracer) dan 5,305 MeV untuk ^{210}Po . Pengukuran background dilakukan pada periode yang sama dengan pengukuran sampel dan hasilnya dikurangkan pada hasil pengukuran sampel.

Supported ^{210}Pb diperoleh dari hasil pengukuran ^{226}Ra menggunakan gamma spectrometer produksi Canberra dengan detektor HPGe (High Pure Germanium) efisiensi 10% relative terhadap NaI(Tl) 3"x3",

resolusi 2,0 keV pada energi ^{60}Co 1332 keV dan detektor dilingkupi dengan shielding Pb setebal 10 cm dan lembaran Cu. ^{226}Ra ditentukan melalui anak luruhnya yaitu ^{214}Pb pada energi 352 keV. Sampel sebelum diukur, terlebih dahulu ditutup rapat dan didiamkan selama 1 bulan agar tercapai kesetimbangan antara radium dan anak luruhnya. Pengukuran sampel dan background dilakukan selama 24 jam dengan pengukuran background dilakukan pada periode yang sama dengan pengukuran sampel dan hasilnya dikurangkan terhadap hasil sampel. Unsupported ^{210}Pb diperoleh dari pengurangan total ^{210}Pb dengan supported ^{210}Pb .



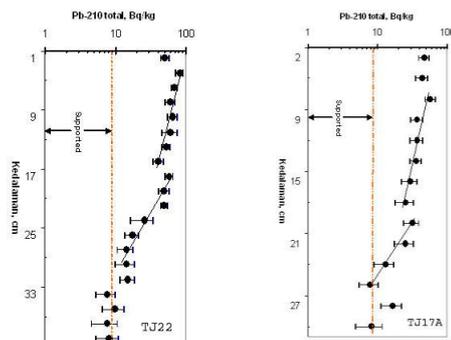
Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel coring (TJ22 dan TJ17A) daerah Teluk Jakarta menggunakan gravity core.

Analisis logam berat Cu dan Zn pada setiap lapisan sedimen ditentukan dengan metode pengaktifan neutron. Sedimen kering dari tiap-tiap lapisan dan standar SL-1 masing-masing sebanyak 200 mg dimasukkan ke dalam kantong plastik polietilen dan ditutup rapat. Sampel dikirim ke reaktor riset Batan di Puspiptek Serpong untuk diiradiasi menggunakan fasilitas analisis pengaktifan neutron. Sampel diiradiasi selama 15 menit dengan fluks order 10^{13} neutron/cm².detik.

Sampel yang telah aktif dibawa ke laboratorium kelautan PATIR Pasar Jumat untuk dianalisis dengan spektrometri gamma. Pengukuran dilakukan selama 30 menit untuk tiap-tiap sampel dan standar, selanjutnya penentuan konsentrasi (analisis kuantitatif) diperoleh dengan membandingkan antara sampel dan standar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

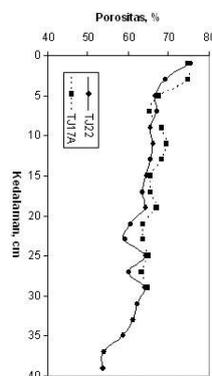
Profil total ^{210}Pb dan supported ^{210}Pb pada coring TJ22 dan TJ17A ditampilkan pada Gambar 2 dan porositas sedimen terhadap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 3. Porositas pada kedua coring cukup tinggi di permukaan hingga kedalaman 6 cm pada TJ17A dengan porositas 74,6 % dan 4 cm pada TJ22 dengan porositas 75 %, sedangkan pada masing-masing lapisan dibawahnya tidak jauh berbeda sepanjang coring dengan rata-rata 65,5 % dan 63,8 %, hal ini disebabkan oleh proses pengendapan dari partikel suspensi yang belum terpadatkan. Supported ^{210}Pb yang merupakan hasil pengukuran ^{226}Ra dengan asumsi kesetimbangan dengan ^{210}Pb dan ^{226}Ra diukur pada lapisan sedimen permukaan, tengah dan bawah. Besarnya supported ^{210}Pb pada lokasi TJ22 dan TJ17A adalah 8 Bq/kg dan 9 Bq/kg yang merupakan rata-rata dari pengukuran pada ke tiga lapisan tersebut.



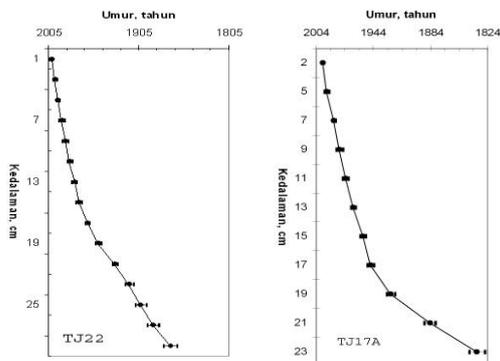
Gambar 2. Profil ^{210}Pb terhadap kedalaman sampel sedimen coring lokasi TJ22 dan TJ17A, Teluk Jakarta.

Unsupported ^{210}Pb yang merupakan selisih antara total ^{210}Pb dan supported ^{210}Pb , cenderung makin kecil konsentrasinya dari lapisan atas ke bawah hingga kedalaman 28 cm dan 26 cm pada masing-masing TJ22 dan TJ17A, yaitu sebesar 65 Bq/kg dan 40 Bq/kg pada masing-masing permukaan. Penentuan laju akumulasi dan umur sedimen dapat ditentukan dengan beberapa model yaitu CF:CS (Constant Flux: Constant Sedimentation rate), CRS (Constant Rate of Supply) dan CIC (Constant Initial Concentration) atau kombinasinya bergantung dari profil ^{210}Pb terhadap kedalaman^{6,7,8,9}. Pada Gambar 3 ditunjukkan grafik log-linier pada kedua lokasi antara unsupported ^{210}Pb terhadap kedalaman tidak membentuk satu garis lurus, sehingga diperoleh 3 lapisan sedimen dengan slope yang berbeda, yang menunjukkan laju sedimentasi yang berbeda. Ketiga lapisan tersebut adalah LS1 (mixing layer) (0-2) cm, LS2 (2-16) cm dan LS3 (16-26) cm pada TJ22 dan LS1 (mixing layer) (0-6) cm, LS2 (6-18) cm dan (18-24) cm pada TJ17A. Mixing layer umumnya diakibatkan oleh proses sedimentasi (pengaruh arus dan

gelombang), gangguan pada saat sampling dan juga karena pengaruh aktivitas binatang kecil (invertebrata) yang dapat menggali hingga kedalaman beberapa cm⁵). Adanya mixing layer ini didukung oleh hasil analisis porositas yang menunjukkan nilai porositas cukup besar pada permukaan dibandingkan dengan lapisan dibawahnya seperti diuraikan sebelumnya. Oleh karena itu laju akumulasi sedimen tidak dapat dihitung pada lapisan tersebut.



Gambar 3. Porositas sedimen coring TJ22 dan TJ17A.



Gambar 4. Umur lapisan sedimen coring lokasi TJ22 dan TJ17A, Teluk Jakarta.

Berdasarkan profil ²¹⁰Pb pada lokasi TJ22 dan TJ17A, laju akumulasi ditentukan dengan pendekatan model CIC dan diperoleh hasil perhitungannya seperti dicantumkan pada Tabel 1. LS1 (mixing layer) pada TJ22 hanya

pada lapisan pertama (2 cm) sementara pada TJ17A mencapai kedalaman 6 cm, perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh lokasi TJ17A yang lebih dekat ke pantai. Seperti diketahui bahwa dinamika laut karena pengaruh antara lain arus, gelombang dan pasang surut air laut lebih tinggi di daerah pantai dibandingkan dengan daerah yang lebih dalam, dimana proses pengendapan sedimen suspensi pada laut dalam terjadi secara alami.

Laju akumulasi pada LS2 cukup tinggi dibandingkan dengan LS3 pada TJ22 yaitu sekitar 8 kali lebih tinggi, demikian juga pada TJ17A yaitu sekitar 7 kali lebih besar (Tabel 1). Laju akumulasi tersebut adalah hasil rata-rata dari setiap lapisan (tiap 2 cm) yang ada pada masing-masing LS2 dan LS3. Berdasarkan umur lapisan sedimen dengan metode CRS diperoleh bahwa pada LS2 berumur antara tahun 1970 dan 1999 dan LS3 berumur antara tahun 1900 dan 1970 (Gambar 4). Perbedaan laju akumulasi yang cukup besar antara tahun 1970 sampai 1999 (LS2) dan tahun 1900 sampai 1970 (LS3) dapat dikaitkan dengan perubahan yang terjadi di daerah hulu dan sepanjang aliran sungai-sungai bermula dari tahun sekitar 1970-an. Perubahan peruntukan lahan di daerah hulu sungai dan sepanjang aliran sungai terjadi mulai pada tahun tersebut yaitu dimulainya pembangunan perumahan dan gedung-gedung pada daerah-daerah serapan air. Proses penggundulan lahan di daerah hulu mengakibatkan tingginya sedimen suspensi yang terbawa oleh aliran sungai-sungai dan mengendap di Teluk Jakarta. Penyebab

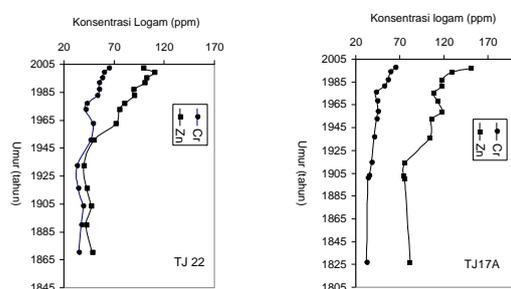
lainnya juga kemungkinan karena adanya abrasi di daerah pantai karena perubahan lahan menjadi daerah pemukiman dan perkantoran. Umur lapisan sedimen pada lokasi TJ17A pada lapisan LS2 berkisar antara tahun 1960 sampai 1996 dan LS3 antara tahun 1920 sampai 1960.

Tabel 1. Laju akumulasi sedimen pada tiap lapisan daerah lokasi TJ22 dan TJ17A.

Lokasi	Layer (cm)	Slope	Laju akumulasi sedimen (cm/tahun)
		Koef. Regresi	
TJ22	LS1 (0-2)	<i>Mixing layer</i>	-
	LS2 (2-16)	-0,053	0,586
		R = 0,92	
	LS3 (16-26)	-0,422	0,074
		R = 0,96	
	TJ17A	LS1 (0-6)	<i>Mixing layer</i>
LS2 (6-18)		-0,036	0,852
		R = 0,93	
LS3 (18-24)		-0,270	0,115
		R = 0,94	

Laju akumulasi pada LS2 antara TJ22 dan TJ17A (umur sedimen yang mendekati periode yang sama) cukup berbeda yaitu sekitar 1,5 kali lebih besar di daerah TJ17A, hal ini kemungkinan disebabkan lokasi TJ17A yang lebih dekat ke pantai dan muara sungai yang memberi kontribusi yang sangat besar terhadap tebalnya endapan sedimen di daerah tersebut. Hal yang sama juga terlihat pada LS3 antara TJ22 dan TJ17A, yang juga kemungkinan disebabkan juga oleh lokasi TJ17A yang lebih dekat ke pesisir pantai dibandingkan TJ22.

Hasil analisis kandungan logam berat Zn dan Cu pada TJ22 dan TJ17A ditampilkan pada Gambar 5. Konsentrasi dan profil logam Cu sepanjang sedimen core pada kedua lokasi hampir sama. Mulai dari tahun 1800-an hingga tahun 1970-an, konsentrasi logam Cr hampir konstan pada kedua lokasi yaitu sekitar 40 ppm. Selanjutnya nilai kandungan Cr tersebut dapat diasumsikan sebagai nilai background. Namun setelah tahun 1970-an sampai sekarang terjadi peningkatan kandungan logam Cu dalam sedimen di lokasi TJ22 dan TJ17A dari 40 ppm hingga hampir 2 kali yaitu sekitar 70 ppm di lapisan permukaan. Peningkatan kandungan Cr dalam sedimen tersebut dimungkinkan karena adanya kontribusi dari aliran sungai-sungai yang membawa limbah ke Teluk Jakarta. Kandungan dan profil logam Zn pada kedua coring hampir sama dalam periode tahun 1800-an hingga 1910-an dengan konsentrasi Zn yang konstan sebesar 70 ppm. Nilai tersebut dapat diasumsikan sebagai



Gambar 5. Konsentrasi Cu dan Zn sedimen coring TJ 22 dan TJ 17A daerah Teluk Jakarta

konsentrasi background dari Zn di daerah Teluk Jakarta. Akan tetapi kandungan logam Zn pada TJ22 tetap konstan hingga tahun 1950-an dan kemudian meningkat secara signifikan hingga sekarang dengan konsentrasi 110 ppm di permukaan. Kandungan logam Zn pada coring TJ17A berbeda dengan TJ22 dengan konsentrasi Zn yang meningkat secara signifikan hingga sekarang dengan konsentrasi Zn mencapai 2 kali dari tahun sebelumnya sebesar 150 ppm.

IV. KESIMPULAN.

Berdasarkan profil unsupported ^{210}Pb pada lokasi TJ22 dan TJ17A daerah Teluk Jakarta, diperoleh 3 lapisan sedimen yaitu LS1, LS2 dan LS3 dengan kedalaman dan laju akumulasi yang berbeda. LS1 yang terdapat pada permukaan sedimen merupakan mixing layer, sedangkan LS2 dan LS3 adalah lapisan berada dibawahnya. Laju akumulasi LS2 pada TJ22 dan TJ17A adalah masing-masing 0,586 cm/tahun dan 0,852 cm/tahun dan laju akumulasi LS3 pada TJ22 dan TJ17A adalah 0,074 cm/tahun dan 0,115 cm/tahun. Tingginya laju akumulasi pada LS2 untuk kedua sedimen core dibandingkan dengan LS3 (mulai tahun 1970-an) berkorelasi dengan perubahan yang terjadi di daerah hulu dan sepanjang aliran sungai yang teridentifikasi mulai tahun 1970-an. Selanjutnya berdasarkan kandungan logam Cu dan Zn diperoleh bahwa konsentrasi kedua logam tersebut meningkat secara signifikan mulai dari tahun 1970-an yang juga berkaitan dengan meningkatnya laju sedimentasi di

daerah Teluk Jakarta. Hal ini berkaitan dengan meningkatnya populasi penduduk di daerah Jakarta dan sekitarnya dan awal perkembangan pembangunan melalui program seperti REPELITA. Peningkatan populasi dan perkembangan pembangunan mempunyai pengaruh pada perubahan tata ruang tanah untuk pemukiman dan industri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Palanques, A., Sanchez-Cabeza, J.A., Masque, P., and Leon, L., Historical Record of Heavy Metals in a Highly Contaminated Mediterranean Deposit: The Besos Prodelta. *Marine Chemistry* 61;1998:209-217.
2. IAEA-TECDOC 298, Radioisotopes in sediment studies, (1983).
3. Sanchez-Cabeza, J.A., Masque, P., Schell, W.R., Palanques, A., Valiente, M., Palet, C., Obiol, R.P., and Cano, J.P., Record of anthropogenic environmental impact in the continental shelf north of Barcelona city, *Proceeding of a symposium, IAEA, 1993.*
4. Sanchez-Cabeza, J.A., Masque, P., Ani-Ragolta, I., Merino, J., Frignani, M., Alvisi, F., Palanques, A. and Puig, P., Sediment accumulation rates in the southern Barcelona continental margin (NW Mediterranean Sea) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology, *Progress in Oceanography*, 44 ;1999: 313-332.
5. IAEA-TECDOC 1360, Collection and preparation bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements, July 2003.
6. Theng, T.L., Ahmad, Z. and Mohammed A.R., Estimation of sedimentation rates using ^{210}Pb and ^{210}Po at the coastal water of Sabah, Malaysia, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol 256, no.1, (2003), 115-120.
7. Kumar, U.S., Navada, S.V., Rao, S.M., Nachiappan, Rm.P., Kumar, B., Krishnamoorthy, T.M., Jha, S.K., and Shukla, V.K., Determination of recent sedimentation rates and pattern in Lake Naini, India by ^{210}Pb and ^{137}Cs dating

- techniques, *Applied Radiation and Isotopes*, 51 (1999), 97-105.
8. Soehoed, A.R., *Banjir Ibukota, tinjauan histories dan pandangan ke depan*, Djambatan, 2002.

PENENTUAN KEDAPATULANGAN PADA ANALISIS RADIOSTRONTIUM DALAM SUSU

Asep Setiawan

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

PENENTUAN KEDAPATULANGAN PADA ANALISIS RADIOSTRONTIUM DALAM SUSU. Penentuan kedapatulangan pada analisis radiostronsium dalam susu telah dilakukan. Pada penentuan kedapatulangan ini ditentukan pada dua tahapan analisis yaitu tahap pengolahan awal menggunakan asam nitrat pekat yang diikuti dengan ekstraksi pelarut menggunakan ammonium oksalat dan tahap pemisahan/pemurnian dengan cara pengendapan menggunakan sodium karbonat. Penentuan kedapatulangan pada metode ini digunakan penurut stronsium (^{85}Sr) yang diukur menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HPGe. Dari hasil diperoleh persen kedapatulangan rata-rata sebesar 84%. Penentuan kedapatulangan ini selesai dilakukan selama 3 hari.

Kata kunci : kedapatulangan, radiostronsium, susu.

ABSTRACT

DETERMINATION OF RECOVERY ON ANALYSIS OF RADIO STRONTIUM IN MILK. Determination of recovery on analysis radio strontium in milk has been conducted. In this determination of recovery two analysis steps involved: pre-treatment with concentrated nitric acid follow by extraction of solvent with ammonium oxalate and treatment with precipitation using sodium carbonate. Determination of recovery on this methode using strontium tracer (^{85}Sr) and measured with using HPGe detector of gamma spectrometer. The results of the ^{85}Sr recovery are about 84%. It takes 3 days to run all separation procedure.

Keywords: recovery, radiostrontium, milk.

I. PENDAHULUAN

Setiap teknologi yang dimanfaatkan dalam kehidupan manusia mengandung resiko, apalagi jika penggunaannya tidak berhati-hati. Teknologi nuklir sebagai teknologi canggih, juga mengandung resiko itu. Jatuhan debu radioaktif (*fall out*) yang berasal dari kecelakaan nuklir atau ledakan percobaan bom nuklir adalah contoh resiko teknologi tersebut. Pembakaran bahan bakar reaktor nuklir PLTN atau disebut dengan reaksi pembelahan inti pada bahan bakar reaktor (^{235}U), akan dihasilkan bermacam-macam unsur

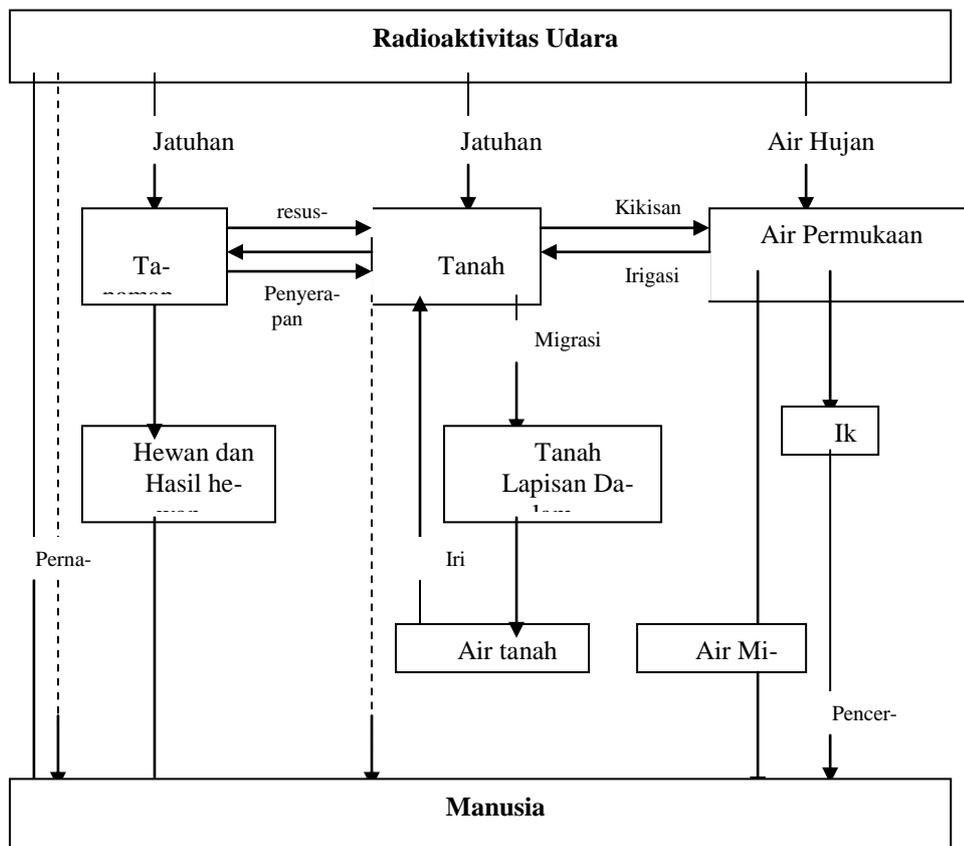
radioaktif hasil belah (fissi) seperti ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{137}Ba , dan ^{144}Ce ¹.

Jatuhan debu radioaktif yang dilepaskan sebagian akan jatuh ke tanah. Tanah merupakan tempat penyimpanan cadangan air, sumber mineral dan unsur hara bagi tanaman. Apabila tanah terkontaminasi oleh zat radioaktif, maka zat radioaktif akan terserap oleh akar tanaman. Jika tanaman dimakan oleh manusia secara langsung atau melalui perantara hewan, maka zat radioaktif akan terakumulasi dalam organ tubuh dan dapat menjadi radiasi internal di dalam tubuh

seperti terlihat pada daur utama pencemaran radioaktivitas lingkungan (Gambar 1.).

Ledakan yang terjadi dalam kecelakaan nuklir atau percobaan bom nuklir menentukan tinggi sebaran debu radioaktif. Tinggi sebaran zat radioaktif akan menentukan waktu dan letak jatuhnya. Debu radioaktif hasil ledakan bom nuklir dengan kekuatan beberapa megaton akan dapat mencapai ketinggian *stratosfer*.

Pada ledakan ini debu radioaktif akan tersebar ke seluruh dunia dan sulit diramalkan dimana, kapan serta bagaimana debu radioaktif tersebut akan jatuh ke bumi. Diperkirakan debu radioaktif akan melayang di lapisan atmosfer selama 5 tahun setelah itu baru jatuh ke bumi.



2.

Gambar 1. Daur Utama Pencemaran Radioaktivitas Lingkungan².

Teknologi PLTN saat ini sudah sangat mutakhir dengan sistem keamanannya yang ketat dan berlapis, sehingga kemungkinan unsur radioaktif terlepas ke lingkungan sangat kecil sekali. Namun demikian pengawasan dan pemantauan lingkungan tetap perlu dilakukan secara berkala disekitar instalasi. Tujuannya adalah untuk dapat mengetahui sedini mungkin bila ada unsur radioaktif hasil belah inti yang terlepas.

Radio strontium (^{90}Sr) adalah salah satu unsur paling berbahaya dari jatuhnya radioaktif. Radionuklida ini merupakan produk utama dari reaksi fisi U-235 dan Pu-239, selain dari percobaan senjata nuklir dan kecelakaan reaktor nuklir. Oleh karena itu radionuklida ^{90}Sr biasanya digunakan sebagai indikator keberadaan cemaran radionuklida hasil fisi dalam lingkungan³. Isotop ini akan terdeposisi dalam tulang dengan resiko yang tinggi penyebab penyakit kronis. ^{90}Sr adalah pemancar beta murni dengan energi rata-rata 195,8 keV dan memiliki energi maksimum 540 Kev dengan waktu paruh panjang yaitu 28,6 tahun dan radiotoksitasnya tinggi⁴. Strontium mempunyai banyak kemiripan dengan kalsium, barium dan radium. Unsur ini mengikuti kalsium dalam perjalanan lintas rantai makanan ke dalam tubuh manusia.

Radioisotop yang masuk dalam tubuh memiliki target organ tertentu. Organ target adalah organ yang mempunyai serapan terbesar untuk radioisotop jika radioisotop tersebut masuk ke dalam tubuh dibandingkan dengan organ lainnya. Organ target dari ^{90}Sr adalah tulang. Jika makanan yang

tercemar radioisotop dikonsumsi oleh manusia maka radioisotop tersebut ikut terbawa masuk ke dalam tubuh. Radioisotop dalam *organ target* akan meradiasi organ. Untuk radioisotop-radionuklida berumur paro efektif panjang seperti ^{90}Sr periode paparan radiasi akan berlangsung lama. Karena radiasi nuklir bersifat mengionkan media yang dilewati maka organ yang terkena radiasi dapat menjadi rusak. Efek yang mungkin muncul misalnya timbulnya kanker dan kematian sel organ. Akibatnya organ tidak dapat berfungsi dengan semestinya dan mengganggu kesehatan manusia.

Perunut ^{85}Sr digunakan untuk menentukan kedapatulangan ^{90}Sr dalam prosedur analisa. Persentase kedapatulangan ^{90}Sr dihitung berdasarkan perbandingan nilai konsentrasi aktivitas ^{85}Sr pada sampel dengan standar perunut ^{85}Sr . Perunut ^{85}Sr mempunyai sifat kimia yang sama dengan ^{90}Sr . Sehingga setiap reaksi kimia yang terjadi pada ^{90}Sr dalam proses analisa juga akan terjadi pada ^{85}Sr . ^{85}Sr merupakan pemancar gamma gamma dengan energi 514 keV dan memiliki waktu paruh 64.84 hari⁴ sehingga penentuan konsentrasi aktivitas ^{85}Sr dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer gamma.

Perunut ^{85}Sr banyak dipakai di bidang pertanian, industri dan kedokteran nuklir sebagai perunut karena energi gamma yang dipancarkannya cukup rendah sekitar 514 keV (99,27 %) dan dapat di deteksi dengan mudah dengan peralatan sederhana seperti detektor kamar pengion, detektor sintilasi [NaI(Tl)] dan detektor semikonduktor (HP-Ge) ⁵. Disamping itu waktu

paronya yang tidak terlalu pendek sekitar 64,84 hari, dapat memberikan keleluasaan untuk pengamatan dan penyelidikan.

Penggunaan metoda perunut dalam penentuan kedadatulangan ^{90}Sr akan mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan penentuan kedadatulangan ^{90}Sr dengan metoda penimbangan. Sangat sulit melakukan pemisahan antara Stronsium dan Calsium karena keduanya merupakan unsur pada golongan yang sama, sehingga memiliki sifat kimia yang sama. Jadi dimungkinkan endapan stronsium yang didapat tidak murni, sehingga unsur-unsur pengganggu akan mempengaruhi besarnya kesalahan yang timbul pada saat penimbangan. Sedangkan bila digunakan perunut ^{85}Sr , maka hanya zat yang memiliki sifat radioaktif pemancar gamma saja yang akan terukur pada alat. Pada peneliatian ini akan ditentukan persentase kedadatulangan perunut ^{85}Sr pada beberapa tahapan analisis.

II. METODOLOGI

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah : corong buchner, filter Whatman 42, peralatan gelas, pengaduk magnet berlapis teflon, *hot plate* Cimarec - Amerika, *water bath* Memmert, pH meter Hanna, filter fiber gelas, oven Memmert, muffle furnace seri 62700 Memmert, pemusing Damin Div, marinelly, spektrometer gamma dengan Detektor HPGe (Ortec GEM 25185).

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah : strontium carrier, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 10 mg/mL, Yttrium carrier, $\text{Y}(\text{NO}_3)_2$ 10 mg/mL, Barium carrier, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 10 mg/mL, perunut ^{85}Sr sekitar 45 kBq L-1, Methyl merah indikator, larutan Ammonium chlorida 15%, asam aksalat (1 : 1), Ammonium oxalate jenuh, Methanol, Sodium hydroxide 4M, Sodium carbonate 20%, asam nitrat pekat, asam nitrat 2M, asam nitrat berasap, asam oksalat 6M, Ammonium oxalate 6M, Ammonium hydroxide pekat, Hydrogen chloride, HCl pekat, Sodium chromate 0.3 M, Potasium chromate 1.5M, Sodium nitrate, 6M, Hydrogen peroxyde 30%, aquades.

2. Tata Kerja

A. Pengolahan awal

1. Satu liter susu segar dimasukan ke dalam beker gelas 2 L.
2. Tambahkan 1 mL Sr carrier, ^{85}Sr perunut, 80 mL HNO_3 (c) dan panaskan larutan menggunakan penangas air pada suhu 80°C selama 2 jam.
3. Saring sanpel menggunakan corong buchner, dan cuci endapan dengan 50 mL 2M HNO_3 3 kali.
4. Endapat diukur denga spektrometer gamma untuk menentukan kehilangan perunut pada tahap ini.
5. Buang endapan dan tuang filtrat ke dalam beker 2 L.
6. Tambahkan 10 tetes indikator methyl merah, 50 mL 15% NH_4Cl , dan 10 tetes CH_3COOH (1:1) ke dalam filtrat.
7. pH larutan dijadikan 5 dengan NH_4OH pekar. Panaskan larutan menggunakan penangas air pada

80°C selama 1 jam. Tambahkan $\text{NH}_4\text{C}_2\text{O}_4$ jenuh ketika larutan masih panas, lalu dinginkan.

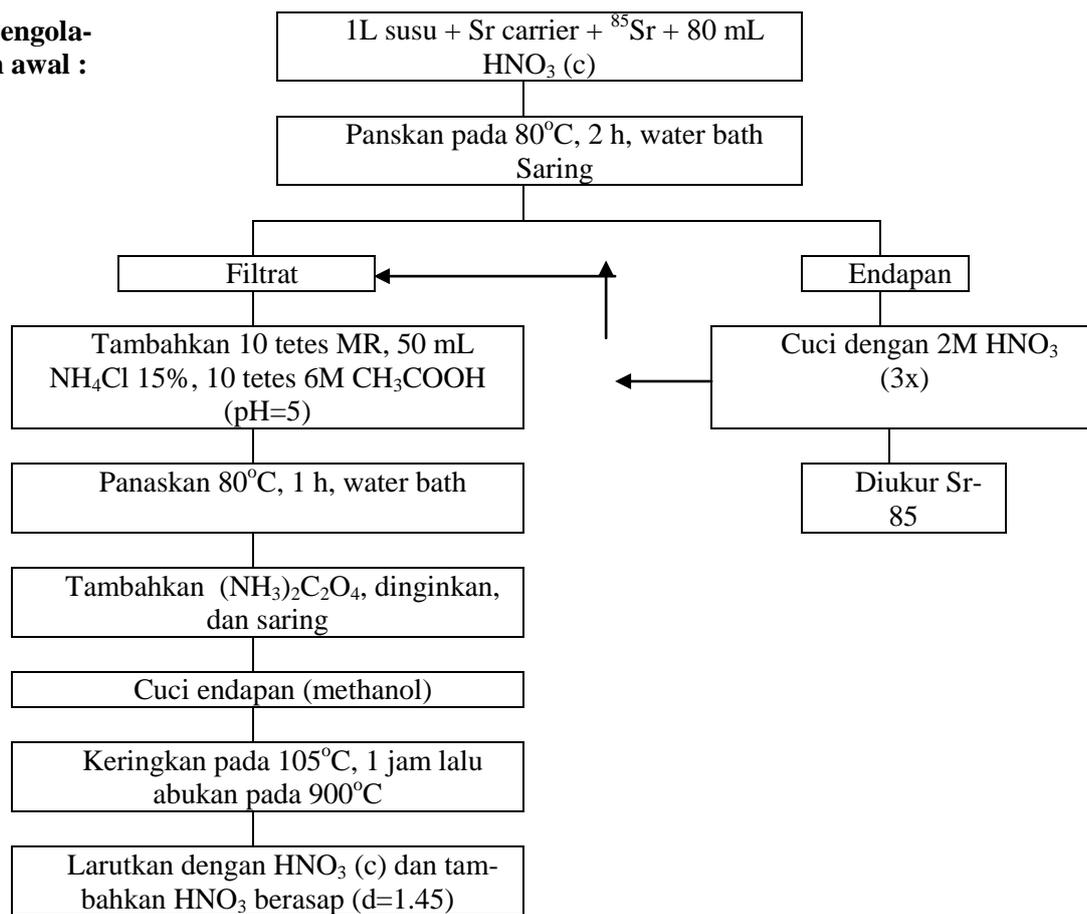
8. Saring sampel dengan filter kertas Whatman 42 menggunakan pompa vakum. Cuci endapan dengan methanol. Keringkan endapan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam dan abukan dalam furnace pada suhu 900°C selama 30 menit.
9. Larutkan abu dengan sedikit HNO_3 pekat.

B. Pemisahan dan Pemurnian

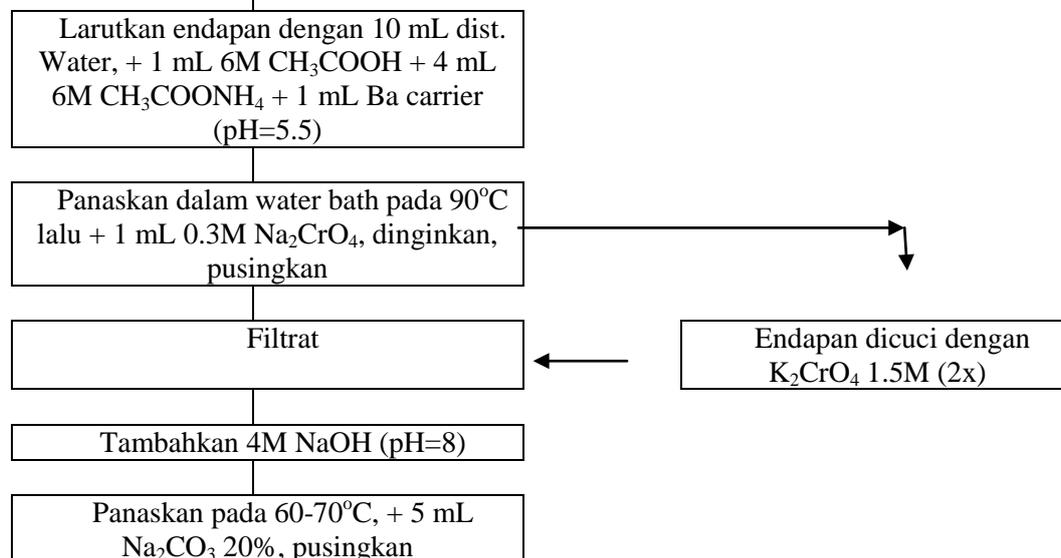
1. Tambahkan HNO_3 berasap ke dalam larutan sampai densitas larutan menjadi 1,45. Biarkan larutan sampai asapnya hilang. Pusingkan larutan dan buang filtratnya.
2. Larutkan endapan dengan 10 mL air.
3. Tambahkan 1 mL 6M CH_3COOH , 4 mL 6M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, dan 1 mL Ba carrier. Jadikan pH 5.5 dengan NH_4OH .
4. Panaskan larutan menggunakan penangas air pada suhu 90°C lalu tambahkan 1 mL 0.3M Na_2CrO_4 .
5. Dinginkan larutan pada suhu kamar dan pusingkan.
6. Pindahkan larutan ke dalam tabung pemusing lainnya. Cuci endapan dengan 1.5M K_2CrO_4 dua kali dan buang endapan. Pindahkan larutan pencuci ke dalam tabung pemusing di atas.
7. Jadikan pH 8 dengan 4M NaOH .
8. Panaskan larutan menggunakan penangas air pada suhu 60-70°C. Tambahkan 5mL 20% Na_2CO_3 .

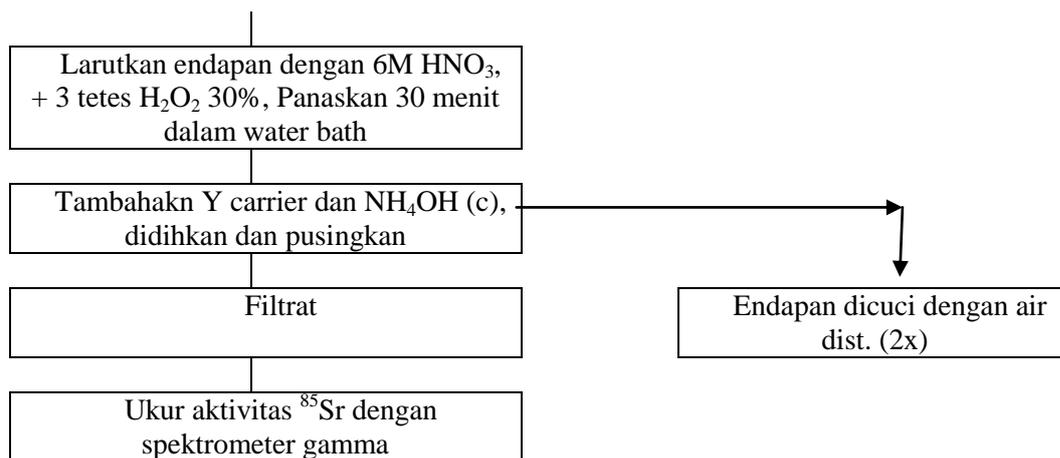
9. Larutkan endapan dengan 6M HNO_3 dan tambahkan 3 tetes 30% H_2O_2 , lalu panaskan menggunakan penangas air selama 30 menit.
10. Tambahkan 1 mL Y carrier dan NH_4OH pekat sampai endapan terbentuk. Didihkan larutan sampai NH_3 menguap.
11. Pusingkan larutan dan pindahkan filtrat ke tabung pemusing lainnya. Cuci endapan dengan air dan buang. Pindahkan air cucian ke dalam tabung pemusing sebelumnya.
12. Ukur aktivitas ^{85}Sr menggunakan spektrometer gamma dan hitung kedapatulangnya.

Pengolahan awal :

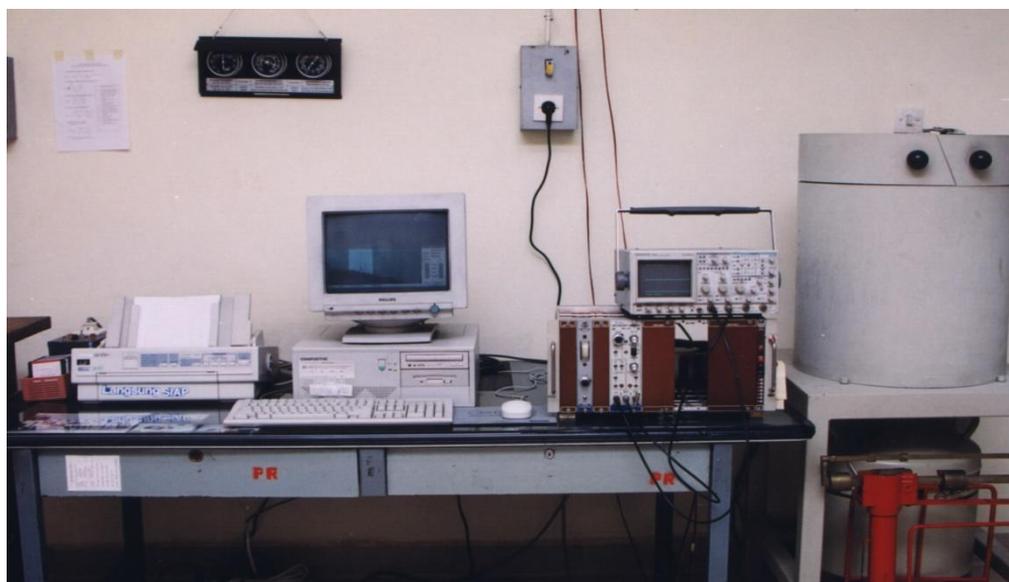


Pemisahan dan pemurnian :





Gambar 2. Diagram penentuan ⁹⁰Sr dalam susu



Gambar 3. Spektrometer Gamma dengan Detektor HPGe (Ortec GEM 25185)

Perhitungan

Kedapatulangan konsentrasi ⁸⁵Sr sebagai perunut ditentukan dengan persamaan :

$$R = \frac{C_c - C_1}{E A V 60} \cdot 100\%$$

dengan :

- R = kedapatulangan perunut ⁸⁵Sr (%)
- A = aktivitas perunut awal ⁸⁵Sr (Bq/L)
- E = efisiensi pengukuran
- V = volume susu (L)
- C_c = laju cacah sampel (cpm)
- C₁ = laju cacah latar (cpm)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan kedapatulangan pada analisis radiostronsium dalam susu ditentukan dengan menentukan kedapatulangan perunut radionuklida ^{85}Sr . Selain itu juga ditentukan kehilangan sebagian aktivitas dari perunut pada beberapa tahapan analisis. Aktivitas perunut ^{85}Sr ditentukan dengan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HPGe yang mempunyai efisiensi relatif 25% pada energi 185 keV.

Kedapatulangan perunut serta kehilangan sebagian aktivitas perunut pada beberapa tahap analisis telah ditentukan. Data pengukuran aktivitas perunut sebelum dan sesudah pengolahan awal (destruksi den-

gan asam nitrat untuk memisahkan lemak pada susu) ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa kedapatulangan perunut ^{85}Sr pada tahap destruksi susu menggunakan asam nitrat nilainya hampir sama, dengan kedapatulangan rata-rata 98,5%. Pada tahapan ini lemak yang ada pada susu terpisahkan dan kurang dari 2% aktivitas perunut hilang terbawa pada endapan lemak tersebut. Data konsentrasi perunut ^{85}Sr serta kedapatulanggannya pada penentuan radiostronsium dalam susu secara keseluruhan mulai dari pengolahan awal sampai pemisahan stronsium ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 1. Aktivitas perunut ^{85}Sr sebelum dan setelah pengolahan awal (destruksi dengan asam nitrat)

Sampel	1	2	3
Aktivitas awal, Bq/L	0,500	0,330	0,108
Aktivitas ekstrak, Bq/L	0,490	0,320	0,107
Kedapatulangan %	98	98	99,5

Tabel 2. Aktivitas perunut ^{85}Sr sebelum dan setelah analisis

Sampel	1	2	3
Aktivitas awal, Bq/L	0.500	0.330	0.108
Aktivitas ekstrak, Bq/L	0.410	0.234	0.106
Kedapatulangan %	82	71	98

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kedapatulangan perunut ^{85}Sr secara keseluruhan mulai dari pengolahan awal sampai pada pemurnian stronsium diperoleh kedapatulangan rata-rata 84%. Pada metode ini kehilangan aktivitas perunut rata-rata kurang dari 20%. Jadi sekitar 18% perunut hilang pada saat pemisahan dan pemurnian unsur-unsur yang ada dalam susu sampai diperoleh stronsium murni yang

berupa endapan stronsium karbonat. Penentuan kedapatulangan ini selesai dilakukan selama 3 hari.

IV. KESIMPULAN

Kedapatulangan perunut ^{85}Sr pada analisis radiostronsium dalam susu diperoleh sekitar 84% dan selesai dilakukan selama 3 hari.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA. *Measurement of Radionuclides in Food and The Environment*, A Guide Book. Technical Report Series No. 295. Vienna. 1989. Hal. 70 – 91.
2. Syarbaini. *Analysis Technique of Environmental Radioactivity Samples*. Training Course on Radiation Measurement and Nuclear Spectroscopy. BATAN, Jakarta. 2004. Hal. 13.
3. Bakrie Arbie dan Abdul Razak. *Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan*. BATAN, Jakarta. 1998. Hal 157.
4. IAEA, Validation of Rapid Methods of The Determination of Radiostrontium in Milk. Draft. 2008. Hal. 1 – 32.
5. Nazaroh dan Yoshio Hino. Antarbanding Pengukuran Aktivitas ^{85}Sr dengan Tiga Sistem Pencacah. Prosiding, Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VII, P3KRBiN-BATAN, Jakarta .1999. Hal. 97-102.
6. Chobola et. all. Rapid Determination of Radiostrontium Isotopes in Samples of NPP Origin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, nol 267 No. 2, 2006. Hal. 297 – 304.
7. D. Tait et. All. Fast Determination of Strontium Radionuclides in Milk with the aid of the Cryptand 2.2.2. *Kerntechnik* 69. 2004. Hal. 233 – 238.

PENGARUH INFEKSI *Klebsiella pneumoniae* HASIL INAKTIVASI IRADIASI GAMMA TERHADAP DAYA TAHAN HIDUP MENCIT (*Mus musculus*)

Rr.Bhintarti Suryohastari¹, S. Hermanto² I.R.Munfarokhah³ dan I. Sugoro^{2,3,4}

¹Prodi Farmasi, Fakultas Kedokteran, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta

²Prodi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta

³Prodi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta

⁴Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan

ABSTRAK

PENGARUH INFEKSI *Klebsiella pneumoniae* HASIL INAKTIVASI IRADIASI GAMMA TERHADAP DAYA TAHAN HIDUP MENCIT (*Mus musculus*). *Klebsiella pneumoniae* merupakan salah satu bakteri koliform penyebab mastitis dan pneumonia. Vaksinasi merupakan salah satu cara pencegahan mastitis. Teknik nuklir dapat digunakan untuk memperoleh bahan vaksin. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bahan vaksin *K. pneumoniae* hasil inaktivasi iradiasi gamma terhadap daya tahan hidup mencit. Mencit dibagi dalam 4 kelompok, yaitu Kontrol positif (infeksi kultur aktif *K. pneumoniae*), Kontrol negatif (injeksi larutan NaCl fisiologis), Perlakuan 800 Gy (infeksi *K. pneumoniae* hasil inaktivasi dengan iradiasi gamma dosis 800 Gy) dan Perlakuan 1000 Gy (infeksi *K. pneumoniae* hasil inaktivasi dengan iradiasi gamma dosis 1000 Gy). Setelah 7 hari perlakuan dilakukan pengujian tantang dengan menginfeksi kultur *K. pneumoniae* aktif. Parameter yang diamati adalah % mortalitas dan kondisi fisik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa % mortalitas mencit pada kelompok Kontrol positif sebesar 100%, sedangkan pada kelompok Perlakuan 800 Gy maupun 1000 Gy tidak terjadi mortalitas setelah vaksinasi dan uji tantang. Kondisi fisik mencit Perlakuan 800 Gy dan 1000 Gy tidak mengalami abnormalitas seperti halnya Kontrol positif. Akan tetapi bobot badan mencit pasca vaksinasi dan uji tantang mengalami penurunan dan kembali normal setelah 2 hari. Berdasarkan hasil di atas, vaksinasi *K. pneumoniae* hasil inaktivasi iradiasi memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan vaksin.

Kata kunci: Bahan vaksin, *Klebsiella pneumoniae*, inaktivasi iradiasi gamma, mencit.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF INACTIVATED GAMMA IRRADIATED *Klebsiella pneumoniae* ON MICE (*Mus musculus*) SURVIVAL. *Klebsiella pneumoniae* is one of the coliform bacteria that caused mastitis and pneumonia. Vaccination is a method to prevention from that diseases and nuclear technique can be used to preparation of vaccine candidate. This research has been conducted to know the influence of inactivated gamma irradiated of *K. pneumoniae* on mice survival. The treatments were Positive control (infected by *K. pneumoniae*), Negative control (injection by fisiologis NaCl solution), 800 Gy (infected by *K.pneumoniae* has inactivated with 800 Gy) and 1000 Gy (infected by *K.pneumoniae* has inactivated with 1000 Gy). The results showed that % mortality of positive control was 100%, but Treatment 800 and 1000 Gy was 0%. The physic condition of mice was normal on Treatment 800 and 1000 Gy after vaccination and challenge test, but the weight gain has decreased but normal again after 2 days. Based on the results showed that vaccination of *K.pneumoniae* has potential to develop as vaccine candidate.

Keywords: Vaccine candidate, inactivated, *Klebsiella pneumoniae*, mice, gamma ray.

I. PENDAHULUAN

Klebsiella pneumoniae adalah bakteri Gram negatif yang dapat menyebabkan mastitis dan pneumonia pada ternak ruminansia dan manusia. Mastitis merupakan penyakit yang mengakibatkan peradangan pada kelenjar susu (ambing), akibat infeksi oleh mikroba. Apabila sapi perah mengalami penyakit mastitis, maka produksi susu yang dihasilkan akan lebih sedikit karena terdapat penyumbatan pada ambing susu sapi, atau bahkan dapat menyebabkan kematian dan kerusakan bagian organ tubuh pada sapi [1].

Penyebab utama radang ambing pada sapi yaitu bakteri *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Streptococcus uberis* dan *Staphylococcus aureus*, kadang-kadang juga *Staphylococcus zooepidemicus*. Penggunaan antibiotik secara luas terutama di negara yang telah maju industri peternakannya, radang ambing yang disebabkan oleh *Streptococcus* telah menurun dengan drastis, namun bakteri koliform, *Escherichia coli*, *E. feundii*, *Enterorobacter aerugenes* dan *Klebsiella pneumoniae* juga menjadi meningkat.[2].

Mastitis dapat diatasi dengan terapi antibiotik, namun dapat menimbulkan resistensi. Sifat resisten ini dapat ditentukan dengan gen resisten yang terbawa oleh plasmid, tidak mencapai jaringan yang terinfeksi dan adanya residu pada susu. Pencegahan mastitis dapat melalui

pemberian vaksin. Penelitian ini didasarkan pada pembuatan vaksin dengan cara menginaktivasi sel bakteri. Vaksin dapat diperoleh dengan cara konvensional, baik secara kimia maupun pemanasan. Alternatif lainnya adalah dengan menggunakan radiasi sinar gamma untuk menginaktivasi sel bakteri. Keuntungan metode radiasi yaitu dapat mengaktifkan seluruh fase sistem imun, meningkatkan respon imun terhadap seluruh antigen (proses inaktivasi dapat menyebabkan perubahan antigenitas), durasi imunitas lebih panjang, biaya lebih murah, lebih cepat menimbulkan respon imunitas dan mudah dibawa ke lapangan [3].

Isolat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan vaksin yaitu *K.pneumoniae* (K3) hasil isolasi dari susu sapi yang terinfeksi mastitis akut yang berasal dari daerah Garut, Jawa Barat. *K. pneumoniae* memiliki resistensi yang tinggi terhadap beberapa antibiotik seperti tetrasiklin dan ampicilin, sehingga sangat efektif untuk dijadikan bahan vaksin dan dapat mengoptimalkan kinerja vaksin pada saat digunakan [4].

Hasil percobaan terdahulu menunjukkan bahwa dosis yang diperlukan untuk menginaktivasi sel bakteri *K. pneumoniae*, yaitu berkisar 600 Gy –1.500 Gy [5]. Iradiasi mempengaruhi antigen protein dari sel *K.pneumoniae* pada kisaran berat molekul 35, 36, dan 60 kDa dengan peningkatan intensitas atau konsentrasi [6].

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian lebih lanjut secara *in vivo* untuk mengetahui potensi bahan vaksin berdasarkan persentase mortalitas dan kondisi fisik mencit dengan dosis yang akan digunakan untuk inaktivasi adalah 800 dan 1000 Gy.

II.TATA KERJA

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat bakteri *K. pneumoniae* K3 hasil isolasi dari susu sapi perah yang terinfeksi mastitis yang merupakan kultur koleksi Laboratorium Nutrisi, Kesehatan dan Reproduksi Ternak, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Pasar Jum'at, media *Tryptose Soy Broth* (TSB), *Tryptose Soy Agar* (TSA), alkohol 95%, NaCl 0,85% dan mencit galur Swiss yang diperoleh dari Depertemen Kesehatan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kandang mencit, botol, mikrotub, gunting, pipet, tabung reaksi, labu ukur, cawan petri, tabung reaksi, jarum suntik ukuran 0,5 mL, sentrifus, vortex, timbangan analitik, mikropipet, tabung eppendorf, tabung sentrifus, inkubator, iradiator, spektrofotometer, autoklaf, magnetik stirer, gelas beker, pemanas, petri dish, dan alumunium foil.

Iradiasi *K. pneumoniae* dengan Sinar Gamma

Kultur pada fase mid log (umur 3 jam, kurva pada lampiran 11) disentrifugasi 10.000 rpm dan dibilas dengan larutan NaCl 0,85% 40 ml sebanyak 2 kali. Pelet yang diperoleh diencerkan hingga diperoleh jumlah sel 10^{12} sel/ml dan ditempatkan di dalam vial gelas sebanyak 10 ml. Selanjutnya diiradiasi gamma dengan dosis 800 Gy dan 1.000 Gy di Iradiator *Gamma Chamber* 4.000 A dengan laju dosis 1089,59 Gy/jam. Kultur hasil iradiasi kemudian dihitung jumlah selnya dengan metode sebar untuk uji inaktivasi dengan cara menanam kembali kultur hasil iradiasi pada medium TSA. Selanjutnya diinkubasi pada suhu kamar selama 1 hari [5].

Persiapan Hewan Uji

Sebanyak 32 ekor mencit betina galur Swiss, umur 3 minggu, sehat dengan ciri kondisi fisik yang normal yaitu mata merah, mencit berjalan normal, kondisi rambut tidak berdiri, dan hidung tidak berair, dengan bobot tubuh 27-40g disiapkan sebelum percobaan dilakukan, hewan uji diaklimatisasikan selama 3-4 hari dalam ruang percobaan. Hewan uji dikelompokkan secara acak untuk memperoleh penyebaran bobot tubuh yang kurang lebih sama untuk tiap kelompok. Jumlah mencit yang digunakan adalah masing-masing 8 ekor untuk kelompok kontrol positif, kontrol

negatif, perlakuan iradiasi gamma dosis 800 Gy dan 1000 Gy.

Uji *in vivo*

Disuntikkan secara intraperitoneal pada masing-masing perlakuan sebanyak 100 μ L NaCl 0,85% untuk kelompok kontrol negatif, 10^{12} sel/mL isolat bakteri *K. pneumoniae* sebanyak 100 μ L untuk kelompok kontrol positif dan 10^{12} sel/mL isolat bakteri *K. pneumoniae* sebanyak 100 μ L yang telah dinaktifkan dengan dosis iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy pada perlakuan dosis 800 Gy dan 1000 Gy. Setelah 7 hari, mencit pada perlakuan dengan *K. pneumoniae* yang diiradiasi gamma dosis 800 Gy dan 1000 Gy ditantang dengan cara menginfeksi 100 μ L isolat *K. pneumoniae* aktif pada mencit secara intraperitoneal untuk mengetahui respon imunitasnya. Parameter yang diamati meliputi persentase % mortalitas dan kondisi fisik (berat badan, mata, rambut, aktifitas gerak, dan hidung).

Analisis data

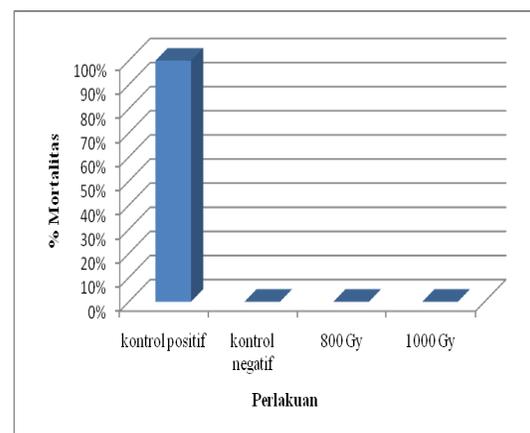
Data dianalisis dengan uji ANOVA satu arah ($P \leq 0,05$) dengan menggunakan program SPSS 13.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mortalitas

Mortalitas atau kematian pada mencit tidak ditemukan pada perlakuan

iradiasi 800 Gy, 1000 Gy, dan kontrol negatif tetapi pada perlakuan kontrol positif kematian mencit mencapai 100 % 1 hari setelah infeksi (Gambar 1). Kematian dapat terjadi karena infeksi dari kultur *K. pneumoniae* yang masih aktif. Kultur aktif akan menginfeksi organ mencit lebih cepat sehingga disaat mekanisme imunitas mencit belum bekerja maksimal mencit mengalami kematian. Hal ini membuktikan bahwa *K. pneumoniae* bersifat patogen terhadap mencit. Kultur aktif menyebabkan kerusakan sistem metabolisme pada tubuh mencit lebih besar dari pada pertahanan tubuh mencit dan kultur aktif langsung menginfeksi organ mencit lebih cepat dibandingkan kemampuan sel bakteri bereplikasi.



Gambar 1. Persentase mortalitas mencit.

Hasil pengamatan menunjukkan pada perlakuan iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy tidak ditemukan kematian pada mencit. Hal tersebut menunjukkan bahwa iradiasi dapat

mengurangi daya patogenitas sel bakteri sehingga daya tahan hidup mencit tetap terjaga. Selain itu penyebaran bakteri pada organ target dapat terhambat akibat sel hasil iradiasi dalam kondisi inaktif atau kehilangan kemampuan replikasi, tidak mampunya sel bakteri untuk bereplikasi disebabkan karena terjadi berbagai macam perubahan dan kerusakan pada molekul Asam Deoksiribonukleat (DNA). Perubahan dan kerusakan pada molekul DNA tersebut dapat berupa antara lain: perubahan susunan triplet molekul DNA, pelengketan, patahan, kehilangan basa, deaminasi, dan sebagainya [7].

Respon imun yang terbentuk hasil infeksi kultur inaktif hasil iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy dapat terlihat dari tidak adanya kematian pasca ujiantang. Sistem imunitas tubuh memiliki fungsi, yaitu membantu mencegah infeksi yang disebabkan bakteri serta menghasilkan antibodi (sejenis protein yang disebut imunoglobulin) untuk memerangi serangan bakteri ke dalam tubuh.

Kondisi Fisik

Hasil pengamatan kondisi fisik mencit yaitu mata, hidung, rambut, dan cara berjalan mencit pada perlakuan iradiasi 800 Gy, 1000 Gy, dan kontrol negatif menunjukkan tidak terjadinya abnormalitas kecuali pada perlakuan kontrol positif (Tabel 1). Secara statistik perlakuan tidak mempengaruhi kondisi fisik mencit ($p \geq 0,05$).

Tidak terjadi perbedaan yang nyata antara kontrol negatif dengan perlakuan iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy.

Hasil pengamatan kondisi fisik menunjang data sebelumnya, terjadi abnormalitas kondisi fisik pada kontrol positif menyebabkan kematian sedangkan pada kontrol negatif, iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy tidak terjadi kematian. Abnormalitas pada kontrol positif ditunjukkan dengan kondisi mata mencit yang merah pucat dan berair, kondisi hidung mencit berair, berdirinya rambut mencit dan cara berjalan mencit yang cenderung lambat dan kiposis. Abnormalitas pada mencit terjadi karena metabolisme mencit terganggu akibat masuknya kultur aktif *K. pneumoniae* ke dalam tubuh mencit sehingga menyebabkan kondisi mata mencit yang merah pucat dan berair, kondisi hidung mencit berair, berdirinya rambut mencit dan cara berjalan mencit yang cenderung lambat dan kiposis. Hal ini menunjukkan bahwa mencit langsung merespon benda asing yang masuk dan untuk mengurangi suhu tubuhnya [8].

Kondisi mata, hidung, rambut, dan cara berjalan mencit pada perlakuan iradiasi 800 Gy, 1000 Gy, dan kontrol negatif seluruhnya normal. Kondisi mata mencit setelah infeksi dengan bahan vaksin perlakuan iradiasi tetap normal, yaitu berwarna merah. Kondisi normal tercapai setelah 1 hari. Setelah ujiantang, kondisi

mata kedua perlakuan tetap normal. Kondisi hidung mencit setelah infeksi dan ujiantang untuk kedua perlakuan tetap normal.

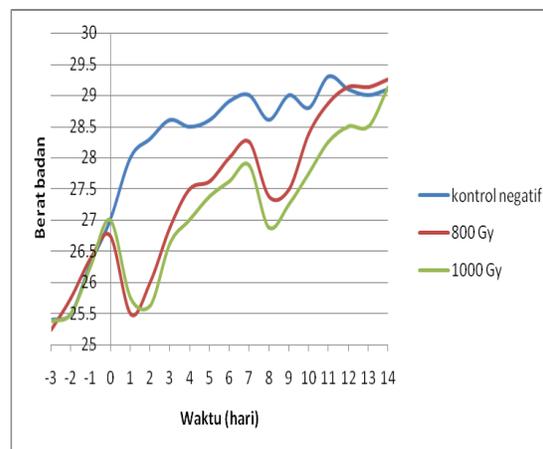
Cara berjalan mencit yang diinfeksi bahan vaksin iradiasi tetap normal. Setelah ujiantang, cara berjalan kedua perlakuan tetap normal. Demikian pula dengan kondisi rambut mencit pada kedua perlakuan tetap normal setelah infeksi bahan vaksin dan setelah ujiantang.

	Rambut	Normal	Normal
	Cara berjalan	Normal	Normal
1000 Gy	Mata	Normal	Normal
	Hidung	Normal	Normal
	Rambut	Normal	Normal
	Cara berjalan	Normal	Normal

Tabel 1. Kondisi mata, hidung, rambut dan cara berjalan mencit

Perlakuan	Bagian tubuh	Kondisi	
		Infeksi	Ujiantang
Kontrol positif	Mata	Tidak normal, merah pucat, berair	-
	Hidung	Berair	-
	Rambut	Berdiri	-
	Cara berjalan	Lambat, kiposis	-
Kontrol negative	Mata	Normal	-
	Hidung	Normal	-
	Rambut	Normal	-
	Cara berjalan	Normal	-
800 Gy	Mata	Normal	Normal
	Hidung	Normal	Normal

Hasil-hasil di atas didukung pula dengan hasil berat badan mencit perlakuan iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy memiliki pola yang berbeda dengan kontrol negatif (Gambar 2). Terjadi penurunan berat badan 1 hari setelah infeksi bahan vaksin dan ujiantang namun meningkat kembali setelahnya. Secara statistik perlakuan tidak mempengaruhi kondisi berat badan mencit ($p \geq 0,05$), tidak terjadi perbedaan yang nyata antara kontrol negatif dengan perlakuan iradiasi 800 Gy dan 1000 Gy.



Gambar 2. Grafik Berat badan mencit.

Terjadinya penurunan berat mencit berarti adanya pengaruh bahan vaksin terhadap proses pemulihan tubuh mencit. Hasil pengamatan menunjukkan setelah ujiantang pada hari ke-7, daya tahan mencit perlakuan tetap terjaga dengan tidak adanya mencit yang mati. Akan tetapi, berat badan mencit kembali mengalami penurunan dan setelah itu meningkat kembali. Penurunan berat badan disebabkan terganggunya metabolisme pada tubuh mencit karena adanya benda asing yang masuk ke dalam tubuh mencit tersebut dalam hal ini ialah bakteri *K.pneumoniae* penurunan berat badan juga dapat disebabkan adanya respon tubuh mencit yang terfokus untuk peningkatan imunitas.

IV.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Infeksi isolat *K. pneumoniae* hasil inaktivasi iradiasi gamma dosis 800 Gy dan 1000 Gy tidak menyebabkan terjadinya mortalitas pada mencit, sedangkan pada kontrol positif mengalami mortalitas 100 %.
2. Infeksi isolat *K. pneumoniae* hasil inaktivasi iradiasi sinar gamma dosis 800 Gy dan 1000 Gy tidak berpengaruh terhadap kondisi fisik mencit pasca vaksinasi dan uji tantang.

DAFTAR PUSTAKA

1. SCHROEDER, J.W. 1997. *Mastitis Control Program : Bovine Mastitis and Milking Management*, AS-129. North Dakota State University.
2. SUBRANTO, 1989. *Ilmu Penyakit Ternak*. Gajah Mada University Press, Jogjakarta.
3. HOFFMAN, S.L., M.L. GOH., and T.C. LUKE. 2002. Protection of Humans Against Malaria by Immunization With Radiation-attenuated *Plasmodium falciparum*. *The Journal of Infectious Diseases*, 185 : 1155 – 64
4. TETRIANA, D dan I. SUGORO. 2007. Aplikasi teknik nuklir dalam bidang vaksin. *Buletin ALARA*. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta.
5. SUGORO, I., T. Devita., dan Windusari. 2008. Dosis inaktif dan kandungan protein *Klebsiella pneumoniae* hasil iradiasi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi*. BATAN. Jakarta.
6. SUGORO, I. dan Y.WINDUSARI. 2008. Profil protein *Klebsiella pneumoniae* pasca iradiasi sinar gamma. *Prosiding Seminar Internasional Kesehatan dan Lingkungan*. PTKMR dan FKMU, Jakarta.
7. DARUSSALAM, M. 1996. *Radiasi dan Radioisotop : Prinsip Penggunaannya dalam Biologi, Kedokteran, dan Pertanian*. Tarsito, Bandung.

ANALISIS DOSIS RADIASI YANG DITERIMA MATA, TIROID DAN CALVARIA PADA PASIEN YANG MENJALANI PEMERIKSAAN CT-SCAN BAGIAN KEPALA

Dian Milvita¹, Desfitri Yana², Nunung Nuraeni³ dan Helfi Yuliaty⁴

^{1,2}Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Kampus UNAND Limau Manis, Padang

^{3,4}Bidang Dosimetri, PTKMR BATAN, Jakarta

E-mail: d_milvita@yahoo.com

ABSTRAK.

ANALISIS DOSIS RADIASI YANG DITERIMA MATA, TIROID DAN CALVARIA PADA PASIEN YANG MENJALANI PEMERIKSAAN CT-SCAN BAGIAN KEPALA. Telah dilakukan penelitian tentang analisis dosis radiasi yang diterima mata, tiroid dan calvaria pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan bagian kepala di fasilitas radiodiagnostik pada salah satu rumah sakit di Kota Padang. Penelitian menggunakan pesawat CT-Scan Philips Brilliance 6. Pengukuran dilakukan dengan cara memasang dosimeter termoluminesensi-100 (Thermoluminescence Dosemeter-100, TLD-100) pada permukaan kulit organ mata, tiroid dan calvaria terhadap sepuluh pasien CT-Scan bagian kepala. Berdasarkan hasil pengukuran, dosis radiasi yang diperoleh dari sepuluh pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan bagian kepala, organ mata adalah antara 11,499 mSv hingga 63,124 mSv, tiroid berkisar antara 4,112 mSv hingga 52,430 mSv dan pada calvaria dosis radiasi yang diterima adalah 2,566 mSv hingga 63,726 mSv. Dari hasil perbandingan dosis serap permukaan (Entrance Surface Dose, ESD) terhadap tingkat panduan dosis diketahui bahwa organ mata menerima ESD 0,23 kali hingga 1,26 kali tingkat panduan dosis, tiroid menerima ESD 0,08 kali hingga 1,05 kali tingkat panduan dosis dan calvaria menerima ESD 0,05 kali hingga 1,27 kali dari tingkat panduan dosis.

Katakunci: CT-Scan, dosis radiasi, Entrance Surface Dose (ESD), tingkat panduan dosis, TLD-100

ABSTRACT

ANALYSIS OF RADIATION DOSE ACCEPTED TO EYE, THYROID AND CALVARIA PATIENT'S UNDERGOING HEAD CT-SCAN EXAMINATION. A research about analysis of radiation dose accepted to eye, thyroid and calvaria patients undergoing head CT examination in radio diagnostic facility of a hospital in Padang has been done. Radiation source used in the research is CT-Scan Philips Brilliance 6. Measurement was conducted using Thermoluminescence Dosemeter 100 (TLD-100) at eye, thyroid and calvaria to ten patients of head CT. Research result of radiation dose obtained from ten patients head CT are eye organ accept radiation dose range 11,499 mSv till 63,124 mSv, thyroid range from 4,112 mSv till 52,430 mSv and radiation dose at calvaria accepted is 2,566 mSv till 63,726 mSv. Radiation dose accepted the each organ different and some result show the existing of radiation dose with accepted by organ reside over of dose value which have been decided. From the result comparison of entrance surface dose (ESD) with dose guidance level known that, eyes organ's ESD 0,23 till 1,26 times guidance level and tiroid's ESD 0,08 till 1,05 times dose guidance level and also calvaria's ESD 0,05 till 1,27 times dose guidance level.

Keywords: CT-Scan, radiation dose, Entrance Surface Dose (ESD), dose guidance level, TLD-100

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kesehatan khususnya diagnostik menunjukkan peningkatan dari waktu ke waktu. Berbagai penyakit dapat didiagnosis dengan akurat melalui teknik radiografi melalui bantuan sinar-X yang mampu melakukan pengamatan ke dalam tubuh pasien tanpa harus melakukan pembedahan, juga dapat menampilkan setiap objek materi yang dilaluinya menjadi sebuah gambar. Dalam radiografi objek yang diamati sering tertutup oleh jaringan selain target pengamatan, sehingga didapatkan pola gambar bayangan yang didominasi oleh struktur jaringan yang tidak diinginkan, sehingga membingungkan para dokter untuk mendiagnosa organ tubuh tersebut. Untuk mengatasi hal ini, maka dikembangkan teknologi peralatan sinar-X yang lebih canggih yaitu *CT Scanner (Computed Tomography Scanner)*. CT-Scan merupakan alat melalui teknik *tomografi* dan komputerisasi modern untuk pemeriksaan organ tubuh manusia bagian kepala, *thorak*, lumbal, abdomen dan lain-lain. Jenis pemeriksaan CT-Scan dikelompokkan berdasarkan bagian atau daerah pemeriksaan tubuh pasien yaitu: kepala, lumbal, abdomen dan lain-lain. CT-Scan bagian kepala merupakan jenis pemeriksaan yang cukup banyak dilakukan dibandingkan dengan pemeriksaan CT-Scan bagian tubuh lainnya.

Penelitian mengenai dosis radiasi pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan pernah dilakukan oleh Walter Huda dan Vance

Awais di SUNY Upstate Medical University New York USA dengan judul *Patient Radiation Doses from Adult and Pediatric CT*. Pengukuran dosis radiasi dilakukan pada bagian kepala, dada dan abdomen dengan MD CT-Scanner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis radiasi yang diterima bagian kepala lebih besar dari dosis radiasi yang diterima bagian dada dan abdomen^[1].

Disamping memberikan manfaat, diagnosis CT-Scan pada bagian kepala juga memberikan dampak negatif bagi kesehatan berupa adanya organ-organ penting di daerah kepala yang ikut terpapar radiasi seperti mata, tiroid dan calvaria. Penerimaan dosis radiasi oleh organ tersebut sebenarnya tidak diinginkan karena dapat menimbulkan efek stokastik bagi pasien^[2]. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar dosis radiasi yang diterima mata, tiroid dan calvaria pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan bagian kepala untuk meminimalkan efek yang akan ditimbulkan dan diperoleh manfaat yang diinginkan. Adapun tujuan dari penelitian adalah (1) mengetahui dosis radiasi yang diterima organ mata, tiroid dan calvaria pada pasien selama menjalani pemeriksaan CT-Scan bagian kepala (2) membandingkan *Entrance Surface Dose (ESD)* yang diterima pasien CT-Scan bagian kepala terhadap Nilai Batas Dosis (NBD) yang telah ditetapkan BAPETEN. Penelitian dibatasi pada analisis penerimaan dosis radiasi pada sepuluh orang pasien yang menjalani pemeriksaan bagian kepala menggunakan pesawat CT-Scan merek

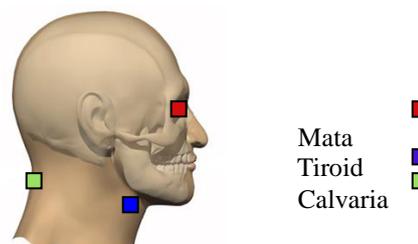
Philips Brilliance 6 dengan titik pengukuran berupa organ mata, tiroid dan calvaria menggunakan dosimeter termoluminesensi-100 (TLD-100) yang diletakan pada permukaan kulit organ-organ tersebut. Penelitian dilaksanakan pada salah satu fasilitas radiodiagnostik rumahsakit di Kota Padang dan merupakan studi awal terimaan dosis pasien CT scan.

II. TATA KERJA (BAHAN DAN METODE)

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah 90 *chip* TLD-100 yang berfungsi untuk memperkirakan dosis radiasi yang diterima dari sumber radiasi, TLD *Reader* digunakan untuk membaca hasil cacahan dari energi yang diserap oleh TLD-100 dan pesawat CT-Scan merek Philips Brilliance 6 digunakan sebagai sumber radiasi. Pengambilan data dilakukan pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan bagian kepala berupa :

1. Pendataan kondisi pasien.

Pendataan kondisi pasien meliputi umur, jenis kelamin, jenis pemeriksaan, penggunaan tegangan kV, arus dan waktu penyinaran. TLD yang telah dikemas ditempelkan pada titik pengukuran berupa organ mata, tiroid dan calvaria seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Posisi pemasangan TLD

2. Proses pemeriksaan pasien CT-Scan

Pada pasien yang telah ditempelkan TLD-100 dilakukan pemeriksaan menggunakan sumber radiasi sinar-X berupa pesawat CT-Scan merek Philips Brilliance 6 pada tegangan dan arus yang sama yaitu 120 kV dan arus 30 mA.

Radiasi yang diterima oleh TLD-100 selama proses penyinaran berlangsung selanjutnya dibaca intensitas TL menggunakan TLD-*reader* model 2000 A dan 2000 B buatan Harshaw sebanyak dua kali pada setiap chip untuk masing-masing organ. Bacaan pertama merupakan intensitas TL_{total} , sedang bacaan kedua merupakan bacaan intensitas TL_{latar} . Intensitas TL_{bersih} merupakan hasil pengurangan intensitas TL_{total} terhadap intensitas TL_{latar} , seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$TL_{bersih} = TL_{total} - TL_{latar} \quad (1)$$

Keterangan :

TL_{bersih} = bacaan intensitas termoluminesensi bersih (nC)

TL_{total} = bacaan intensitas termoluminesensi pertama/total (nC)

TL_{latar} = bacaan intensitas termoluminesensi kedua/ latar (nC)

Dosis radiasi (D) dari penyinaran yang diterima TLD selama proses pemantauan dapat dihitung melalui perkalian antara intensitas TL_{bersih} terhadap faktor kalibrasi (FK) TLD-100 dan faktor koreksi terhadap energi foton (F_{KE}) menggunakan persamaan (2).

$$D = TL_{bersih} \times FK \times F_{KE} \quad (2)$$

Dimana :

D = dosis radiasi yang diterima TLD (mSv)

TL_{bersih} = bacaan intensitas TL (nC)

FK = faktor kalibrasi (mSv/nC)

F_{KE} = faktor koreksi energi foton

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terimaan dosis radiasi pada organ mata, tiroid dan calvaria pasien CT-Scan bagian kepala ditunjukkan pada Tabel 1. Grafik perbandingan antara ESD pada organ organ mata, tiroid dan calvaria terhadap beberapa pasien berbeda yang melakukan pemeriksaan CT-Scan bagian kepala ditunjukkan pada Gambar 1.

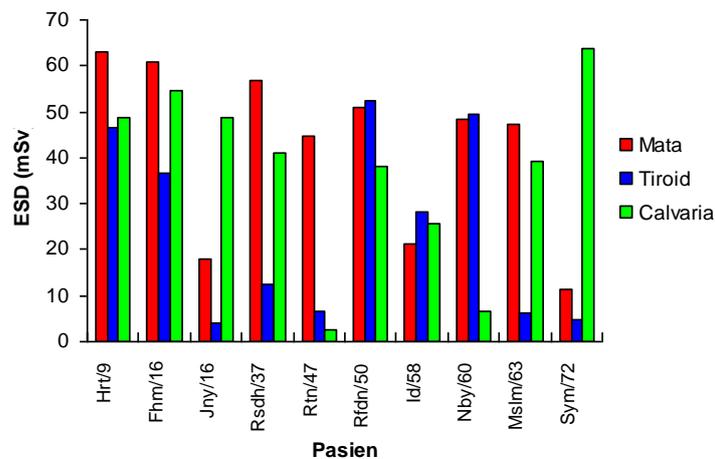
Dari Gambar 2 terlihat bahwa ESD masing-masing organ cukup bervariasi untuk setiap pasien, tergantung pada jenis pemeriksaan yang dilakukan. Perbedaan jenis pemeriksaan akan berakibat berbedanya

lokasi target penyinaran pada pasien. Sehingga dosis radiasi pada organ yang sama akan berbeda untuk setiap pasien. Apabila salah satu organ merupakan target penyinaran atau berada dekat target penyinaran maka dosis radiasi yang diterima organ tersebut akan lebih besar dari organ lain seperti organ mata dan calvaria rata-rata

lebih tinggi menerima dosis radiasi dari pada tiroid. Walaupun pesawat CT Scan yang digunakan sama, dosis yang diterima pasien berbeda yang disebabkan perbedaan jenis pemeriksaan serta anatomi pasien yang juga tidak sama. Perbedaan kontur tubuh sangat mempengaruhi dosis yang diterima pasien. Berdasarkan SK Kepala BAPETEN No:01-P/KA-BAPETEN/2003 tentang pedoman dosis radiasi pasien radiodiagnostik, nilai tingkat panduan dosis yang dianjurkan adalah 50 mGy (Tabel 2) ^[3] ^[4]. Perbandingan ESD masing-masing organ terhadap tingkat panduan dosis radiasi pasien radiodiagnostik untuk setiap pemeriksaan yang ditetapkan BAPETEN, diketahui bahwa mata menerima ESD 0,23

Tabel 1. Terimaan dosis radiasi mata, tiroid, calvaria pasien CT-Scan bagian kepala

No.	Inisial/umur (Th)	Jenis Pemeriksaan	Dosis radiasi (mSv)		
			Mata	Tiroid	Calvaria
1	Hrt/9	Hidrocefalus, Brain	63,124	46,494	48,831
2	Fhm/16	Sinus paranasial	60,746	36,581	54,661
3	Jny/ 16	Mastoid, telinga	17,989	4,112	48,564
4	Rsdh/ 37	CT orbital Mata	56,635	12,598	40,970
5	Rtn/ 47	Mata , Brain	44,543	6,628	2,566
6	Rfdn/ 50	Nasofaring, Brain	51,045	52,430	37,944
7	Id/ 58	Leher	21,146	28,288	25,589
8	Nby/ 60	Nasofaring, koronal	48,455	49,429	6,612
9	Mslm/ 63	Mata	47,382	6,082	39,082
10	Sym/ 72	Otak	11,499	4,884	63,726



Gambar 2. Grafik perbandingan antara ESD organ terhadap pasien yang berbeda

sampai 1,26 kali tingkat panduan dosis, tiroid menerima ESD 0,08 sampai 1,05 kali tingkat panduan dosis serta calvaria menerima ESD 0,05 sampai 1,27 kali tingkat panduan dosis yang direkomendasikan BAPETEN.

Tabel 1 menunjukkan adanya pasien anak (Hrt/9 dan Fhm/16) yang menerima

ESD lebih tinggi dari nilai tingkat panduan BAPETEN. Hal ini dikhawatirkan akan memberikan efek biologi akibat radiasi pengion bagi pasien.

Tabel 2. Tingkat panduan dosis tomografi komputer untuk setiap pemeriksaan pada orang dewasa.

No	Jenis Pemeriksaan	Dosis rata-rata <i>multiple scan</i> (mGy)
1	Kepala	50
2	Lumbal	35
3	Abdomen	25

Penelitian ini memberikan gambaran bahwa terdapat organ lain yang menerima dosis radiasi di atas nilai 50 mGy pada pemeriksaan CT-Scan bagian kepala. Perlu perhatian oleh pihak terkait untuk melaksanakan asas proteksi radiasi (justifikasi, optimisasi dan limitasi) dalam setiap pemanfaat CT-Scan. Untuk mengetahui gambaran terimaan dosis pasien CT scan di Indonesia, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada berbagai rumah sakit di Indonesia.

IV KESIMPULAN

1. Nilai ESD masing-masing organ bervariasi untuk setiap pasien.
2. Beberapa organ menerima ESD lebih tinggi dari tingkat panduan yang direkomendasikan BAPETEN.
3. Pasien anak menerima ESD lebih tinggi dari tingkat panduan yang direkomendasikan BAPETEN.
4. Asas proteksi radiasi belum dilaksanakan sepenuhnya.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada Jurusan Fisika FMIPA UNAND, RS Dr. M. Djamil Padang dan PTKMR BATAN Jakarta atas terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Huda, W., Patient Radiation Doses from Adult and Pediatric CT. SUNY Upstate Medical University: New York USA (2007)
- [2]. AKHADI, M., Dasar-dasar Proteksi Radiasi, Rineka Cipta (2000).
- [3]. KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR NOMOR 01-P/Ka-BAPETEN/I-03 TENTANG PEDOMAN DOSIS PASIEN RADIODIAGNOSTIK. BAPETEN. Jakarta.

FAKTOR TRANSFER RADIONUKLIDA ^{134}Cs DARI TANAH KE TANAMAN BAWANG PUTIH (*Allium sativum*)

Juni Chussetijowati, Poppy Intan Tjahaya dan Putu Sukmabuana

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri - BATAN, Jl. Tamansari 71, Bandung, 40132

ABSTRAK

FAKTOR TRANSFER RADIONUKLIDA ^{134}Cs DARI TANAH KE TANAMAN BAWANG PUTIH (*Allium sativum*). Penentuan dosis radiasi interna yang diterima manusia tidak dapat dilakukan secara langsung, namun dilakukan dengan cara tidak langsung dengan bantuan model matematika. Nilai faktor transfer radionuklida merupakan salah satu nilai faktor yang diperlukan dalam prakiraan dosis radiasi interna tersebut. Penelitian faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih telah dilakukan, dengan tujuan mendapatkan data nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih. Diharapkan data yang diperoleh dapat digunakan dalam prakiraan dosis radiasi interna yang diterima manusia apabila mengkonsumsi tanaman bawang putih yang terkontaminasi radionuklida ^{134}Cs . Tanaman bawang putih ditanam pada media tanah yang telah dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi 43,69 Bq/g. Sebagai kontrol dilakukan juga penanaman tanaman bawang putih pada media tanah yang tidak dikontaminasi. Pengamatan terhadap transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman dilakukan seminggu sekali dengan cara mengambil sampel tanaman dan tanah, baik tanaman yang diberi kontaminasi ^{134}Cs maupun tanaman yang dijadikan kontrol. Sampel tanaman dipisahkan antara bagian akar, daun, dan umbi; kemudian dikeringkan dan ditimbang. Selanjutnya sampel tanaman dan tanah dicacah dengan spektrometer gamma. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa radionuklida ^{134}Cs berpindah dari tanah ke bagian tanaman bawang putih dengan akumulasi ^{134}Cs tertinggi pada akar. Besarnya akumulasi radionuklida ^{134}Cs dinyatakan sebagai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih, yaitu perbandingan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman dengan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah. Dari penelitian ini diperoleh nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih sebesar 2,58 yang dicapai pada hari ke 49.

Katakunci: ^{134}Cs , transfer, faktor transfer, bawang putih

ABSTRACT

TRANSFER FACTOR OF RADIONUCLIDE ^{134}Cs FROM SOIL TO GARLIC PLANT (*Allium sativum*). Determination of interna radiation dose on human body can't be done directly, but indirectly with a model of mathematics. The value of radionuclide factor transfer as one of value factor that needed in interna radiation dose estimation. Research of radionuclide transfer ^{134}Cs from soil to garlic plant has been carried out, to obtained radionuclide transfer factor of ^{134}Cs from soil to garlic plant. The data obtained from this research can be used for interna radiation dose estimation on human body if this garlic plant with ^{134}Cs contamination was consumed. The plants were grown on soil medium contaminated with 43.69 Bq/g ^{134}Cs . As control, the other plant were grown on soil medium without ^{134}Cs contamination. The transfer radionuclide ^{134}Cs from soil to plant was observed once a week, through plant and soil sampling, contaminated ^{134}Cs or control. Plant samples were separated to roots, leaves, and tubers; and then were dried and weight. Samples, i. e. soils and plants, were then counted using gamma spectrometer. The results show that radionuclide ^{134}Cs can be transfer from soil to garlic plant, with the highest accumulation ^{134}Cs was on roots. Accumulation of ^{134}Cs radionuclide on plant was expressed as radionuclide transfer factor of ^{134}Cs from soil to garlic plant, that is the comparison of concentration radionuclide ^{134}Cs on

garlic plant with the concentration of ^{134}Cs radionuclide on soil. From this research the radionuclide factor transfer ^{134}Cs from soil to garlic plant of 2.58 was obtained, at the 49th day.

Keywords: ^{134}Cs , transfer, transfer factor, garlic plant

I. PENDAHULUAN

Dalam pemanfaatan reaktor nuklir dan fasilitas nuklir, diharapkan tidak mengakibatkan lepasnya sejumlah bahan radionuklida hasil fisi maupun aktivasi ke lingkungan darat, perairan maupun udara. Namun bila hal tersebut terjadi, maka kita harus berusaha agar lepasan tersebut seminimal mungkin dan tidak menyebar ke manusia, hewan maupun tumbuhan.

Radionuklida hasil fisi maupun aktivasi yang perlu mendapat perhatian adalah radionuklida sesium (umumnya ^{134}Cs dan ^{137}Cs) [1].

Radionuklida sesium atau radiosesium (^{134}Cs atau ^{137}Cs) merupakan salah satu radionuklida yang dapat terlepas ke lingkungan, memancarkan radiasi gamma serta mempunyai waktu paro yaitu masing-masing 2,05 tahun dan 30 tahun [2].

Radiosesium yang terlepas ke lingkungan dapat masuk ke rantai makanan melalui media darat (tanah), perairan maupun udara. Radiosesium di udara terdeposisi ke permukaan tanah dan meresap dalam tanah, kemudian dalam tanah dapat diserap oleh akar tanaman dan masuk ke dalam tubuh tanaman sampai akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh manusia apabila manusia mengkonsumsi makanan yang tercemar radiosesium.

Terlepasnya radionuklida hasil fisi maupun aktivasi ke lingkungan, dapat membahayakan kesehatan manusia dan

makhluk hidup lainnya, karena radionuklida yang berada di lingkungan dapat memberikan paparan radiasi eksterna. Di samping itu, radionuklida yang berada di lingkungan dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh manusia dan makhluk hidup lainnya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Selanjutnya radionuklida yang sudah berada dalam tubuh dapat memberikan paparan radiasi interna. Besarnya paparan radiasi eksterna yang diterima manusia (masyarakat) dan makhluk hidup lainnya dapat dihitung secara langsung, namun besarnya dosis interna akibat masuknya radionuklida ke dalam tubuh sulit dihitung secara langsung. Untuk menghitung besarnya dosis interna yang diterima manusia (masyarakat) dapat digunakan dengan bantuan model matematika.

Dalam kaitannya dengan radiasi interna, untuk pengkajian (prakiraan) dosis interna yang diterima manusia (masyarakat) berdasar jalur tanah-tanaman pangan-manusia diperlukan nilai faktor transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan [3]. Jalur di sini menggambarkan proses perpindahan radionuklida dari satu komponen ke komponen lain di lingkungan.

Pada makalah ini dilaporkan penelitian transfer faktor radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih. Dalam penelitian dipergunakan radionuklida ^{134}Cs karena radionuklida ^{134}Cs mempunyai waktu paro lebih pendek dari radionuklida ^{137}Cs , serta

sifat kimia radionuklida ^{134}Cs dan ^{137}Cs di lingkungan adalah sama. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih, untuk dapat digunakan dalam prakiraan dosis interna yang diterima manusia (masyarakat) apabila ada jatuhnya radioaktif (*fall out*) dari pengoperasian atau pemanfaatan reaktor TRIGA 2000 PTNBR BATAN, berdasarkan jalur tanah-tanaman pangan-manusia.

Disamping itu, nilai faktor transfer yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai *baseline* data, mengingat nilai faktor transfer radionuklida dari tanah ke tanaman berbeda-beda, bergantung pada jenis radionuklida, jenis tanaman, jenis tanah, dan juga daerah dimana tanaman tersebut berada. Nilai faktor transfer bervariasi untuk setiap kondisi. *International Atomic Energy Agency* (IAEA) telah memberikan beberapa data faktor transfer baik untuk lingkungan darat maupun laut. Namun demikian data tersebut hanya berlaku untuk daerah dingin sampai dengan sedang, sementara untuk daerah tropis data ini belum tersedia [3].

Penelitian dilakukan menggunakan tanaman bawang putih karena tanaman bawang putih merupakan salah satu tanaman sayuran seperti bawang merah yang dipakai hampir pada semua jenis masakan, khususnya di Indonesia, dengan fungsi sebagai penyedap masakan. Memang penggunaan bawang putih atau bawang merah pada tiap masakan yang memerlukan penyedap sayuran ini tidak banyak, namun apabila masyarakat pada

umumnya menggunakannya, maka secara keseluruhan jumlah penggunaan bawang menjadi banyak [4]. Berdasarkan hasil SUSENAS Panel, bulan Maret 2007, konsumsi bawang putih penduduk Indonesia tahun 2007 sebesar 0,313 ons/kapita/minggu untuk perkotaan dan 0,270 ons/kapita/minggu untuk pedesaan [5].

II. TATA KERJA

Alat dan Bahan :

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah alat bercocok tanam seperti : cangkul, sekop kecil dan alat penyiram tanaman; wadah penanaman tanaman berupa 4 buah kotak, dengan masing-masing kotak berukuran $(1 \times 1 \times 0,5) \text{ m}^3$ yang bagian dalam dilapisi dengan plastik; neraca analitis dengan ketelitian 0,001 g; neraca teknis dengan ketelitian 0,01 g; kantong plastik dengan ukuran $(10 \times 15) \text{ cm}^2$; lampu pemanas (*infra merah*); *aluminium foil*; gunting; sarung tangan karet; *TLD badge*; alat pencacah yaitu spektrometer gamma dengan detektor *High Purity Germanium* (HPGe) yang dilengkapi dengan *Multi Chanel Analyzer* (MCA) dan komputer.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah : umbi tanaman bawang putih; tanah halaman PTNBR BATAN Bandung (karakteristik dari tanah halaman PTNBR BATAN ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2); radionuklida $^{134}\text{CsCl}$ dengan konsentrasi 43,69 Bq/g tanah; pupuk kompos.

Tabel 1. Karakteristik kimia tanah halaman PTNBR BATAN

No	Parameter	Karakteristik	Satuan
Unsur Makro			
1	pH	6,6	-
2	C	5,67	%
3	N	0,24	%
4	C/N	24	%
5	P	79,2	ppm
6	K	429	ppm
7	N-NH ₄	5,24	mg/100g
8	N-NO ₃	50,19	mg/100g
Unsur Makro yang Dapat Dipertukarkan			
9	Ca	22,13	Me/100g *
10	Mg	1,75	me/100g
11	K	1,38	me/100g
12	Na	0,37	me/100g
13	KTK**	27,02	me/100g
Unsur Mikro			
14	Fe	5,9	ppm
15	Mn	6,4	ppm
16	Cu	2,4	ppm
17	Zn	11,5	ppm
18	S	35,7	ppm
19	Al	102,4	ppm
20	B	0,49	ppm
21	Bahan Organik	9,75	%
22	Kadar Air	29,35	%

Sumber: Laboratorium Penguji Balai

Penelitian Tanaman Sayuran, Lembang
Keterangan :

* *me/100g atau meq/100g adalah mili ekivalen per 100 g tanah, menyatakan satuan dari jumlah kation suatu unsur yang dapat diikat oleh partikel tanah.*

** *KTK adalah kapasitas tukar kation, merupakan jumlah total kation yang dapat diikat oleh partikel tanah, atau merupakan muatan negatif total tanah.*

Tabel 2. Karakteristik fisika tanah halaman PTNBR BATAN

No	Parameter	Karakteristik	Satuan
1	Porositas	71,4	%
2	Berat Volume Kering	0,760	g/cm ³
3	Kerapatan Jenis Butir	2,205	g/cm ³
4	Tekstur Tanah	Tanah Liat Berlempung	-

Sumber: Alfian, 2001.[6]

Tata kerja :

a. Penyiapan media penelitian dan kontrol

Media penelitian dipersiapkan sebanyak 4 buah kotak kayu dengan ukuran masing-masing (1 x 1 x 0,5) m³ dan bagian dalam dilapisi dengan plastik. Dua kotak untuk tanah penelitian yang mengandung radionuklida ¹³⁴Cs dan dua kotak lainnya untuk tanah yang tidak ditambah dengan radionuklida ¹³⁴Cs

(digunakan sebagai kontrol).

Media penelitian berupa tanah halaman PTNBR BATAN sebanyak 180 kg yang telah dikontaminasi dengan radionuklida ^{134}Cs , ditambah dengan 10 kg kompos untuk satu kotak. Dilakukan pengadukan pada media penelitian agar konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah homogen. Setelah pengadukan, diambil 5 sampel tanah dari tiap kotak secara acak untuk diukur konsentrasinya. Data konsentrasi rata-rata radionuklida ^{134}Cs dalam tanah (awal) setelah pengadukan tertera dalam Tabel 3. Konsentrasi radionuklida ^{134}Cs rata-rata pada media penelitian setelah pengadukan adalah sebesar 43,69 Bq/g tanah.

Tabel 3. Data konsentrasi tanah setelah pengadukan

Tanah	Berat rata-rata Tanah (g)	Rata-rata (Cps)	Konsentrasi (Bq/g)
Kotak A	10	81,266	44,335
Kotak B	10	78,900	43,044

Media kontrol berupa 180 kg tanah halaman PTNBR BATAN tanpa kontaminasi yang dicampur dengan 10 kg kompos. Tanah media kontrol juga diukur aktivitasnya, dan dari hasil pengukuran tidak terdeteksi adanya aktivitas radionuklida ^{134}Cs .

b. Penumbuhan dan pemeliharaan tanaman bawang putih pada media penelitian dan kontrol

Tanaman bawang putih diperbanyak dengan umbi. Umbi bawang putih yang

digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pasar Simpang Dago, Kotamadya Bandung, Propinsi Jawa Barat. Umbi bawang putih ditanam dengan cara dimasukkan ke dalam tanah, hingga ujung umbi tampak rata dengan tanah. Jarak tanam $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Digunakan 100 tanaman bawang putih, masing-masing 50 tanaman untuk penelitian dan kontrol, sehingga setiap kotak berisi 25 tanaman bawang putih. Selanjutnya tanaman bawang putih dipelihara dengan cara menyiangi tanaman yang mengganggu (gulma) dan menyiram tanaman 1 kali sehari.

Umbi bawang putih dipelihara hingga tumbuh berusia 4 minggu. Tanaman bawang putih yang telah berusia 4 minggu siap diambil (dipanen) untuk dilakukan pengamatan.

c. Pengambilan dan preparasi sampel tanaman bawang putih dan tanah

Sampel tanaman bawang putih diambil dari media penelitian dan kontrol 1 minggu sekali, sebanyak 3 individu dari media penelitian dan 3 individu dari media kontrol pada setiap kali sampling [7]. Bersamaan dengan pengambilan sampel tanaman, diambil juga sampel tanah di sekitar akar pada tiap tanaman sebanyak 10 g (berat kering).

Sampel tanaman bawang putih dicuci bersih dengan air mengalir, selanjutnya dipisahkan antara bagian akar, daun dan umbi.

Tiap bagian dari 3 sampel tanaman bawang putih seperti akar, daun dan umbi ditimbang untuk memperoleh berat basah. Selanjutnya masing-masing bagian sampel

dikeringkan dengan lampu *infra merah* 600 watt selama \pm 30 jam (hingga diperoleh berat konstan). Setelah itu masing-masing ditimbang untuk memperoleh berat kering, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk dicacah dengan spektrometer gamma dengan detektor HPGe selama 600 detik.

d. Perhitungan nilai faktor transfer

Data cacahan masing-masing sampel digunakan untuk menghitung aktivitas radionuklida ^{134}Cs yang tersisa dalam tanah dan yang terserap serta terakumulasi dalam tanaman.

Nilai aktivitas radionuklida ^{134}Cs dalam sampel tanah atau tanaman merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengambilan sampel untuk setiap waktu pengamatan. Aktivitas total merupakan penjumlahan aktivitas pada bagian daun, batang, dan akar.

Aktivitas per satuan berat sampel dinamakan konsentrasi. Data konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam bagian tanaman dan tanah kemudian digunakan untuk memperoleh nilai faktor transfer (FT). Nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman terhadap konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah, yang dapat ditulis seperti pada persamaan (1). Penentuan faktor transfer dilakukan pada saat telah terjadi kesetimbangan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman dengan dalam tanah, yaitu pada saat tidak terjadi lagi

kenaikan konsentrasi radionuklida di dalam tanaman

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Umbi bawang putih langsung ditanam dan dipelihara pada tanah/media penelitian dan kontrol, tidak melewati proses pembibitan. Pengamatan dan perhitungan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs yang berpindah dari tanah ke tanaman bawang putih mulai dilakukan pada waktu tanaman berusia 4 minggu. Hal ini dimaksudkan agar pada usia tersebut diharapkan telah tumbuh umbi bawang putih yang baru. Pengamatan dan pengukuran radionuklida ^{134}Cs dalam sampel tanah dan tanaman bawang putih dilakukan setiap 7 hari sekali.

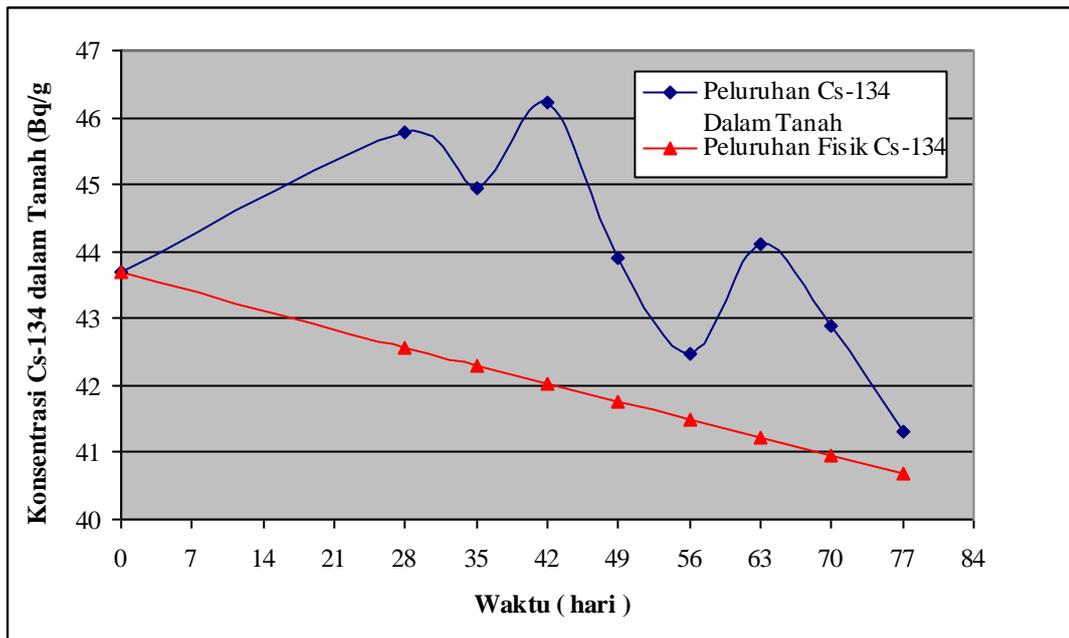
Konsentrasi radionuklida ^{134}Cs pada sampel tanah

Hasil perhitungan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs yang tersisa dalam tanah dapat dilihat pada Gambar 1.

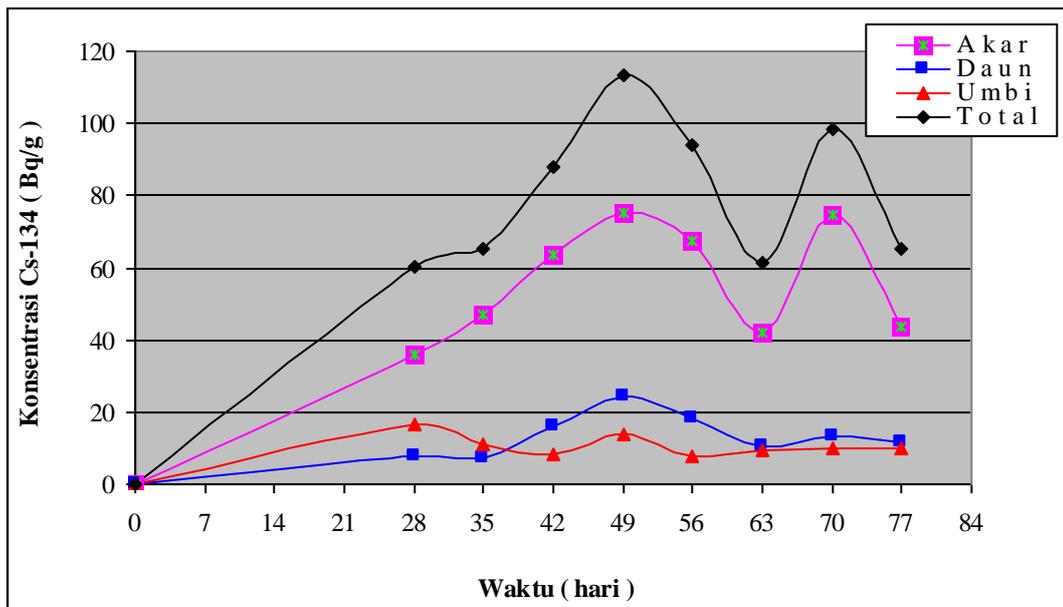
Dari Gambar 1. terlihat konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah penelitian mengalami kenaikan, kemudian mengalami penurunan. Pada awal penelitian terlihat ada kenaikan konsentrasi hingga melebihi konsentrasi awal, hal ini mungkin radionuklida ^{134}Cs tidak bercampur secara homogen dengan tanah. Penurunan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah diakibatkan karena adanya perpindahan radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih akibat diserap oleh akar tanaman, kemudian diakumulasi dalam daun

dan umbi tanaman, disamping itu juga karena faktor peluruhan radionuklida ^{134}Cs . Penurunan konsentrasi karena peluruhan fisis radionuklida ^{134}Cs hanya sedikit yaitu dari konsentrasi awal sebesar 43,69 Bq/g pada awal penelitian menjadi 40,68 Bq/g pada akhir penelitian.

Dalam hasil cacah sampel tanah yang diambil dari media kontrol menunjukkan tidak adanya radionuklida ^{134}Cs yang terdeteksi, sehingga dapat dikatakan dalam media kontrol tidak mengandung radionuklida ^{134}Cs .



Gambar 1. Penurunan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah



Gambar 2. Konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman bawang putih

Konsentrasi radionuklida ^{134}Cs pada sampel tanaman bawang putih

Dari hasil pengamatan dan perhitungan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman bawang putih (Gambar 2) terlihat radionuklida ^{134}Cs berpindah dari tanah ke tanaman bawang putih. Hal ini berarti juga tanaman bawang putih mampu menyerap dan mengakumulasi radionuklida ^{134}Cs dari media tanah yang terkontaminasi radionuklida ^{134}Cs .

Sedangkan dalam tanaman bawang putih yang ditanam pada media kontrol tidak terdeteksi adanya radionuklida ^{134}Cs .

Sebelum penanaman, tidak terdeteksi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman bawang putih, namun setelah penanaman radionuklida ^{134}Cs mulai terserap dan terakumulasi dalam tanaman. Hal ini dapat terlihat pada sampling ke 1, hari ke 28, mulai

terdeteksi adanya radionuklida ^{134}Cs dalam bagian akar, daun dan umbi. Pada hari selanjutnya terlihat adanya kenaikan kandungan radionuklida ^{134}Cs dalam bagian tanaman bawang putih sampai mencapai konsentrasi jenuh, setelah itu terjadi penurunan.

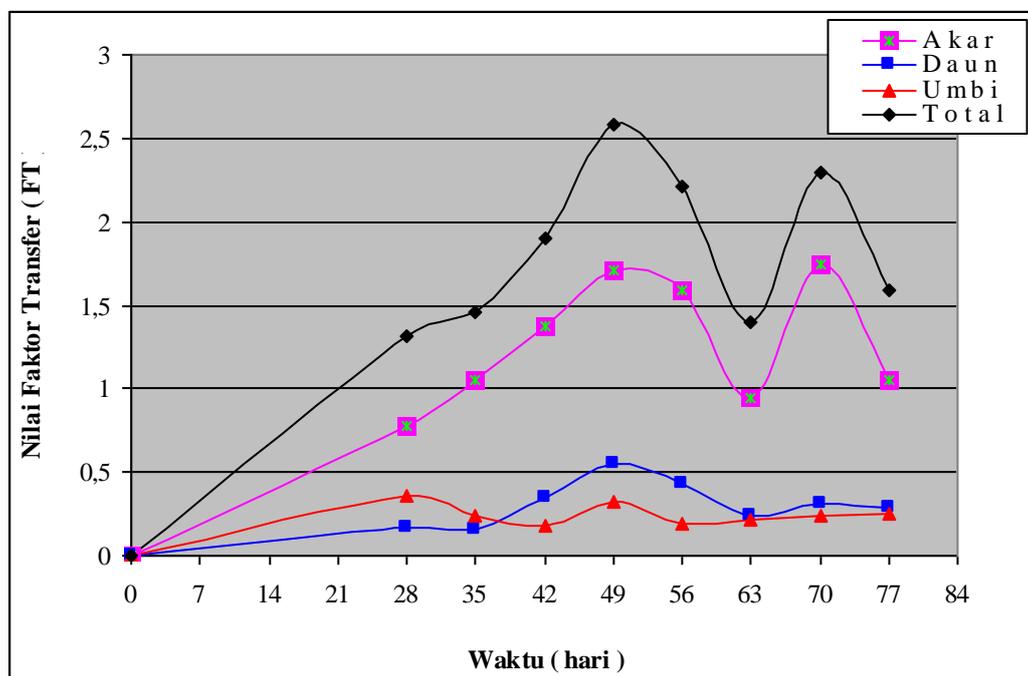
Kenaikan konsentrasi disebabkan tanaman bawang putih dalam pertumbuhannya menyerap dan mengakumulasi nutrisi dari dalam tanah yang juga mengandung radionuklida ^{134}Cs sehingga radionuklida ^{134}Cs dapat terakumulasi di dalam akar, daun dan umbi tanaman. Namun dalam perkembangannya, tanaman mencapai titik kejenuhan dalam proses menyerap dan mengakumulasi radionuklida ^{134}Cs sehingga konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman menjadi maksimum, selanjutnya konsentrasinya menurun.

Radionuklida ^{134}Cs yang diserap oleh

akar tanaman banyak diakumulasi oleh akar dibandingkan bagian lainnya. Hal ini mungkin disebabkan bagian akar tanaman langsung berhubungan dengan tanah yang mengandung radionuklida ^{134}Cs . Radionuklida ^{134}Cs dalam tanah yang diserap oleh akar, terlebih dahulu diakumulasi dalam akar sebelum didistribusikan ke umbi dan daun tanaman bawang putih. Dan dari hasil pengamatan dan perhitungan, terlihat konsentrasi radionuklida ^{134}Cs di bagian akar lebih besar dari bagian daun dan umbi, ini berarti daya serap akar tanaman bawang putih lebih besar dari bagian daun dan umbi.

Dari Gambar 2 juga terlihat secara umum konsentrasi radionuklida ^{134}Cs di daun lebih

besar daripada di umbi. Hal ini kemungkinan disebabkan (dari hasil pengamatan) bagian daun mengalami pertumbuhan yang cukup pesat daripada bagian umbi sehingga menyebabkan potensi daya akumulasi bagian daun lebih besar daripada umbi. Disamping itu, bagian daun cenderung menyimpan lebih banyak kandungan kalium daripada bagian-bagian lainnya. Kalium memiliki banyak peran dalam proses metabolisme yang terjadi pada daun. Radionuklida ^{134}Cs akan mengalami proses metabolisme yang sama dengan kalium, karena radiosesium mempunyai sifat kimia yang sama dengan kalium yang merupakan unsur hara yang diperlukan pada pertumbuhan tanaman.



Gambar 3. Nilai faktor transfer (FT) radionuklida ^{134}Cs ke tanaman bawang putih

Akumulasi maksimum radionuklida ^{134}Cs terjadi pada hari ke-49 dalam bagian akar dan

daun, masing-masing yaitu sebesar 75,05 Bq/g dan 24,40 Bq/g, dan pada hari ke-28

dalam bagian umbi yaitu sebesar 16,46 Bq/g. Setelah itu tidak terlihat lagi adanya kenaikan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs , baik dalam bagian akar, daun, dan umbi tanaman bawang putih. Kemungkinan hal ini telah tercapai kejenuhan dalam penyerapan dan akumulasi radionuklida ^{134}Cs .

Radionuklida ^{134}Cs yang tersisa dalam tanah tertinggi diperoleh pada hari ke-42 yaitu sebesar 46,23 Bq/g.

Perhitungan nilai faktor transfer (FT) radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih

Berdasarkan nilai konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman bawang putih (konsentrasi total radionuklida ^{134}Cs pada akar, daun dan umbi) pada hari ke-49 dan nilai konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam media tanah pada waktu tersebut dihitung nilai faktor transfer. Nilai konsentrasi radionuklida ^{134}Cs total dalam tanaman bawang putih pada hari ke-49 sebesar 113,48 Bq/g dan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah pada waktu tersebut sebesar 43,91 Bq/g. Jadi dari penelitian ini diperoleh nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih sebesar 2,58 yang dicapai pada hari ke-49 (Gambar 3).

Nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bayam sebesar 1,43 [8] dan dari tanah ke tanaman kangkung sebesar 0,07 [9]. Kedua tanaman tersebut ditanam dalam lokasi yang memiliki kondisi tanah dan iklim yang hampir sama dengan tanaman bawang putih.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa radionuklida ^{134}Cs dapat berpindah dari tanah ke tanaman bawang putih. Radionuklida ^{134}Cs terdistribusi dan terakumulasi pada seluruh bagian tanaman bawang putih dengan akumulasi tertinggi pada bagian akar.

Akumulasi maksimum radionuklida ^{134}Cs terjadi pada hari ke-49 dalam bagian akar dan daun masing-masing yaitu sebesar 75,05 Bq/g dan 24,40 Bq/g, dan pada hari ke-28 dalam bagian umbi yaitu sebesar 16,46 Bq/g. Radionuklida ^{134}Cs yang tersisa dalam tanah tertinggi diperoleh pada hari ke-42 yaitu sebesar 46,23 Bq/g

Berdasarkan nilai konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanaman bawang putih (konsentrasi total radionuklida ^{134}Cs pada akar, daun dan umbi) pada hari ke-49 dan nilai konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam media tanah pada waktu tersebut dihitung nilai faktor transfer. Nilai konsentrasi radionuklida ^{134}Cs total dalam tanaman bawang putih pada hari ke-49 sebesar 113,48 Bq/g dan konsentrasi radionuklida ^{134}Cs dalam tanah pada waktu tersebut sebesar 43,91 Bq/g. Dari penelitian ini diperoleh nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bawang putih sebesar 2,58 yang dicapai pada hari ke-49.

DAFTAR PUSTAKA

1. UNSCEAR, Ionizing Radiation : Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York (1993).
2. CHIBOWSKI, S., SOLECKI, J.,

- SZCZYPA, J., SUPRYNOWICZ, R.,
Study of radioactive contamination of
Eastern Poland. *Sci. Total Environ.* 158
(1994) 71-77
3. IAEA, Handbook of parameter values for
the prediction of radionuclide transfer in
temperate environments, Technical Report
Series No. 364. IAEA, Vienna (1994) 1-
34
 4. SUDIRJA, RIJA, 2001, "Bawang Merah"
<http://www.lablink.or.id/Agro/BawangMrh/bawangm.htm>, diakses 7 -5 – 2009
 5. BPS, Pengeluaran untuk konsumsi
penduduk Indonesia 2007, SUSENAS
Panel Maret 2007, Jakarta (2007)
 6. ALFIYAN, M., Kajian awal penyerapan
Cesium-134 oleh rumput untuk indikator
biologis radioaktivitas lingkungan di
sekitar P3TkN-BATAN, Bandung, Tesis
Magister, ITB, Bandung (2001)
 7. FUJIMOTO, K., Transfer of radionuclides
from air, soil, and freshwater to the
foodchain of man in tropical and
subtropical environment, "*General
Protocol for Transfer Measurement*",
IAEA, Vienna (1993)
 8. TJAHAJA, P.I. dan SUKMABUANA, P,
Penyerapan Cs-134 dari tanah andosol ke
tanaman bayam (*Amaranthus sp*)
(Prosiding Seminar Nasional ke-14
Teknologi Dan Keselamatan PLTN serta
Fasilitas Nuklir, Bandung 8 November
2008), PTRKN BATAN-UNPAD,
Bandung (2008).
 9. SUKMABUANA, P dan TJAHAJA, P.I.,
Penyerapan radionuklida Cs dari tanah
berair ke tanaman kangkung (*Ipomoea
sp*), (Prosiding sedang dalam proses
penerbitan), Seminar Nasional dan
Teknologi Nuklir 2009, PTNBR BATAN,
Bandung (2009).

PENENTUAN FAKTOR KOREKSI PADA PESAWAT TERAPI LINEAR ACCELERATOR (LINAC) VARIAN 2100C DENGAN VARIASI JARAK DAN VARIASI ARAH SUDUT DATANG SINAR RADIASI

Melsy Putri Windayani¹, Dian Milvita², dan Heru Prasetio³

^{1,2}Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Limau Manih, Padang, Kode Pos 25163, Telp. (0751) 71671, E-mail : melsyputriwindayani@yahoo.com

³ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Lbk bulus PO Box 7043 JKSKL Jaksel 12070, Telp. (021) 7513906, E-mail : prasetio@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN FAKTOR KOREKSI PADA PESAWAT TERAPI LINEAR ACCELERATOR (LINAC) VARIAN 2100C DENGAN VARIASI JARAK DAN VARIASI ARAH SUDUT DATANG SINAR RADIASI. Pesawat terapi LINAC merupakan pesawat terapi yang mampu menghasilkan energi sebesar 4 hingga 20 MV dan memberikan dosis radiasi yang cukup besar untuk membunuh sel kanker. Besarnya dosis radiasi yang diberikan ke pasien dalam terapi kanker menuntut ketelitian dan ketepatan dalam perencanaan pemberian dosis. Pemantauan agar dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan yang direncanakan dapat digunakan tehnik dosimetri In Vivo dengan memanfaatkan detektor TLD-100. Kondisi penyinaran pasien dan kondisi kalibrasi tidak selalu sama, dan respon TLD dipengaruhi oleh jarak penyinaran dan arah datang sudut radiasi, sehingga perlu dilakukan koreksi. Pengukuran menunjukkan respon TLD akan berubah terhadap jarak dan arah datang sinar radiasi. Faktor koreksi respon TLD pada jarak 80cm, 85 cm, 90cm dan 95cm adalah 0.917, 0.913, 0.931 dan 0.952 relatif terhadap jarak 100cm. Sedangkan variasi arah datang sinar menunjukkan semakin besar sudut datang respon TLD semakin besar. Peningkatan akurasi pengukuran dosimetri in Vivo menggunakan TLD dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan faktor koreksi respon TLD terhadap jarak dan sudut.

Katakunci : LINAC, TLD-100, faktor koreksi, sudut, jarak

ABSTRACT

DETERMINATION OF CORRECTION FACTOR OF LINEAR ACCELERATOR THERAPY DEVICE (LINAC) VARIAN 2100C WITH DISTANCE VARIATION AND INCIDENCE ANGLE RADIATION VARIATION LINAC is therapy equipment that can deliver high energy of photon beam from nominal energy 4MV to 20MV, and it can deliver a very high dose to kill cancer cell. High dose delivery to patient in radiotherapy demand detailed and accuracy during planning and delivery. Dose monitoring in order to assure accuracy in delivery same in planning in vivo dosimetry using TLD100 can be used. Patient and calibration setup is almost never similar, and TLD response is affected by source to detector distance and angle direction of the beam, because of that TLD response correction is important. TLD response correction factor at 80cm, 85 cm, 90cm and 95cm are 0.917, 0.913, 0.931 dan 0.952 relative to 100cm. Radiation beam angle direction dependency show that when the angle is increasing the TLD response also increase. Accuracy improvement for in vivo dosimetry could be achieve by adding several correction factor for TLD response such as angle and distance.

Keywords : LINAC therapy device, TLD-100, correction factor, angle, distance

I. PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi pengion untuk radioterapi semakin meningkat perkembangannya di Indonesia. Hal ini dapat dilihat semakin banyaknya rumah sakit yang dilengkapi dengan pesawat terapi Co-60, dan pesawat pemercepat partikel linier (*LinearAccelerator*, LINAC). LINAC merupakan pesawat radioterapi tercanggih di Indonesia yang digunakan untuk terapi kanker. Pesawat terapi LINAC dapat menghasilkan dua macam radiasi bertenaga tinggi secara bergantian, yaitu elektron dan sinar-X. Pesawat terapi LINAC mampu menghasilkan energi sebesar 4 hingga 20 MV. Dengan pertimbangan besarnya energi radiasi yang dihasilkan, diperlukan ketelitian dan ketepatan dalam perencanaan pemberian dosis. Jika dosis yang diberikan terlalu kecil, sel-sel kanker tidak akan mati seluruhnya bahkan dapat merangsang terjadinya kanker baru pada jaringan sekitarnya. Pemberian dosis yang berlebihan bisa mematikan jaringan sehat sekitarnya.

Salah satu cara untuk memantau agar dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan yang direncanakan adalah dengan menggunakan metode pengukuran secara langsung pada pasien atau dikenal dengan metode dosimetri *In Vivo*. Pengukuran Respon TLD-100 terhadap variasi jarak dan variasi arah sudut datang radiasi berkas pesawat terapi Cobalt-60 pernah dilakukan pada salah satu rumah sakit

di Kota Padang. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah semakin besar jarak yang diberikan maka respon TLD-100 akan semakin kecil, semakin besar arah sudut datang radiasi yang diberikan, maka respon TLD-100 akan semakin besar [5].

Respon TLD-100 terhadap jarak penyinaran dan arah sudut datang radiasi merupakan faktor yang penting dalam pengkalibrasian keluaran pesawat terapi. Jarak penyinaran radiasi atau *Source to Surface Distance* (SSD) setiap pasien tidak selalu sama, sehingga perlu dilakukan koreksi respon TLD-100 terhadap perubahan jarak. Permukaan tubuh pasien secara alami tidak datar, sehingga terjadi kemiringan dan perbedaan arah sudut datang sinar radiasi yang diterima TLD-100. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi respon TLD-100 terhadap arah sudut datang sinar radiasi. Respon TLD-100 terhadap variasi jarak dan variasi arah sudut datang sinar radiasi pada pesawat terapi LINAC akan memberikan faktor koreksi yang digunakan lebih lanjut dalam perhitungan dosis pasien.

Ruang lingkup penelitian adalah mengukur respon TLD-100 yang ditempel pada permukaan *phantom* air dengan memvariasikan jarak penyinaran dan arah sudut datang sinar radiasi. Sumber radiasi yang digunakan berasal dari pesawat terapi LINAC Varian 2100 C dengan energi foton 6 MV. Penelitian dilakukan pada salah satu rumah sakit di Jakarta. Dengan diperoleh hasil koreksi respon

TLD terhadap variasi jarak dan sudut, tingkat akurasi pengukuran dosis *in Vivo* semakin baik.

II. TEORI

2.1 DOSIMETRI *IN-VIVO*

Salah satu cara untuk memantau agar dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan yang direncanakan adalah dengan menggunakan metode pengukuran secara langsung pada pasien atau dikenal dengan metode dosimetri *In Vivo*. Dosimetri *In Vivo* merupakan metode dosimetri yang paling tepat untuk memantau dosis radiasi sesungguhnya yang diberikan ke pasien. Pemantauan dosis harus dilakukan pada penyinaran radiasi pertama, dan jika terjadi perubahan perencanaan pengobatan. Pemantauan pertama bertujuan untuk melakukan verifikasi keakuratan perhitungan yang dilakukan dalam komputer perencanaan terapi dengan kondisi penyinaran sesungguhnya. Jika dalam verifikasi pertama ditemukan perbedaan yang signifikan, tindakan koreksi dapat segera dilakukan sehingga kesalahan pemberian dosis dapat dihindari. Detektor yang digunakan dalam metode dosimetri *In Vivo* adalah TLD-100. Detektor TLD-100 digunakan karena lebih praktis, dapat dikirim ke tempat lain menggunakan jasa kurir dan relatif tidak mengganggu kenyamanan pasien karena tidak menggunakan kabel. Selain itu, metode dosimetri *in Vivo* menggunakan

TLD relatif mudah dan dapat dilakukan tanpa melalui proses pelatihan yang kompleks.

2.2 Perhitungan dan Pengukuran Dosis Radiasi dengan Protokol TRS (*Technical Report Series*) 398

Salah satu tahapan dalam perlakuan radioterapi sebelum sampai pada penyinaran radiasi adalah penentuan dosis serap berkas pesawat terapi eksternal yang digunakan. Dengan adanya tahapan ini sangat membantu dalam mencapai keberhasilan tujuan radioterapi. TRS 398 merupakan teknik yang digunakan untuk penentuan dosis serap berkas pesawat terapi eksternal yang dipublikasikan oleh IAEA (*International Atomic Energy Agency*) pada akhir tahun 2000. Perhitungan dosis dilakukan dengan menggunakan laju dosis serap yang dinyatakan dalam cGy/menit yang terukur pada titik acuan di *phantom* menggunakan detektor kamar pengion.

Ketika jarak SSD dirubah, maka laju dosis radiasi dan respon TLD yang terpapari sumber radiasi juga akan berubah. Sensitivitas TLD sangat tergantung pada laju dosis radiasi yang terlihat pada respon TLD dan kamar pengion pada kedalaman dosis maksimum.

Untuk menentukan faktor koreksi (CF) bacaan TLD terhadap variasi jarak dapat dilihat pada Pers. (1).

$$CF_{\text{jarak}} = \frac{\frac{R_{ic}(Z \text{ max}, 10\text{cm} \times 10\text{cm}, SSD)}{R_{ic}(Z \text{ max}, 10\text{cm} \times 10\text{cm}, SSD = 100\text{cm})}}{\frac{R_{ld}(10\text{cm} \times 10\text{cm}, SSD)}{R_{ld}(10\text{cm} \times 10\text{cm}, SSD = 100\text{cm})}}$$

(1)

CF_{jarak} adalah faktor koreksi jarak atau SSD, $R_{ic}(Z_{max}, 10cm \times 10cm, SSD)$ adalah bacaan detektor kamar pengion pada jarak ke-n (nC), $R_{ic}(Z_{max}, 10cm \times 10cm, SSD = 100cm)$ adalah bacaan detektor kamar pengion pada jarak referensi (nC), $R_{td}(10cm \times 10cm, SSD)$ adalah bacaan TLD-100 terhadap jarak ke-n (nC), $R_{td}(10cm \times 10cm, SSD = 100cm)$ adalah bacaan TLD-100 terhadap jarak referensi (nC).

Variasi arah sudut datang radiasi yang diberikan akan mempengaruhi respon TLD dan dosis radiasi yang diterima oleh TLD. Maka untuk menentukan faktor koreksi (CF) variasi arah sudut datang radiasi dapat dilihat pada Pers. (2).

$$CF_{sudut} = \frac{M_{TLD}(\theta)}{M_{TLDref}} \quad (2)$$

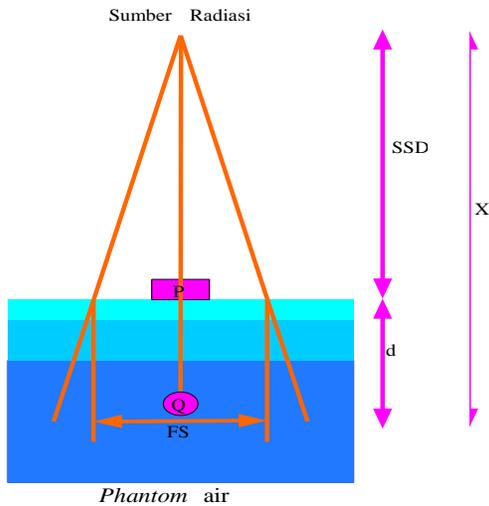
CF_{sudut} adalah faktor koreksi terhadap variasi arah sudut datang radiasi, $M_{TLD}(\theta)$ adalah bacaan TLD-100 pada sudut ke-n (nC), M_{TLDref} adalah bacaan TLD-100 pada sudut referensi (nC)

III. METODOLOGI

Peralatan yang digunakan pada penelitian adalah pesawat terapi LINAC Varian 2100C sebagai sumber radiasi pada peralatan radioterapi, *phantom* air digunakan sebagai pengganti tubuh pasien, elektrometer merek PTW UNIDOS untuk membaca dosis radiasi pada detektor kamar pengion, detektor kamar

pengion merek TM 30013-2484 untuk mengukur dosis radiasi yang dihasilkan oleh pesawat terapi LINAC, TLD-100 LiF buatan Harshaw untuk pemantauan dosis radiasi, TLD-reader model A dan model B buatan Harshaw untuk membaca dosis radiasi yang ada pada TLD-100, dan gas nitrogen (N_2) untuk mengurangi kelembaban atau uap air pada saat pembacaan TLD-100.

Proses preparasi TLD-100 sebelum disinari pesawat terapi LINAC dan pembacaan TLD-100 yang telah disinari pesawat terapi LINAC dilakukan oleh pihak PTKMR-BATAN di Pasar Jum'at, Jakarta. Pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi jarak pada pesawat terapi LINAC bertujuan untuk mengetahui respon TLD-100 pada jarak tertentu terhadap respon TLD-100 pada jarak referensi 100 cm. Pengukuran dimulai dengan mengatur Luas lapangan FS = 10 cm x 10 cm pada pesawat terapi LINAC, kemudian suhu dan tekanan pada pesawat terapi LINAC diatur. TLD-100 ditempel pada permukaan *phantom* air. Jarak SSD divariasikan sebesar 105 cm, 100 cm, 95 cm, 90 cm, 85 cm dan 80 cm. Pesawat terapi LINAC kemudian dihidupkan dengan memberi energi 6 MV, tegangan kerja 400 V, dan banyaknya penyinaran 200 *Monitor Unit* (MU), dan langkah terakhir mencatat bacaan detektor kamar pengion pada elektrometer. Skema pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi jarak dapat dilihat pada Gambar 1.



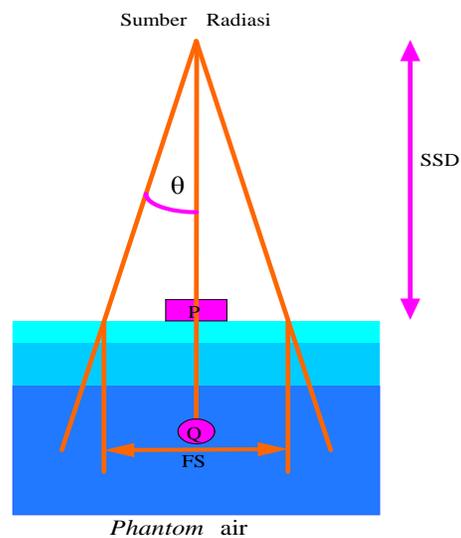
Gambar 1. Skema pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi jarak

Keterangan Gambar :

- P = TLD-100
- Q = Detektor kamar pengion
- d = Kedalaman detektor kamar pengion (1,5 cm)
- FS = Filed Size atau luas lapangan (10 cm x 10 cm)
- SSD = Source to Surface Distance (100 cm)

Pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi pada pesawat terapi LINAC bertujuan untuk mengetahui pengaruh respon TLD-100 dengan variasi arah sudut datang yang berbeda. Pengukuran respon TLD-100 dimulai dengan mengatur *Source to Surface Distance* (SSD) pada jarak 100 cm dan luas lapangan lapangan FS = 10 cm x 10 cm pesawat terapi LINAC, kemudian dilanjutkan dengan mengatur suhu dan tekanan pada pesawat terapi LINAC. TLD-100 ditempatkan

pada permukaan *phantom* air. Arah sudut datang radiasi pesawat terapi LINAC divariasikan sebesar -10° , -20° , -30° , -40° , -60° , 30° , 20° dan 10° . Pesawat terapi LINAC dihidupkan dengan memberi energi 6 MV, tegangan 400 V, dan banyaknya penyinaran 200 MU, dan yang terakhir mencatat bacaan detektor kamar pengion pada elektrometer. Skema pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi jarak dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skema pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi

Keterangan Gambar :

- P = TLD-100
- Q = Detektor kamar pengion
- θ = arah sudut datang radiasi
- FS = Filed Size atau luas lapangan (10 cm x 10 cm)
- SSD = Source to Surface Distance (100 cm)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

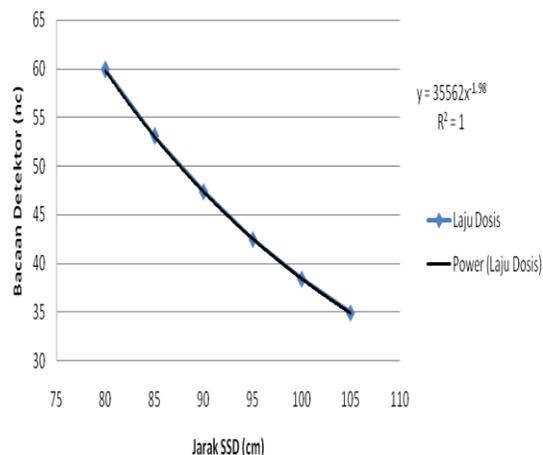
4.1 Respon TLD-100 terhadap Variasi Jarak pada Pesawat Terapi LINAC

Data hasil pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi jarak pada pesawat terapi LINAC ditunjukkan pada **Tabel 1**.

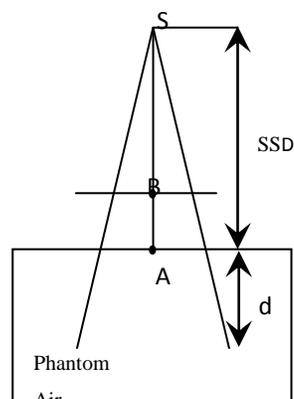
Tabel 1. Respon TLD-100 terhadap variasi jarak

No	Jarak (cm)	$R_{ic}/R_{ic,ref}$	$R_{tld}/R_{tld,ref}$	Faktor koreksi
1	100	1,000	1,000	1,000
2	95	1,106	1,207	0,917
3	90	1,233	1,351	0,913
4	85	1,381	1,484	0,931
5	80	1,558	1,637	0,952

Jika dirata-ratakan faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi jarak pada pesawat terapi LINAC sesuai dengan Tabel 1. Pada Tabel 1 terlihat bahwa respon TLD-100 semakin besar ketika jarak diperkecil, hal ini disebabkan karena jarak dalam pemberian dosis radiasi oleh pesawat terapi LINAC semakin dekat ke *phantom* sehingga respon TLD-100 semakin besar dan dosis radiasi yang diterima TLD-100 juga akan semakin besar. Semakin dekat TLD-100 ke sumber radiasi, maka laju dosis radiasi akan meningkat. Hal ini sesuai dengan hukum kuadrat jarak terbalik (Invers Square Law) yang menyatakan bahwa laju dosis pada suatu titik akan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik tersebut dengan sumber radiasi ($\dot{D} = \frac{1}{R^2}$), dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva bacaan detektor terhadap variasi jarak



Phantom Air

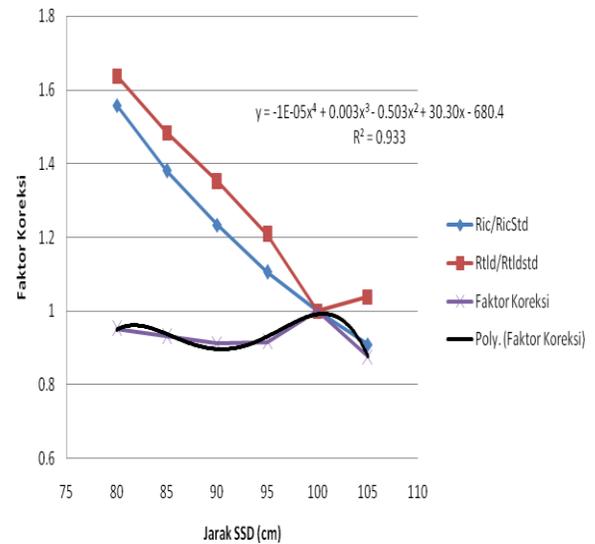
Gambar 4. Respon TLD-100 terhadap variasi jarak

Keterangan Gambar :

- A dan B = Posisi TLD-100
- S = Sumber Radiasi
- D = Kedalaman detektor kamar pengion
- SSD = Source to Surface Distance

Pada Gambar 4 terlihat bahwa jarak pemberian sumber radiasi pada titik A lebih jauh dari pada pemberian dosis radiasi pada titik B, sehingga menyebabkan laju dosis radiasi di titik A lebih kecil dari pada laju dosis radiasi di titik B dan respon TLD-100 di titik B juga besar dari pada respon TLD-100 di titik A. Kurva faktor koreksi respon detektor kamar pengion (Ric/Ricstd) dengan respon TLD-100 (Rtld/Rtldstd) terhadap variasi jarak pada pesawat terapi LINAC ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa perubahan jarak akan mempengaruhi respon TLD-100 terhadap pengukuran. Kurva memiliki persamaan polinomial dengan persamaan garis $y = -1E-05x^4 + 0,003x^3 - 0,503x^2 + 30,30x - 680,4$ dan faktor korelasi fungsi $R^2 = 0,933$. Persamaan garis menunjukkan hubungan antara faktor koreksi dan jarak pada pesawat radioterapi LINAC. Hasil pengukuran ini dapat digunakan oleh fisikawan medik untuk memberikan prediksi dosis radiasi pada pasien dengan jarak penyinaran tertentu, sehingga tujuan radioterapi dapat tercapai yaitu meningkatkan keberhasilan terapi dan memeperkecil efek negatif yang ditimbulkan oleh terapi itu sendiri.



Gambar 5. Kurva faktor koreksi terhadap variasi jarak

Komponen dosis yang sampai ke pasien terbagi menjadi 2 komponen utama yaitu radiasi primer dan radiasi hambur (persamaan 3).

$$D_T = D_p + D_s \quad (3)$$

- D = dosis total
- D_p = dosis dari berkas radiasi primer
- D_s = dosis radiasi hambur

Komponen radiasi primer berasal dari sumber radiasi, dan berkas radiasi hambur berasal dari komponen lain selain sumber primer seperti kolimator, MLC, dan aksesoris lain yang ada pada bagian komponen *Head* pesawat linac. Secara fisis, energy dari radiasi hambur lebih kecil dari radiasi primer, sehingga untuk detector yang sensitive terhadap energy akan memberikan respon yang

berbeda. TLD100 merupakan detector *solid state* yang sensitive terhadap energy radiasi.

Kolimator dan aksesoris di dalam *head* pesawat terapi memberikan kontribusi hamburan jika pesawat terapi dihidupkan. Semakin dekat TLD-100 dengan sumber radiasi, hamburannya juga semakin besar karena posisi TLD yang semakin mendekati objek penghambur. Energi hamburan lebih rendah dibanding energi sumber. Energi rendah lebih mudah diserap oleh TLD-100, sehingga banyak radiasi hambur yang diserap oleh TLD-100. Ini berarti semakin dekat TLD dari sumber, radiasi yang ditangkap TLD-100 juga semakin besar karena dominasi radiasi energy rendah lebih tinggi pada jarak dekat dengan sumber dibanding pada saat jauh dari sumber.

Rasio bacaan TLD-100 terhadap detektor kamar pengion lebih besar pada jarak SSD tertentu dibanding pada jarak referensi 100 cm. Ini menandakan TLD-100 lebih sensitif untuk menangkap radiasi hambur. Detektor kamar pengion memiliki respon lebih stabil terhadap perubahan energi.

4.2 Respon TLD-100 terhadap Variasi Arah Sudut Datang Radiasi Pada Pesawat Terapi LINAC

Data hasil pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi pada pesawat terapi LINAC ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Respon TLD-100 terhadap Variasi Arah Sudut Datang Radiasi

No	Sudut (°)	M_{TLD} (nC)	Faktor koreksi
1	-60	2033,33	1,465
2	-45	1277,20	1,218
3	-30	1082,70	1,031
4	-20	1101,67	1,049
5	-10	1127,65	1,074
6	0	1050,38	1,000
7	10	1132,14	1,079
8	20	1142,90	1,089
9	30	1179,93	1,124

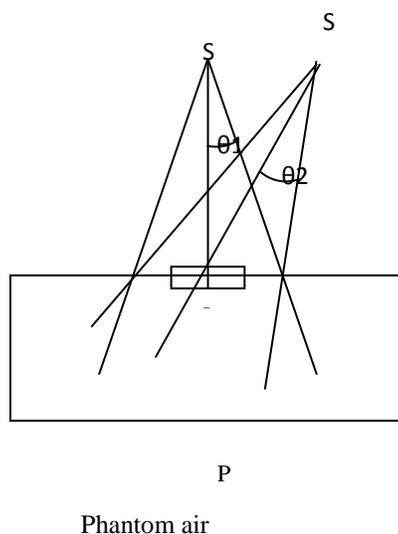
Dari Tabel 2 terlihat bahwa saat sudut datang radiasi diarahkan mulai dari 0°, -10°, -20°, -30°, -45°, sampai -60° maka respon TLD-100 (M_{TLD}) semakin meningkat, begitu juga saat sudut datang radiasi diarahkan mulai dari 0°, 10°, 20°, sampai 30° respon TLD-100 juga meningkat. Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut datang radiasi, maka nilai respon TLD-100 akan semakin besar. Respon TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi ditunjukkan pada Gambar 6.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa semakin besar sudut datang sumber radiasi, maka nilai respon TLD-100 akan semakin besar. Peningkatan respon TLD-100 terjadi karena pada saat arah datang tidak sama dengan 0°, jarak tempuh efektif radiasi didalam TLD lebih jauh seperti terlihat pada gambar 7. Semakin panjang jarak tempuh radiasi jumlah interaksi radiasi yang

terjadi pada TLD akan semakin banyak sehingga jumlah ion yang terkumpul pada TLD semakin banyak dan bacaan TLD meningkat.

Luas lapangan yang terkena radiasi di dalam TLD-100 akan semakin besar, sehingga interaksi radiasi dengan TLD-100 akan semakin banyak. Jumlah interaksi sebanding dengan besarnya dosis radiasi yang akan tersimpan di dalam TLD-100, sehingga semakin besar sudut akan meningkatkan jumlah radiasi yang "tertangkap" oleh TLD-100.

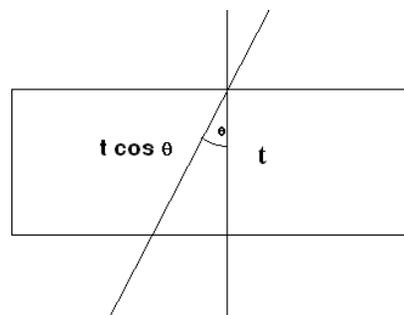
Kurva faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi pada pesawat terapi LINAC ditunjukkan pada Gambar 8.



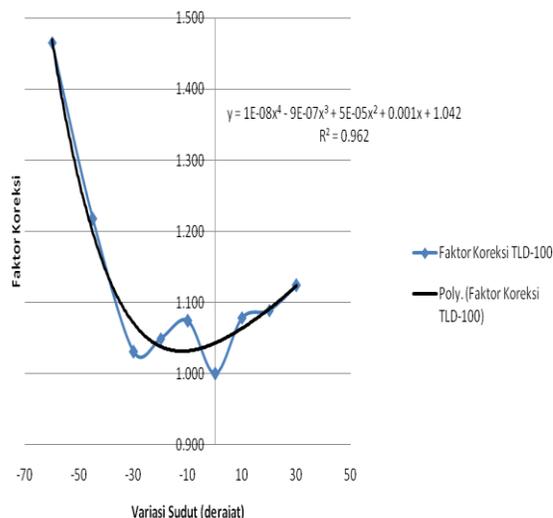
Gambar 6. Respon TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi

Keterangan Gambar 9 :

- P = TLD-100
- S = Sumber Radiasi



Gambar 7. Perbandingan panjang lintasan efektif berkas radiasi didalam TLD



Gambar 8. Kurva faktor koreksi bacaan TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi

Pada Gambar 8 dapat dilihat Kurva faktor koreksi bacaan TLD-100 terhadap variasi arah sudut datang radiasi pada pesawat terapi LINAC dengan persamaan garis $y = 1E-08x^4 - 9E-07x^3 + 5E-05x^2 + 0,001x + 1,042$ dan korelasi fungsi $R^2 = 0,962$. Persamaan garis menunjukkan hubungan antara faktor koreksi dan variasi arah sudut datang radiasi pada pesawat radioterapi LINAC. Hasil pengukuran ini dapat digunakan oleh radiografer untuk

memberikan prediksi dosis radiasi pada pasien dengan arah sudut datang sinar radiasi tertentu, sehingga tujuan radioterapi dapat tercapai yaitu meningkatkan keberhasilan terapi dan memperkecil efek negatif yang ditimbulkan oleh terapi itu sendiri.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa respon TLD-100 semakin besar ketika jarak diperkecil. Respon TLD-100 semakin besar ketika arah sudut datang sinar radiasi di perbesar. Perbedaan respon akan menyebabkan perbedaan bacaan dengan kondisi referensi atau kondisi standar. Pada pengukuran dosimetri In Vivo diharapkan detector TLD harus memiliki factor koreksi yang lengkap selain factor kalibrasi, mengingat kondisi penyinaran pasien tidak selalu sama dengan kondisi referensi seperti yang dilakukan pada saat kalibrasi.

VI. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada karyawan PTKMR-BATAN bidang dosimetri yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, "Radiation Protection Procedures" (Safety Series No. 38), IAEA, Vienna (1973).
2. Surat Keputusan Dirjen Badan Tenaga Atom Nasional Nomor 84/DJ/VI/1991 tentang Kalibrasi Alat Ukur Radiasi dan

Keluaran Sumber Radiasi, Standardisasi Radionuklida, dan Fasilitas kalibrasi (1991).

3. AKHADI M, **Dasar-Dasar Proteksi Radiasi**. Rineka Cipta, Jakarta (2000).
4. GATOT W. DAN SUSETYO T, Kendali Kualitas dan Jaminan Kualitas Pesawat Radioterapi, Bidikan Baru Laboratorium Metrologi Radiasi, Buletin Alara, Volume 6 Nomor 2, Desember (2004).
5. RAMADHANI, Skripsi Sarjana, Jurusan Fisika, Universitas Andalas, Indonesia (2008).

STUDI *p53*, AgNOR, MIB-1, INDEK MITOSIS DAN RESPON KEMORADIOTERAPI KANKER SERVIK

Iin Kurnia^{*}, Irwan Ramli^{**}, Budiningsih Siregar^{***}, Andri Andrijono^{****}, Cholid Badri^{**}

^{*}Bidang Biomedika PTKMR Batan-Jakarta

^{**}Departemen Radioterapi Anatomi FKUI/RSCM-Jakarta

^{***}Departemen Patologi Anatomi/FKUI/RSCM-Jakarta

^{****}Departemen Obstetri Ginekologi FKUI/RSCM-Jakarta

ABSTRAK

STUDI *p53*, AgNOR, MIB-1, INDEK MITOSIS DAN RESPON KEMORADIOTERAPI KANKER SERVIK. Radioterapi atau kemoradioterapi merupakan tindakan utama pada kanker servik khususnya pada stadium lanjut. *Survival rate* yang merupakan bagian dari prognosis pasien kanker servik dapat ditentukan oleh tingkat respon sel kanker terhadap pemberian radioterapi atau kemoradioterapi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari hubungan antara *p53*, AgNOR, MIB-1 dan Indeks Mitosis dan respon kemoradioterapi kanker servik. Penelitian ini dilakukan dengan cara pewarnaan *p53*, AgNOR, MIB-1 terhadap 23 sediaan mikroskopik KSS (karsinoma servik uteri sel skuamosa) sebelum kemoradioterapi yang dikelompokkan berdasarkan respon akhir kemoradioterapi (*parsial response dan complete response*). Protein *p53* positif menunjukkan respons kemoradioterapi lebih baik (*complete response*) dibanding protein *p53* negatif setelah selesai kemoradioterapi ($p < 0,05$). Walau diperlukan penelitian lebih lanjut dapat disimpulkan bahwa Indeks *p53* sebelum kemoradioterapi dapat digunakan untuk memprediksi respons kemoradioterapi kanker serviks

Kata Kunci: p53, AgNOR, MIB-1, Indeks Mitosis karsinoma serviks uteri sel skuamosa

ABSTRACT

STUDY OF *p53*, AgNOR, MIB-1, MITOTIC INDEX AND RESPONSE OF CHEMORADIOTHERAPY ON CERVICAL CANCER. Radiotherapy or chemoradiotherapy is the main therapy on cervical cancer, especially in advanced stage. Survival rates are part of prognosis of cervical cancer patients can be determined by the level of cancer cell response to the provision of radiotherapy or chemoradiotherapy. The purpose of this research is to study the relationship between *p53*, AgNOR MIB-1, and mitotic index and chemoradiotherapy respons on cervical cancer. This study was conducted by stained *p53*, AgNOR, MIB-1 of 23 microscopics preparation SCC (squamous cell carcinoma of the uterine cervix) before chemoradiotherapy that grouped based on response of chemoradiotherapy (*partial response and complete response*). Positive of *p53* protein before treatment showed better response (*complete response*) than negative *p53* protein after chemoradiotherapy ($p < 0.05$). Although further research is required, it can be concluded the *p53* labeling index before chemoradiotherapy can be used to predict the chemoradiotherapy response of cervical cancer

Key words : *p53*-LI, AgNOR, MIB-1-LI, squamous cell carcinoma of the uterine cervix

I. PENDAHULUAN

Kanker serviks merupakan penyakit keganasan yang umum dijumpai pada wanita, di Indonesia merupakan penyakit keganasan urutan pertama [1]. Pengobatan yang dapat dilakukan adalah mulai dari histerektomi sampai radioterapi. Radioterapi merupakan tindakan terapi utama pada kanker serviks, khususnya pada stadium lanjut. *Survival rate* yang merupakan bagian dari prognosis pasien kanker serviks dapat ditentukan oleh tingkat respon sel kanker terhadap pemberian radioterapi. Respon sel kanker ini terhadap radiasi ionik pada radioterapi sangat bervariasi dan salah satunya dapat dijelaskan dalam berbagai mekanisme kematian sel, sedangkan resistensi sel kanker terhadap radiasi merupakan salah satu penyebab dari kegagalan penanganan kanker dengan radioterapi [2].

Pengamatan proliferasi sel sebelum radioterapi dapat dijadikan sebagai pantulan dari kondisi repopulasi sel kanker [3,4,5] dan sekaligus sebagai strategi dalam mengidentifikasi prognosis pasien kanker apabila ditangani dengan radioterapi dan kemungkinan ditangani dengan radioterapi dipercepat atau dengan terapi adjuvant lainnya [6,7–10].

II. TEORI

Adanya variasi respon sel kanker terhadap radioterapi baik dalam tipe sel kanker yang sama atau tipe sel yang berbeda terhadap radioterapi telah terbukti secara klinis. Sejumlah faktor yang mempengaruhi respons sel kanker terhadap radioterapi meliputi tipe histologik, volume tumor, pola pertumbuhan, tingkat keganasan dan derajat

diferensiasi. Walaupun telah diaplikasikan secara klinis sebagai pedoman pelaksanaan radioterapi secara rutin, namun masih ditemukan adanya variasi respons sel kanker terhadap radioterapi walaupun dengan jenis dan tipe sel yang sama (dalam tumor dengan jenis histologik, anatomi dan gambaran klinik yang sama). Dasar variasi respon radiasi individu dalam kelompok spesifik belum sepenuhnya dimengerti namun dapat menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan kegagalan atau keberhasilan radioterapi [11, 12].

Oleh sebab itu keberhasilan dalam memprediksi respon sel tumor secara individu terhadap radioterapi dengan sejumlah parameter akan menjadi keberuntungan secara klinis karena sel kanker yang diharapkan mempunyai radiosensitifitas yang tinggi dapat diberi prioritas jadwal radioterapi jika terjadi periode waktu menunggu (pasien yang telah diidentifikasi kemungkinan radioresisten sebaliknya dapat dipertimbangkan dengan terapi *adjuvant* atau protokol radioterapi yang lebih agresif) [13].

Gen p53 dijumpai pada kromosom 17p dan berperan sebagai gen penekan tumor. Gen ini mengontrol siklus sel sebelum memasuki fase S (sintesis).

Gene p53 memegang peranan penting pada proliferasi sel. Mutasi pada gen ini akan menginaktivasi sifat penekan tumornya dan terkait dengan terjadinya progresi tumor [14]. Dari penelitian yang dipublikasi oleh Kainz *et al.* [15] dijumpai adanya korelasi antara ekspresi protein p53 yang diamati teknik imunohistokimia sebelum pengobatan dengan peningkatan kekambuhan dan berkurangnya peluang hidup pada karsinoma

kandung kemih [15]. Pada kanker servik hubungan antara ekspresi protein p53 sebelum radioterapi dengan kontrol lokal dan survival masih bersifat kontroversi [16].

Nucleolar organizer regions (NORs) merupakan *chromosomal loops* of DNA berperan dalam sintesis ribosom. Pewarnaan AgNOR dapat dengan mudah mendeteksi NORs pada biopsi jaringan kanker yang difiksasi dengan formalin dalam bentuk dot hitam pada nukleolus (AgNORs). Metoda ini dapat dilakukan dengan cepat bahkan dengan ukuran biopsi yang kecil. Evaluasi parameter AgNOR meliputi jumlah, ukuran dan distribusi telah digunakan pada patologi tumor baik prognostik maupun diagnostik [17,18,19].

MIB-1 merupakan antibodi yang dapat mendeteksi antigen Ki-67. Ki-67 merupakan antigen terekspresi pada seluruh siklus sel kecuali fase G₀ (Gap 0) dan awal G₁(Gap 1). Antigen ini diduga berkaitan dengan antigen protein inti protein-DNA replikasi, mirip dengan DNA topoisomerase II. Pada umumnya lebih tinggi indeks MIB-1 berkorelasi dengan prognosis yang buruk dan cenderung lebih bersifat radiosensitiv [20,21]

Indek Mitosis merupakan metode untuk mengestimasi proliferasi sel dengan cara menghitung jumlah sel yang bermitosis. Metode ini juga telah digunakan dalam penentuan tingkat keganasan kanker, serta berasosiasi dengan pendeknya *survival* pada kanker payudara dan berkorelasi terbalik dengan rekurensi, metastasis dan kematian akibat kanker pada kanker servik [22,23]

Sejumlah publikasi menyebutkan adanya korelasi antara penanda proliferasi (AgNOR, MIB-1, Indek Mitosis, dan p53) dengan *survival* pasien penyakit kanker [16,19,20]. Ada tidaknya jaringan kanker setelah radioterapi merupakan bagian dari prognosis yang juga terkait dengan survival pasien kanker. Makalah ini akan membahas hubungan antara P53, AgNOR, MIB-1, Indeks Mitosis dengan respon sel kanker setelah kemoradioterapi. Diharapkan dapat diketahui parameter proliferasi yang paling bermakna dengan respon kemoradioterapi kanker servik.

III.METODOLOGI

TATA KERJA

Sediaan mikroskopik yang digunakan pada penelitian ini berasal dari 23 sampel biopsi penderita karsinoma serviks uteri sel squamosa (KSS) stadium lanjut lokal yang datang ke RSCM tahun 2005-2006 yang secara klinis terdiri dari stadium klinik IB (sel tumor menyebar sampai parametrium) dan IVA (sel tumor telah mencapai dinding panggul/hidroneprosis atau gangguan fungsi ginjal) sebelum menerima kemoradioterapi [24].

Kemoradioterapi

Pasien ditangani dengan cara kombinasi Eksternal Beam Radiotherapy (EBRT) dengan sinar gamma Co-60 dan high dose rate intracavitary brachytherapy (HDR-ICBT) dengan ¹⁹²Ir. EBRT diberikan pada whole pelvis, dengan volume target klinik termasuk kanker primer, uterus, iliac internal, presacral, iliac eksternal, common iliac serta nodul limfe. HDR-ICBT

menggunakan Microselectron (Nucletron International, Amsterdam, Netherlands) diikuti dengan EBRT dalam dua fraksi (850 cGy/fraksi) pada titik A. Cisplatin diberikan dengan dosis 40 mg/m² pada hari 1, 8, 15, 22, dan 29, secara *concurrent* dengan EBRT sekitar 2 jam sebelumnya.[25].

Pewarnaan MIB-1, p53

Pewarnaan MIB-1 dan p53 dilakukan dengan pewarnaan immunohistokimia. Sediaan mikroskopik berasal dari jaringan kanker dipotong dengan mikrotom ketebalan 4µ, deparafinasi dengan xilol, rehidrasi dengan etanol konsentrasi menurun, dan diikuti dengan PBS (3 x 5 menit). Sediaan jaringan kemudian diinkubasi pada DAKO Buffer antigen Retrieval pada microwave suhu 94⁰ C selama 20 menit dan dilanjutkan dengan pendinginan selama 20 menit pada suhu ruangan dan dicuci dengan PBS 3 x 5 menit, kemudian diinkubasi pada Blok Peroksidase (Dako Cytomotion), PBS 3 x 5 menit dan inkubasi dengan anti bodi MIB-1 atau p53 selama *overnight* suhu 4⁰ C. Setelah inkubasi dengan MIB-1 atau p53 maka sediaan diinkubasi lagi dengan antibodi ke 2 (Labeled Polymer HRP (DakoCytomation)) selama 60 menit temperatur ruang, di cuci dengan PBS 3 x 5 menit, *counter stain*, dehidrasi dengan etanol konsentrasi meningkat, penjernihan dengan xilol, dan penempelen. Hasil pewarnaan MIB-1 ini juga dapat dilakukan penghitungan Indeks Mitosis.

Pewarnaan AgNOR

Sampel biopsi diproses menjadi blok paraffin yang dipotong menjadi sediaan

mikroskopik dengan ketebalan 4µm. Sediaan diletakkan pada objek glass untuk deparafinasi dengan xilol, rehidrasi dengan etanol konsentrasi menurun dan terakhir dengan air deionisasi masing-masing selama 5 menit, kemudian diwarnai dengan pewarnaan AgNOR dengan cara membuat larutan perak koloidal, yang dibuat dari 2% bubuk gelatin dalam air deionisasi pada "waterbath" suhu 60 – 70°C. Kemudian ditambah asam formiat murni 1%. Larutan ini dicampur dengan 50% perak nitrat dalam air deionisasi dengan perbandingan 1:2,. Selanjutnya larutan perak nitrat koloidal ini dengan filter 0,22 µm milipore diteteskan pada sediaan jaringan kanker dan didiamkan selama 40 menit, sediaan jaringan kanker kemudian diinkubasi dalam larutan tiosulfat 5% selama 15 menit. Sediaan mikroskopik didehidrasi dengan alkohol bertingkat dengan konsentrasi 70 %, 80%, 90% dan 100%, kemudian dilakukan penjernihan dengan xilol, setelah preparat kering ditutup dengan gelas penutup dan siap untuk dilakukan penghitungan AgNOR [26]

Penghitungan AgNOR, MIB-1, p53, dan Indeks Mitosis

Penghitungan butir AgNOR dilakukan di bawah mikroskop secara acak dari 100 sel menggunakan pembesaran lensa objektif 100x [27]. Nilai AgNOR yang dihitung adalah rerata AgNOR dalam satu inti sel. Indeks MIB-1, indeks p53 dan Indeks Mitosis merupakan persentase jaringan tumor positif, dievaluasi secara *blind protocol* untuk menghindari hasil yang bias. Tiga lapangan dipilih secara random minimum 1000 sel (menggunakan foto)

perbesaran mikroskop x 400) untuk meminimalkan variasi dilakukan peng hitungan ulang variasi tidak lebih dari 5%. Indeks protein p53 di atas 10% disebut positif dan di bawah 10% disebut negatif.

Pengamatan Respon Kemoradioterapi

Pengamatan respon setelah kemoradioterapi dilakukan dengan *pelvic control*, respon sebagian (parsial response) dan respons keseluruhan

(complete respons) oleh dokter radioterapi, salah seorang dari penulis dari makalah ini (IR).

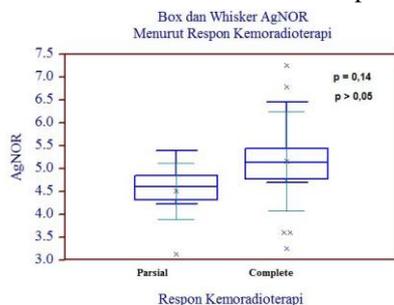
Analisis statistik

Hasil perhitungan diuji secara statistik Mc Nemar test antara indeks p53 dengan respon kemoradioterapi dan kemudian di plot secara kolom, dan Uji Anova nilai untuk AgNOR, indeks MIB-1 dan Indeks Mitosis dengan kemoradioterapi tingkat kepercayaan 5 % ($p = 0,05$), kemudian di plot menurut *Box and Whisker*.

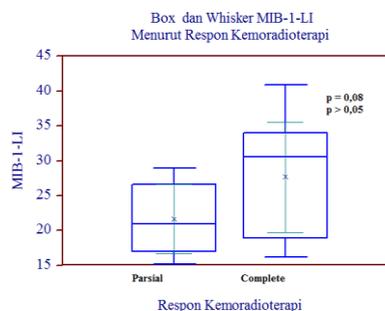
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks p53 Nilai AgNOR, Indeks MIB-1, Indeks Mitosis sebelum kemoradioterapi dengan dan Respon Kemoradioterapi, seperti pada Gambar 1 (a-d) serta Tabel 1, Tabel 2, dibawah ini. Pada penelitian ini ditemukan adanya perbedaan secara statistik antara ekspresi protein

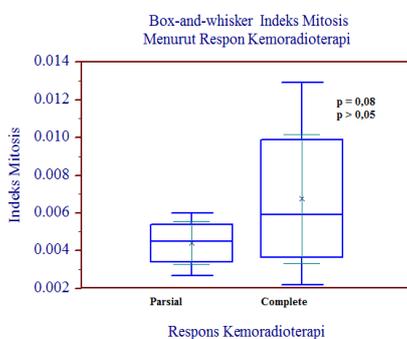
p53 sebelum kemoradioterapi dengan respon kemoradioterapi. Ekspresi protein p53 positif sebelum kemoradioterapi menunjukkan respon lebih baik dibanding p53 negatif, $p = 0,04 < 0,05$ (Gambar 1.d)



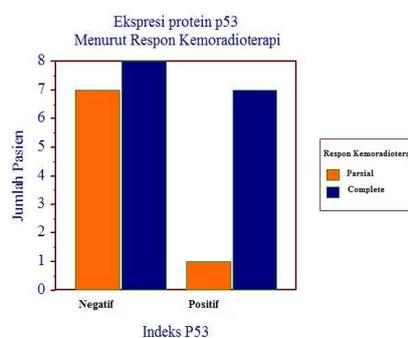
a.



b.



c.



d.

Gambar 1. a. Nilai AgNOR b. indeks MIB-1 c. Indeks Mitosis dan d. indeks p53 pada respon kemoradioterapi

Tabel 1. Jumlah Pasien Ekspresi P53 pada Respon Kemoradioterapi berbeda

Respon	P53 +	P53 -
Parsial	1	7
Complete	7	8

Tabel 2. Nilai AgNOR, Indeks MIB-1 dan Indeks Mitosis Pada Respon Kemoradioterapi Berbeda

No	AgNOR	MIB-1	Mitosis	Respon
1	5,00	31.42	0.08	2
2	4.71	17.75	0.03	1
3	5.47	34.77	0.07	2
4	4.78	22.16	0.05	1
5	3.64	23.62	0.10	2
6	5.30	34.20	0.04	2
7	4.90	16.24	0.04	1
8	5.10	16.61	0.02	2
9	5.40	25.70	0.06	1
10	5.14	23.01	0.06	2
11	4.39	27.38	0.06	1
12	3.60	16.24	0.04	2
13	5.09	17.57	0.05	2
14	4.49	29.03	0.05	1
15	3.26	17.13	0.04	2
16	5.40	30.58	0.09	2
17	7.26	32.73	0.11	2
18	4.23	19.78	0.04	1
19	6.79	36.18	0.13	2
20	4.69	26.27	0.03	2
21	3.14	15.23	0.03	1
22	5.21	33.33	0.04	2
23	6.46	40.88	0.12	2

Gen p53 merupakan gen penekan tumor yang menyandi 53-kDa phosphoprotein, berfungsi menghentikan proliferasi sel apabila terjadi

kerusakan pada DNA sebelum memasuki fase S (sintesis) dalam pembelahan sel. Dengan mekanisme ini gen p53 memberi kesempatan untuk enzim yang berperan memperbaiki kerusakan pada DNA sebelum proses mitosis.

Ekspresi protein p53 yang muncul pada sel kanker sebelum kemoradioterapi bersifat kontroversial, p53 *wild tipe* umumnya mempunyai waktu paro yang pendek sehingga mudah terurai, sedangkan p53 yang mutan bersifat lebih stabil, diduga yang kemungkinan besar terdeteksi secara immunohistokimia ini adalah p53 yang bersifat mutan. Akibat mutasi pada gen p53 ini maka protein yang ekspresikannya bersifat abnormal dan stabil sehingga dapat langsung terdeteksi dengan teknik immunohistokimia, sedangkan protein p53 yang tidak bermutasi bersifat tidak stabil [28]

Gen p53 yang bersifat mutan tidak dapat menjalankan fungsinya menghentikan siklus sel pada fase G1 sebelum memasuki fase S, akibatnya sel kanker akan terus memasuki fase S menuju mitosis. Fase S merupakan bagian yang bersifat radiosensitif disamping fase M. Faktor ini diduga yang menjadi penyebab sel kanker yang menunjukkan p53 positif sebelum dilakukan kemoradioterapi akan memberikan respon yang lebih baik (complete respons) dibanding dengan p53 negatif.

Sejumlah studi menunjukkan tidak adanya korelasi yang bermakna antara ekspresi p53 dan prognosis kanker servik uteri sel skuamosa [29] dan pada kanker kepala dan leher [30]. Menurut Oka et al., [31] ekspresi p53 pada kanker servik sel skuamosa tidak dapat dijadikan faktor prognostik pada kanker servik sel skuamosa stadium III yang ditangani dengan radioterapi. Tingginya ekspresi p53 pada kanker servik sel skuamosa sebelum

radioterapi dapat dijadikan sebagai penduga prognosis yang buruk. Ada dua laporan yang menyatakan adanya hubungan tingginya ekspresi p53 dengan respon buruk paska radioterapi kanker jenis skuamosa. Raybad-Diogene et al.[32] mengamati 101 pasien jenis sel skuamosa pada kanker kepala dan leher dan menemukan pada pasien yang menunjukkan ekspresi p53 menunjukkan lokal kontrol yang rendah setelah radioterapi dibanding pasien yang ekspresi p53 nya negatif. Tatemoto et al., [33] pasien yang ekspresi p53 positif pada kanker oral sel skuamosa menunjukkan respon kemoradioterapi secara histopatologik dibanding tumor p53 negatif.

Adanya perbedaan hasil penelitian ini dengan laporan di atas kemungkinan ekspresi p53 pada pasien penelitian ini merupakan tampilan dari p53 normal sehingga akan lebih bersifat radiosensitif (karena antibodi yang digunakan pada studi ini dapat menampilkan baik p53 normal maupun mutan), atau p53 positif mutan menyebabkan tingginya proliferasi sel yang membuat makin besarnya kemungkinan fase mitosis yang merupakan fase radiosensitive pada pembelahan sel. Disisi lain perlu juga perlu dilakukan studi yang lebih mendalam tentang status karakteristik gen p53 kanker serviks sel skuamosa di Indonesia.

Selanjutnya tidak dijumpai perbedaan secara statistik antara AgNOR, MIB-1, Indeks Mitosis dengan respon radiasi setelah radioterapi $p > 0.05$ (masing masing $p=0.15$, $p=0.08$, $p=0.09$, Gambar 1a – c). Baik nilai AgNOR, MIB-1, dan Indeks Mitosis menunjukkan kecenderungan korelasi positif dengan respon lebih baik setelah

kemoradioterapi. Nilai AgNOR, indeks MIB-1 dan Indeks Mitosis yang tinggi akan terkait dengan tingginya proliferasi sel yang akan lebih radiosensitive terhadap radioterapi dan sebaliknya. Tidak tercapainya nilai kemaknaan statistik kemungkinan disebabkan oleh jumlah sampel yang terbatas pada penelitian ini.

Penghitungan AgNOR pada nukleolus sel terkait dengan kecepatan biogenesis ribosom. Distribusi AgNOR terkait dengan aktivitas RNA polymerase I, lebih tingginya nilai AgNOR berarti transkripsi rRNA lebih besar [34]. Biogenesis ribosom merupakan aktivitas metabolik utama dalam proliferasi sel [35]. Kecepatan biogenesis ribosom berhubungan proliferasi sel melalui siklus sel.

Pada kanker serviks, sejumlah penelitian sebelumnya berfokus pada kecepatan proliferasi sel yang dilakukan dengan mengamati antigen yang terkait dengan proliferasi sel seperti Ki-67 dengan prognosis. Nakano et al [36] menyatakan bahwa indeks Ki-67 mempunyai korelasi positif dengan prognosis dan respons awal radiasi pada radioterapi. Tumor dengan indeks Ki-67 terkait dengan tingginya fraksi pertumbuhan akan lebih radiosensitif dan tumor akan lebih mudah dihilangkan dengan radioterapi dibanding dengan tumor yang indeks Ki-67 nya lebih rendah mempunyai lebih banyak proporsi sel pada fase G0 yang resistens terhadap radiasi. Hal sama juga dilaporkan oleh Pillai [13], tumor yang mempunyai indeks Ki-67 dan nilai AgNORs lebih tinggi akan bersifat radiosensitif terhadap radioterapi.

Nakano et al [23] menyatakan aktivitas proliferasi sel yang diamati dengan indeks mitosis menunjukkan korelasi terbalik dengan prognosis paska radiasi kanker servik, studi yang sama pada jenis tumor yang lain juga menunjukkan hasil serupa [24,25,26]. Pada penelitian difokuskan pada pengamatan respon setelah selesai kemoradioterapi yang didasarkan pada *pelvic*

V. Kesimpulan

Ekspresi protein *p53* pada biopsi sel kanker sebelum kemoradioterapi menunjukkan korelasi positif dengan respon diamati dengan *pelvic control* yang lebih setelah kemoradioterapi kanker serviks. Dari 8 biopsi kanker positif *p53* sebelum kemoradioterapi 7 diantaranya menunjukkan respon baik dan 1 menunjukkan respon buruk, sedangkan 15 biopsi *p53* negatif hanya 8 diantaranya yang menunjukkan respons baik dan 7

Daftar Pustaka

1. DIDIT T, RUKMINI M, Cancer in Indonesia, Present and Future, Jpn J Clin Oncol, 2002;32 (Supplement 1) S17-S21
2. STEPHANIE S L, KELVIN YKC, ANNIE NYC, XIAO Y L, TSIN W L, AND HEXTAN Y S N, Expression of $\Delta Np73$ and TAp73A Independently Associated with Radiosensitivities and Prognoses in Cervical Squamous Cell Carcinoma, Clin Cancer Res 12(13); 2006:3922-3927.
3. FOWLER, J. F., AND LINDSTROM, M. J. Loss of local control with prolongation in radiotherapy. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 23; 1992:457-467.
4. TSANG, R. W., FYLES, A. W., KIRKBRIDE, P., LEVIN, W., MANCHUL, L. A., RAWLINGS, G. A., Banerjee, D., Pintilie, M., and Wilson, G. D. Proliferation measurements with flow cytometry Tpot in cancer of the uterine cervix: preliminary results. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.,

control, tanpa dilakukan pengamatan dengan *CT Scan*, misalnya, untuk memastikan tingkat keberadaan sel tumor setelah kemoradioterapi. Selanjutnya juga dibutuhkan pengamatan jangka panjang dari respon radioterapi ini misalnya sampai beberapa tahun setelah pengobatan apakah sembuh sama sekali atau kemungkinan adanya residif

menunjukkan respon buruk setelah kemoradioterapi.

VI. Terima kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Yoshiyuki Suzuki, MD, PhD, atas izinnya dalam menggunakan data yang merupakan bagian dari Penelitian terkait program JSPS Ronpaku, pada Dept Radiation Oncology, Gunma University Graduate School of Medicine, Maebashi, Jepang.

32; 1995:1319-1329.

5. WILSON, G. D. Assessment of human tumor proliferation using bromodeoxy uridine-current status. Acta Oncologica., 30; 1991:903-910,.
6. WILSON, G. D., DISCHE, S., AND SAUNDERS, M. I. Studies with bromodeoxyuridine in head and neck cancer and accelerated radiotherapy. Radiother Oncol., 36;1995: 189-197.
7. TUCKER, S. L., AND CHAN, K. S. The selection of patients for accelerated radiotherapy on the basis of tumor growth kinetics and radiosensitivity Radiother. Oncol., 18;1990 197-211.
8. SAUNDERS, M. I., HOSKIN, P. J., PIGOTT, K., POWELL, M. E., GOODCHILD, K., DISCHE, S., DENEKAMP, J., STRATFORD, M. R., DENNIS, M. F., AND ROJAS, A. M. Accelerated radiotherapy, carbogen and nicotinamide (ARCON in locally advanced

- head and neck cancer feasibility study. *Radiother Oncol.*, 45; 1997: 159–166..
9. THAMES, H. D., PETERS, L. J., WITHERS, H. R., AND FLETCHER, G. H. Accelerated fractionation vs hyperfractionation: Rationales for several treatments per day. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 9;1983: 127–138.
 10. TROTT, K. R., AND KUMMERMEHR, J. What is known about tumour proliferation rates to choose between accelerated fractionation or hyperfractionation. *Radiother. Oncol.*, 3;1985: 1–9..
 11. DAVIDSON SE, WEST CML, HUNTER RD. Lack of an association between in vitro clonogenic growth of human cervical carcinoma and tumor stage, differentiation, patient age, host cell infiltration or patient survival. *Int J Cancer.*, 50; 1992:10-14
 12. PREMPREE T, PATANAPHAN V, SEWCHAND W, SCOTT RM. The influence of patients age and tumour grade on the prognosis of carcinoma of the cervix. *Cancer* 51;1983:1764-1771
 13. M. RADHAKRISHNA PILLAI, APG. JAYAPRAKASH M. KRISHNAN NAIR. Tumour-proliferative fraction and growth factor expression as markers of tumour response to radiotherapy in cancer of the uterine cervix. *J Cancer Res Clin Oncol* ., 124;1998: 456-461
 14. LANE DP. Cancer, A death in the life of p53. *Nature.*,362;1993:786-792
 15. KAINZ C, KOHLBERGER P, SLIUTZ G, BREITENECKER G, REINTHALLER A. Mutant p53 in patients with invasive cervical cancer stages IBto IIB. *Gynecol Oncol.*,57; 1995:212–215.
 16. OKA K, SUZUKI Y, NAKANO T. Expression of p27 and p53 in cervical squamous cell carcinoma patients treated with radiotherapy alone: radiotherapeutic effect and prognosis. *Cancer.*,882000:2766–73.
 17. DERENZINI M, PLOTON D. Interphase nucleolar organizer regions in cancer cell. *Int Rev Exp Pathol.*,32;1991:150-192.
 18. TRERE D, AgNOR staining and quantification. *Micron.*,31;2000:127–131.
 19. PICH A, CHIUSA L, MARGARIA E. Role of the argyrophilic nucleolar organizer regions in tumor detection and prognosis. *Cancer Detect Prev.*,19;1995:282-291.
 20. Gerdes J, Schwab U, Lemke H, Stein H. Production of a mouse monoclonal antibody reactive with a human nuclear antigen associated with cell proliferation. *Int J Cancer.*,31;1983:13-20
 21. NAKANO T, OKA K. Differential values of Ki-67 index and mitotic index of proliferating cell population. *Cancer* 1993;72:2401-8.
 22. LESTER J. L, MD, KATHARINE L, MD, RICHARD D, SANFORD H, MD. Uterine Smooth Muscle Tumors Utility of Classification by Proliferation, Ploidy, and Prognostic Markers Versus Traditional Histopathology. *Arch Pathol Lab Med.*,1242;000:221-226.
 23. NAKANO T, OKA K. Differential values of Ki-67 index and mitotic index of proliferating cell population. *Cancer.*,72;1993:2401-8.
 24. BENEDET, JL. DKK Carcinoma cervix uteri. *Journal of Epidemiology and Biostatistic.*,6(1); 2001:7-9.
 25. PEARCEY R, BRUNDAGE M, DROUIN P, JEFFREY J, JOHNSTON D, LUKKAH, MACLEAN G, SOUHAMI L, STUART G, TU D. Phase III Trial Comparing Radical Radiotherapy With and Without Cisplatin Chemotherapy in Patients With Advanced Squamous Cell Cancer of the Cervix. *Journal of Clinical Oncology.*, 20;2002:966-972.
 26. PLOTON D, MENAGER M, JEANNESSON P, HIMBER G, PIGEON F, ADNETT JJ. Improvement in the staining and in the visualization of the argyrophilic proteins of the nucleolar organizer region at the optical level. *Histochem J* 1986;18:5-14.
 27. CROCKER J, DAVID A, BOLDY R, EGAN MJ. How should we count AgNORs? *Journal of Pathology.*,158;1989:185-192.
 28. HOLM, R., SKOMEDAL, H., HELLAND, P., BORRESEN, A., AND NESLAND, J. Immunohistochemical analysis of p53 protein over expression in normal, premalignant, and malignant tissues of the cervix uteri, *J. Pathol.*, 169; 1993: 21–26.
 29. KAINZ C, KOHLBERGER P, SLIUTZ G,

- BREITENECKER G, REINTHALLER A. Mutant p53 in patients with invasive cervical cancer stages IB to IIB. *Gynecol Oncol.*,57;1995:212-4.
30. AWWAD S, JAROS E, SOMES J, LUNEC J. p53 overexpression in head and neck carcinoma and radiotherapy results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.*,34: 1996:323-32.
31. OKA K, YOSHIYUKI S, NAKANO T. Expression of p27 and p53 in Cervical Squamous Cell Carcinoma Patients Treated with Radiotherapy Alone Radiotherapeutic Effect and Prognosis. *Cancer.*,88;2000:2766-73
32. RAYBAUD-DIOGENE H, FORTIN A, MORENCY R, ROY J, MONTEIL RA, TERU B. Markers of radioresistance in squamous cell carcinoma of the head and neck: a clinicopathologic and immunohistochemical study. *J Clin Oncol.*,15;1997:1030-8.
33. TATEMOTO Y, OSAKI T, YONEDA K, YAMAMOTO T, UETA E, KIMURA T. Expression of p53 and p21 proteins in oral squamous cell carcinoma: correlation with lymph node metastasis and response to chemoradiotherapy. *Pathol Res Pract.*,194;1998:821-30.
34. DERENZINI, M., PESSION, A., TRERE', D., 1990. The quantity of nucleolar silver-stained proteins is related to proliferating activity in cancer cells. *Lab Invest.*, 63;1990:137-140.
35. SCHMIDT EV. The role of c-myc in cellular growth control. *Oncogene.*, 18;1999:2988-2996
36. YAMADA Y, MURATA K, KAMIHIRA S, ATOGAMI S, TSUSAKI K, SOHDA H. Prognostic-significance of the proportion of Ki-67 positive cell in adult T-cell leukemia. *Cancer.*,67;1990:2605-2609.
37. WINTZER HO, ZIPFEL I, SCHULE-MONTING J, HELLERICH U, VON KLEIST S. Ki-67 immunostaining in human breast tumor and its relationship to prognosis. *Cancer.*,67;1991:421-8
38. UEDA T, AOZASA K, TSUJIMOTO M. Prognostic significance of Ki-67 reactivity if in soft tissue carcinoma. *Cancer.*, 63; 1989:1607-11.

EFEK SISTEMATIS PENGUKURAN ARUS IONISASI PADA KAMAR PENGIONAN $4\pi\gamma$.

Pujadi, Gatot W dan Hermawan C.
PTKMR – BATAN

EFEK SISTEMATIS PENGUKURAN ARUS IONISASI PADA KAMAR PENGIONAN $4\pi\gamma$. Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari masalah efek sistematis pada pengukuran arus ionisasi pada kamar pengionan $4\pi\gamma$, yang terdiri dari fluktuasi arus ionisasi dan pengumpulan muatan ion, efek *saturation-loss*, dan linieritas respon terhadap aktivitas. Studi fluktuasi arus ionisasi pada pengukuran aktivitas menggunakan kamar pengionan dilakukan dengan mengukur empat buah sumber Cs-137 dengan aktivitas 1788 μCi , 258 μCi , 55,8 μCi dan 23,8 μCi . Dibuat kurva antara ketidakpastian pengukuran tunggal sebagai fungsi $(A.t)^{-1/2}$, ekstrapolasi $(A.t)^{-1/2} = 0$, diperoleh ketidakpastian total arus sebesar 0,1%. Efek "saturation-loss" arus ionisasi kamar pengionan $4\pi\gamma$ dipelajari menggunakan sumber radionuklida Co-60 dan Cs-137 dengan variasi tegangan kerja. Harga koreksi saturation-loss diperoleh berkisar antara 0,0071 - 0,021 %, untuk jangkauan arus dari 181,23 - 1582,37 pA. Hasil menunjukkan bahwa arus yang hilang pada kamar pengionan berbanding secara proporsional dengan aktivitas dari sumber. Perubahan tegangan kerja berkisar antara 0,02 - 0,06% per 100V, sehingga dikatakan bahwa kamar pengionan $4\pi\gamma$ mempunyai kualitas saturasi baik. Kelinieritasan respon kamar pengionan dipelajari dengan mengukur arus ionisasi yang ditimbulkan oleh aktivitas Tc-99m dan peluruhannya. Koefisien linieritas kurva peluruhan R^2 didapat 0,999 sehingga linieritas kamar pengionan baik.

Kata kunci : efek sistematis, arus ionisasi, fluktuasi, *saturation-loss*, linieritas.

SYSTEMATIC EFFECTS IN IONIZATION-CURRENT MEASUREMENT USING $4\pi\gamma$ - IONIZATION CHAMBER. *The research of systematic effects in $4\pi\gamma$ ionization chamber have been carried out, this research consist of fluctuations from ionization and charge collection, saturation-loss effects and linearity in response to activity. The study of fluctuations in activity measurement with ionization chamber were done by measuring of four Cs-137 sources with activity of 1788 μCi , 258 μCi , 55,8 μCi dan 23,8 μCi . The standard deviation of the measured individual current plotted versus $(A.t)^{-1/2}$ and extrapolated to $(A.t)^{-1/2}=0$, giving the total uncertainty of current measurement with ionization chamber measuring system is 0,1%. Saturation-loss effect in $4\pi\gamma$ ionization chamber have been studied by measuring the ionization current of Co-60 and Cs-137 sources, at increasing collecting voltage. The saturation-loss was obtained about 0.0071 to 0.021 %, for the current range of 181.23 to 1582.37 pA. The result showed that current loss in ionization chamber changes proportionally to source activity strength. The current change for a potential change about 0.02 to 0.06% of 100V, so that the ionization chamber have good saturation quality. Ionization chamber linearity should be checked by measuring the ionization current from Tc-99m activity and decay of radioactive source. The linearity koefisien R^2 obtained 0,999 so that the ionization chamber have good linearity.*

Keyword: *systematic effects, ionization current, fluctuations, saturation-loss and linearity.*

I. PENDAHULUAN

Kamar pengionan merupakan alat ukur aktivitas zat radioaktif secara relatif yang banyak digunakan sebagai alat ukur standar sekunder di berbagai laboratorium standardisasi radionuklida atau laboratorium metrologi radiasi di berbagai negara. Prinsip kerja kamar pengionan ini adalah pengukuran arus atau muatan listrik yang terjadi akibat radiasi yang dipancarkan oleh sumber radionuklida. Besarnya arus atau muatan listrik yang terjadi menurut H. SCHRADER (1997)² sebanding dengan aktivitas zat radioaktif dan energi gamma yang menyebabkannya. Pada pengukuran arus listrik yang ditimbulkan tersebut biasanya digunakan elektrometer. Arus yang terjadi akibat interaksi radiasi dengan materi gas dalam kamar pengionan dan proses pengumpulan muatan, menurut FANO (1954) yang dikutip oleh H SCHRADER (1997)² dipengaruhi oleh proses variasi statistik. Oleh karena itu ketelitian dan keakuratan pengukuran menggunakan kamar pengionan menurut ANDERSEN (1967) dan WEISE (1971) yang dikutip oleh H SCHRADER (1997)² bergantung pada efek sistematis yang terdiri dari :

1. Fluktuasi arus ionisasi dan pengumpulan muatan.
2. Efek *saturation-loss*
3. Linieritas pada respon terhadap aktivitas.

I.1. Fluktuasi arus ionisasi dan pengumpulan arus ion.

Pancaran radiasi bersifat acak/random sehingga hasil interaksi radiasi dengan materi juga bersifat acak akibatnya hasil ukur akan sangat fluktuatif dan pada akhirnya hasil ukur akan ditentukan dengan adanya ketidakpastian pengukuran. Pakar metrologi GARFINKEL³ (1975) melakukan penelitian pertama tentang fluktuasi pada pengukuran aktivitas menggunakan kamar pengionan. Ketidakpastian akibat fluktuasi ini ternyata sebagai fungsi dari aktivitas. Oleh karena itu ketidakpastian pengukuran tunggal akibat fluktuatifnya data yang terukur, dapat digunakan untuk menentukan ketidakpastian total sistem. Untuk menentukan ketidakpastian total dapat dibuat kurva antara ketidakpastian pengukuran sebagai fungsi dari $(A.t)^{-1/2}$, dengan A adalah aktivitas radiasi, dan t adalah interval waktu pengukuran dan apabila pada kurva ini dilakukan ekstrapolasi $(A.t)^{-1/2} = 0$, akan diperoleh harga ketidakpastian total dari sistem kamar pengionan. Pada dasarnya aktivitas ini proporsional dengan arus ionisasi (I), sehingga dapat dibuat pula kurva ketidakpastian sebagai fungsi dari arus $(I.t)^{-1/2}$. MERRITT dan TAYLOR⁴ (1967) juga membahas masalah ketidakpastian pengukuran sebagai fungsi pengumpulan muatan pada pengukuran menggunakan kamar pengionan dan dikatakan bahwa ketidakpastian ini terjadi akibat proses variasi statistik secara alamiah dari peluruhan radionuklida dan efek instrumen yang digunakan. Menurut GUIHO et.al. (1974) yang dikutip oleh H SCHRADER (1997)², menyatakan bahwa ketidakpastian

pada pengukuran arus yang terjadi pada kamar pengionan berkisar antara 0,07 – 3 % pada pengukuran arus dengan orde antara 10^{-9} - 10^{-15} A.

I.2. Efek saturation-loss

Proses rekombinasi awal . rekombinasi ion dan difusi balik merupakan salah satu sebab terjadinya *saturation-loss*, sehingga arus yang tercatat pada alat baca perlu dikoreksi. Terjadinya proses-proses tersebut sangat tergantung pada aktivitas zat radioaktif yang diukur. Menurut SCHRADER (1997) ^{2,5} pada pengukuran aktivitas sumber yang relatif besar orde mili-currie, efek *saturation-loss* terjadi akibat tidak sempurnanya ion yang dapat tertangkap pada anode dan adanya rekombinasi ion, sehingga arus listrik yang terjadi tidak terdeteksi semua, hal ini tentu mengakibatkan kesalahan pada hasil pengukuran. Efek rekombinasi ion ini terjadi karena efek radial pada kamar ionisasi, lambatnya pasangan ion menuju ke elektrode dan kompleksnya pada lintasan medan listrik. Oleh karena itu pada pengukuran radionuklida dengan aktivitas orde mili-currie perlu dilakukan koreksi efek *saturation-loss* . Sedangkan pada pengukuran radionuklida dengan aktivitas orde mikro-currie, proses rekombinasi awal, difusi balik dan rekombinasi ion sangat kecil sekali, sehingga tangkapan ion pada anode dapat dikatakan mendekati 100%. Menurut K DERIKUM dan M ROSS (1993) ⁶ banyaknya rekombinasi ion sangat tergantung pada waktu pengumpulan ion dan jumlah muatan awal pada anode, sedangkan waktu pengumpulan ion dipengaruhi oleh kekuatan medan listrik dan

jarak tempuh ion, kedua hal tersebut sangat tergantung pada bentuk detektor kamar pengion dan tegangan kerja yang digunakan. Oleh karena itu arus yang dihasilkan oleh ion-ion yang tertangkap pada anode detektor kamar pengion adalah merupakan pengurangan dari arus tersaturasi oleh ion hilang akibat proses rekombinasi awal, difusi balik dan rekombinasi ion. Menurut WEISS (1973) yang dikutip oleh SCHRADER (1997)² *saturation-loss* dapat ditentukan dengan pengukuran arus ionisasi (I) yang ditimbulkan oleh sumber yang mempunyai aktivitas orde mili-Curie dengan variasi tegangan kerja (V_n), dengan $n= 100$ volt sampai dengan 800 volt, dengan rentang perbedaan 100 volt. Kemudian dari hasil pengukuran ini dibuat kurva antara arus yang ditimbulkan pada masing-masing tegangan kerja sebagai fungsi $1/V_n$. Ekstrapolasi kurva ke arah $1/V_n = 0$ akan mendapatkan intensitas (yields) dari arus saturasi I_s . Besarnya *saturation-loss* dapat didefinisikan sebagai ($I_s - I$) / I , dengan I adalah arus terukur pada tegangan kerja normal (800 volt).

I.3. Linieritas respon kamar pengionan

Linieritas dari sistem kamar pengionan terutama dipengaruhi oleh efek saturasi pada kamar pengionan dan kelinieritasan elektronik pengukur arusnya. Kelinieritasan sistem kamar pengion ini merupakan salah satu indikator yang menunjukkan kualitas dari kamar pengionan tersebut. Beberapa pakar seperti SANTRY and BOWES (1989)⁷, HOUTERMANS et al. (1980) ⁸ dan WOOD (1983) menyatakan bahwa pemeriksaan

linieritas terhadap *dose calibrator* yang banyak digunakan di bidang kedokteran nuklir maupun laboratorium standardiasi perlu secara rutin dilakukan. Pemeriksaan linieritas ini dilakukan dengan mengukur arus ion yang ditimbulkan oleh suatu radionuklida secara berkala, dari aktivitas tertinggi hingga meluruh sampai aktivitas terendah. Beberapa pakar tersebut mengukur aktivitas radionuklida Tc-99m yang mempunyai waktu paro relatif pendek yaitu 0,25025 hari. Dengan membuat kurva peluruhan antara waktu peluruhan sebagai fungsi aktivitas pada skala logaritmik, akan dapat diketahui linieritas sistem kamar pengionan.

II. TATA KERJA

II.1. Bahan dan Peralatan

1. Sumber Co-60 dengan berbagai variasi aktivitas
2. Sumber Cs-137 dengan berbagai variasi aktivitas
3. Sumber Tc-99 m
4. Ampul gelas 5 ml
5. Timbangan semi mikro
6. Sistem Kamar pengionan $4\pi\gamma$ IG-11.
- 7.

II.2. Pembuatan sumber

Preparasi sumber dilakukan terhadap sumber radionuklida Tc-99m, Co-60 dan Cs-137. Sumber dibuat dalam bentuk cair pada wadah ampul gelas 5 ml, masing-masing sumber dibuat dengan berat 2 gram \pm 5%. Sumber radionuklida Co-60 dan Cs-137 dibuat dengan aktivitas yang bervariasi, dengan perkiraan apabila diukur menggunakan

kamar pengionan akan menimbulkan arus pada rentang kira-kira 200 – 1600 pA, dengan perbedaan berkisar antara 100 – 200 pA. Aktivitas Cs-137 : 1788 μ Ci, 258 μ Ci, 55,8 μ Ci dan 23,8 μ Ci. Sedangkan aktivitas Co-60 adalah : 532,31 μ Ci, 504,08 μ Ci, 482,04 μ Ci, 459,77 μ Ci dan 431,77 μ Ci. Kemudian ampul gelas ditutup dengan blender, dan sumber siap untuk di ukur.

II.3. Pengukuran arus kamar pengionan

II.3.1. Fluktuasi arus ionisasi dan pengumpulan muatan ion.

Untuk menentukan total ketidakpastian pengukuran sistem dilakukan dengan mengukur arus dari sumber Cs-137 sebanyak empat buah sumber yang mempunyai aktivitas yang bervariasi. Pembacaan arus menggunakan elektrometer *Keithley 642*. Kemudian dibuat kurva antara ketidakpastian pengukuran sebagai fungsi dari $(A.t)^{-1/2}$.

II.3.2. Efek saturation-loss

Pengukuran untuk menentukan efek saturation-loss dilakukan terhadap sumber radionuklida Co-60 dan Cs-137 secara bergantian menggunakan sistem kamar pengionan $4\pi\gamma$ IG-11, arus yang ditimbulkan dibaca dengan elektrometer *Keithley 642*. Setiap sumber di ukur dengan variasi tegangan kerja dari 100 V sampai 800 V dengan beda tegangan kerja 100 V, setiap pengukuran diambil data 30 kali. Kemudian dari hasil pengukuran setiap sumber masing-

masing dibuat kurva arus I_{v_n} sebagai fungsi $1/V_n$ (V = tegangan tinggi). Untuk mendapatkan harga intensitas (yield) arus saturasi, dari kurva ini diekstrapolasikan ke arah $1/V_n = 0$. Selain itu dibuat pula kurva rasio I_{v_n} (arus yang ditimbulkan pada berbagai tegangan kerja) terhadap $I_{v=800}$ (arus pada tegangan kerja normal = 800 volt).

II.3.3. Linieritas respon kamar pengionan

Pemeriksaan linieritas ini dilakukan dengan mengukur arus ion yang ditimbulkan oleh suatu radionuklida dengan selang waktu tertentu secara terus menerus, dari aktivitas tertinggi hingga meluruh sampai aktivitas terendah. Radionuklida yang digunakan adalah Tc-99m yang mempunyai waktu paro relatif pendek yaitu 0,25025 hari. Kemudian dibuat kurva peluruhan yaitu antara waktu peluruhan sebagai fungsi aktivitas pada skala logaritmik.

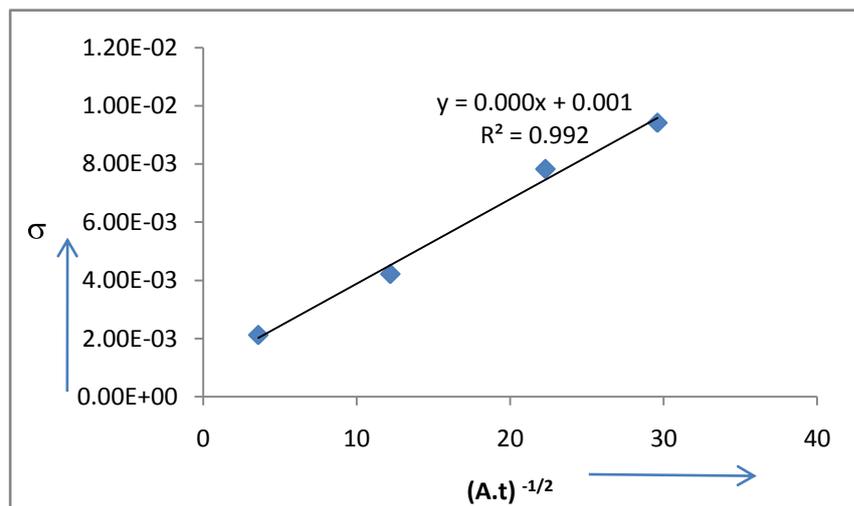
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan fluktuasi arus ionisasi dan pengumpulan muatan sistem dilakukan pengukuran empat buah sumber Cs-137. Kemudian dibuat kurva antara ketidakpastian pengukuran sebagai fungsi dari $(A.t)^{-1/2}$. Gambar 1. menyajikan perhitungan dari data dan hasil pengukuran ke empat sumber tadi. Apabila dilakukan ekstrapolasi ke arah $(A.t)^{-1/2} = 0$ ketidakpastian pengukuran arus dengan kamar pengionan Centronic IG-11 menggunakan alat baca Keithley 642 pada orde bacaan 10^{-8} adalah sebesar $0,0973\% \cong 0,1\%$. Nilai ini cukup baik masih dalam batas yang dapat dipertanggung

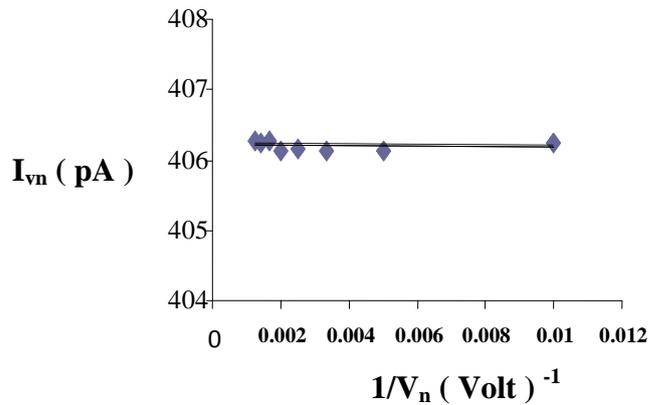
jawabkan. Menurut GUIHO et.al (1975) ketidakpastian pengukuran pada dose calibrator dinilai baik apabila ketidakpastian pengukuran pada rentang 0,07 – 3,0 %. Pengukuran *saturation loss* dilakukan menggunakan dua macam sumber yaitu Co-60 dan Cs-137 yang mempunyai aktivitas bervariasi. Pengukuran dilakukan dengan variasi tegangan yaitu 100, 200 volt, sampai tegangan kerja normal 800 volt. Intensitas arus saturasi (I_s) untuk masing-masing arus I dari masing-masing sumber, yang terukur pada tegangan kerja normal 800 volt, diperoleh dengan membuat kurva antara I_v (arus) yang ditimbulkan pada variasi tegangan 100 sampai 800 volt, sebagai fungsi $1/V_n$ (V =tegangan tinggi). Gambar 2. menyajikan kurva untuk mendapatkan intensitas *saturation loss*, pengukuran sumber radionuklida Co-60 pada $I_{v=800}$ ($V=800$ volt), sumber ini menimbulkan arus sebesar 406,66pA. Pada kurva antara I_v sebagai fungsi $1/V_n$ dengan persamaan $y = -2,3777x + 406,626$ untuk sumber pada tegangan kerja normal ($I_{v=800}$) 406,66 pA, apabila diekstrapolasi $1/V_n = 0$ didapatkan harga intensitas arus saturasi (I_s) sebesar 406,626 pA. Harga intensitas arus saturasi (I_s) tersebut adalah untuk sumber Co-60 yang pada tegangan kerja normal ($I_{v=800}$) menghasilkan arus sebesar 406,66 pA. Dengan cara yang sama dibuat kurva antara I_{v_n} sebagai fungsi $1/V_n$ untuk sumber lainnya. Pada Tabel 1. disajikan harga intensitas arus saturasi (I_s) dan *saturation-loss* pada masing-masing besaran arus yang ditimbulkan pada $I_{v=800}$ dari 181,23 sampai 1582,37 pA

Perbandingan antara arus terukur pada berbagai tegangan kerja dengan tegangan kerja normal (800 V), sebagai fungsi tegangan, kurva menunjukkan garis lurus (linier), perubahan arus yang terjadi dengan adanya perubahan tegangan kerja berkisar 0,02 – 0,06% per 100V. Menurut MERRIT dan TAYLOR (1967) yang dikutip oleh SCHRADER (1997)² pada kamar pengionan yang mempunyai kualitas saturasi yang baik apabila perubahan tegangan kerja hanya mengakibatkan perubahan arus sebesar kira-kira 0,05 %.

Pemeriksaan linieritas ini dilakukan dengan mengukur arus ion yang ditimbulkan oleh radionuklida Tc-99m. Pengukuran dilakukan dengan selang waktu tertentu secara terus menerus, dari aktivitas tertinggi hingga meluruh sampai aktivitas terendah Radionuklida yang digunakan adalah Tc-99m yang mempunyai waktu paro 0,25025 hari. Kemudian dibuat kurva peluruhan yaitu antara waktu peluruhan sebagai fungsi aktivitas. Dari Gambar 4 didapat koefisien linieritas $R^2 = 0,999$, kamar pengionan mempunyai linieritas yang baik.



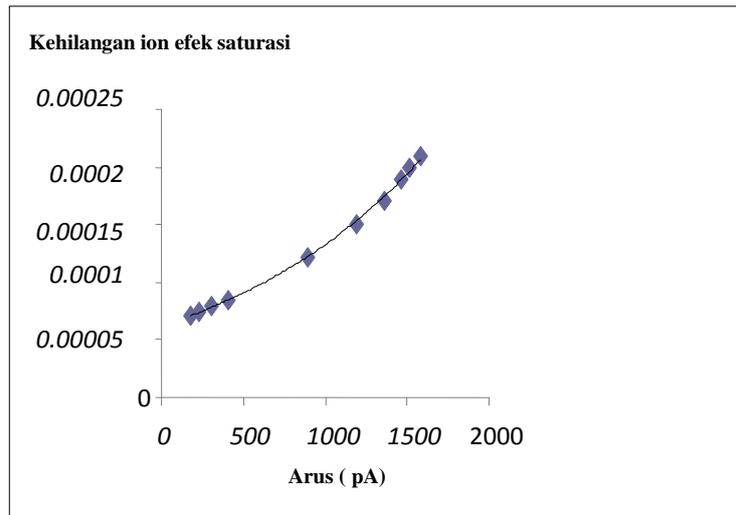
Gambar 1. Kurva hubungan antara ketidakpastian σ sebagai fungsi $(A.t)^{-1/2}$



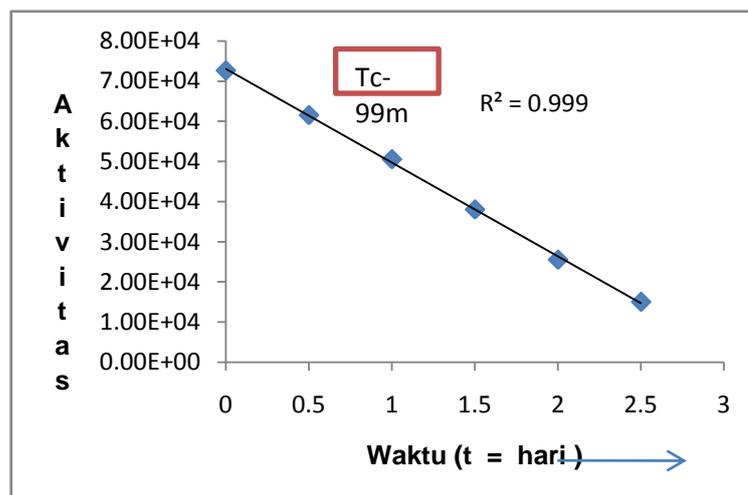
Gambar 2. Intensitas saturation loss (I_s) sebagai fungsi $1/V$ sumber Co-60 (pada $I_{v=800\text{volt}} = 406,66 \text{ pA}$)

Tabel 1. Intensitas arus saturasi (I_s) dan *saturation-loss* .

$I_{v=800} \text{ (pA)}$	$(I_s) \text{ (pA)}$	$(I_s - I_{v=800}) / I_{v=800}$
$1582,37 \pm 0,12\%$	$1582,04 \pm 0,22\%$	$0,00021 \pm 0,25\%$
$1512,85 \pm 0,14\%$	$1512,55 \pm 0,24\%$	$0,00020 \pm 0,28\%$
$1460,35 \pm 0,20\%$	$1460,07 \pm 0,18\%$	$0,00019 \pm 0,27\%$
$1359,19 \pm 0,11\%$	$1358,96 \pm 0,19\%$	$0,00017 \pm 0,22\%$
$1190,61 \pm 0,08\%$	$1190,430 \pm 0,26\%$	$0,00015 \pm 0,27\%$
$896,76 \pm 0,10\%$	$896,651 \pm 0,24\%$	$0,00012 \pm 0,26\%$
$406,66 \pm 0,09\%$	$406,626 \pm 0,28\%$	$0,000084 \pm 0,29\%$
$306,91 \pm 0,06\%$	$306,885 \pm 0,30\%$	$0,000081 \pm 0,31\%$
$228,76 \pm 0,11\%$	$228,738 \pm 0,24\%$	$0,000074 \pm 0,26\%$
$181,23 \pm 0,12\%$	$181,215 \pm 0,31\%$	$0,000071 \pm 0,33\%$



Gambar 3. Kurva *saturation-loss* sebagai fungsi I (pA).



Gambar 4 . Kurva peluruhan Tc-99m sebagai fungsi aktivitas.

KESIMPULAN

Ketidakpastian pada pengukuran arus menggunakan kamar pengionan $4\pi\gamma$ IG-11 relatif baik, ditunjukkan pada pengukuran arus ionisasi pada orde 10^{-8} diperoleh ketidakpastian $0,0973 \approx 0,1 \%$. Kamar pengionan $4\pi\gamma$ IG-11 mempunyai kualitas saturasi yang baik, perubahan arus yang terjadi dengan adanya perubahan tegangan kerja berkisar $0,02 - 0,06\%$ per 100V. Harga arus

saturasi (I_s) hampir mendekati harga arus terukur pada tegangan kerja normal $I_{(800V)}$, hal ini menunjukkan bahwa dengan perubahan tegangan respon kamar pengionan tetap baik. Linieritas kamar pengionan $4\pi\gamma$ IG-11 cukup baik dengan koefisien linieritas 0,999.

DAFTAR PUSTAKA

1. National Council On radiation Protection And Measurements (November 1978), A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, NCRP Report No. 58,
2. H. SCHRADER (1997), Activity Measurements with Ionization Chambers, Bureau International Des Poids Et Mesures, Sevres.
3. GARNFINKEL S.B. , SCHIMA F.J. (1975) Ionization chamber half life measurement of 99 minute I-113 isomer, Int J Appl Radiat Isot Vol. 26, 314-316.
4. MERRIT J.S. & TAYLOR J.G.V. (1967), Precision activity measurement with a $4\pi\gamma$ Ionization Chamber. Report AECL – 2679.
5. H.SCHRADER AND H.M.WEISS (1983), Calibration of Radionuclide Calibrator, Int.J.Nucl.Med.Biol.Vol.10.No.273,pp.1 21-124.
6. K DERIKUM and M ROSS (1993), Measurement of saturation correction factors of ionization chambers in pulse photon beam, Phys.Med, Biol.38.
7. SANTRY D.C. , BOWES G.C. (1989) Half life of Tc-99m in linearity testing of radionuclide calibrators. Health Phys. 57, 637 -675.
8. HOUTERMANS H, MILOSEVIC O. , Half lives of 35 radionuclides. Int J. Appl. Radiat. Isot. 31.

SIMULASI KALIBRASI EFISIENSI PADA DETEKTOR HPGe DENGAN METODE MONTE CARLO MCNP5

Rasito, P. Ilham Y., Rini Heroe Oetami, dan Ade Suherman

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN

Jl. Tamansari No.71 Bandung 40132 Jawa Barat

ABSTRAK

SIMULASI KALIBRASI EFISIENSI PADA DETEKTOR HPGe DENGAN METODE MONTE CARLO MCNP5. Simulasi kalibrasi efisiensi detektor HPGe telah dilakukan menggunakan metode Monte Carlo dengan program komputer MCNP5. Untuk melakukan simulasi dibutuhkan inputan MCNP5 berupa model geometri detektor, model sumber radiasi, dan model pulsa cacah. Pemodelan geometri detektor hanya untuk detektor HPGe tipe CPVDS30-30215 di LARL PTNBR. Sumber radiasi gamma yang dimodelkan ada dua jenis yaitu sumber bentuk titik dan sumber dalam marinelli. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa efisiensi detektor adalah 30,7% relatif terhadap detektor NaI(Tl) 3" x 3". Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pengaruh serapan diri dari material cuplikan tanah untuk beberapa densitas terhadap efisiensi hanya signifikan pada energi gamma di bawah 500 keV. Matrik cuplikan dari jenis tanah, gipsum, beton, dan pasir juga tidak secara signifikan berpengaruh terhadap efisiensi terutama pada energi gamma di atas 500 keV.

Kata kunci : Detektor HPGe, efisiensi, simulasi, MCNP5

ABSTRACT

SIMULATION OF EFFICIENCY CALIBRATION ON HPGe DETECTOR USING MONTE CARLO METHOD MCNP5. Simulation of efficiency calibration on HPGe detector have been done using Monte Carlo method. In this simulation we used MCNP5 computer code. The inputs needed for MCNP5 are HPGe detector geometry, source definition of radiation source or sample, and pulse count model. The detector geometry model are HPGe with type of CPVDS30-30215 in LARL PTNBR. The radiation source model are point sources and samples in marinelli baker. Simulation result showed that relative efficiency of HPGe detector is 30,7% of NaI(Tl) 3" x 3". It is also shown that self absorption effect in soil samples from various densities is significant in gamma energy lower than 500 keV. Element matrices from samples soil, gypsum, concrete, and sand have no significant at gamma energy higher than 500 keV.

Keywords : HPGe detector, efficiency, simulation, MCNP5

1. PENDAHULUAN

Identifikasi radionuklida dan pengukuran radioaktivitas paling mudah dilakukan dengan teknik spektrometri gamma. Disamping merupakan radiasi yang cukup banyak dihasilkan dari radionuklida dalam peristiwa peluruhan, sinar gamma juga memiliki daya tembus yang besar sehingga dalam pengukuran tidak diperlukan preparasi cuplikan yang rumit. Kelebihan ini menjadikan spektrometri gamma

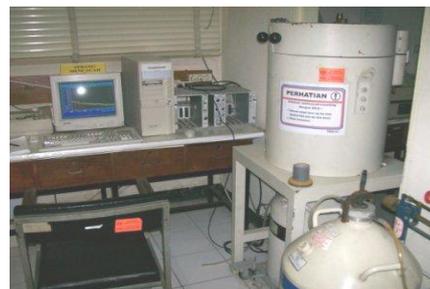
efektif dalam identifikasi dan pengukuran aktivitas radionuklida.

Keberhasilan pengukuran dengan teknik spektrometri sangat bergantung kepada kualitas analisis spektrum gamma yang dihasilkan. Kualitas spektrum gamma salah satunya ditentukan dari daya pisah energi oleh detektor. Untuk itu keberadaan detektor yang memiliki daya pisah tinggi menjadi sesuatu yang sangat dicari. Setelah ditemukannya detektor jenis

semikonduktor seperti germanium kemurnian tinggi atau *high purity germanium* (HPGe) menjadikan metode pengukuran dengan teknik spektrometri berkembang pesat. Meski efisiensinya lebih rendah daripada detektor sintilasi NaI(Tl) namun karena daya pisahnya yang tinggi menjadikan HPGe sebagai detektor yang paling baik dalam spektrometri gamma.

Untuk melakukan pengukuran menggunakan spektrometer gamma maka perlu dilakukan kalibrasi efisiensi detektor. Kalibrasi efisiensi detektor dapat dilakukan menggunakan sumber standar atau alat standar. Selain itu juga dapat dilakukan dengan suatu simulasi atau model perhitungan. Salah satu simulasi yang dapat digunakan untuk kalibrasi efisiensi adalah metode monte carlo dengan salah satu program komputernya yaitu *Monte Carlo N-Particle version 5* (MCNP5).

MCNP5 merupakan perangkat lunak komputer menggunakan metode monte carlo yang diaplikasikan untuk menghitung perjalanan partikel yaitu neutron, foton, dan elektron [1]. Suatu program komputer yang telah teruji baik dalam menyimulasikan perjalanan partikel maupun foton di dalam material. Perangkat lunak ini dikerjakan oleh tim monte carlo X-5 (2003) dari Laboratorium Nasional Los Alamos, USA. Metode monte carlo merupakan metode numerik statistik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang tidak dimungkinkan diselesaikan secara analitik dengan menyimulasikan bilangan acak.



Gambar 1. Spektrometer gamma di LARL PTNBR dengan detektor HPGe

II. TATA KERJA

Untuk dapat melakukan simulasi kalibrasi efisiensi pada detektor HPGe dengan MCNP5 dibutuhkan beberapa inputan. Input tersebut adalah; model geometri detektor, definisi sumber radiasi, dan pulsa cacahan.

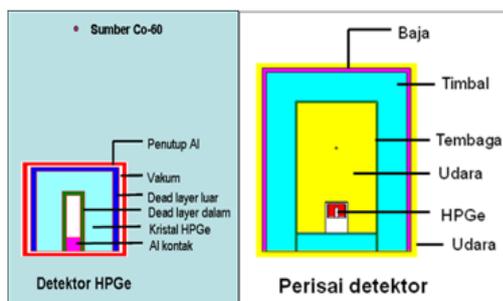
2.1 Model geometri detektor

Detektor yang akan disimulasikan adalah HPGe tipe CPVDS30-30215 yang ada di Laboratorium Analisis Radioaktivitas Lingkungan (LARL) PTNBR. Berdasarkan tipenya yaitu CPVDS30-30215 maka detektor tersebut memiliki bentuk kristal germanium koaksial, polaritas positif, dipasang secara vertikal, dengan pendingin 30 kg nitrogen cair di dalam dewar, efisiensi relatif 30%, dan FWHM 2,15 keV pada energi gamma 1333 keV. Geometri detektor menjadi penting dalam simulasi karena interaksi foton gamma dengan atom-atom germanium yang membentuk pulsa cacahan terjadi di dalam detektor.



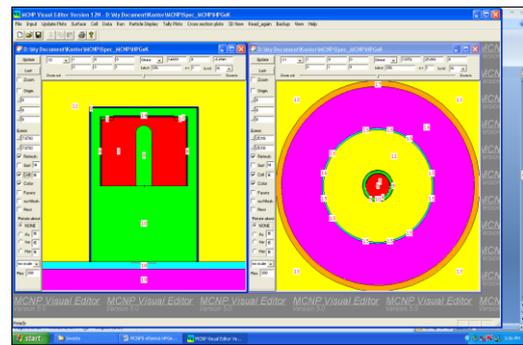
Gambar 2. Detektor HPGe

Geometri yang dimodelkan juga mencakup perisai detektor, wadah cuplikan atau sumber, dan ruang di dalam perisai. Geometri komponen yang dimodelkan hanyalah komponen yang dimungkinkan berinteraksi dengan partikel yang dihasilkan dari sumber radiasi di dalam cuplikan. Setiap interaksi partikel dengan atom-atom di dalam material yang telah dimodelkan geometrinya akan dihitung oleh MCNP5. Perhitungan MCNP5 dimulai sejak partikel tersebut "lahir" hingga partikel tersebut membentuk pulsa cacahan atau berakhir "mati".



Gambar 3. Geometri detektor HPGe dengan perisai

Pada spektrometer gamma *low background* maka detektor HPGe dilengkapi dengan perisai radiasi alam. Dalam simulasi MCNP5 perisai ikut juga dimodelkan karena memiliki pengaruh dalam pencacahan yaitu menghamburkan balik foton yang berasal dari sumber atau cuplikan ke detektor. Selain perisai, dimodelkan pula ruang antara perisai dengan detektor yang berupa udara. Tampilan geometri detektor HPGe dan perisai dalam MCNP visual editor diperlihatkan pada Gambar 4.

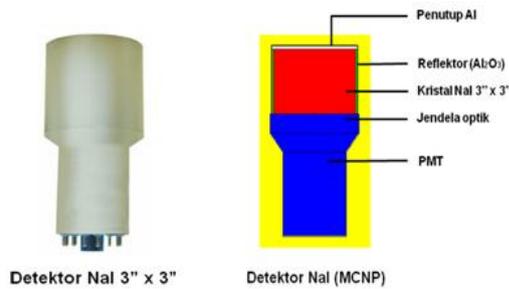


Gambar 4. Geometri detektor HPGe dalam MCNP Visual Editor

Table 1. Data detektor HPGe untuk input MCNP5

Komponen	Densitas (g/cc)	Dimensi (mm)
Kristal Ge (diameter)	5,323	58,6
Kristal Ge (tinggi)	5,323	46,4
Hole kristal Ge (diameter)	0	11,2
Hole kristal Ge (tinggi)	0	35,3
Dead layer Ge	5,323	0,6
Penutup Al (diameter)	2,707	76
Penutup Al (tebal)	2,707	1
Vakum (detektor-window)	0	5

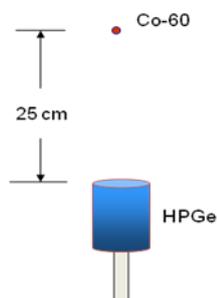
Untuk melakukan simulasi kalibrasi efisiensi relatif maka dimodelkan pula geometri detektor NaI(Tl) yang akan digunakan sebagai pembanding. Detektor NaI(Tl) yang digunakan adalah yang memiliki ukuran kristal 76,2 cm x 76,2 cm sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5. Geometri detektor NaI(Tl) lebih mudah dimodelkan daripada HPGe karena bentuknya yang sederhana yaitu silinder.



Gambar 5. Geometri detektor NaI(Tl)

2.2 Model sumber radiasi

Setelah memodelkan geometri detektor dan komponen lain maka input MCNP5 selanjutnya adalah model sumber radiasi. Untuk mensimulasikan perjalanan radiasi maka harus didefinisikan terlebih dahulu sumber radiasi. Dalam simulasi kalibrasi efisiensi detektor HPGe ini sumber radiasi yang dimodelkan berupa sumber titik dan cuplikan dalam marinelli. Model sumber radiasi dalam istilah MCNP5 adalah "definisi sumber". Definisi sumber yang diperlukan sebagai inputan MCNP5 adalah jenis partikel yang dipancarkan, energi dan kelimpahan partikel, arah berkas partikel, dan geometri yang meliputi posisi dan bentuk sumber.



Gambar 6. Geometri sumber dan detektor HPGe dalam pengukuran efisiensi absolut

Untuk menentukan efisiensi detektor HPGe digunakan sumber Co-60 berbentuk titik dengan aktivitas yang telah diketahui dan ditempatkan

pada jarak 25 cm dari muka detektor [2]. Efisiensi absolut detektor HPGe diperoleh dari nilai cacah pada energi 1333 keV dibagi dengan aktivitas sumber Co-60. Adapun nilai efisiensi relatif diperoleh melalui perbandingan dengan efisiensi absolut detektor NaI(Tl). Untuk menentukan efisiensi menggunakan simulasi MCNP5 diperlukan inputan geometri selain detektor yaitu sumber radiasi sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6 dan Tabel 2. Untuk menghitung efisiensi absolut dan relatif digunakan persamaan 1 dan 2 dengan $\epsilon_{Abslt}(NaI)$ adalah efisiensi absolut pada detektor NaI(Tl) 3'' x 3'' (76,2 cm x 76,2 cm).

$$\epsilon_{Abslt} = \frac{CPS_{(1333\ keV)}}{A} \quad (1)$$

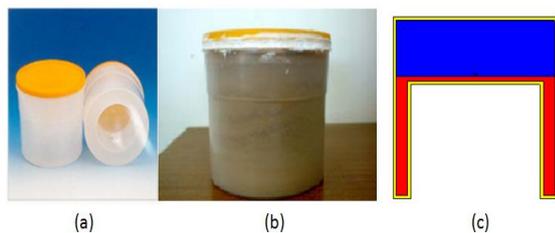
$$\epsilon_{Rlrf} = \frac{\epsilon_{Abslt}(HPGe)}{\epsilon_{Abslt}(NaI)} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 2. Data sumber Co-60 untuk input MCNP5

Sumber	Keterangan
Nuklida	Co-60
Bentuk	Titik
Jarak ke detektor	25 cm
Energi	1173 keV (100 %)
	1333 keV (100 %)
Jenis partikel	Foton, elektron
Arah berkas	Isotropik

Untuk melakukan pengukuran radioaktivitas suatu cuplikan dengan spektrometer gamma maka harus dibuatkan

kurva efisiensi untuk detektor HPGe. Untuk mendapatkan kurva efisiensi harus dilakukan pencacahan sumber standar dengan geometri, densitas, dan matrik yang mendekati sama dengan cuplikan. Adapun untuk membuat kurva efisiensi menggunakan simulasi MCNP5 maka didefinisikan sumber yang baru dengan menyesuaikan geometri marinelli, densitas dan matrik cuplikan, serta radiasi gamma multienergi. Wadah cuplikan yang digunakan dalam simulasi adalah marinelli dengan bahan dasar polyetilen.



Gambar 7. (a) Wadah marinelli, (b) Marinelli berisi cuplikan, dan (c) geometri marinelli untuk MCNP5

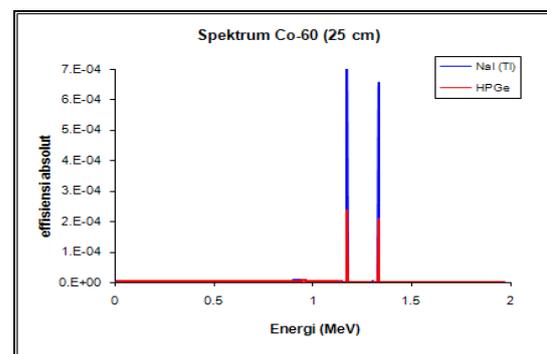
2.3 Model pulsa cacah

Untuk mendapatkan keluaran dari MCNP5 yang berupa nilai cacah maka dilakukan pemodelan pulsa cacah. Dalam pemodelan ini digunakan beberapa jenis *tally* diantaranya *tally* energi (E8) dan *tally* pulsa untuk foton (F8p). *Tally* E8 merupakan bin energi yang ditentukan untuk menampilkan nilai cacahan pada rentang energi tertentu. *Tally* F8p akan memberikan keluaran MCNP5 berupa nilai cacahan hasil interaksi foton dengan kristal detektor. Dengan *tally* yang diberikan maka MCNP5 akan memberikan hasil keluaran berupa nilai cacah pada tiap bin energi yang ditentukan dan nilai ketidakpastiannya [3].

Hasil nilai cacah pada tiap bin energi yang ditentukan selanjutnya digunakan untuk membuat kurva efisiensi. Hasil tersebut juga dapat diplot ke dalam grafik cacahan sebagai fungsi energi sehingga tampil sebagai spektrum gamma setelah dinormalisasi dengan nilai aktivitas. Dari hasil ini dapat pula dilakukan perbandingan antara efisiensi detektor hasil simulasi MCNP5 dengan hasil pengukuran atau membandingkan spektrum gamma hasil simulasi dengan spektrum gamma hasil pencacahan.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Program MCNP5 setelah diberikan inputan berupa model geometri detektor, model sumber radiasi, dan model pulsa cacah selanjutnya di-*running* menggunakan komputer PC CPU 2,67 GHz, RAM 240 MB dengan sistem operasi windows-XP. Simulasi MCNP5 akan dilakukan untuk menentukan efisiensi relatif detektor, membandingkan dengan efisiensi dari hasil pengukuran, serta untuk menentukan pengaruh densitas dan matrik cuplikan dalam pencacahan.



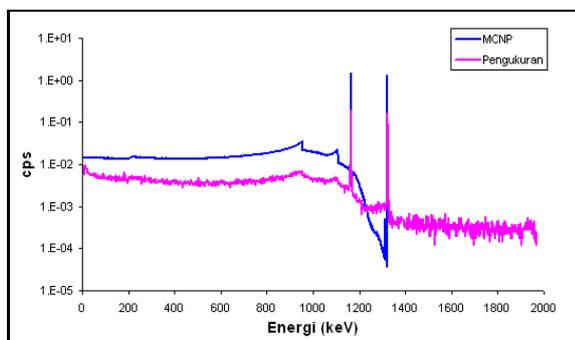
Gambar 8. Spektrum Co-60 jarak 25 cm pada HPGe dan NaI(Tl)

Simulasi pertama adalah menentukan efisiensi relatif detektor HPGe. Simulasi dilakukan dengan menempatkan sumber Co-60

pertama pada jarak 25 cm dari permukaan detektor HPGe dan sumber Co-60 kedua 25 cm dari permukaan detektor NaI(Tl). Spektrum Co-60 pada HPGe dan NaI(Tl) simulasi MCNP5 diperlihatkan pada Gambar 8. Dari spektrum simulasi diperoleh efisiensi relatif detektor HPGe 30,7% sementara efisiensi relatif detektor sebagaimana tercantum dalam sertifikat adalah 30%. Hasil ini membuktikan MCNP5 sangat baik untuk simulasi penentuan efisiensi relatif detektor HPGe dengan persentase perbedaan hanya 2,3%.

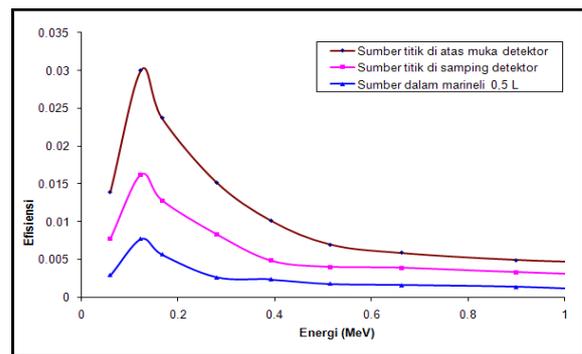
$$\begin{aligned} \varepsilon_{Rif} &= \frac{2.0 \times 10^{-4}}{6.5 \times 10^{-4}} \times 100 \% \\ &= 30.7 \% \end{aligned} \quad (3)$$

Jika hasil simulasi pencacahan sumber Co-60 dibandingkan dengan hasil pengukuran maka diperoleh spektrum sebagaimana pada Gambar 9. Dalam spektrum tampak hasil cacahan dari pengukuran lebih rendah dibandingkan hasil simulasi. Hasil cacahan dalam pengukuran yang lebih rendah terjadi akibat adanya penurunan nilai efisiensi pada detektor. Penurunan efisiensi HPGe telah dibuktikan dari hasil pengukuran yang dilakukan pada tahun 2008 dengan efisiensi relatif diperoleh 24%.



Gambar 9. Spektrum Co-60 hasil MCNP5 dan pengukuran

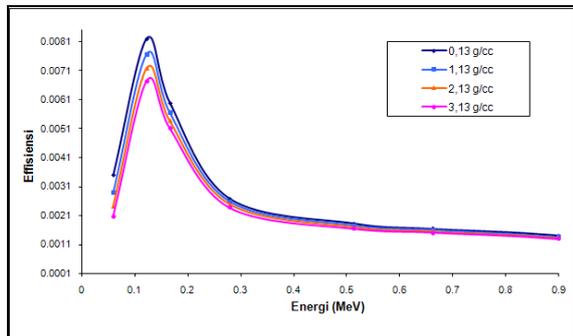
Simulasi kedua adalah untuk melihat pengaruh bentuk dan posisi sumber terhadap efisiensi. Telah disimulasikan sumber gamma multienergi dengan aktivitas sama namun berbeda bentuk dan posisi. Sumber pertama berbentuk titik ditempatkan di atas muka detektor, sumber kedua ditempatkan di sisi detektor, dan sumber ketiga berupa wadah marinelli 0,5 liter. Kurva efisiensi hasil simulasi dari masing-masing sumber diperlihatkan pada Gambar 10. Tampak bahwa sumber radiasi dengan bentuk titik yang ditempatkan di muka detektor memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan posisi samping maupun dalam bentuk wadah marinelli.



Gambar 10. Kurva efisiensi dari beberapa geometri sumber

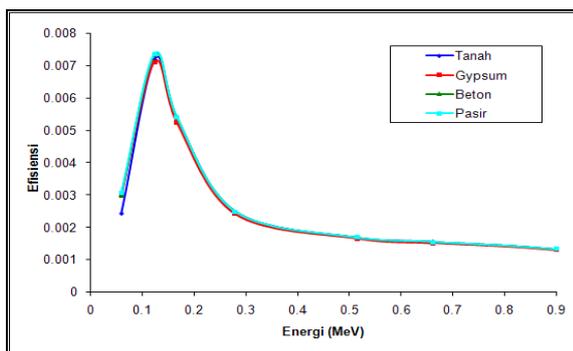
Simulasi ketiga adalah untuk melihat pengaruh densitas cuplikan terhadap efisiensi. Telah disimulasikan cuplikan berupa tanah dengan densitas yang beragam yaitu 0,3 g/cc - 3,13 g/cc. Kurva efisiensi hasil simulasi diperlihatkan pada Gambar 11. Terdapat perbedaan efisiensi dari cacahan cuplikan untuk energi gamma di bawah 500 keV. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan densitas cuplikan tanah mempengaruhi serapan diri foton gamma dari material cuplikan. Namun serapan

diri ini hanya signifikan untuk energi gamma di bawah 500 keV.



Gambar 11. Kurva efisiensi sebagai fungsi densitas cuplikan

Simulasi keempat adalah untuk melihat pengaruh perbedaan matrik cuplikan pada efisiensi. Telah disimulasikan pencacahan dengan cuplikan yang berbeda yaitu tanah, gipsum, beton, dan pasir dengan hasil kurva efisiensi diperlihatkan pada Gambar 12. Dari kurva tampak bahwa tidak ada perbedaan efisiensi yang signifikan antara cacahan cuplikan tanah, gipsum, beton, dan pasir. Perbedaan kecil hanya terjadi untuk energi gamma di bawah 500 keV.



Gambar 12. Kurva efisiensi dari beberapa cuplikan tanah dan batuan

IV.KESIMPULAN

Program MCNP5 dapat diaplikasikan secara baik untuk simulasi kalibrasi efisiensi detektor HPGe tipe CPVDS30-30215 di LARL PTNBR.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa efisiensi detektor adalah 30,7% relatif terhadap detektor NaI(Tl) 3" x 3". Hasil ini membuktikan MCNP5 sangat baik untuk simulasi penentuan efisiensi relatif detektor HPGe dengan persentase perbedaan hanya 2,3%. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pengaruh serapan diri dari material cuplikan tanah untuk beberapa densitas terhadap efisiensi hanya signifikan untuk energi gamma di bawah 500 keV. Matrik cuplikan dari jenis tanah, gipsum, beton, dan pasir juga tidak secara signifikan berpengaruh terhadap efisiensi terutama pada energi gamma di atas 500 keV.

V.UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada bapak Sudrajat dan bapak Tri Cahyo atas bantuannya dalam pengadaan bahan untuk pembuatan model geometri detektor HPGe di LARL PTNBR.

DAFTAR PUSTAKA

1. **X-5 MONTE CARLO TEAM**, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume 1: Overview and Theory, LA-UR-03-1987, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, (2003)
2. **IEEE**, Standard Test Procedures for Germanium Detectors for Ionizing Radiation (ANSI/IEEE325-1996), (1996)
3. **X-5 Monte Carlo Team**, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume II: User's Guide, LA-UR-03-1987, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, (2003)

PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP DAYA SAING KAWIN NYAMUK *Aedes aegypti* SEBAGAI VEKTOR DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD)

Siti Nurhayati¹, Budi Santoso², Ali Rahayu² dan Devita Tetriana¹

¹ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

² Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

ABSTRAK

PENGARUH RADIASI GAMMA TERHADAP DAYA SAING KAWIN NYAMUK *Aedes aegypti* SEBAGAI VEKTOR DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD). Kapasitas perkawinan atau daya saing kawin adalah perbandingan kemampuan kawin antara serangga jantan steril akibat radiasi dengan serangga jantan fertil di lapang dalam mengawini serangga betina. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh radiasi sinar gamma terhadap perbedaan daya saing kawin nyamuk *Aedes aegypti* yang dimandulkan dengan radiasi dibandingkan dengan nyamuk jantan normal. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan diperoleh data bahwa dosis 70 Gy mengakibatkan kemandulan 100% dengan daya saing kawin 0,31; dosis 65 Gy menyebabkan kemandulan 98,53% dengan daya saing kawin 0,45. Dosis 60 Gy mampu memandulkan 71,92% dengan daya saing kawin 0,46, sedangkan dosis 55 Gy memandulkan 69,25% dengan daya saing kawin 0,47, dan dosis 50 Gy memandulkan 67,15% dengan daya saing kawin 0,51. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa dosis optimal untuk pemandulan nyamuk *Aedes aegypti* adalah 65 Gy dengan daya saing kawin yang masih baik yaitu 0,45.

Kata Kunci : TSM, Aedes aegypti, daya saing kawin, DBD,

ABSTRACT

THE EFFECTS OF GAMMA RAYS ON THE MATING COMPETITIVENESS OF *Aedes aegypti* MOSQUITO AS DENGUE HEMORRHAGIC FEVER (DHF). The capacity or mating competitiveness is the capability of sterile male insect induced by irradiation compared to fertile male in field in case of mating with female. The aim of this research is to determine the effect of gamma rays to the difference of mating capability of *Aedes aegypti* mosquito sterilized with irradiation compared to normal male mosquito. From experimental conducted it was known that dose of 70 Gy resulted in 100% fertility with mating competitiveness of 0,31; 65 Gy resulted in 98.53% sterility with mating competitiveness of 0,45. Dose of 60 Gy resulted in 71.92% sterility with mating competitiveness of 0.46; 55 Gy resulted in 69.15% sterility with mating competitiveness of 0,47, and dose of 50 Gy resulted in 67.15% sterility with mating competitiveness 0,51. From these data, it was concluded that the optimal dose for sterilizing *Aedes aegypti* mosquito was 65 Gy with mating competitiveness of 0.45.

Keywords : SIT, Aedes aegypti, mating competitiveness, DHF.

I PENDAHULUAN

Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) atau *Dengue Hemorrhagic Fever* (DHF) sampai saat ini masih menjadi masalah kesehatan yang serius di Indonesia, karena jumlah penderita semakin banyak dengan nilai kematian (mortalitas) 2-4% [1]. Beberapa daerah dinyatakan Keadaan Luar Biasa (KLB) disebabkan karena adanya pemban-

gunan yang cukup pesat, sehingga terjadi urbanisasi besar-besaran ke kota dan menimbulkan pemukiman yang padat dengan sanitasi yang buruk. Keadaan seperti ini akan menimbulkan lahan yang sangat subur bagi perkembangbiakan vektor DBD yang dapat mengganggu kesehatan masyarakat [2].

Penyakit DBD ialah penyakit yang disebabkan oleh virus *dengue* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk betina *Aedes sp* sebagai vektor. Diketahui ada 4 tipe virus penyebab DBD yang termasuk dalam kelompok *Arthropod Borne Virus* atau arbovirus yaitu dengue 1 sampai 4. Dengue 3 merupakan tipe yang paling luas penyebarannya dan sangat berkaitan dengan kasus yang paling berat, diikuti dengue 2, dengue 1 dan dengue 4 [3]. Dua spesies utama nyamuk *Aedes* yang menularkan penyakit DBD adalah *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*, namun ternyata *Aedes aegypti* merupakan nyamuk yang paling berperan, karena hidupnya di dalam dan sekitar rumah (endofilik); sedangkan *Aedes albopictus* di kebun-kebun, sehingga jarang kontak dengan manusia. Kedua jenis nyamuk ini terdapat hampir di seluruh pelosok Indonesia, kecuali di tempat-tempat dengan ketinggian lebih dari 1000 meter di atas permukaan air laut. Nyamuk *Aedes aegypti* berukuran kecil berkisar antara 4-13 mm berwarna hitam dengan garis putih perak dan sepasang garis melengkung berbentuk kurve atau lyre pada torak [4]. Virus ini muncul akibat pengaruh musim serta perilaku manusia. Usia penderita tidak hanya anak-anak, tetapi juga orang dewasa, sehingga semua tingkatan umur berisiko terkena DBD [5].

Pengendalian penyakit DBD di Indonesia merupakan bagian dari program pengendalian penyakit tular vektor yang belum bisa ditangani den-

gan baik. Jumlah kasus DBD setiap tahun cenderung meningkat dan sebarannya semakin luas, terlepas dari upaya penanggulangan yang selama ini dilaksanakan pemerintah, seperti abatisasi untuk stadium larva, fumigasi untuk nyamuk dewasa, pemberantasan sarang nyamuk (PSN) dengan 3M (menguras, menutup dan mengubur) dan 3M plus untuk semua stadium nyamuk [6].

Pencegahan penyakit DBD sangat tergantung pada pengendalian vektornya, yaitu nyamuk *Aedes aegypti*. Nyamuk ini mempunyai siklus hidup yang sempurna dari stadium telur, larva dan pupa yang hidup di air dan stadium dewasa yang hidup beterbangan di sekitar kita. Walaupun pemberantasan nyamuk vektor sudah sering dilakukan, tetapi hasilnya belum maksimal. Hal ini disebabkan karena adanya resistensi vektor terhadap insektisida, masih kurangnya partisipasi masyarakat terhadap kebersihan lingkungan dan belum ditemukan obat maupun vaksinnya [7].

Pengendalian vektor secara konvensional dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu secara kimiawi, lingkungan dan biologi. Pengendalian secara kimia dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis insektisida antara lain temefos (abate) 1% untuk stadium larva, fumigasi dengan malation 4% pada nyamuk dewasa, repellent (obat oles) dan obat nyamuk bakar. Pengendalian vektor melalui pendekatan lingkungan dan biologi dilakukan dengan cara

meniadakan habitat perkembangbiakan nyamuk dengan melaksanakan pemberantasan sarang nyamuk (PSN) secara lebih intensif melalui program 3M, pemeliharaan predator dan pemantauan jentik secara berkala sesuai dengan kondisi setempat. Namun demikian program ini belum memberikan hasil yang memadai karena jumlah kasus DBD tetap tinggi serta wilayah yang terjangkit juga semakin luas, sehingga diperlukan reorientasi strategi terhadap pengendalian vektor secara lebih baik.

Karena pengendalian vektor secara konvensional masih kurang berhasil, maka Teknik Serangga Mandul (TSM) atau Teknik Jantan Mandul (TJM) merupakan salah satu alternatif pengendalian vektor yang perlu dipertimbangkan. Teknik ini bersifat mengurangi jumlah populasi di lapangan, bukan memusnahkan. Pengurangan populasi dilakukan dengan cara melepas serangga mandul secara bertahap dan berkesinambungan sehingga pada generasi ke 5 populasi nyamuk akan habis [8].

TSM merupakan teknik yang relatif baru dan dilaporkan merupakan cara pengendalian vektor yang potensial, efektif, spesies spesifik dan kompatibel dengan cara pengendalian lain. Prinsip dasar TSM sangat sederhana yaitu membunuh serangga dengan serangga itu sendiri (*autocidal technique*). Merupakan suatu urutan kegiatan yang saling terkait satu sama lain, mulai dari pemeliharaan serangga di

laboratorium, irradiasi untuk pemandulan, dinamika populasi dan pelepasannya di lapangan [9]. Dalam pelaksanaannya TSM akan lebih baik bila dikombinasikan dengan pengendalian vektor lain secara terpadu seperti penggunaan insektisida, sanitasi lingkungan, pengaturan air secara baik, pemakaian predator dan pemasangan kelambu dan kasa di rumah [10].

Teknik jantan mandul merupakan teknik pengendalian serangga dengan jalan memandulkan serangga jantan. Serangga jantan mandul dilepas di lapangan dengan harapan dapat bersaing dengan jantan normal dalam berkopulasi dengan serangga betina. Serangga betina yang telah berkopulasi dengan jantan mandul dapat bertelur, tetapi telurnya tidak menetas atau bahkan tidak bertelur sama sekali. Apabila pelepasan serangga jantan mandul dilakukan secara terus-menerus, maka populasi serangga di lokasi pelepasan menjadi rendah bahkan menjadi nol [11]. Pengendalian nyamuk vektor DBD akan lebih baik jika digunakan teknik konvensional dan TSM secara terpadu.

II. TATA KERJA

Kegiatan penelitian meliputi pemeliharaan nyamuk di laboratorium/*rearing*, orientasi dosis radiasi untuk pemandulan dan penghitungan daya saing kawin paska iradiasi.

Pemeliharaan *nyamuk Aedes aegypti* di laboratorium dimulai dengan menetas telur

Aedes aegypti yang diambil dari stok koloni telur ditaruh dalam wadah plastik berukuran 40 cm x 25 cm x 5 cm yang diisi air dengan ketinggian 3 cm. Telur yang sudah menetas menjadi larva diberi makan pelet secara bertahap sesuai dengan ukuran instarnya. Larva yang sudah berkembang menjadi pupa dipisahkan untuk dimasukkan ke kandang dewasa berukuran 30 cm x 30cm Untuk menghasilkan telur nyamuk dewasa diberi makan darah marmut setelah kawin.

Orientasi dosis mandul dilakukan dengan pemisahan jantan dan betina (hanya nyamuk jantan yang diiradiasi) pada stadium pupa atau dewasa. Radiasi sinar gamma Co-60 dengan pesawat Gamma Cell 220. Variasi dosis yang diberikan adalah 0 (kontrol), 50, 55, 60, 65 dan 70 Gy dengan 3 ulangan dan laju dosis 962,334 Gy/jam. Nyamuk jantan pasca radiasi dikawinkan dengan betina normal, dengan perbandingan yang sudah ditentukan, kemudian nyamuk diberi darah marmot/kelinci. Nyamuk betina yang menghisap darah dipelihara secara individu untuk dihitung jumlah telur yang dihasilkan dan jumlah jentik atau pupa yang menetas, sehingga diperoleh nilai dosis radiasi untuk pemandulan nyamuk.

Penghitungan nilai daya saing kawin pasca pemandulan, dilakukan kegiatan sebagai berikut, mengawinkan nyamuk jantan radiasi dengan nyamuk betina normal dengan jumlah yang sama (sebagai kontrol), nyamuk jantan

radiasi dengan nyamuk betina normal ditambah nyamuk jantan kontrol dengan jumlah yang sama (1:1:1) dan nyamuk jantan radiasi dikawinkan dengan betina normal dan jantan normal dengan perbandingan 3:1:1. Evaluasi hasil keturunannya pada stadium telur, jentik maupun pupa dilakukan baik terhadap jumlah maupun kualitasnya.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai daya saing kawin nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor penyakit DBD pasca radiasi. Hipotesanya adalah apabila nyamuk jantan diiradiasi dengan dosis mandul dan secara kontinyu dilepas ke lapang, maka populasi di lapang akan menurun karena terjadi perkawinan antara nyamuk jantan mandul dengan betina alam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan yang dilakukan diperoleh hasil bahwa semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan mengakibatkan semakin lemah nilai daya saing kawin nyamuk jantan *Aedes aegypti*, yaitu pada dosis 50 Gy penurunan nilai daya saing kawin mencapai 50%, pada dosis 55 Gy sampai 65 Gy penurunan mencapai 55% dan pada dosis 70% penurunan mencapai 70%. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan, mengakibatkan semakin tinggi terjadinya mutasi kromosom sel gamet nyamuk jantan, sehingga menghasilkan individu-individu heterozigot yang rendah viabilitasnya [11]. Pemberian dosis yang

semakin tinggi dapat menyebabkan kerusakan sel-sel somatik yang dapat berakibat berkurangnya kemampuan fisik untuk melakukan perkawinan. Pada umumnya kegagalan perkawinan disebabkan oleh kerusakan alat genitalia dalam akibat radiasi. Dosis radiasi tinggi yang diperlukan untuk membuat jantan steril juga menyebabkan kegagalan nyamuk jantan untuk memindahkan sperma kepada nyamuk betina.

Dalam usaha untuk memperbaiki atau meningkatkan nilai daya saing kawin nyamuk jantan radiasi terhadap jantan normal bisa dilakukan dengan cara meningkatkan kualitas makan nyamuk radiasi dengan memperbaiki kandungan pakan pada stadium larva. Selain itu perlakuan gas nitogen pada saat radiasi juga dapat membantu meningkatkan nilai daya saing kawin.

Tabel 1. Perhitungan Nilai Daya Saing Kawin Nyamuk Jantan *Aedes aegypti* menurut Rumus Fried.

Dosis Radiasi (Gy)	Hs	N	S	E	$\frac{S/N_{hit} = H_a - E}{E - H_s}$	S/N Aktual	$C = \frac{S/N_{hit}}{S/N_{Aktual}}$
0 (H _a)	94.17	-	-	-	-	-	-
50	32.85	1	3	57.15	1.52	3.0	0.51
55	30.75	1	3	57.06	1.41	3.0	0.47
60	28.08	1	3	55.92	1.37	3.	0.46
65	16.55	1	3	49.61	1.35	3.0	0.45
70	0	1	3	48.99	0.92	3.0	0.31

Keterangan:

H_a : Persentase penetasan telur dari 1♂N X 1♀N, H_s : Persentase penetasan telur dari 1♂R X 1♀N, N : Jumlah jantan normal, S : Jumlah jantan radiasi, E :Persentase penetasan telur dari 3♂R X 1♂N X 1♀N, C:Nilai daya saing kawin

Tabel 2. Persentase penetasan telur nyamuk *Aedes aegypti* akibat radiasi sinar gamma

Dosis Radiasi (Gy)	Kombinasi Perkawinan	Jumlah Telur yang Dihasilkan	Jumlah Telur yang Ditetaskan	Jumlah Telur yang Menetas	% Penetasan Telur
Kontrol		3491	1526	1437	94.17
50	A	2797	1373	451	32.85
	B	3146	1538	879	57.15
55	A	3640	1047	322	30.75
	B	3087	1027	586	57.06
60	A	3583	1015	285	28.08
	B	1959	1420	794	55.92
65	A	3842	858	142	16.55
	B	2460	1032	512	49.61
70	A	365	1781	0	0
	B	3612	1690	828	51.36

Keterangan:

Kontrol : 0 Gy = 30♂N X 30♀N, A : 30♂R X 30♀N, B : 90♂R X 30♂N X 30♀

Tabel 3. Nilai persentase kemandulan dan daya saing kawin nyamuk pasca iradiasi

Dosis (Gy)	Kemandulan (%)	Daya Saing Kawin
50	67,15	0,51
55	69,25	0,47
60	71,92	0,46
65	98,53	0,45
70	100	0,31

IV. KESIMPULAN

TSM merupakan teknik pilihan yang perlu dipertimbangkan karena cukup efektif dan efisien, baik secara tersendiri maupun terintegrasi dengan teknik lain secara terpadu, sehingga dapat diputus siklus penyebaran penyakit infeksi ini. Teknik pengendalian ini sangat spesifik, ramah lingkungan, tidak menimbulkan resistensi dan hanya berpengaruh pada spesies target saja.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dosis 70 Gy mengakibatkan kemandulan 100% tetapi masih mempunyai nilai daya saing kawin yang rendah, yaitu 0,31; dosis 65 Gy menyebabkan kemandulan 98,53% dengan daya saing kawin 0,45. Sinar gamma dosis 60 Gy mampu memandulkan 71,92% dengan daya saing kawin 0,46, sedangkan dosis 55 Gy memandulkan 69,25% dengan daya saing kawin 0,47, dan dosis 50 Gy memandulkan 67,15% dengan daya saing kawin 0,51. Dari data tersebut, dosis 65 Gy paling baik untuk diterapkan di lapangan arena angka steilitasnya tinggi dan nilai daya saing kawin juga masih baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUROSO, T., Demam Berdarah Dengue : Situasi, Masalah dan Program Pemberantasannya. Laporan Seminar Demam Berdarah Dengue, Sub. Din. Pencegahan Penyakit Dinkes Propinsi Dati I Jateng, (1995).
2. DIRJEN PEMBERANTASAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN, Petunjuk Pemberantasan Nyamuk Penular Penyakit DBD, DEPKES RI, Jakarta (1992).
3. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Prevention and Control of Dengue Haemorrhagic Fever, WHO Regional Publication. SEARO, No. 29, (2003).
4. DIRJEN PEMBERANTASAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN, Petunjuk Melakukan Macam-macam Uji Entomologi yang Diperlukan untuk Menunjang Operasional Program Pemberantasan Penyakit yang ditularkan Serangga. DEPKES RI, Jakarta (1986).
5. DIRJEN PEMBERANTASAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN, Pedoman Ekologi dan Aspek Perilaku Vektor. DEPKES RI, Jakarta (2001).
6. DIRJEN PEMBERANTASAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN, Petunjuk Pemberantasan Nyamuk Penular Penyakit DBD, DEPKES RI, Jakarta (1992).
7. NADESUL, H., Cara Mudah Mengalahkan Demam Berdarah, Penerbit Buku Kompas. Jakarta, [2007].
8. KNIPLING, E.F. Sterile Insect Technique, Principles Involved, Current Application, Limitations, and Future Application .p.587-616 dalam J.W. Wright and R. Pal, eds., *Genetics of Insect Vector of Disease* .Elsevier, Amsterdam, (1967) and *Suppression of Pest Lepidoptera by Releasing Partially Sterile Males A. theoretical Appraisal*, Bio. Science (20) P- 465 – 470, (1970).
9. DYCK, A.; HENDRICH, J., ROBINSON, AS., The Sterile Insect Technique: Principle and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management. Heidelberg, Germany: Springer, (2005).

10. SUTRISNO, S. dkk. Pengendalian Terpadu Nyamuk Vektor Penyakit Malaria (*Anopheles sp*) dan Penyakit DBD (*Aedes aegypti*) dengan Menggunakan Teknik Serangga Mandul (TSM) dan Teknik Pengendalian Lain yang Kompatibel. Jakarta. BATAN-DEPKES, (2003).

11. HENNEBERRY, T.J., Developments in Sterile Insect Release Research for the Control of Insect Populations, Proceeding of FAO/IAEA, Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology, Univ. of Florida, 213–223, (1979).

PENGUKURAN TINGKAT RADIASI DAN RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN DI INDONESIA

Sutarman, Wahyudi, dan Asep Setiawan
PTKMR-BATAN

ABSTRAK

PENGUKURAN TINGKAT RADIASI DAN RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN DI INDONESIA. Pencemaran radiasi lingkungan dapat berasal dari sumber radiasi alamiah dan sumber radiasi buatan. Sumber radiasi alamiah dapat berasal ruang angkasa (sinar kosmik dan radionuklida kosmogenik : ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , dan ^7Be) dan yang berasal dari dalam bumi (radionuklida primordial : deret ^{238}U , deret ^{232}Th , dan ^{40}K). Sumber radiasi buatan meliputi, kegiatan medik, percobaan senjata nuklir (jatuhan debu radioaktif : ^{137}Cs dan ^{90}Sr), industri nuklir, dan beberapa kegiatan industri non-nuklir. Pengukuran tingkat radiation dan radioaktivitas lingkungan di Indonesia telah dilakukan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR-BATAN), yang meliputi pengukuran konsentrasi radionuklida hasil fisi (^{137}Cs dan ^{90}Sr) dan konsentrasi radionuklida primordial (^{226}Ra , ^{228}Th , ^{40}K , ^{220}Th , dan ^{222}Rn) yang terkandung dalam berbagai contoh lingkungan. Pemetaan radiasi gamma di beberapa wilayah di Indonesia dilakukan juga. Hasil-hasil pengukuran yang diperoleh diberikan dalam makalah ini. Data tersebut dapat dipakai untuk data dasar tingkat radioaktivitas dan radiasi lingkungan di Indonesia.

Kata kunci : Sumber radiasi, radioaktivitas, radiasi, lingkungan, Indonesia.

ABSTRACT

MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION LEVELS IN INDONESIA. The environmental radiation pollution can come from the natural radiation sources and artificial radiation sources. The natural radiation sources can come from the outer space (cosmic rays and cosmogenik radionuclides : ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , and ^7Be) and coming from in the earth (primordial radionuclides : ^{238}U series, ^{232}Th series and ^{40}K). The artificial radiation sources include the medical activities, nuclear weapons testing (fallout : ^{137}Cs dan ^{90}Sr), nuclear industries. and some non-nuclear industries. Measurement of environmental radiation and radioactivity levels in Indonesia have been carried out by the Center for Technology of Safety and Metrology Radiation – National Nuclear Energy Agency (CTSMR-NNEA) including the measurement of radionuclide concentrations come from the fission products (^{137}Cs and ^{90}Sr) and radionuclide primordial concentrations (^{226}Ra , ^{228}Th , ^{40}K , ^{220}Th , dan ^{222}Rn) containing in the several environmental samples (air, water, foodstuff, milk, soil, and material buildings). The mapping of gamma radiation in the some areas in Indonesia were carried out too. The results of the measurement obtained to be presented in this paper. The data mentioned can be used for baseline data of radiation and radioactivity levels in Indonesia.

Key word : Radiation sources, radioactivity, radiation, environment, Indonesia.

1.PENDAHULUAN

Pengukuran radioaktivitas dan radiasi lingkungan sudah lama dilakukan dan merupakan salah satu bentuk pengawasan yang dilakukan di Indonesia. Pada saat itu masih terbatas di kawasan kegiatan reaktor nuklir,

seperti reaktor Triga Mark II di Bandung, reaktor Kartini di Yogyakarta, dan reaktor G.A. Siwabessy di Serpong. Pengukuran radioaktivitas dan radiasi lingkungan terbatas di sekeliling instalasi nuklir. Pengumpulan data radiasi dan radioaktivitas lingkungan tersebut

dipakai untuk membuktikan kepada masyarakat bahwa kegiatan pengoperasian reaktor nuklir tidak mencemari lingkungan. Pemanfaatan teknik nuklir untuk maksud damai kini banyak dikembangkan meliputi berbagai pemakaian sumber radiasi baik yang berasal dari sumber radiasi alamiah maupun sumber radiasi buatan. Kegiatan yang kemungkinan dapat menimbulkan pencemaran radioaktif ke lingkungan, antara kegiatan pemakaian sumber radiasi dalam berbagai bidang, misalnya bidang kedokteran, pertanian, industri, dan pendidikan. Oleh karena itu kemungkinan pencemaran zat radioaktif akan terjadi baik di tempat kerja maupun di lingkungan akan terjadi, jika hal tersebut tidak ditangani secara sungguh-sungguh, sehingga dengan demikian akan memberikan dampak radiologi terhadap para pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup.

Pengendalian kemungkinan terjadinya pencemaran zat radioaktif di lingkungan perlu dilakukan upaya pengukuran konsentrasi radionuklida lepasan ke lingkungan, seperti ^{90}Sr , ^{137}Cs , anak luruh ^{238}U dan ^{232}Th serta ^{40}K yang terkandung di dalam berbagai contoh lingkungan dan radiasi-gamma lingkungan. Contoh lingkungan yang dimaksud, antara lain, air hujan, air minum, udara, tanah, rumput, susu sapi segar, sayur-sayuran, dan bahan bangunan.

Tujuan upaya pengukuran radioaktivitas dan radiasi lingkungan untuk mendapatkan data dasar di seluruh Indonesia. Data yang telah diperoleh dapat dipakai untuk mengetahui tingkat radiasi, jika terjadi kecelakaan nuklir baik di dalam maupun dari manca negara. Di

samping itu, data tersebut juga dapat dipakai sebagai pedoman untuk menentukan batas lepasan radioaktivitas dan radiasi lingkungan dari instalasi nuklir.

SUMBER-SUMBER RADIASI PENCEMAR

Radiasi Alamiah

Radiasi alamiah dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu sumber radiasi luar yang berasal dari angkasa luar, disebut sinar kosmik, dan yang berasal dari lapisan kerak bumi yang dikenal sebagai radionuklida primordial, misalnya deret uranium-238 (^{238}U) dan thorium-232 (^{232}Th) serta potasium-40 (^{40}K).

Radiasi sinar kosmik merupakan radiasi campuran dari banyak jenis radiasi di angkasa termasuk proton, partikel alfa, elektron, dan berbagai partikel *exotic* (energi tinggi). Pada tingkat lapisan atmosfer radiasi kosmik umumnya berupa muon, neutron, elektron, positron, dan proton. Sebagian besar dosis radiasi berasal dari muon dan elektron.^{1,2} Hasil berbagai reaksi nuklir sinar kosmik di dalam atmosfer, biosfer, dan litosfer adalah merupakan radionuklida kosmogenik, yang meliputi ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , dan beberapa radionuklida kosmogenik lain yang waktu paronya pendek (kurang dari 1 hari). Radionuklida tersebut pada suatu saat dapat terhirup masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan (inhalasi). Perlu mendapat perhatian bahwa ^3H (hasil fisi) dan ^{14}C (hasil aktivasi) dapat juga terbentuk dari hasil radiasi buatan. Radiasi sinar kosmik yang diterima orang di bumi bergantung pada letak lintang geografis

dan tinggi tempat. Penduduk yang bertempat tinggal di daerah lintang $30-60^\circ$ akan menerima laju dosis radiasi efektif lebih besar dibandingkan dengan penduduk yang bertempat tinggal di daerah lintang $0-30^\circ$.

Radiasi alamiah yang berasal dari dalam bumi merupakan radionuklida primordial, antara lain deret ^{238}U , deret ^{232}Th dan ^{40}K . Radionuklida tersebut sudah ada sejak awal terbentuknya bumi, dan sekarang masih tersimpan di lapisan kerak bumi dan memiliki waktu paro panjang, yaitu ^{40}K dengan waktu paro $1,3 \times 10^9$ tahun, ^{238}U memiliki waktu paro $4,51 \times 10^9$ tahun, dan ^{232}Th memiliki waktu paro $1,39 \times 10^9$ tahun beserta anak luruhnya menjadi sumber radiasi eksterna bagi manusia yang tinggal di atas permukaan bumi.³

Radiasi juga dialami bagi orang yang tinggal di dalam rumah atau gedung-gedung sebagai akibat terdapatnya radionuklida primordial di dalam bahan-bahan bangunan, misalnya semen, bata, gipsum, dan batuan granit. Gas radon (^{222}Rn) memberi sumbangan dosis radiasi alamiah sangat besar sekitar 43%. Jika gas radon tersebut terendapkan pada saluran pernafasan, misalnya di dalam *bronchia* dapat menyebabkan terjadinya kanker paru-paru.^{1,2}

Kegiatan industri non-nuklir yang mengambil dan memproses bahan baku yang berasal dari dalam bumi, seperti tambang batubara, emas, minyak, dan gas bumi, serta yang memanfaatkan limbah untuk didaur-ulang akan memberikan sumbangan radiasi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan di sekitar kegiatan. Kegiatan tersebut disebut TENORM

(*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*) dan zat radioaktif alam yang lepas ke lingkungan disebut NORM (*Naturally Occuring Radioactive Material*).⁴

Sumber Radiasi Buatan

Radiasi buatan dihasilkan dari kegiatan manusia, seperti kegiatan medik, percobaan bom nuklir, dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Dosis radiasi yang berasal dari kegiatan medik merupakan dosis radiasi tertinggi di antara dosis radiasi yang berasal dari sumber radiasi buatan.

Uji coba bom nuklir telah dilakukan oleh beberapa negara maju, seperti Amerika Serikat, Rusia, Inggris, Perancis, dan Cina. Selama periode tahun 1945 sampai 1981 telah dilakukan 461 percobaan bom nuklir di atas tanah, di permukaan laut dan di bawah tanah dengan total energi sekitar 550 megaton TNT. Sementara bom atom yang dijatuhkan di kota Hiroshima dan Nagasaki (1945) hanya berkekuatan 15 dan 22 ribu ton TNT. Percobaan bom nuklir baik yang dilakukan di atas tanah, di permukaan laut dan di bawah tanah dapat menyebabkan sejumlah zat radionuklida hasil fisi, seperti ^{137}Cs , ^{90}Sr , dan ^{14}C terangkat ke lapisan atmosfer dapat mencapai lapisan stratosfer (10-50 km). Karbon-14 dibentuk tidak secara langsung dari hasil fisi, tetapi dibentuk dari hasil aktivasi (interaksi nitrogen dengan neutron di atmosfer). Dalam waktu sekitar satu bulan radionuklida tersebut dapat jatuh ke bumi dan sering disebut jatuhnya debu radioaktif (*fallout*).² Radionuklida yang mempunyai waktu paro panjang, seperti

^{137}Cs (waktu paro 30 tahun) dan ^{90}Sr (waktu paro 29 tahun) masih dapat diamati sampai sekarang, walaupun konsentrasi sangat rendah.

Jatuhan debu radioaktif dapat sampai ke tubuh manusia melalui berbagai media, seperti angin dan air hujan, kemudian diendapkan dalam tanah dan melalui rantai makanan dan air minum, radionuklida dapat masuk ke dalam tubuh manusia. Radionuklida ^{137}Cs terakumulasi dalam jaringan otot dan ^{90}Sr terakumulasi dalam tulang. Efek yang ditimbulkan dari radionuklida tersebut dapat merusak jaringan otot dan tulang yang ditempatinya.

Kecelakaan reaktor nuklir yang memberikan dampak radiologi ke lingkungan adalah kecelakaan PLTN Unit-4 yang terjadi di Chernobyl (Rusia). Umumnya di sebagian besar negara-negara belahan bumi utara yang dekat dengan kecelakaan menerima dosis radiasi relatif tinggi, misalnya Swedia, Norwegia, Rusia, dan Jerman. Jatuhan debu radioaktif akibat kecelakaan nuklir Chernobyl tersebar secara sporadis terutama yang terbawa oleh air hujan. Radionuklida jatuhan tersebut ^{131}I , ^{134}Cs dan ^{137}Cs sangat dominan terendapkan di dalam berbagai komponen lingkungan, seperti tanah, air/air minum, dan bahan makanan.^{2,5}

II. TATA KERJA

Pengukuran radioaktivitas lingkungan di beberapa lokasi di Indonesia dapat dilakukan secara tidak langsung, yaitu dengan mengumpulkan contoh lingkungan, kemudian contoh diproses untuk diukur konsentrasi radionuklida yang terkandung di dalam contoh

tersebut menggunakan alat ukur yang sesuai. Pengukuran laju dosis radiasi-gamma lingkungan di udara sesaat dilakukan secara langsung menggunakan alat survei meter dan bilik pengion. Pengukuran laju dosis radiasi-gamma secara akumulatif (sebulan atau tiga bulan) dilakukan dengan menggunakan dosimeter termoluminensi (*Termoluminescence Dosimetry*, disingkat TLD) yang dibuat dari bahan zat padat dalam bentuk kristal atau bubuk yang mengandung cacat, misalnya $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$, dan $\text{CaF}_2:\text{Mn}$

Alat ukur radiasi yang digunakan untuk mengukur contoh-contoh lingkungan sebagai berikut :^{3,6}

1. Pencacah berlatar sangat rendah sistem α / β (*low background counting α / β system*, (LBC) dengan detektor gas alir proporsional.

Alat cacah ini dipakai untuk mendeteksi radiasi alfa dan beta, misalnya untuk mengukur aktivitas ^{90}Sr , alfa total dan beta total yang terkandung di dalam contoh. Pengukuran aktivitas ^{90}Sr di dalam contoh (dilakukan analisis radiokimia dulu).

2. Spektrometer gamma dengan detektor germanium berkemurnian tinggi (Hp-Ge).

Alat ini dipakai untuk mengukur radiasi gamma, misalnya untuk mengukur aktivitas ^{137}Cs dan ^{131}I yang terkandung di dalam contoh. Alat ini juga dapat dipakai untuk mengukur aktivitas radionuklida alamiah, misalnya ^{228}Th dan ^{226}Ra (dalam kesetimbangan

- sekuler dengan induknya) dan ^{40}K di dalam berbagai contoh.
3. Spektrometer alfa dengan detektor *silicon surface barrier* (SSB).
Alat ini dipakai untuk mengukur radiasi alfa, misalnya untuk mengukur aktivitas ^{239}Pu dan ^{241}Am yang terkandung di dalam contoh air laut setelah dilakukan elektroplating.
 4. Pencacah sintilasi cair (*liquid scintillation counting system*, LSC).
Alat ini dipakai untuk mengukur aktivitas radiasi beta yang berenergi lemah di dalam contoh cair, misalnya untuk pengukuran aktivitas ^3H dan ^{14}C yang terkandung di dalam contoh.
 5. Pencacah sintilasi dengan detektor ZnS(Ag).
Alat ini dipakai untuk mengukur aktivitas radiasi alfa, misalnya aktivitas gas radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn) di udara, dengan metode dwi-tapis
 6. Alat untuk mengukur laju dosis radiasi lingkungan.
 - a. Bilik pengionan (*ionisation chamber*), Model Reuter Stokes-111
Alat ini dipakai untuk mengukur laju dosis radiasi gamma lingkungan di udara (sesaat) dalam satuan $\mu\text{R}/\text{jam}$.
 - b. Mini-instrumen radiasi gamma dengan detektor G-M tipe MC-71.
Alat ini dipakai untuk mengukur laju dosis radiasi gamma lingkungan di udara (sesaat) dalam satuan nGy/jam .
 - c. Spektrometer gamma portable dengan detektor NaI(Tl).
Alat ini dipakai untuk mengukur laju dosis radiasi gamma lingkungan di udara (sesaat) dalam satuan nSv/jam .
 - d. Dosimeter termoluminisensi (TLD), misalnya kristal zat padat $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$, dan $\text{CaF}_2:\text{Mn}$
Alat ini dipakai untuk mengukur laju dosis radiasi gamma lingkungan di udara secara akumulatif dalam satuan $\mu\text{R}/\text{jam}$, misalnya selama satu atau tiga bulan.
 7. Detektor jejak nuklir menggunakan film Cr-39.
Alat ini dipakai untuk mengukur konsentrasi gas radon (*indoor*) secara akumulatif, misalnya satu atau tiga bulan.
 8. *Global Position System* (GPS).
Alat ini dipakai untuk menentukan posisi lokasi pengukuran (letak lintang dan bujur).

III.HASIL DAN PEMBAHASAN Pengukuran Konsentrasi Radionuklida dari Sumber Radiasi Buatan

Tahun 1981–2000 penulis dkk., telah melakukan pemantauan secara rutin (bulanan dan tiga bulanan) untuk radioaktivitas lingkungan hasil fisi (^{90}Sr dan ^{137}Cs) dari jatuhnya debu radioaktif dalam air hujan di 28 lokasi di seluruh Indonesia bekerjasama dengan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan susu sapi segar (1982–1985) yang

dikumpulkan secara rutin tiga bulanan dari 13 lokasi di Jawa (DKI, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat), bekerjasama dengan Departemen Pertanian.⁷

Secara insidental berdasarkan prioritas termasuk dalam Studi Tapak dan Studi Kelayakan (STSK) di Semenanjung Muria, Kabupaten Jepara telah dilakukan survei tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan. Pengukuran konsentrasi radionuklida ⁹⁰Sr dan ¹³⁷Cs dalam air minum yang dikumpulkan 10 lokasi di Jawa dan 10 lokasi di Sumatera bagian

Selatan (Propinsi Lampung dan Sumatera Selatan).⁸ Pengukuran konsentrasi radionuklida ⁹⁰Sr dan ¹³⁷Cs, di dalam contoh air laut, sedimen, tanah, dan bahan makanan pangan dilakukan di beberapa lokasi di Semenanjung Muria. Pengukuran konsentrasi ¹³⁹Pu dan ²⁴¹Am dalam air laut. Pengukuran konsentrasi radionuklida ¹³¹I, ³H, dan ¹⁴C di udara juga telah dilakukan di beberapa lokasi di daerah Semenanjung.⁹⁻¹¹ Hasil-hasil pengukuran tersebut diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida dan beta total dari sumber radiasi buatan.

Jenis contoh	Konsentrasi radionuklida			Keterangan
	Beta total	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	
Air hujan	0,3 – 3,7	ttd – 0,50	ttd – 0,21	28 lokasi di Indonesia
Susu sapi segar	-	ttd – 30	ttd – 3,5	13 lokasi di Jawa
Air minum	ttd – 330	ttd – 4,14	ttd – 3,40	20 lokasi di Jawa dan Sumatera bag. Selatan
Air laut	-	2,4 – 3,0	1,4 – 2,2	5 lokasi di Semenanjung Muria
Sayur-sayuran	-	1,65 –	ttd –	12 lokasi di Jawa dan Sumatera bag. Selatan
Ikan	-	20,83	50,25	Di Semenanjung Muria
Udang	-	26 – 32	ttd – 31	Di Semenanjung Muria
Sedimen laut	-	ttd – 24	ttd – 53	Di Semenanjung Muria
Tanah	-	-	ttd – 640	5 lokasi di Semenanjung Muria
			ttd – 650	20 lokasi di Jawa dan Sumatera bag. Selatan

Catatan

Satuan konsentrasi untuk air hujan : mBq/m²

Satuan konsentrasi untuk susu sapi segar, air minum, dan air laut : mBq/l

Satuan konsentrasi untuk sayur-sayuran, ikan, udang, sedimen laut, dan tanah : mBq/kg

Tabel 1 memperlihatkan bahwa konsentrasi beta total, ⁹⁰Sr dan ¹³⁷Cs yang diperkirakan dari jatuhan debu radioaktif di dalam berbagai contoh lingkungan yang telah dikumpulkan masih dapat diamati walaupun aktivitasnya cukup rendah. Data aktivitas beta total dan konsentrasi radionuklida yang terkandung di dalam berbagai contoh yang dikumpulkan dari beberapa lokasi di Indonesia masih di bawah

1Bq. Konsentrasi radionuklida ⁹⁰Sr dan ¹³⁷Cs di dalam air masih di bawah batas konsentrasi tertinggi yang diizinkan menurut Keputusan Kepala BAPETEN, No.02/Ka-BAPETEN /V-99 Tentang Baku Tingkat Radioaktivitas Lingkungan Tahun 1999, 4 Bq/l untuk ⁹⁰Sr dan 700 Bq/l untuk ¹³⁷Cs.¹²

Konsentrasi ²³⁹Pu dan ²⁴¹Am di dalam air laut yang dikumpulkan dari beberapa lokasi

di daerah Semenanjung Muria umumnya masih di bawah limit deteksi (tidak terdeteksi). Begitu juga ^{131}I , ^3H dan ^{14}C di udara tidak terdeteksi di beberapa lokasi di daerah Semenanjung Muria.¹¹

Pengukuran Konsentrasi Radionuklida dari Sumber Radiasi Alamiah

Penulis dkk., telah melakukan pengukuran tingkat radioaktivitas dan radiasi lingkungan alamiah, terutama yang berasal dari dalam bumi dari kegiatan industri non-nuklir, yaitu uranium (^{238}U) dan thorium (^{232}Th) beserta anak

luruhnya dan ^{40}K dalam berbagai komponen lingkungan (tanah, bahan makanan, air, dan laju dosis radiasi-gamma lingkungan ddi udara). Konsentrasi radionuklida primordial yang diukur meliputi ^{226}Ra , ^{228}Th , dan ^{40}K yang terkandung dalam tanah, bahan makanan, air minum, dan bahan bangunan (pasir, kapur, gipsum, bata merah, kayu, semen, dan batako). Hasil-hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{226}Ra , ^{228}Th , dan ^{40}K di dalam contoh-contoh tersebut diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida dan beta total dari sumber radiasi alamiah.

Jenis contoh	Konsentrasi radionuklida (Bq/l, Bq/kg)			Keterangan
	^{228}Th	^{226}Ra	^{40}K	
Air minum	ttd -0,34	ttd - 0,06	ttd - 0,29	20 lokasi di Jawa dan Sumatera bag. Selatan
Air pompa	ttd - 0,51	ttd - 0,45	ttd - 6,24	Kawasan Tb.emas bawah tanah
Sayur-sayuran	ttd -	ttd -	ttd - 134,76	12 lokasi di Jawa dan Sumatera bag. Selatan
Bahan bangunan	15,62	19,69	175,25-	Beberapa lokasi di DKI
Sumber air panas	6,43-	9,60-	369,25	Beberapa lokasi di Jawa Barat
Pasir monasit	15,62	28,45	-	Tambang timah
Tanah	-	1,1 - 49,3	1052,49	Jawa
	13694,36	10275,34	18 - 255	Sumatera
	5 - 92	9 - 65	8 - 997	Kalimantan
	1 - 193	1 - 81	70 - 273	Sulawesi
	6 - 24	7 - 36	13 - 1.784	
	6 - 1.303	4 - 905		

Tabel 2 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{228}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K di dalam air minum yang dikumpulkan dari 20 lokasi di Jawa dan Sumatera (diperlihatkan pada Tabel 1)⁸, masih di bawah batas konsentrasi tertinggi untuk radionuklida yang larut dalam air yang ditetapkan oleh BAPETEN, yaitu 300 Bq/l untuk ^{228}Th , 0,4 Bq/l untuk ^{226}Ra , dan 40.000 Bq/l untuk ^{40}K .¹² Sementara konsentrasi

tertinggi ^{226}Ra dalam air pompa yang dikumpulkan dari tambang emas bawah tanah dan air dari sumber air panas cukup tinggi, melebihi batas konsentrasi tertinggi (radionuklida yang larut dalam air) yang ditetapkan oleh BAPETEN, namun air tersebut tidak dipakai untuk air minum hanya dipakai untuk mandi saja.⁸ Data hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{228}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K di dalam sayur-sayuran yang dikumpulkan dari

beberapa lokasi di Semenanjung Muria masih cukup rendah masih jauh di bawah 100 Bq/kg.¹³ Sementara konsentrasi radionuklida ²²⁸Th, ²²⁶Ra, dan ⁴⁰K dalam bahan bangunan masih di bawah indeks bahaya maksimum yang direkomendasikan oleh IAEA, yaitu $\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1$ dengan A_{Ra} , A_{Th} , dan A_K masing-masing konsentrasi ²²⁶Ra, ²²⁸Th dan ⁴⁰K di dalam contoh.¹⁴ Hasil pengukuran Eri Hiswara, dkk, menunjukkan bahwa konsentrasi radionuklida ²²⁶Ra, ²²⁸Th, dan ⁴⁰K di dalam pasir monasit sangat tinggi, terutama konsentrasi radionuklida ²²⁸Th karena pasir monasit kandungan thoriumnya tinggi.¹⁵

Data hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ²²⁸Th, ²²⁶Ra, dan ⁴⁰K di dalam tanah cukup tinggi di beberapa lokasi di Sumatera dan Sulawesi, terutama untuk ⁴⁰K.

Konsentrasi ⁴⁰K di dalam tanah cukup tinggi di beberapa lokasi yang umumnya kondisi tanahnya berkapur yang mengandung *felspar*. Adapun tanah yang mengandung batuan granit umumnya konsentrasi ²²⁸Th dan ²²⁶Ra cukup tinggi, misalnya di Sumatera Barat dan Sulawesi Barat.

Pengukuran konsentrasi gas radon di udara telah dilakukan di beberapa lokasi pemukiman yang dekat dengan nyala api (*flare*) pengeboran minyak di Jawa (Cepu dan Cirebon) dan Sumatera (Prabumulih), dan pengukuran gas radon dan thoron juga telah di terowongan tambang emas bawah tanah di Pongkor (Jawa Barat) dan Cikotok (Banten). Hasil pengukuran konsentrasi gas radon dan thoron tersebut di atas diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran konsentrasi gas radon di kawasan nyala api pengeboran minyak dan konsentrasi gas radon dan thoron di terowongan tambang emas bawah tanah.

Lokasi	Konsentrasi (Bq/m ³)		Keterangan
	²²² Rn	²²⁰ Rn	
Cirebon (3 lokasi)	250 – 3.500	-	Kawasan nyala api pengeboran minyak
Cepu (4 lokasi)	90 – 360	-	Kawasan nyala api pengeboran minyak
Pongkor (20 lokasi)	18 – 5.000	ttd – 11.000	Terowongan Tb. emas bawah tanah
Cikotok (15 lokasi)	250 – 70.000	ttd – 37.000	Terowongan Tb. emas bawah tanah

Tabel 3 memperlihatkan bahawa hasil pengukuran konsentrasi gas radon di pemukiman dekat nyala api (*flare*) pengeboran minyak di Jawa (Cepu dan Cirebon) dan Sumatera (Prabumulih) relatif rendah, berkisar dari 10 Bq/m³ sampai 200 Bq/m³, sementara konsentrasi gas radon di dalam rumah cukup tinggi, dapat mencapai 700 Bq/m³ (mendekati

action level yang direkomendasikan oleh IAEA, yaitu 1.000 Bq/m³).¹⁶

Konsentrasi gas radon dan thoron di tambang bawah tanah sangat tinggi (lebih besar dari 1.000 Bq/m³). Di tambang emas bawah tanah di Pongkor (Jawa Barat) konsentrasi gas radon berkisar dari 18 Bq/m³ sampai 5.000 Bq/m³ dan konsentrasi thoron berkisar dari tak terdeteksi sampai 11.000 Bq/m³. Dari 20 lokasi

pemantauan konsentrasi gas radon di terowongan bawah tanah di Pongkor ada 4 lokasi yang tinggi (melebihi *action level*).¹⁷ Hasil pengukuran konsentrasi gas radon dan thoron di tambang emas bawah tanah di Cikotok (Banten) relatif tinggi, yaitu berkisar dari 250 Bq/m³ sampai 70.000 Bq/m³ dan konsentrasi thoron berkisar dari tak terdeteksi sampai 37.000 Bq/m³. Dari 15 lokasi pemantauan konsentrasi gas radon di terowongan bawah tanah di Cikotok ada 5 lokasi yang tinggi.^{18,19} Konsentrasi gas radon dan thoron di terowongan tambang emas tersebut sangat dipengaruhi oleh desain terowongan, struktur geologi, dan ventilasi terowongan. *Blower* yang memadai sangat membantu untuk mengurangi konsentrasi gas

radon dan thoron di dalam terowongan pada saat setelah peledakan dinding terowongan.

Pada penelitian tahun 2005-2007 penulis dkk. telah melakukan pengukuran laju dosis tingkat radiasi gamma di beberapa lokasi di Pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Bali, Nusatenggara Barat, dan Nusatenggara Timur menggunakan alat spektrometer gamma portable (*Exploranium Radiation Detection System, model GR-130 mini SPEC*) dengan detektor NaI(Tl). Penentuan lokasi menggunakan sistem grid dan posisi letak lintang dan bujur ditentukan dengan *Global Positioning System* (GPS). Hasil pengukuran laju dosis tingkat radiasi gamma lingkungan tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Laju dosis radiasi gamma di Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi.

Lokasi	Laju dosis radiasi gamma (nSv/jam)	Keterangan
	Rentang	
Jawa	19 – 150	Dosis tinggi di Semenanjung Muria
Sumatera	23 – 186	Dosis tinggi di Sumatera Utara (Sibolga)
Kalimantan	11 – 349	Dosis tinggi di Kalimantan Barat
Sulawesi	18 – 632	(Ketapang)
Bali	16 – 38	Dosis tinggi di Sulawesi Barat (Majene)
Nusa Tenggara Barat	18 – 89	Dosis tinggi di lokasi dekat Bali bagian barat
Nusa Tenggara Timur	14 – 66	Dosis tinggi di P. Sumbawa Dosis tinggi di P. Flores

Umumnya hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma lingkungan di beberapa lokasi di Sulawesi lebih tinggi dibandingkan di Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Hasil pengukuran laju dosis di Sulawesi berkisar dari 18 sampai 632 nSv/jam, di Jawa berkisar dari 19 sampai 150 nSv/jam, di Sumatera berkisar dari 23 sampai 186 nSv/jam, dan di Kalimantan

berkisar dari 11 sampai 349 nSv/jam.²⁰⁻²³ Hasil pengukuran laju dosis radiasi di wilayah Propinsi Bali, Nusatenggara Barat dan Nusatenggara Timur relatif rendah dibandingkan dengan di Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, yaitu berkisar dari 16 sampai 38 nSv/jam di propinsi Bali, dari 18 sampai 89 nSv/jam di propinsi Nusatenggara

Barat, dan dari 14 sampai 66 nSv/jam di propinsi Nusatenggara Timur.²⁴ Laju dosis radiasi gamma rata-rata di Sulawesi sekitar 150 nSv/jam, data ini melebihi dari laju dosis radiasi gamma rata-rata dunia, yaitu 0,5 mSv/tahun (68 nSv/jam),¹ sementara laju dosis rata-rata di Jawa, Sumatera, Kalimantan, Bali, Nusatenggara Barat, dan Nusatenggara Timur masih di bawah laju dosis rata-rata dunia.

Laju dosis tingkat radiasi gamma lingkungan di beberapa lokasi tersebut umumnya berasal dari radiasi gamma yang dipancarkan oleh radionuklida primordial dari dalam tanah. Variasi laju dosis tersebut sangat bergantung pada struktur geologi, jenis batuan, dan tanah yang terdapat di lokasi pengukuran, misalnya lokasi yang banyak terdapat batuan granit dan felspar akan memberikan dosis radiasi gamma yang relatif tinggi, seperti di daerah Sibolga, Majene, dan Ketapang.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan upaya pengukuran radioaktivitas dan radiasi lingkungan di Indonesia baik yang berasal dari sumber radiasi alamiah maupun sumber radiasi buatan, suatu hal yang harus dilakukan untuk mengumpulkan data dan mengamati distribusi zat radioaktif di lingkungan. Secara umum hasil pengukuran tingkat radioaktivitas dan radiasi lingkungan di beberapa lokasi di Indonesia masih di bawah konsentrasi tertinggi yang diizinkan, kecuali lokasi-lokasi tertentu perlu mendapatkan perhatian khusus dan penelitian lebih lanjut,

misalnya di kawasan tambang bawah tanah (konsentrasi gas radon dan thoron melebihi *action level* yang direkomendasi oleh IAEA) dan beberapa lokasi di Sumatera utara dan Sulawesi Barat (laju dosis radiasi gamma melebihi dari laju dosis radiasi gamma rata-rata dunia).

Pengumpulan data tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan sangat penting, karena dapat dipakai sebagai data dasar. Sampai sekarang Indonesia belum mempunyai data dasar tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan secara lengkap. Data dasar ini akan dipakai untuk mengetahui jika terjadi kenaikan tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan, misalnya jika terjadi kedaruratan/kecelakaan nuklir baik di dalam maupun di luar Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. HENRIKSEN, T., and MAILLE, H.D., *Radiation and Health*, Taylor & Francis, London and New York (2003).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Radiation, People and The Environment*, IAEA, Vienna (2004).
3. WIRYOSIMIN, S., *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*, Penerbit ITB Bandung, Bandung (1995).
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Naturally Occurring Radioactive Materials (Norm IV)*, Proceeding of an International Conference Herld in Szczyrk, Poland, 17-21 May 2004, IAEA-TECDOC-1472, Vienna (2005).
5. UNITED NATION SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECT OF ATOMIC RADIATION, *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, UNSCEAR 2000, Report to the General Assembly, with Scientific Annex, Vol. 1, United Nations, New York (2000).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *The Safe Use of Radiation*

- Sources, Training Courses Series No. 6, IAEA, Vienna (1995).
7. SUTARMAN, *Konsentrasi Radioaktif Jatuhan di dalam Berbagai Sampel Lingkungan di Indonesia*, Prosiding Seminar Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan I, P3KRBiN –BATAN, 23-24 Oktober 2001, Jakarta (2001).
 8. SUTARMAN, NAREH, M. dan TJAHAYA, P., I., *Pemeriksaan Konsentrasi Beberapa Radionuklida dalam Air di Indonesia*. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, PSPKR-BATAN, 21-22 September 1995, Jakarta (1995).
 9. NAREH, M., SUTARMAN dan WARSONA, A., *Penentuan Cs-137 dalam Air Laut, Ikan, Udang, dan Sedimen di Beberapa Tempat di Pantai Utara Jawa*. Prosiding Ilmiah PPNY-BATAN, 21-22 Maret 1990, Yogyakarta (1990).
 10. PSPKR-BATAN, *Pengukuran Radioaktivitas Lingkungan di dalam Berbagai Contoh Lingkungan di Kawasan Calon Tapak PLTN Jepara*, Laporan Studi Tapak dan Studi Kelayakan PLTN, Jakarta (1995).
 11. NAREH, M. dan WARSONA, A., *Penentuan Konsentrasi Am-241 dan Pu-239 di dalam Air Laut*. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, PSPKR-BATAN, 23-24 September 1994, Jakarta (1994).
 12. BAPETEN, Keputusan Ka. BAPETEN, No. 02/Ka-BAPETEN/V-99, Tentang Baku Tingkat Radioaktivitas Lingkungan, Jakarta (1999).
 13. SUTARMAN, NIRWANI, L., BUCHARI R., dan AFFANDI, M., *Konsentrasi ^{228}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam Bahan Makanan serta Perkiraan Dosis Interna yang Diterima Penduduk di Semenanjung Muria*. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan IX, 10 Pebruari 2004, P3KRBiN-BATAN, Jakarta (2004)
 14. SUTARMAN, BUNAWAS, ISKANDDAR D., SALEH A. CH. dan SETIAWAN, H., *Konsentrasi Radionuklida Alam di dalam Bahan Bangunan di Jakarta dan Sekitarnya*. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, PSPKR-BATAN, 23-24 Agustus 1994, Jakarta (1994).
 15. HISWARA, E., WARSONA, A., WAHYUDI dan BUCHARI, R., *Pengukuran Tingkat Radiasi dan Radioaktivitas Lingkungan di Daerah Industri Tambang Timah*. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VI, PSPKR-BATAN, 2-3 September 1998, Jakarta (1998).
 16. SUTARMAN, WAHYUDI dan LUHANTARA, *Pengukuran Konsentrasi Gas Radon di Luar dan di Dalam Rumah Penduduk di Sekitar Nyala Api Pengeboran Minyak di Jawa dan Sumatera*. Lomba Karya Tulis Ilmiah, Diskusi Ilmiah IX, LEMIGAS 7-8 Oktober 2003, Jakarta (2003).
 17. P3KRBiN-BATAN, *Laporan Survei Keselamatan Radiasi dari Paparan Gas Radon dan Thoron di Tambang Emas Bawah Tanah Pongkor*, Jakarta (2001).
 18. SUTARMAN, MAKHSUN, BUCHARI, dan SRI MUMPUNI, N.R., *Perkiraan Dosis Interna dari Gas Radon di Tambang Emas Bawah Tanah Daerah Cikotok Propinsi Banten*, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan XI, 21 Desember 2005, PTKMR-BATAN, Jakarta (2005).
 19. SUTARMAN, MAKHSUN dan WESS, H., *Konsentrasi Gas Thoron dan Tingkat Kerja Anak Luruhnya di Terowongan Tambang Emas Bawah Tanah di Daerah Cikotok (Baten)*. Posiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan X, P3KRBiN-BATAN, 14 Desember 2004, Jakarta (2005).
 20. SUHARIYONO, 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, Pengolahan Limbah Radioaktif dan Lingkungan, Buku III, PTAPB-BATAN, Yogyakarta, 10 Juli 2007, Yogyakarta (2007).
 21. MAKHSUN, KUSDIANA, dan SYARBAINI, *Pemantuan Laju Dosis Radiasi Gamma di Beberapa Propinsi di Pulau Sumatera*, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan II 19 Desember 2006, PTKMR-BATAN, Jakarta (2007).

22. SUTARMAN, SYARBAINI, dan KUSDIANA, *Pemantauan Laju Dosis Radiasi Gamma di Beberapa Lokasi di Pulau Kalimantan*, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan III, 1 Nopember 2007, PTKMR-BATAN, Jakarta (2008).
23. SUTARMAN, SYARBAINI, dan KUSDIANA, *Pemetaan Radiasi dan Radioaktivitas Lingkungan di Wilayah Pulau Sulawesi*, Laporan Penelitian Tahun 2007, Jakarta (2008).
24. SUTARMAN, SYARBAINI, KUSDIANA, MUJI WIYONO, *Pemetaan Radiasi Gamma di Wilayah Propinsi Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur*, Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Pusat Teknologi Akselerator dan Fisika Nuklir-BATAN, 14 Juli 2009, Yogyakarta (2009).

RESPON IMUN SEBAGAI FAKTOR PENTING DALAM PENGEMBANGAN VAKSIN MALARIA DENGAN IRADIASI

Mukh Syaifudin, Devita Tetriana, Darlina dan Siti Nurhayati
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN

ABSTRAK

RESPON IMUN SEBAGAI FAKTOR PENTING DALAM PENGEMBANGAN VAKSIN MALARIA DENGAN IRADIASI. Malaria menyebabkan sekitar 350-500 juta infeksi pada manusia dengan sekitar satu hingga tiga juta kematian per tahun di seluruh dunia. Salah satu upaya pencegahan terbaik yang dapat dilakukan pada penyakit infeksi ini adalah vaksinasi. Radiasi pengion dapat digunakan untuk melemahkan mikroorganisme sebagai suatu bahan vaksin. Imunisasi dengan sporozoit *Plasmodium berghei* atau *P. falciparum* yang dilemahkan dengan sinar gamma masing-masing mampu memberikan imunitas protektif pada hewan coba dan sukarelawan. Mekanisme sistem kekebalan tubuh ini banyak dipelajari karena merupakan faktor penting dalam pengembangan vaksin termasuk vaksin yang dibuat dengan meradiasi parasit. Meskipun telah melalui penelitian yang ekstensif, vaksin yang aman dan efektif serta dapat diandalkan belum dapat diperoleh. Dengan demikian masih diperlukan pengetahuan yang lebih mendalam mengenai mekanisme imunitas terhadap malaria. Salah satu sel yang bertanggung jawab terhadap imunitas selular adalah limfosit T yang berperan penting dalam pengaturan respon imun dan pembentukan memori imunologik yang mengontrol dan mengeliminasi infeksi. Sitokin proinflamasi seperti interleukin-12 (IL-12), interferon-gamma (IFN- γ), dan *tumor necrosis factor alpha* (TNF- α) merupakan mediator esensial dari imunitas protektif pada malaria eritrosit. Peranan sitokin dalam imunitas dan patologi infeksi malaria sangat penting untuk dipelajari untuk menentukan keberhasilan pengembangan vaksin malaria iradiasi, karena mereka dapat mendukung respon pro-inflamasi.

Kata kunci : malaria, vaksin, radiasi, respon imun, sel T, sitokin.

ABSTRACT

IMMUNE RESPONSE AS IMPORTANT FACTOR IN DEVELOPING MALARIA VACCINE WITH IRRADIATION. Malaria causes around 350-500 millions of infection in human with 1-3 million deaths worldwide yearly. One best prevention effort that can be done to this deadly disease is vaccination. Ionizing radiation can be utilized for attenuating the microorganism as a vaccine material. Immunization with sporozoite of *P. berghei* or *P. falciparum* attenuated with gamma rays each could provide protective immunity in animals and volunteers. The mechanism of this body immunity system is studied due to its important role in the development of vaccine including vaccine created by irradiating parasite. Even though extensive research has been done, a safe, effective and affordable anti-malarial vaccine remains elusive. Therefore more deeply knowledge on immunity mechanism to malaria is still needed. One cell that responsible to cellular immunity is T lymphocyte of which it has important role in the regulation of immune response and formation of immunological memory which controlling and eliminating the infection. Pro-inflammatory cytokines such as interleukin-12 (IL-12), interferon-gamma (IFN- γ), and alpha tumor necrosis factor (TNF- α) are essential mediator of protective immunity in erythrocytic malaria. It is important to know the contribution of these cytokines in immunity and pathology of malaria infection and need to be studied in order to determine the success in developing irradiated malaria vaccine because they could support the aspects during pro-inflammation response.

Keywords : malaria, vaccine, irradiation, immune response, T-cells, cytokines.

PENDAHULUAN

Malaria telah menginfeksi manusia selama lebih dari 50.000 tahun dan diperkirakan telah menjadi patogen pada manusia sepanjang sejarah kehidupan manusia [1]. Malaria

menyebabkan sekitar 350-500 juta kasus infeksi pada manusia dengan sekitar 1-3 juta kematian per tahun di seluruh dunia. Jika prevalensi malaria terus mengalami peningkatan yang sama seperti saat ini, maka tingkat kematian akan

berlipat dua dalam duapuluh tahun mendatang. Malaria ditemukan di lebih dari 100 negara, terutama di daerah tropis dari benua Afrika, Asia, dan Amerika Latin. Lebih dari 90% kasus malaria dan kebanyakan kematian akibat malaria terjadi di benua Afrika [2]. Berdasarkan database Badan Kesehatan Dunia (WHO) tahun 2000, Indonesia menempati urutan ke-26 dengan jumlah kasus 919,8 per 100.000 orang [3].

Penyakit malaria pada manusia terutama disebabkan oleh 4 jenis plasmodium yaitu *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, dan *P. ovale*. Bentuk *Plasmodium sp.* yang dimasukkan pertama kali ke aliran darah inang vertebrata oleh vektor nyamuk terinfeksi saat menggigit adalah sporozoit yang kemudian menginvasi sel-sel hati, bertransformasi ke dalam tahap ekso-eritrositik [4]. Setiap sporozoit dapat menghasilkan 40.000 merozoit dan terus memperbanyak diri dalam sel darah merah. Dengan demikian sejumlah kecil sporozoit yang lolos dari penghancuran oleh sistem imun akan menyebabkan derajat perkembang biakan yang tinggi dalam hati, dan sejumlah besar skizon eritrositik menyebabkan keadaan fatal pada inang. Plasmodium ini sering menghalangi jalan darah ke otak, menyebabkan koma, mengigau, dan kematian. Penyakit ini tidak lepas dari berbagai faktor yang menimbulkan wabah, yaitu faktor lingkungan, nyamuk sebagai vektornya, dan faktor genetik dari parasit itu sendiri.

Salah satu upaya pencegahan yang paling tepat untuk dilakukan pada penyakit infeksi yang mematikan ini adalah vaksinasi, namun sampai

saat ini belum ditemukan vaksin yang efektif untuk mencegah infeksi malaria. Jumlah kasus yang terbanyak disebabkan oleh *P. falciparum* dan *P. vivax* sehingga vaksin yang mendesak untuk dibuat adalah vaksin untuk mengatasi infeksi oleh kedua jenis plasmodium tersebut yang secara filogenetik dan sifat virulensinya cukup berbeda [5]. Diperlukan pengetahuan melalui penelitian dan pengembangan antara lain mengenai mekanisme atau respon imunitas terhadap malaria. Hasil pengkajian menunjukkan bahwa imunitas terhadap malaria sangat kompleks karena melibatkan hampir seluruh komponen sistem imun baik imunitas spesifik maupun imunitas non spesifik, imunitas humoral maupun selular yang timbul secara alami maupun didapat (*acquired*). Salah satu sel yang bertanggung jawab terhadap imunitas selular adalah limfosit. Limfosit dalam perkembangannya terbagi dalam dua golongan besar yaitu limfosit B yang mengalami proses maturasi di dalam sumsum tulang dan limfosit T yang mengalami proses maturasi di dalam timus. Sel limfosit T memiliki peranan yang penting pada respon imun tubuh terhadap infeksi malaria. Secara alamiah, malaria sebagai suatu infeksi oleh suatu parasit akan memicu aktivitas sistem imun tubuh manusia [6].

Vaksin malaria sangat bermanfaat untuk menurunkan morbiditas dan mortalitas penyakit malaria [7]. Kendala besar dalam pengembangan vaksin adalah kemampuan parasit untuk mengubah antigennya [8]. Vaksin malaria yang efektif harus tepat sasaran yakni mampu

mengatasi parasit pada berbagai stadium perkembangannya, menghasilkan respon imun humoral dan seluler, dan mengaktifkan sel memori. Dengan demikian suatu vaksin malaria yang efektif harus dapat mengarah ke bentuk-bentuk parasit ekso-eritrositik dan eritrositik (tahap-darah), serta mampu memicu respon imun humoral dan seluler, mengatasi restriksi genetik dan menstimulasi sel memori [9]. Untuk keberhasilan pengembangan vaksin malaria multi-valent diperlukan identifikasi antigen vaksin potensial. Terlebih lagi, respon imun humoral dan seluler yang muncul melawan parasit selama sensitisasi alamiah melawan malaria diperlukan di tingkat epidemiologi [10].

Sel yang berperan penting dalam pengaturan respon imun dan pembentukan memori imunologik yang mengontrol dan mengeliminasi infeksi adalah sel T [10]. Identifikasi epitop sel T yang mampu memicu respon imun pada seseorang yang latar belakangnya berbeda secara genetik sangat diperlukan untuk mendesain suatu vaksin sub unit. [11]. Studi pada mencit dan manusia menunjukkan bahwa sitokin proinflamasi seperti interleukin-12 (IL-12), interferon-gamma (IFN- γ), dan *tumor necrosis factor alpha* (TNF- α), merupakan mediator esensial dari immunitas protektif pada malaria eritrosit. Sitokin tersebut dapat berasal baik dari lengan innate atau adaptif dari respon imun [12,13]. Adalah penting untuk menentukan kontribusi sitokin tersebut pada imunitas dan patologi infeksi malaria, karena mereka dapat mendukung aspek selama respon

pro-inflamasi [14]. Bagaimana peranan sel limfosit dan sitokin-sitokin ini dalam memicu respon imun tubuh akan dipaparkan secara mendetail dalam ulas ulang ini.

PATOLOGI MALARIA

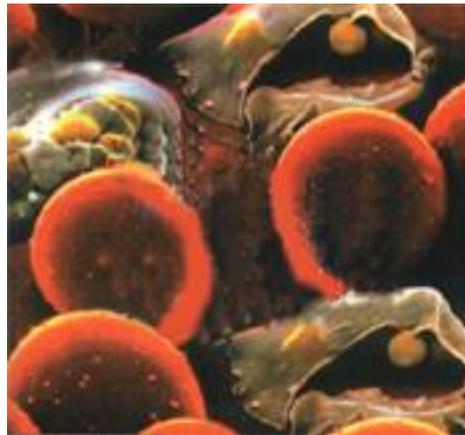
Malaria diawali dengan penginjeksian plasmodium ke dalam tubuh oleh gigitan nyamuk *Anopheles* terinfeksi. Setelah melalui jaringan hati, plasmodium melepaskan 18-24 merozoit ke dalam darah sirkulasi. Merozoit yang dilepaskan akan masuk ke dalam limpa dan mengalami fagositosis serta filtrasi. Merozoit yang lolos dari filtrasi dan fagositosis akan menginvasi eritrosit, selanjutnya berkembang biak secara aseksual di dalamnya. Bentuk aseksual parasit dalam eritrosit inilah yang bertanggung jawab dalam patogenesis terjadinya malaria pada manusia. Perubahan patofisiologi pada malaria sangat berhubungan dengan gangguan aliran darah sebagai akibat melekatnya eritrosit yang mengandung parasit pada endotelium kapiler. Perubahan patofisiologi ini bersifat reversibel pada penderita yang dapat bertahan hidup. Peran beberapa mediator humoral diduga terlibat dalam patogenesis terjadinya demam dan peradangan. Skizogoni eksoeritrositik mungkin dapat menyebabkan reaksi leukosit dan fagosit, sedangkan sporozoit dan gametosit tidak menimbulkan perubahan patofisiologik [15].

Patogenesis malaria dipengaruhi oleh faktor parasit dan faktor inang (*host*). Beberapa faktor di dalam parasit adalah intensitas transmisi, densitas parasit, dan virulensi parasit. Sedangkan

faktor dalam inang adalah tingkat endemisitas daerah tempat tinggal, genetika, usia, status nutrisi, dan status imunologi. Patofisiologi malaria diduga berhubungan dengan hal-hal sebagai berikut [15] :

- a. Penghancuran eritrosit. Penghancuran eritrosit ini tidak saja akibat pecahnya eritrosit yang mengandung parasit, tetapi juga

oleh fagositosis eritrosit baik yang mengandung parasit maupun yang tidak mengandung parasit, sehingga menyebabkan anemia dan anoksia jaringan (Gambar 1). Akibat hemolisis intra vaskular yang berat, dapat terjadi hemoglobinuria (*blackwater fever*) dan dapat mengakibatkan gagal ginjal.



Gambar 1. Sel darah merah terinfeksi *P. falciparum* (x 10,500)

- b. Mediator endotoksin-makrofag. Pada saat skizogoni, eritrosit yang mengandung parasit memicu makrofag yang sensitif endotoksin untuk melepaskan berbagai mediator yang berperan dalam patofisiologi malaria. Endotoksin tidak terdapat pada parasit malaria, kemungkinan berasal dari rongga saluran cerna. Parasit malaria tersebut dapat melepaskan faktor nekrosis tumor (TNF). TNF adalah suatu monokin, ditemukan dalam darah hewan dan manusia penderita malaria. TNF dan sitokin lain menimbulkan demam, hipoglikemia dan sindrom penyakit pernafasan pada orang dewasa (ARDS = *adult respiratory distress syndrome*) dengan

sekuestrasi sel neutrofil dalam pembuluh darah paru. TNF dapat juga menghancurkan *P. falciparum in vitro* dan dapat meningkatkan perlekatan eritrosit yang dihinggapi parasit pada endotelium kapiler. Konsentrasi TNF dalam serum pada anak dengan malaria falciparum akut berhubungan langsung dengan mortalitas, hipoglikemia, hiperparasitemia dan beratnya penyakit.

- c. Sekuestrasi eritrosit yang terinfeksi. Eritrosit yang terinfeksi *P. falciparum* stadium lanjut dapat membentuk tonjolan-tonjolan pada permukaannya. Tonjolan tersebut mengandung antigen malaria dan bereaksi

dengan antibodi malaria dan berhubungan dengan afinitas eritrosit yang mengandung *P. falciparum* terhadap endotelium kapiler darah dalam organ, sehingga skizogoni berlangsung di sirkulasi organ dalam, tidak di sirkulasi perifer. Eritrosit yang terinfeksi menempel pada endotelium kapiler darah dan membentuk gumpalan (*sludge*) yang membendung kapiler dalam organ-organ dalam.

Patofisiologi malaria juga ditandai oleh terjadinya protein dan cairan yang merembes melalui membran kapiler yang bocor (menjadi permeabel) dan menimbulkan anoksia serta edema jaringan. Anoksia jaringan yang cukup meluas dapat menyebabkan kematian. Protein kaya histidin dari *P. falciparum* ditemukan pada tonjolan-tonjolan tersebut, setidaknya ada empat macam protein untuk sitoaderen eritrosit yang terinfeksi *P. falciparum*. Masa tunas intrinsik malaria tropika berlangsung antara 9-14 hari. Penyakit dimulai dengan sakit kepala, sakit punggung dan ekstremitas, perasaan dingin, mual, muntah atau diare ringan. Demam mungkin tidak terjadi atau ringan dan penderita tidak tampak sakit sehingga diagnosis pada stadium ini bergantung pada anamnesis tentang kepergian penderita ke daerah endemik malaria sebelumnya. Pada tahap berikutnya, sakit kepala, punggung dan ekstremitas akan lebih hebat dan keadaan umum memburuk. Pada stadium ini penderita tampak gelisah, pikau mental (*mental confucious*). Demam tidak teratur dan tidak menunjukkan periodisitas yang jelas. Terdapat anemia ringan dan leukopenia dengan

monositosis. Pada stadium dini penyakit dapat didiagnosis dan diobati dengan baik, sehingga infeksi dapat segera diatasi. Bila pengobatan tidak sempurna, maka gejala malaria pernisiiosa dapat muncul secara mendadak, bila lebih dari 5% eritrosit diinfeksi [15].

VAKSIN MALARIA

Malaria sebagai salah satu penyakit menular dan sampai saat ini masih menjadi masalah kesehatan masyarakat. Penyakit ini tidak hanya menimbulkan gangguan kesehatan di masyarakat, tetapi telah menimbulkan kematian, disamping menurunkan produktivitas kerja dan dampak ekonomi lainnya. Upaya pemberantasan malaria tropika dilakukan dengan pendekatan pengobatan, pemberantasan vektor dan pencegahan. Banyak kendala dalam penanggulangan antara lain resistensi obat terhadap berbagai strain dan resistensi vektor terhadap insektisida [16]. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah resistensi malaria tersebut adalah tindakan pencegahan dengan pemberian vaksin yang dapat dibuat berdasarkan stadium dari plasmodium. Vaksin atau imunisasi merupakan tindakan yang paling tepat. Pengembangan vaksin malaria pada saat ini ditujukan untuk dua kelompok. Yang pertama adalah populasi di daerah endemik malaria, dan yang kedua ditujukan untuk turis dari negara/daerah non-endemik yang berkunjung ke negara/daerah endemik. Untuk turis, sebenarnya malaria dapat dicegah dengan pengobatan kemoprofilaksis, namun karena pertimbangan efek samping, kepatuhan berobat, kontraindikasi, dan

kenyamanan, maka diharapkan suatu alternatif pencegahan malaria yang lebih baik.

Perkembangan di bidang imunologi dan biologi molekuler telah menghasilkan berbagai produk vaksin yang kemudian dapat digunakan untuk diagnosis dan pencegahan malaria. Saat ini terdapat beberapa peptida yang menunjukkan potensi protektif pada binatang percobaan dan disebut kandidat vaksin (MSA-1, MSA-2, AMA-1, NANP, EENV). MSA-1, MSA-2 dan AMA-1 merupakan antigen yang diharapkan dapat dikembangkan menjadi vaksin, karena dalam penelitian patogenesis menunjukkan adanya hubungan dengan pertahanan diri terhadap malaria di daerah endemis. Jenis sitokin yang diproduksi dalam suatu individu saat terkena penyakit atau saat terinfeksi parasit dapat menunjukkan sel T yang berperan dalam keadaan tersebut [17].

Adanya memori imunologik dan transfer imunitas lewat serum atau imunoglobulin diduga berperan pada proses pembentukan kekebalan terhadap malaria. Individu yang sudah terpapar Plasmodium dalam waktu yang lama kemungkinan telah membangun imunitas sehingga gejala infeksi tidak terlalu nyata, walaupun dari analisis darah tebal sudah ditemukan Plasmodium. Selain itu apabila serum darah seorang dewasa yang sudah beberapa kali terpapar Plasmodium diberikan kepada orang lain yang belum pernah terpapar, maka resipien akan memperoleh sejumlah imunitas. Oleh karena itu, prinsip vaksinasi adalah membuat seseorang yang tidak pernah terpapar Plasmodium menjadi imun dengan cara

memaparkannya pada Plasmodium yang dilemahkan. Dalam hal ini sporozoit adalah bentuk yang terpenting karena sesuai dengan bentuk Plasmodium yang dimasukkan oleh nyamuk ke dalam tubuh manusia. Konsep ini sudah dicoba pada tahun 1970-an dengan melemahkan sporozoit menggunakan radiasi, namun kendala perbedaan spesies Plasmodium yang amat bervariasi membuat konsep ini tidak terlalu berkembang pada saat itu. Sedangkan pada masa sekarang, permasalahan utama adalah resistensi parasit terhadap obat yang berkembang dengan cepat [18].

Secara teoritis setiap tahap perkembangan Plasmodium dalam tubuh manusia dapat dibuatkan vaksin. Selain tahap sporozoit, ada kemungkinan konsep vaksin bekerja pada tahap lain dari siklus hidup Plasmodium. Vaksin pra-eritrositik (hepatik) dibuat berdasarkan konsep penghambatan pelepasan trophozoit dari skizon hati, yaitu dengan menginduksi limfosit T sitotoksik untuk merusak sel-sel hati yang terinfeksi. Vaksin eritrositik diharapkan dapat menghambat multiplikasi trophozoit yang dilepaskan skizon hati atau mencegah invasi trophozoit terhadap eritrosit. Ada pula konsep pembuatan vaksin yang mampu mencegah perlekatan eritrosit ke dinding pembuluh darah. Fase seksual juga dapat dijadikan dasar pengembangan vaksin. Fase ini tidak berperan imunologis pada manusia, namun berperan dalam mencegah penularan lebih lanjut lewat nyamuk.

Berikut ini adalah beberapa kandidat vaksin malaria yang pernah diuji [19].

- SPf66 adalah kandidat vaksin yang dikembangkan pada tahun 1987 dengan menggunakan antigen permukaan sporozoit dan merozoit *P. falciparum*. Uji klinik terhadap vaksin ini gagal pada fase III, dimana efektivitasnya turun dari 75% menjadi 60%.
- CSP adalah vaksin terhadap *P. falciparum* yang menggunakan rekombinan terhadap komposisi protein permukaan sporozoit (*circumsporozoite protein*) yang berikatan dengan toksin *Pseudomonas aeruginosa*. Uji klinik terhadap vaksin ini gagal pada fase I, karena efek protektifnya tidak terlalu kuat.
- Vaksin multifase NYVAC-Pf7 (kombinasikan 7 antigen *P. falciparum*), vaksin ini mengandung CSP dan PfSSP2 (antigen permukaan sporozoit) yang berfungsi protektif pada fase sporozoit; 4 antigen LSA1 (beberapa di antaranya AMA-1, antigen serin, MSP-1) yang protektif di fase eritrositer; dan 1 antigen fase seksual (Pfs25). Uji klinik terhadap vaksin ini gagal memicu terbentuknya antibodi protektif pada manusia.
- RTS,S yang merupakan kandidat vaksin rekombinan mengandung protein permukaan sporozoit *P. falciparum* dari fase pra-eritrositik yang digabungkan dengan antigen permukaan virus hepatitis B sehingga diharapkan imunogenisitasnya meningkat. Bahan adjuvan yang teruji klinis cukup baik imunogenisitasnya adalah monofosforil A dan QS21 (SBAS2). Hasil uji efektivitas kandidat vaksin ini cukup baik, terutama anak-anak. Efektivitas vaksin pada anak-

anak mencapai 53% untuk adjuvan AS01E dan 65.2% untuk adjuvan AS02D.

- PvRII (*P. vivax region II*) merupakan kandidat vaksin yang ditujukan untuk mengikat protein reseptor untuk *P. vivax* yaitu antigen Duffy.
- PfSPZ Sanaria adalah kandidat vaksin lainnya yang menggunakan sel utuh *P. falciparum* yang dilemahkan dengan radiasi sebagai pemicu respon imunitas. Prinsip dasarnya sama dengan metode iradiasi nyamuk yang mengandung *P. falciparum* untuk melemahkan parasit yang pernah dikembangkan pada tahun 1970-an.

Konsep vaksin malaria di masa mendatang tampaknya akan bertitik tolak dari tahapan siklus hidup Plasmodium, misalnya penelitian terhadap bagian mana saja dari Plasmodium yang imunogenik, antigen permukaan, dan penelitian berbasis DNA Plasmodium. Diharapkan dengan modifikasi DNA, seperti pembuangan atau penambahan segmen genom yang mengkode protein tertentu, Plasmodium akan melemah namun tetap bersifat imunogenik.

IMUNOLOGI

Vaksin diberikan dengan tujuan untuk membentuk sistem imun. Namun imunitas terhadap malaria sangat kompleks, melibatkan hampir seluruh komponen sistem imun baik spesifik maupun non-spesifik, imunitas humoral maupun seluler, yang timbul secara alami maupun didapat (*acquired*) akibat infeksi atau vaksinasi. Kemunculan imunitas spesifik berjalan lambat. Imunitas hanya bersifat jangka

pendek (*short lived*) dan kemungkinan tidak ada imunitas yang permanen dan sempurna [20,21]. Antigen-antigen parasit merupakan pemicu pelepasan zat-zat tertentu dari sel-sel imunitas tubuh yang disebut sitokin. Sitokin dihasilkan oleh makrofag atau monosit dan limfosit T. Sitokin yang dihasilkan oleh makrofag adalah TNF, IL-1 dan IL-6 sedangkan limfosit T menghasilkan TNF-alfa, IFN-gamma, IL-4, IL-8, IL-10 dan IL-12.

Bentuk imunologi terhadap malaria dapat dibedakan menjadi tiga kategori sbb:

a). Imunitas alamiah non-immunologis berupa kelainan-kelainan genetik polimorfisme yang dikaitkan dengan resistensi terhadap malaria. Misalnya hemoglobin S (*sickle cell trait*), hemoglobin C, hemoglobin E, thalasemia $\alpha\beta$, defisiensi glukosa-6 fosfat dehidrogenase (G6PD), ovalositosis hereditas, golongan darah Duffy negatif yang kebal terhadap infeksi *P. vivax*, individu dengan *Human Leucocyte Antigen* (HLA) tertentu misalnya HLA Bw53 yang lebih rentan terhadap malaria dan melindungi terhadap malaria berat.

b). Imunitas non-spesifik (non-adaptive/innate). Sporozoit yang masuk ke dalam darah segera dihadapi oleh respon imun non-spesifik terutama dilakukan oleh makrofag dan monosit, yang menghasilkan sitokin-sitokin seperti TNF, IL-1, IL-2, IL-4, IL-6, IL-8, IL-10 dan langsung

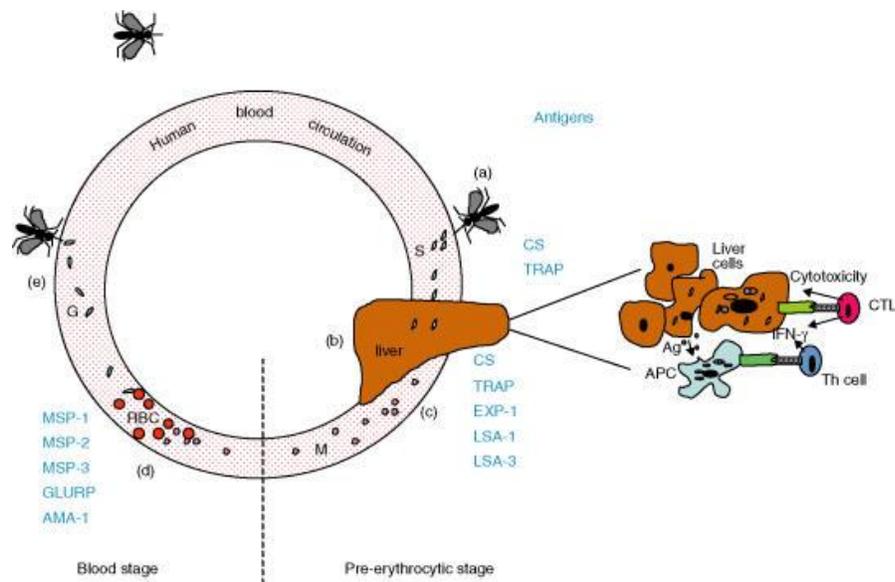
menghambat pertumbuhan parasit (sitostatik), membunuh parasit (sitotoksik).

c). Imunitas spesifik. Tanggapan sistem imun terhadap infeksi malaria mempunyai sifat spesies spesifik, strain spesifik, dan stadium spesifik. Imunitas terhadap stadium siklus hidup parasit (*stage specific*), dibagi menjadi [22] :

- Imunitas pada stadium eksoeritrositer (ekstrahepatal/stadium sporozoit). Respon imun pada stadium ini berupa antibodi yang menghambat masuknya sporozoit ke dalam hepatosit dan antibodi yang membunuh sporozoit melalui opsonisasi. Eksoeritrositer intrahepatik, respons imun pada stadium ini berupa Limfosit T sitotoksik CD8+ dan antigen/antibodi pada stadium hepatosit seperti *Liver stage antigen-1*(LSA-1), LSA-2, LSA-3 (Gambar 2).

- Imunitas pada stadium aseksual eritrositik berupa antibodi yang mengaglutinasi merozoit, antibodi yang menghambat *cytoadherence*, antibodi yang menghambat pelepasan atau menetralkan toksin-toksin parasit.

- Imunitas pada stadium seksual berupa antibodi yang membunuh gametosit, antibodi yang menghambat fertilisasi, menghambat transformasi zigot menjadi ookinet, antigen/antibodi pada stadium seksual prefertilisasi, dan antigen/antibodi pada stadium seksual postfertilisasi.



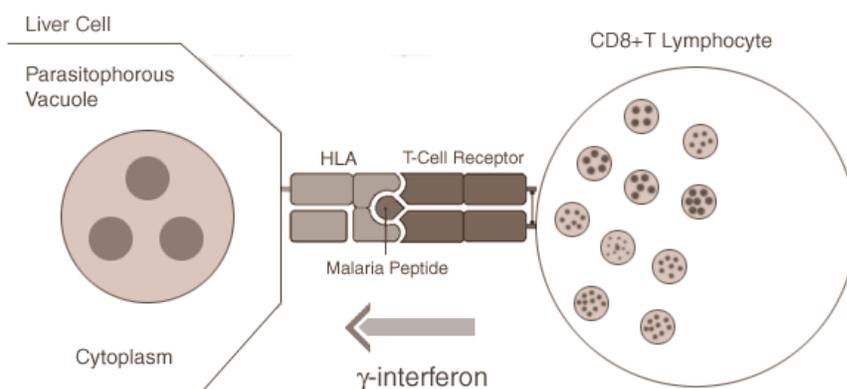
Gambar 2. Siklus hidup malaria yang menunjukkan antigen yang terekspresi dan suatu representasi mekanisme efektor imun tahap hati, S : sporozoit; M :merozoit; G : gametosit.

Mekanisme respon imun didapat (*acquired*) yang disebutkan di atas berlangsung sangat kompleks dan belum sepenuhnya dimengerti. Secara kronologis, imunitas yang didapat ini berlangsung dalam dua tahap. Tahap pertama, menghasilkan kemampuan untuk membatasi kelainan klinis, walaupun jumlah parasit di dalam darah masih tinggi. Tahap kedua, menghasilkan kemampuan untuk menekan jumlah parasit di dalam darah. Tahap kedua ini bersifat spesifik untuk spesies dan stadium parasit, dan terutama bekerja terhadap stadium aseksual dalam eritrosit. Namun ternyata kemudian stadium lain juga bersifat imunogenik sehingga infeksi yang alami terjadi juga antibodi terhadap sporozoit dan bentuk-bentuk lain dalam stadium seksual yang telah dijelaskan di atas.

Disamping antibodi, limfosit T yang teraktivasi memegang peranan penting dalam

infeksi sporozoit intraseluler. Adanya infeksi sporozoit akan merangsang sub set sel T helper, dalam hal ini T *helper* 1 (Th1) untuk mensekresi limfokin yaitu IFN- γ dan TNF- α . Sekresi kedua limfokin ini akan mengaktifasi makrofag, dimana makrofag akan menghasilkan nitrogen oksida dan senyawa lain untuk membunuh parasit. Peningkatan sekresi IFN- γ dan TNF- α oleh aktivasi makrofag dapat meningkatkan reaksi pertahanan tubuh terhadap malaria terutama terhadap sporozoit pada fase ekstra eritrosit (intraseluler) [21]. Respon imun memerlukan bentuk dan target yang cukup untuk melawan antigen yang sesuai, demikian juga dalam hal ekspresi antigennya. Respon imun yang dimediasi sel, terutama sel T CD4⁺ dan CD8⁺, terimplikasikan dalam proteksi melawan infeksi tahap hati dan antibodi yang terlibat dalam proteksi melawan sporozoit (Gambar 3) [23].

T-Cell attack on an infected liver cell



Gambar 3. Tampilan representatif sel T yang menyerang sel hati yang terinfeksi dengan mensekresi limfokin yaitu IFN- γ .

Tabel 1. Peranan antibodi dan sistem imunitas di setiap tahapan siklus hidup Plasmodium.

Tahap siklus hidup	Respon imun
Sporozoit	<ul style="list-style-type: none"> - Antibodi memblok invasi hepatosit - Antibodi membunuh sporozoit melalui fiksasi komplemen atau opsonisasi
Hepatosit terinfeksi	<ul style="list-style-type: none"> - Lisis yang dimediasi <i>Cytotoxic T-cell Lymphocytes</i> (CTL) - CD4+ membantu aktivasi dan diferensiasi CTL - Sitokin lokal dilepaskan oleh sel-T atau <i>antigen presenting cell</i> (APC) - Lisis yang dimediasi <i>antibody-dependent cellular cytotoxicity</i> (ADCC) atau sitokin.
Eritrositik aseksual	<ul style="list-style-type: none"> - Pelepasan sitokin lokal langsung membunuh eritrosit terinfeksi atau parasit intraselular. - Antibodi meng-aglutinasi merozoit sebelum schizont hancur - Antibodi memblok invasi merozoit terhadap sel darah merah - Antibodi membunuh sel darah merah terinfeksi melalui mekanisme

	<p>opsonisasi atau fagositik</p> <ul style="list-style-type: none"> - Antibodi menyelubungi merozoit pada saat invasi yang membunuh parasit intraeritrositik - Antibodi mengaglutinasi sel darah merah terinfeksi dan mencegah sitoaderen dengan memblok interaksi reseptor-ligand (reseptor CD-36) - Antibodi menetralsisir toksin parasit larut yang berbahaya
<p>Eritrositik seksual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sitokin membunuh gametosit dalam sel darah merah terinfeksi - Antibodi membunuh gametosit dalam sel darah merah terinfeksi melalui C' - Antibodi mengganggu proses pematangan - Antibodi menghambat transformasi zygote menjadi ookinete - Antibodi memblok ookinete dari <i>midgut</i> nyamuk

VAKSIN MALARIA IRADIASI

Penelitian vaksin terus mengalami kemajuan antara lain melalui *Malaria Vaccine Technology Roadmap* yang bertujuan untuk mempercepat pengembangan vaksin sehingga diharapkan pada tahun 2025 telah diperoleh vaksin dengan efektivitas lebih dari 80% dengan daya proteksi lebih dari 4 tahun serta aman. Namun pengembangan menemui kendala yang rumit, sehingga berbagai macam pendekatan dicoba seperti pemanfaatan radiasi untuk melemahkan parasit sebagai bahan dasar vaksin [24]. Radiasi sinar gamma dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu imunogen yang potensial dan dapat menghasilkan antibodi yang optimal dalam menahan serangan infeksi parasit [25].

Penelitian pada bakteri oleh Rachmilewitz D. dkk [26] dan sel ragi oleh Demicheli, MC dkk [27] diketahui bahwa vaksin iradiasi juga lebih efektif karena mampu

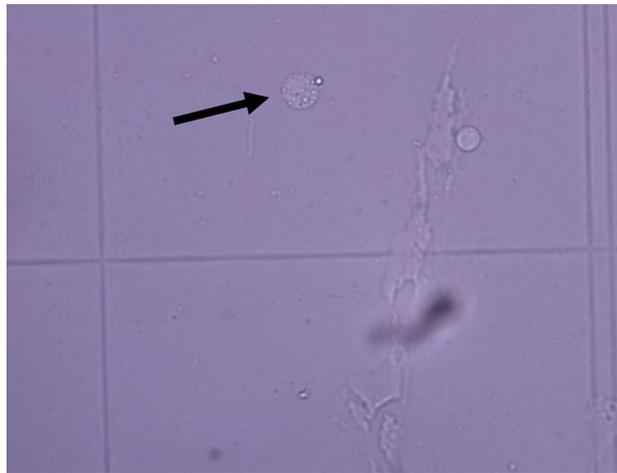
menstimulasi respon protektif dari sel imun (sel T) melalui protein *toll-like receptor* dan tidak perlu disimpan dalam ruang dingin. Meskipun vaksin yang dibuat dengan pemanasan atau kimia lebih aman dan mudah dibuat akan tetapi lebih kecil respon imunnya. Yadev MS. dkk [28] telah membuktikan bahwa pemberian vaksin iradiasi dari *P. berghei* lebih dari satu kali dapat memperpanjang masa hidup mencit dan lebih kebal dibandingkan dengan satu kali imunisasi. Dosis irradiasi optimal untuk melemahkan *P. berghei* adalah 150 – 200 Gy. Sebagai ”*state of the art*” dari pengembangan vaksin dengan radiasi sinar gamma adalah penelitian oleh Hoffman SL dkk [29] yang menyatakan bahwa stadium yang paling efektif untuk mengatasi malaria adalah stadium sporozoit dengan dosis radiasi antara 150-200 Gy. Dosis radiasi optimum mampu mengatenuasi sporozoit, mempertahankan kemampuannya memasuki sel hati dan sebagian berkembang biak tetapi

mencegah menjadi shizon tahap-hati dewasa, dan oleh karenanya mengeliminir kemampuan menginfeksi eritrosit.

Dengan menggunakan sukarelawan, terbukti bahwa imunisasi dengan gigitan nyamuk yang diiradiasi sinar gamma 150 Gy setelah terinfeksi *P. falciparum* strain tertentu mampu memproteksi tantangan gigitan nyamuk pembawa *P. falciparum* dalam 2-9 minggu. Namun gigitan kurang dari jumlah tertentu dan lebih dari 9 minggu tidak bersifat protektif lagi. Pemberian tantangan kedua pada sukarelawan yang sebelumnya terproteksi juga mampu bersifat protektif hingga 23-42 minggu. Hasil-hasil tersebut menyiratkan bahwa imunisasi dengan ribuan pemajanan terhadap nyamuk pembawa sporozoit dari *P. falciparum* teratenuasi sinar gamma adalah aman dan terdapat toleransi serta mampu bersifat protektif paling tidak selama 42 minggu. Sifat protektif ini diketahui dengan mengamati respon imun dalam tubuh host setelah uji tantang baik melalui uji *enzyme linked immunosorbent assay* (ELISA) untuk mengetahui antibodi yang terbentuk atau uji sel-T dan IFN-gamma.

Hampir semua sistem biologi memerlukan komunikasi antar sel untuk pertumbuhan dan pengaturannya. Pada sistem imun komunikasi antar sel umumnya melibatkan sitokin. Mediator ini diperlukan untuk proliferasi dan diferensiasi sel-sel hematopoitik dan untuk mengatur dan menentukan respon imun [30]. Sitokin dalam menjalankan fungsinya sebagai

mediator saling berinteraksi antara sitokin sendiri dan interaksi ini dapat berjalan sinergis atau antagonis. Oleh karena interaksi tersebut maka konsep kerja sitokin merupakan suatu “*network*”. Ada tiga sifat dari sitokin yaitu: pleiomorfik artinya sitokin tertentu dapat bekerja pada beberapa sel yang berbeda, *redundant* (berlebihan) artinya sejumlah sitokin mempunyai fungsi yang sama, multi-fungsi artinya sitokin yang sama dapat mengatur beberapa fungsi yang berbeda. Sitokin dapat menimbulkan efek lokal atau sistemik; efek lokal artinya bekerja pada sel yang memproduksinya (*autocrine action*) atau bekerja pada sel di sekelilingnya (*paracrine action*). Bila diproduksi dalam jumlah banyak, sitokin dapat masuk ke dalam sirkulasi dan bekerja jauh dari sel yang memproduksinya (*endocrine action*). Oleh karena sitokin sebagai mediator atau pembawa pesan maka ia mempunyai reseptor untuk menerima pesan tersebut dan klasifikasi sitokin didasarkan dari reseptornya pada membran sel [30]. Ada dua macam respon imun yang terjadi apabila ada mikroba yang masuk ke dalam tubuh, yaitu *innate* dan *adaptive responses*. Sel yang berperan dalam *innate response* adalah sel fagosit (neutropil, monosit dan makrofag). Hasil pengamatan makrofag dalam pengembangan vaksin malaria iradiasi disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengamatan makrofag (anak panah) dalam sel darah yang terinfeksi Plasmodium sebagai dasar pengembangan vaksin malaria iradiasi.

PENUTUP

Vaksin diperlukan untuk menginduksi timbulnya imunitas humoral maupun seluler yang protektif terhadap terjadinya penyakit malaria sehingga seseorang yang mendapat imunisasi menjadi kebal terhadap infeksi oleh *Plasmodium falciparum*. Hal ini selain sangat diperlukan di daerah endemis malaria, terutama untuk anak-anak di bawah 5 tahun dan ibu hamil yang sangat peka terhadap penyakit malaria, juga diperlukan untuk individu tidak kebal yang karena sesuatu hal harus mengunjungi daerah endemis malaria, seperti pelaku bisnis, anggota militer ataupun wisatawan. Yang merupakan hambatan dalam pembuatan vaksin terhadap penyakit malaria adalah siklus hidup plasmodium yang kompleks dengan melewati perubahan-perubahan bentuk dan habitat. Hal ini memberikan masalah tersendiri dalam mempelajari patofisiologinya [17].

Adanya berbagai spesies dan galur, besarnya diversitas gen dan banyaknya variasi antigen juga menyebabkan problema yang rumit, baik dalam diagnosis, pengobatan dan

pembuatan vaksin. Secara alami, imunitas hanya dapat diperoleh dengan pemaparan berulang-ulang dan kontinu. Penduduk dewasa yang tinggal di daerah endemik sejak kecil, tidak lagi menunjukkan gejala penyakit meskipun masih mengandung parasit. Perbedaan di antara penderita malaria tropika dan malaria tertiana tersebut mungkin dapat dihubungkan dengan adanya proses sekuestrasi sel darah merah terinfeksi dalam organ-organ yang terjadi pada *P. falciparum* dan tidak terjadi pada *P. vivax*. Sekuestrasi yang terjadi pada *P. falciparum* ini dapat berakibat akumulasi dari produksi TNF dalam organ-organ yang terlibat sehingga kadar TNF yang beredar dalam sirkulasi tidak mencerminkan kadarnya di dalam organ yang mengalami gangguan fungsi. Sekuestrasi juga dapat berakibat pooling faktor penghambat produksi TNF dalam organ tersebut [31].

DAFTAR PUSTAKA

1. JOY, D., FENG, X., dan MU, J., Early origin and recent expansion of *Plasmodium falciparum*, *Science*, 300, 318-21, 2003.
2. TDR. Malaria (<http://www.who.int/tdr/diseases/malaria/diseaseinfo.htm> [Cited on May 15, 2007]).

3. GLOBALIS INDONESIA, Indonesia: Malaria Cases (http://globalis.gvu.unu.edu/indicator_detail.cfm?IndicatorID=74&Country=ID) [Cited on May 23, 2007].
4. CLYDE DF, dkk, Immunization of man against falciparum and vivax malaria by use of attenuated sporozoites. *Am J Trop Med Hyg* 24(3), 397, 1975.
5. ESCALANTE, A.A., and AYALA., F.J., Phylogeny of the malarial genus *Plasmodium*, derived from rRNA gene sequences, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91:11373-11377, 1994.
6. NUGROHO, A., HARIJANTO, P., dan DATAU, E., Imunologi pada Malaria. In: Harijanto PN, editor. *Malaria. Epidemiologi, Patogenesis, Manifestasi Klinis, & Penanganan*, Jakarta, EGC, 128-150, 2000.
7. KWIATKOWSKI, D. and MARSH, K., Development of a malaria vaccine, *Lancet*, 350, 1696-1701, 1997.
8. GARDINER, D. L., MCCARTHY, J.S. and TRENHOLME, K.R., Malaria in the post-genomics era: light at the end of the tunnel or just another train?, *Postgrad. Med. J.*, 81, 505-509, 2005.
9. CARO-AGUILAR, I., RODRIGUEZ, A., CALVO-CALLE, J.M., GUZMAN, F., DE LA VEGA, P., PATARROYO, M.E., GALINSKI, M.R., and MORENO, A., *Plasmodium vivax* promiscuous T-helper epitopes defined and evaluated as linear peptide chimera immunogens, *Infect. Immun.*, 70, 3479-3492, 2002.
10. NARDIN, E. H., and R. S. NUSSENZWEIG, R.S., T cell responses to pre-erythrocytic stages of malaria: role in protection and vaccine development against pre-erythrocytic stages, *Annu. Rev. Immunol.*, 11, 687-727, 1993.
11. JOSHI, S. K., BHARADWAJ, A., CHATTERJEE, S., and CHAUHAN, V.S., Analysis of immune responses against T- and B-cell epitopes from *Plasmodium falciparum* liver-stage antigen 1 in rodent malaria models and malaria-exposed human subjects in India, *Infect. Immun.* 68, 141-150, 2000.
12. FAVRE, N., RYFFEL, B., BORDMANN, G., and RUDIN, W., The course of *Plasmodium chabaudi chabaudi* infections in interferon-gamma receptor deficient mice, *Parasite Immunol.*, 19, 375-383, 1997.
13. STEVENSON, M. M., TAM, M.F., WOLF, S.F. and SHER, A., IL-12-induced protection against blood-stage *Plasmodium chabaudi* AS requires IFN-gamma and TNF-alpha and occurs via a nitric oxide-dependent mechanism, *J. Immunol.*, 155, 2545-2556, 1995.
14. ARTAVANIS-TSAKONAS, K., and RILEY, E.M., Innate immune response to malaria: rapid induction of IFN-gamma from human NK cells by live *Plasmodium falciparum*-infected erythrocytes, *J. Immunol.*, 169, 2956-2963, 2002.
15. FRANCIS, N., and WARRELL, D.A., Pathology and Pathophysiology of human malaria, In : Bruce Schwatt's Essential Malariaology, 3rd Edition (Eds. Gilles H M and Warrell D A.), 1993, Pp 50-59.
16. DEVONSHIRE, A. L. and FIELD, L. M., Gene amplification and insecticide resistance, *Ann. Rev. Entomol.*, 36, 1-23, 1991.
17. RAMHARTER, M., WILLHEIM, M., WINKLER, H., WAHL, K., LAGLER, H., GRANINGER, W., WINKLER, S., Cytokine profile of *Plasmodium falciparum*-specific T cells in non-immune malaria patients, *Parasite Immunol.*, 25(4), 211-219, 2003.
18. NUSSENZWEIG R, dkk, Protective immunity produced by the injection of x-irradiated sporozoites of *Plasmodium berghei*. *Nature*, 216, 160, 1967.
19. ABATH, F.G.C., Development of vaccines against human parasitic diseases: tools, current status and perspectives, *Expert Opinion on Investigational Drugs*, 9(2), 301-310, 2000.
20. KREMSNER, P.G., ZOTTER, G.M., FELDMEIERS, H., et al. Immune response in patients during and after *Plasmodium falciparum* infection, *J. Infect. Dis.*, 161, 1025-1028, 1990.
21. PEYRON, F., BURDIN, N., RINGWALD, P., et al. High levels of circulating IL-10 in human malaria, *Clinical and Experimental Immunology*, 95, 300-303, 1994.
22. KERN, P., HEMMER, C.J., DAMME, J.V., et al. Elevated tumor necrosis factor alpha and interleukin-6 serum levels as markers for complicated *Plasmodium falciparum* malaria, *American Journal of Medicine*, 87, 139-143, 1989.

23. TODRYK, S.M. and WALTHER, M., Building better T-cell-inducing malaria vaccines, *Immunology*, 115(2), 163–169, 2005.
24. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Initiative for Vaccine Research, State the art of vaccine research and development, 2005, <http://www.who.int/vaccines-documents>.
25. HOOK RH, GREEN TJ and STUART MK. Rheumatoid factor-like IgM in *Plasmodium berghei* (Apicomplexa Haemosporida) infections of Balb /C mice, *Folia griculture cal* 50, 176-182, 2003.
26. RACHMILEWITZ, D. dkk, Toll-like receptor 9 signaling mediates the anti-inflammatory effects of probiotics in murine experimental colitis, *Gastroenterology*, 126, 520-528, 2004.
27. 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.
28. YADEV, M.S., SEKARAN, S.D., and DHALIWAL, J.S., Induction of protection in rats and mice with radiation attenuate *Plasmodium berghei* (in: Nuclear Techniques in the Study of Parasitic Infections, Proc. Symp. Vienna, 11) IAEA, Vienna 76, 1982.
29. 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.
30. SRI HIDAJATI, B.S., Peran *Tumor Necrosis Factor* (TNF) dan faktor penghambat produksi TNF pada gejala klinik malaria *falciparum* dan malaria *vivax* di daerah hipoendemik Lombok, PhD Thesis, Universitas Airlangga, 2008.
31. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) South East Asia Regional Office. 2004. *Situation Of Dengue/Dengue Haemorrhagic Fever In the South-East Asia Region: Prevention And Control Status In SEA Countries*.

DISTRIBUSI KONSENTRASI ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra DAN ^{228}Th DALAM SAMPEL TENORM DI FASILITAS PENELITIAN TENORM DI PTKMR - BATAN

Wahyudi, Bunawas, Muji Wiyono dan Hidayati Rizkiyath Putri*)
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
*) FMIPA Universitas Brawijaya Malang

ABSTRAK

DISTRIBUSI KONSENTRASI ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra DAN ^{228}Th DALAM SAMPEL TENORM DI FASILITAS PENELITIAN TENORM DI PTKMR-BATAN. Telah dilakukan penentuan distribusi konsentrasi ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{228}Th dalam sampel TENORM di Fasilitas Penelitian TENORM di PTKMR-BATAN. Sampel TENORM yang digunakan berasal dari limbah padat industri Migas di Pulau Sumatra yang kemudian dibawa ke Fasilitas Penelitian TENORM di PTKMR-BATAN. Fasilitas Penelitian TENORM berupa bak yang terbuat dari tembok dengan diameter dalam 420 cm dan tinggi 60 cm. Sampel TENORM diaduk secara merata menggunakan molen kemudian ditempatkan dalam bak secara merata dengan ketinggian 40 cm selanjutnya dидiamkan beberapa hari supaya terjadi pengeringan oleh sinar matahari. Sampling TENORM dilakukan pada sembilan titik dengan titik P, U, T, S dan B pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm dan titik TL, TG, BD dan BL pada kedalaman 0 – 20 cm. Di laboratorium, sampel dipanaskan pada suhu 105°C selama 24 jam kemudian dihaluskan menggunakan mortar porselin selanjutnya diayak menggunakan ayakan 20 mesh ASTM. Setelah itu, sampel ditempatkan dalam *Marinelli* 1 liter kemudian dilem dan ditunggu sampai terjadi kesetimbangan radioaktif antara induk dengan anak luruhnya. Sampel selanjutnya diukur menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe. Hasil pengukuran diperoleh konsentrasi berturut-turut ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th , adalah (302 ± 39) sampai dengan (393 ± 52) Bq/kg, (3409 ± 220) sampai dengan (4.362 ± 270) Bq/kg, (1.672 ± 106) sampai dengan (2.129 ± 140) Bq/kg dan (2.424 ± 149) sampai dengan (2.833 ± 174) Bq/kg. Berdasarkan uji homogenitas dengan *Chi square test* diperoleh hasil bahwa radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th dalam sampel TENORM di PTKMR-BATAN terdistribusi secara homogen.

Kata kunci : distribusi konsentrasi, TENORM, radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , dan ^{228}Th .

ABSTRACT

CONCENTRATION DISTRIBUTION OF ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra AND ^{228}Th IN THE TENORM SAMPLES AT TENORM RESEARCH FASILITY OF CRSTM-NNEA. Determination of concentration distribution of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{228}Th at the TENORM samples in the TENORM Research Facility of CRSTM-NNEA has been carried out. The TENORM sample was collected from oil and gas industry waste located in Sumatra Island and then transport to TENORM Research Facility. The TENORM Research Facility is the cylindrically basin with 420 cm diameter and 60 cm height made from cement. The TENORM sample was mixed until homogeneous by using molen and then placed to the basin 40 cm height fleetly and let for a few days for drying by the sun. TENORM sampling was carried out at nine points, i.e. five points at PUTS and B with soil depth of 0-20 cm and 20-40 cm, and four points at TL, TG, BD and BL with soil depth only at 0-20 cm. In the laboratory, samples were dried at the oven at 105°C for 24 hours then grinded using porcelain mortar and sieved with 20 mesh ASTM sieves. After preparation, samples were placed into *Marinelli* 1 liter, sealed and let to reach the radioactivity equilibrium of thorium and radium with their progenies. After that, the samples were measured using gamma spectrometer with HPGe detector. The result of measurement showed that the concentrations of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , and ^{228}Th were in the range (302 ± 39) to (393 ± 52) Bq/kg, $(3,409 \pm 220)$ to $(4,362 \pm 270)$ Bq/kg, $(1,672 \pm 106)$ to $(2,129 \pm 140)$ Bq/kg and $(2,424 \pm 149)$ to $(2,833 \pm 174)$ Bq/kg respectively. The homogeneous test with Chi square methods

shows that the ^{40}K , ^{226}Ra , ^{226}Ra , and ^{228}Th radionuclides in the TENORM Research Facility of CRSTM-NNEA are homogeneously distributed.

Key words : concentration distribution, TENORM, ^{40}K , ^{226}Ra , and ^{232}Th radionuclides.

I. PENDAHULUAN

TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) adalah bahan radioaktif alam yang terkonsentrasi atau meningkat konsentrasinya akibat kegiatan industri non nuklir yang melakukan pengolahan bahan baku dari alam¹. Dalam kegiatan industri, TENORM dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Untuk itu pengelolaan TENORM pada industri non nuklir menjadi tanggung jawab bagi pemilik industri untuk melindungi pekerja dan masyarakat sekitarnya dari cemaran zat radioaktif atau paparan radiasi berlebih dengan keberadaan TENORM di lokasi industri miliknya²⁻³.

Di Indonesia banyak kegiatan industri yang menghasilkan TENORM antara lain tambang minyak dan gas bumi, tambang timah, pabrik pembuatan papan gypsum, pabrik pengolahan fosfat dan lain-lain. TENORM yang dihasilkan dari kegiatan tersebut semakin lama semakin banyak dan kemungkinan akan tersebar ke lingkungan seiring dengan berjalannya waktu. Untuk mengurangi dampak dari adanya TENORM terhadap pekerja maupun masyarakat di sekitar lokasi kegiatan tersebut maka TENORM yang dihasilkan perlu dilakukan pengelolaan secara baik supaya dampak yang ditimbulkan sekecil mungkin dan TENORM yang dihasilkan tidak menyebar ke lingkungan.

Untuk dapat melakukan pengkajian terhadap analisis keselamatan radiasi yang diakibatkan oleh radiasi dan radioaktivitas TENORM dengan cepat dan cermat, maka PTKMR – BATAN membangun Fasilitas Penelitian TENORM. Sebagai awal kegiatan, Fasilitas Penelitian TENORM di PTKMR-BATAN menggunakan limbah padat TENORM dari industri migas yang di dalamnya terdapat radionuklida adalah ^{40}K (kalium-40), ^{226}Ra (radium-226), ^{228}Ra (radium-228), dan ^{228}Th (thorium-228).

Untuk mengetahui distribusi konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{228}Th dalam sampel TENORM di Fasilitas Penelitian TENORM di PTKMR-BATAN dilakukan sampling pada sembilan lokasi yaitu lima lokasi pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm dan empat lokasi pada kedalaman 0-20 cm. Sample TENORM dari beberapa titik ini kemudian ditentukan konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{228}Th menggunakan spektrometer gamma yang selanjutnya dievaluasi dan dilihat homogenitas dari tiap-tiap radionuklida.

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui distribusi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{228}Th dalam sampel TENORM yang berada di Fasilitas Penelitian TENORM di PTKMR-BATAN serta mengetahui tingkat homogenitasnya.

II. DASAR TEORI

Kegiatan industri yang menghasilkan TENORM di Indonesia antara lain tambang minyak dan gas bumi, tambang timah, pabrik pembuatan papan gypsum, pabrik pengolahan fosfat dan lain-lain. TENORM yang dihasilkan dari kegiatan tersebut semakin lama semakin banyak dan kemungkinan akan tersebar ke lingkungan seiring dengan berjalannya waktu. Untuk mengurangi dampak dari adanya TENORM terhadap pekerja maupun masyarakat di sekitar lokasi kegiatan tersebut maka TENORM yang dihasilkan perlu dilakukan pengkajian untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari adanya TENORM di sekitar industri tersebut. Untuk mengetahui tingkat radiaktivitas TENORM perlu dilakukan pengukuran baik secara langsung maupun dengan teknik sampling.

Untuk menganalisis cemaran radiasi pada sampel TENORM di lingkungan bentuk padat yang memancarkan radiasi gamma 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 sumber 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 berikut⁴⁻⁶:

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{(N_s / t_s - N_{BG} / t_{BG})}{A_t \cdot p_{\gamma}} \quad (1)$$

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 berikut⁴⁻⁶:

$$F_k = \frac{\mu t}{1 - e^{-\mu t}} \quad (2)$$

$$\mu = \mu_m \rho \quad (3)$$

$$\mu_m = 1,287 E_{\gamma}^{-0,435} \quad (4)$$

dengan:

F_k : faktor koreksi serapan diri

μ : koefisien serapan linier (cm⁻¹)

1)

t : tebal sampel (cm)

μ_m : koefisien serapan massa pada energi gamma (cm²/g)

ρ : kerapatan sampel (g/cm³)

E_{γ} : energi gamma (keV)

Radionuklida ⁴⁰K ditentukan secara langsung pada puncak energi 1460,75 keV dengan $p_{\gamma} = 0,1067$. Radionuklida ²²⁶Ra

ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu ^{214}Bi pada puncak energi 609,31 keV dengan $p_\gamma = 0,446$ atau ^{212}Pb pada puncak energi 351,92 keV dengan $p_\gamma = 0,351$. Radionuklida ^{228}Ra ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu ^{228}Ac pada puncak energi 911,07 keV dengan $p_\gamma = 0,27$. Sedangkan radionuklida ^{228}Th ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma, yaitu ^{212}Pb pada puncak energi 238,63 keV dengan $p_\gamma = 0,435$ atau ^{208}Tl pada puncak energi 583,19 keV dan 2614 keV dengan $p_\gamma = 0,307$ dan $0,356$ ⁵⁻⁶. Untuk menghitung konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam sampel TENORM (C_{Sp}) digunakan persamaan berikut⁵:

$$C_{Sp} = C_{avg} \pm U_T \quad (5)$$

dengan :

C_{Sp} adalah konsentrasi zat radioaktif dalam sampel (Bq/kg)

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

U_T adalah ketidakpastian pengukuran (Bq/kg)

$$C_{avg} = \frac{N_{Sp} - N_{BG}}{\epsilon_\gamma \cdot p_\gamma \cdot W_{Sp}} \quad (6)$$

dengan :

N_{Sp} adalah laju cacah sampel (cps)

N_{BG} adalah laju cacah latar (cps)

\square_\square adalah efisiensi pada energi gamma

p_\square adalah kelimpahan energi gamma

W_{Sp} adalah berat sampel (kg)

$$U_T = C_{avg} x \sqrt{u_N^2 + u_B^2 + u_\epsilon^2 + u_p^2 + u_w^2} \quad (7)$$

dengan :

u_N adalah ketidakpastian pencacahan sampel

u_B adalah ketidakpastian pencacahan latar

u_ϵ adalah ketidakpastian efisiensi pada energi gamma

u_p adalah ketidakpastian kelimpahan energi gamma

u_w adalah ketidakpastian berat sampel

Untuk memudahkan perhitungan ketidakpastian pengukuran, maka satuan ketidakpastian dinyatakan dalam persen, sedangkan untuk penulisan dalam data dinyatakan sesuai dengan satuan nilai rata-rata.

Kemampuan suatu alat untuk melakukan pengukuran berbeda-beda bergantung 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 berikut⁵:

$$MDC = 4,66 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_{BG}}{t_{BG}^2}}}{\epsilon_\gamma \cdot p_\gamma \cdot F_k \cdot w} \quad (8)$$

dengan:

MDC : konsentrasi minimum terdeteksi (Bq/kg)

N_B : laju cacah latar (cps)

- t_B : waktu cacah latar (detik)
- ϵ_γ : efisiensi pencacahan
- p_γ : kelimpahan energi gamma
- F_k : faktor koreksi serapan diri
- w : berat sampel (kg)

Untuk menguji tingkat homogenitas distribusi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th dalam sampel TENORM yang telah dilakukan pencampuran menggunakan molen, dilakukan dengan sampling pada variasi kedalaman dan variasi titik sampling. Setiap sampel dicacah dengan menggunakan spektrometer gamma kemudian dihitung nilai konsentrasi ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th yang terkandung di dalamnya. Data hasil pengukuran kemudian dihitung tingkat homogenitasnya dengan menggunakan metode *Chi square test* (X^2). Besarnya nilai *Chi square test* dihitung dengan persamaan sebagai berikut⁸⁻⁹:

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{\bar{x}} \quad (9)$$

dengan :

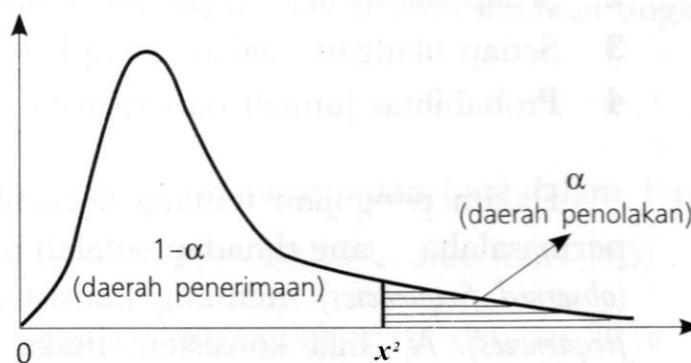
X^2 adalah nilai *chi-square*.

k adalah banyaknya data pengulangan pengamatan.

x_i adalah nilai yang teramati.

\bar{x} adalah nilai rata-rata dari pengamatan.

Untuk tingkat kepercayaan 95% atau tingkat kesalahan 5%, data distribusi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th hasil pengujian akan diterima atau dianggap homogen apabila nilai $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel\ acuan}$ untuk tingkat kepercayaan tersebut⁸⁻⁹.



Gambar 1. Bentuk distribusi *Chi square test* fungsi kepadatan peluang⁹.

Tabel 1. Nilai faktor *Chi square test* untuk beberapa data pengamatan⁹.

v (n-1)	Nilai <i>Chi square test</i> dengan tingkat kepercayaan		
	90%	95%	99%
1	2,7055	3,8415	6,6349
2	4,6052	5,9915	9,2103
3	6,2514	7,8147	11,3449
4	7,7794	9,4877	13,2767
5	9,2364	11,0705	15,0863

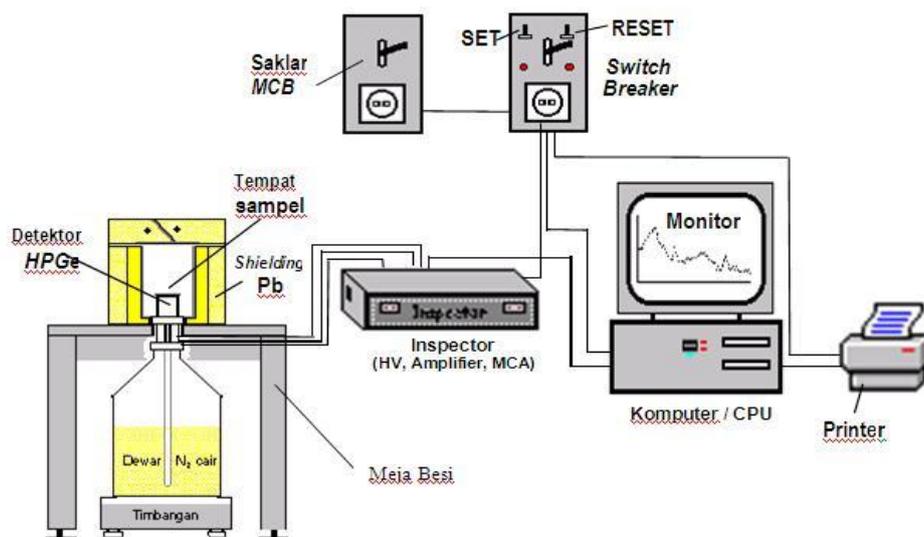
6	10,6446	12,5916	16,8119
7	12,0170	14,0671	18,4753
8	13,3616	15,5073	20,0902
9	14,6837	16,9190	21,6660
10	15,9872	18,3070	23,2093
11	17,2750	19,6751	24,7250
12	18,5493	21,0261	26,2170
13	19,8119	22,3620	27,6882
14	21,0641	23,6848	29,1413
15	22,3071	24,9958	30,5779
20	28,4120	31,4104	37,5662
30	40,2560	43,7730	50,8922
60	74,3972	79,0823	88,3810
100	118,499	124,343	135,811

III. TATA KERJA

Peralatan dan Standar

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran radionuklida dalam limbah padat ini adalah sistem pencacah spektrometer gamma dengan detektor HPGe buatan Ortec model GMX-25P4 dengan efisiensi relatif 28,7%. Sistem tersebut terdiri dari detektor HPGe yang ditempatkan dalam sistem shielding Pb dengan ketebalan 10cm. *Pre-amplifier* menempel pada badan detektor. *Amplifier*, *HV Bias Supply*, *MCA (Multi channel analyser)* terangkai dalam satu modul bernama *InSpector*. Sistem spektrometer gamma dioperasikan dengan perangkat lunak

Genie 2000 dan secara skema diperlihatkan pada Gambar 2. Spektrometer gamma dikalibrasi efisiensi dengan menggunakan sumber standar campuran yang terdiri dari radionuklida ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , dan ^{241}Am yang divalidasi dengan uji profisiensi ke IAEA kode GM-014MR dan sumber standar ^{60}Co dan ^{137}Cs buatan Amersham kode EW-679. Peralatan lain adalah mortar porselin, ayakan 20 mesh ASTM, lem Araldhit, neraca analitis buatan Shimadzu dengan kemampuan sampai 4200 gram dan tabung *Marinelli* yang dirancang khusus untuk pengukuran sampel lingkungan dengan aktivitas rendah.



Gambar 2. Skema sistem spektrometer gamma dengan detektor HPGe

Bahan

Bahan berupa sampel TENORM dari industri migas yang ditempatkan dalam wadah bak semen berbentuk bulat. Sampel dicuplik masing-masing sebanyak volume Marinelli 1 liter dari 9 titik sampling dengan kedalaman 0-20 cm dan 5 titik sampling dengan kedalaman 20-40 cm. Untuk mengukur cacah latar sebagai faktor koreksi hasil pengukuran digunakan *Aquadest* yang ditempatkan dalam *Marinelli*. Bahan lain adalah lem araldit yang digunakan untuk mengisolasi sampel supaya terjadi kesetimbangan radioaktif antara radium dan thorium dengan anak luruhnya.

Preparasi dan Pengukuran Sampel

Sampel TENORM bentuk padatan dipreparasi di laboratorium dengan cara dipanaskan pada suhu 105°C selama 24 jam, kemudian diayak dengan ayakan 20 *mesh*.

Sampel ditempatkan dalam *Marinelli*, diberi nomor kode, dilem dan didiamkan selama tujuh hari atau lebih sampai terjadi kesetimbangan radioaktif antara radium dan thorium dengan anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma. Konsentrasi ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th dalam sampel diukur dengan menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe yang telah dikalibrasi energi dan efisiensinya dengan sumber standar.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi efisiensi yang dilakukan terhadap spektrometer gamma dengan detektor HPGe model GMX-25P4 disajikan dalam Gambar 3. Terlihat bahwa koefisien korelasi (R^2) dari kurva efisiensi

adalah 0,9337 untuk energi rendah dan 0,9770 untuk energi tinggi, hal ini menunjukkan bahwa titik-titik efisiensi berada pada kurva efisiensi sehingga kurva ini cukup baik digunakan untuk melakukan perhitungan sampel.

Sampling TENORM diambil pada sembilan titik, yaitu titik P, U, T, S dan B pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm. Sedangkan empat titik TL, TG, BD dan BL pada kedalaman 0 – 20 cm. Lokasi sampling TENORM secara skematik disajikan pada Gambar 4.

Hasil pengukuran konsentrasi ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{232}Th dalam sampel TENORM yang diambil dari Fasilitas Penelitian TENORM PTKMR disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan pada Tabel 2 diperoleh hasil konsentrasi ^{40}K dari (302 ± 39) sampai dengan (393 ± 52) Bq/kg, ^{226}Ra dari (1.672 ± 106) sampai dengan (2.129 ± 140) Bq/kg, ^{228}Ra dari (3.409 ± 220) sampai dengan (4.362 ± 270) Bq/kg dan ^{232}Th dari (2.424 ± 149) sampai dengan (2.833 ± 174) Bq/kg. Untuk sampel TENORM ini, konsentrasi ^{40}K masih dalam batas nilai yang ada di lingkungan, sedangkan konsentrasi ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{232}Th sudah di atas nilai batas konsentrasi di lingkungan⁷.

Radionuklida ^{40}K , mempunyai aktivitas dari (302 ± 39) sampai dengan (393 ± 52) Bq/kg. Konsentrasi ^{40}K masih jauh di bawah konsentasi batas toleransi sebagai TENORM yaitu di bawah 10.000 Bq/kg. Apabila dianalisis homogenitas konsentrasi ^{40}K , maka diperoleh hasil bahwa ^{40}K homogen

pada sample dengan kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm dan 0-40 cm. Hal ini terlihat dari nilai $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel\ acuan}$ baik untuk lapisan sample pada kedalaman 0-20 cm, 20-40cm dan sampel secara keseluruhan.

Radionuklida ^{226}Ra , mempunyai aktivitas dari (1672 ± 106) sampai dengan (2129 ± 140) Bq/kg. Konsentrasi ^{226}Ra di atas konsentasi batas toleransi sebagai TENORM yaitu di atas 1000 Bq/kg. Apabila dianalisis homogenitas konsentrasi ^{226}Ra , maka diperoleh hasil bahwa ^{226}Ra homogen pada sampel dengan kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm dan 0-40 cm. Hal ini terlihat dari nilai *Chi-square test* hasil pengukuran lebih kecil dari nilai *Chi-square test* tabel.

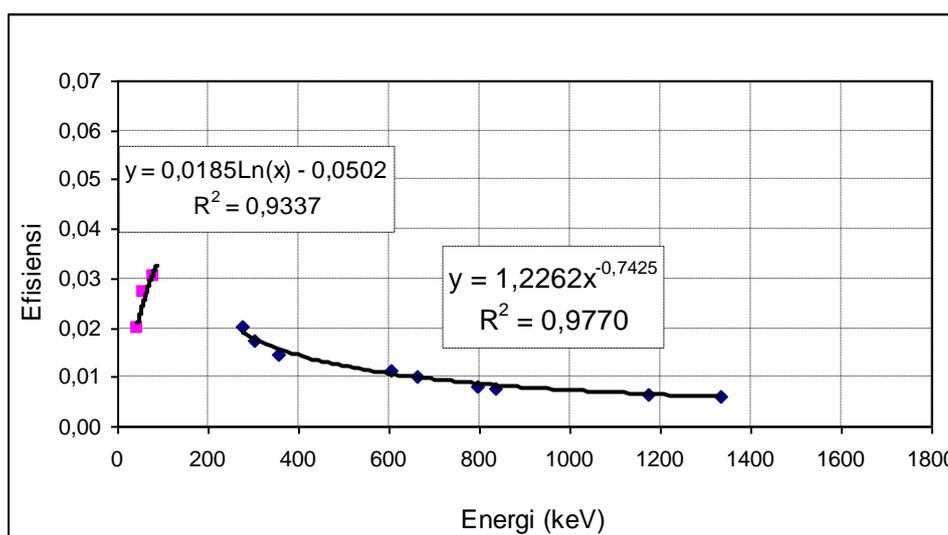
Radionuklida ^{228}Ra , mempunyai aktivitas dari (3.409 ± 220) sampai dengan (4.362 ± 270) Bq/kg. Konsentrasi ^{228}Ra di atas konsentasi batas toleransi sebagai TENORM yaitu di atas 1.000 Bq/kg. Apabila dianalisis homogenitas konsentrasi ^{228}Ra , maka diperoleh hasil bahwa ^{228}Ra homogen pada sampel dengan kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm dan 0-40 cm. Hal ini terlihat dari nilai $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel\ acuan}$ baik untuk lapisan sample pada kedalaman 0-20 cm, 20-40cm dan sampel secara keseluruhan.

Radionuklida ^{232}Th , mempunyai aktivitas dari (2424 ± 149) sampai dengan (2833 ± 174) Bq/kg. Konsentrasi ^{232}Th di atas konsentasi batas toleransi sebagai TENORM yaitu di atas 1000 Bq/kg. Apabila dianalisis homogenitas konsentrasi ^{232}Th , maka diperoleh hasil bahwa ^{232}Th homogen pada

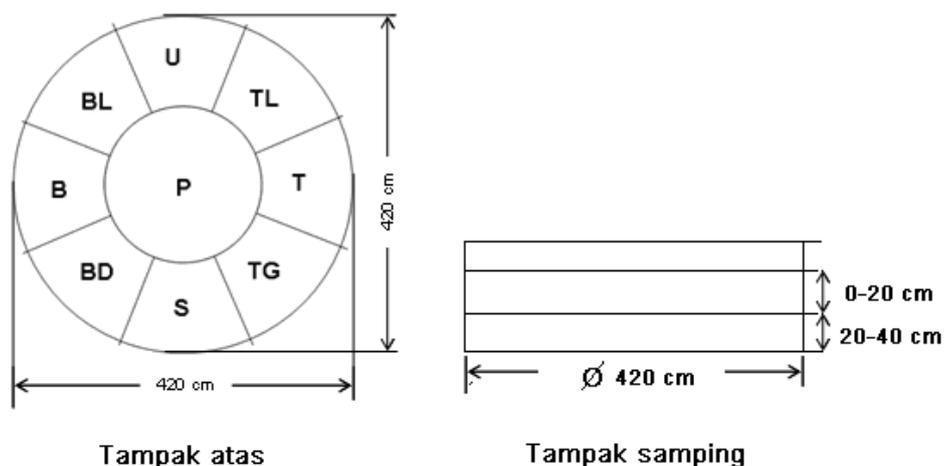
sampel dengan kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm dan 0-40 cm. Hal ini terlihat dari nilai $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel\ acuan}$ baik untuk lapisan sampel pada kedalaman 0-20 cm, 20-40cm dan sampel secara keseluruhan

Berdasarkan hasil uji homogenitas dengan metode *Chi-square test* diperoleh hasil bahwa radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{226}Ra , dan ^{228}Th dalam sampel TENORM terdistribusi secara homogen. Hasil uji homogenitas ini

merupakan hasil pengujian setelah sampel TENORM dalam bak dengan diameter dalam 420 cm diaduk dengan molen (tong mesin) dan butiran diratakan dengan ketinggian sampel setinggi 40 cm. Berdasarkan hasil uji homogenitas ini, maka sampel TENORM yang berada di Fasilitas Penelitian TENORM di PTKMR-BATAN terdistribusi secara homogen baik di lapisan 0-20 cm, 20-40 cm maupun secara keseluruhan.



Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi pencacahan sebagai fungsi energi (keV)



Gambar 4. Lokasi sampling pada Fasilitas Penelitian TENORM.

Tabel 2. Konsentrasi ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{228}Th dalam sampel TENORM.

No.	Titik samplin g	Kedalaman (cm)	Konsentrasi radionuklida (Bq/kg)			
			^{40}K	^{226}Ra	^{228}Ra	^{228}Th
1.	P	0 - 20	332 ± 22	1902 ± 118	3876 ± 255	2788 ± 169
		20 - 40	302 ± 39	1827 ± 120	3615 ± 237	2514 ± 156
2.	U	0 - 20	307 ± 38	2129 ± 140	3871 ± 266	2770 ± 172
		20 - 40	295 ± 30	1878 ± 123	4048 ± 254	2624 ± 163
3.	TL	0 - 20	324 ± 44	1947 ± 128	3764 ± 257	2709 ± 168
4.	T	0 - 20	305 ± 39	1793 ± 115	3690 ± 238	2524 ± 153
		20 - 40	337 ± 37	1800 ± 115	3731 ± 250	2645 ± 161
5.	TG	0 - 20	344 ± 45	2016 ± 131	4181 ± 276	2833 ± 174
6.	S	0 - 20	343 ± 49	1672 ± 106	3660 ± 233	2538 ± 153
		20 - 40	335 ± 41	1742 ± 113	3409 ± 220	2424 ± 149
7.	BD	0 - 20	357 ± 44	2058 ± 135	3909 ± 268	2790 ± 173
8.	B	0 - 20	320 ± 41	1815 ± 116	3580 ± 231	2526 ± 153
		20 - 40	319 ± 43	1800 ± 118	3574 ± 245	2553 ± 158
9.	BL	0 - 20	393 ± 52	2098 ± 130	4362 ± 270	2825 ± 172
Rata - rata			334 ± 25	1891 ± 139	3805 ± 259	2648 ± 137

Tabel 3. Hasil pengujian homogenitas konsentrasi dalam sampel TENORM

Sampel TENORM	Nilai <i>Chi-square test</i> hasil pengukuran dan data acuan					Keterangan
	Tabel Tk.95 %	Radionuklida				
		^{40}K	^{226}Ra	^{228}Ra	^{228}Th	
20-40 cm (5 sampel)	9,488	0,007	0,005	0,063	0,012	Lapisan 20-40 cm (bawah)
0-20 cm (9 sampel)	15,507	0,006	0,099	0,132	0,053	Lapisan 0-20 cm (atas)
0-40 cm (14 sampel)	22,362	0,025	0,134	0,870	0,092	Sampel keseluruhan
Hasil pengujian		Homogen	Homogen	Homogen	Homogen	Homogen

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran 14 sampel TENORM diperoleh hasil bahwa radionuklida ^{40}K dengan konsentrasi dari (302 ± 39) sampai dengan (393 ± 52) Bq/kg, ^{226}Ra dari (3.409 ± 220) sampai dengan (4.362 ± 270) Bq/kg, ^{228}Ra dari (1.672 ± 106) sampai dengan (2.129 ± 140) Bq/kg dan ^{228}Th dari (2.424 ± 149) sampai dengan (2.833 ± 174) Bq/kg. Berdasarkan uji homogenitas dengan metode *Chi-square test* tiap-tiap radionuklida diperoleh hasil bahwa radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra , ^{226}Ra , dan ^{228}Th dalam sampel TENORM di Fasilitas Penelitian TENORM-PTKMR terdistribusi secara homogen baik di lapisan 0-20 cm, 20-40 cm maupun secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUTARMAN, *Peningkatan radiasi alam akibat pemanfaatan sumber daya alam yang berasal dari dalam bumi*, Buletin ALARA Vol.5 No.2&3 April 2004, hal.79-88.
2. BUNAWAS dan SYARBAINI, Penentuan potensi resiko TENORM pada industri non-nuklir, Buletin ALARA, Vol.6 No.3, April 2005, hal. 143-150.
3. MARTUA SINAGA, *Pengawasan Naturally Occuring Radioactive Material (NORM)*, Prosiding Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non-Nuklir, Jakarta, 18 Maret 2003, hal. 41-48.
4. WISNU SUSETYO, *Spektrometer Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1988.
5. BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, *Prosedur Analisis Sampel*

Radioaktivitas Lingkungan, BATAN, Jakarta, 1998.

6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - A Guidebook*, Tech. Rep. Ser. No.295, IAEA, Vienna, 1989.
7. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Kep. Ka. Bapeten No.02/Ka-BAPETEN/V-99 tentang *Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan*, BAPETEN, Jakarta, 1999.
8. SUGIYONO, *Statistika Untuk Penelitian*, Penerbit CV Alfabeta, Bandung, 2005.
9. AKHMAD FAUZY, *Statistik Industri*, Penerbit Erlangga, Jakarta 2008.

EVALUASI BIOLOGIS RADIOFARMAKA ^{99m}Tc -CTMP UNTUK PENCITRAAN TULANG PADA HEWAN PERCOBAAN

Yana Sumpena, Rizky Juwita Sugiharti, Iim Halimah, Misyetti, Rochestri Sofyan

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN – BANDUNG
Jl. Tamansari 71-Bandung Telp : 022-2503997 Fax : 022-2504081

ABSTRAK

EVALUASI BIOLOGIS RADIOFARMAKA ^{99m}Tc -CTMP UNTUK PENCITRAAN TULANG PADA HEWAN PERCOBAAN. Telah dilakukan evaluasi biologis ^{99m}Tc -CTMP sebagai penyidik tulang pada hewan percobaan. Penelitian yang dilakukan meliputi uji biodistribusi, uji clearance dan pencitraan dengan kamera gamma. Larutan sediaan radiofarmasi ^{99m}Tc -CTMP dengan aktivitas 100-150 μCi dengan volume 0,1 ml diinjeksikan secara intra vena di bagian ekor mencit. Selang waktu 1 jam, 3 jam dan 24 jam pasca injeksi mencit dibunuh dengan cara dislokasi pada bagian leher, lalu bagian organ/jaringan seperti darah, hati, ginjal, limpa, jantung, paru-paru, usus, otot dan tulang paha) diambil sebagai cuplikan. Selanjutnya organ/jaringan ditimbang dengan timbangan analitik dan dicacah dengan pencacah sintilasi gamma (Single channel analyzer). Tingkat akumulasi keradioaktifan organ/jaringan dihitung berdasarkan % keradioaktifan per gram organ atau jaringan. Hasil uji biodistribusi menunjukkan akumulasi pada organ target tulang terjadi pada 1 jam pasca injeksi sebesar $18,38 \pm 0,84$ % disusul kemudian 3 jam pasca injeksi sebesar $16,73 \pm 8,86$ % dan 24 jam pasca injeksi sebesar $5,62 \pm 1,59$ %. Hasil uji blood clearance radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dalam darah tersisa sebesar 47,92 % dalam waktu kurang dari 5 menit pasca injeksi, satu jam setelah penyuntikan radioaktivitas yang tersisa sebesar 8,91 % dan 24 jam pasca injeksi radioaktivitas yang tersisa hanya sebesar 0,43%. Hasil uji renal clearance radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP yang diekskresikan lewat ginjal melalui urin pada selang waktu penampungan 15 menit diperoleh sebesar 10,31% dan setelah 1 jam radioaktivitas yang diekresikan adalah sebesar 30,47%. Hasil pencitraan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP terhadap tikus dengan kamera gamma memperlihatkan akumulasi di daerah tulang setelah 1 jam pasca injeksi. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa ^{99m}Tc -CTMP dapat digunakan sebagai radiofarmaka untuk pencitraan tulang.

Kata kunci : biodistribusi, siklo tetra metilen fosfonat, tulang paha, metastasis.

ABSTRACT

BIOLOGICAL EVALUATION OF ^{99m}Tc -CTMP USED FOR BONE IMAGING IN ANIMAL MODEL. Biological evaluation of ^{99m}Tc -CTMP for bone imaging has been conducted in animal model. Biodistribution test, clearance test and imaging with gamma camera were included in this study. Biodistribution test showed up take of ^{99m}Tc -CTMP in bone about $18,38 \pm 0,84$ %, $16,73 \pm 8,86$ % and $5,62 \pm 1,59$ % at 1, 3 and 24 hour post injection respectively. Blood kinetic studies exhibited 47,92% of ^{99m}Tc -CTMP remain in the blood within 5 minutes of ^{99m}Tc -CTMP administration, Radioactivity remain in blood are 8,91% and 0,43% in 1 and 24 hour post intravenous injection. ^{99m}Tc -CTMP is rapidly distributed after intravenous administration with predominant renal clearance. Renal clearance study exhibited of 10,31% and 30,47% of ^{99m}Tc -CTMP excreted from the urine after 15 minutes and 1 hour of ^{99m}Tc -CTMP administration. The images were acquired with a Gamma-camera at 1 hours post injection showed localization of the ^{99m}Tc -CTMP in bone of rat. This study showed that ^{99m}Tc -CTMP is a promises radiopharmaceutical for bone scintigraphy.

Key words : biodistribution, cyclo tetra methylene phosphonic, femur, metastatic

I. PENDAHULUAN

Penderita kanker seperti payudara, prostat, paru-paru, ginjal dan tiroid dapat mengalami metastasis ke tulang. Metastasis adalah penyebaran sel kanker dari situs awal ke tempat lain di dalam tubuh. Sel kanker dapat melepaskan diri dari tumor utama, masuk ke pembuluh darah ikut bersirkulasi dalam aliran darah dan tumbuh di jaringan normal yang jauh dari tumor asalnya.

Tingginya kasus penderita metastasis ke tulang di Indonesia terlihat banyaknya jumlah pasien yang memerlukan diagnosis tulang di beberapa rumah sakit yang memiliki fasilitas kedokteran nuklir. Pada tahun 2006, Rumah Sakit Hasan Sadikin di Bandung menerima tidak kurang dari 100 orang pasien setiap bulan untuk diagnosis tulang. Hingga saat ini, rumah sakit tersebut menggunakan kit radiofarmaka yang diimpor untuk keperluan diagnosis. Radiofarmaka untuk diagnosis tulang umumnya menggunakan senyawa fosfonat yang ditandai dengan radionuklida Teknisium-99m (^{99m}Tc). Radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP (siklo tetra metilen fosfonat) salah satu sediaan radiofarmasi untuk diagnosis tulang yang diproduksi oleh kelompok Sintesis Senyawa Bertanda bidang Senyawa Bertanda dan Radiometri PTNBR-BATAN. Senyawa ini memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap tulang dibandingkan dengan senyawa bifosfonat yang lain. Banyaknya gugus fosfonat pada molekul ini diperkirakan akan meningkatkan afinitas pada tulang. Oleh karena itu, diperkirakan CTMP (siklo tetra

metilen fosfonat) memiliki keunggulan dibandingkan senyawa fosfonat lain yang telah dikembangkan sebagai radiofarmaka untuk diagnosis tulang [1,2, 3]. Sama halnya dengan sediaan radiofarmasi pada umumnya, untuk radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP perlu dilakukan pemeriksaan uji preklinis pada hewan percobaan sebelum digunakan uji klinis pada manusia oleh para medis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui evaluasi biologis dari radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dengan parameter yang diteliti meliputi uji biodistribusi, uji *blood / renal clearance* dan pencitraan dengan camera gamma. Sebagai hasil akhir diharapkan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP ini dapat digunakan dalam bidang kedokteran nuklir khususnya untuk diagnosis tulang.

II. TATAKERJA

Bahan dan peralatan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kit radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP produksi Kelompok Sintesis Senyawa Bertanda- PTNBR-BATAN.

Peralatan yang digunakan adalah pencacah saluran tunggal (Ortec) digunakan sebagai pencacah radioaktivitas, *dose calibrator* (Victoreen) , timbangan analitik (Mettler Toledo), tabung reaksi, *syringe*, seperangkat alat bedah dan kamera gamma (Infinia SPECT-CT) di Kedokteran Nuklir RSHS. Hewan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15 ekor mencit jantan (*Mus musculus*) dengan berat 30-40 g dan 8

ekor tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*) dengan berat 200-250 g.

Penyiapan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP

Sebanyak 1 mL larutan radioisotop $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ dengan aktivitas 2-5 mCi dimasukkan ke dalam vial yang berisi CTMP yang telah ada di wadah Pb. Larutan dikocok sempurna dan dibiarkan pada penangas air mendidih selama 15 menit, sehingga dihasilkan produk radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP. Semua tahap pengerjaan dilakukan secara aseptis

Kemurnian radiokimia sediaan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP ditentukan dengan menggunakan metode kromatografi kertas. Kertas Whatman-3MM/aseton sebagai fase diam/gerak digunakan untuk memisahkan pengotor radiokimia ^{99m}Tc -perteknetat bebas, sedangkan kertas Whatman-3MM/NaCl untuk memisahkan pengotor ^{99m}Tc -tereduksi.

Uji biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP

Larutan sediaan radiofarmasi ^{99m}Tc -CTMP dengan aktivitas 100-150 μCi dengan volume 0,1 ml diinjeksikan secara intra vena di bagian ekor mencit. Selang waktu 1 jam, 3 jam dan 24 jam pasca injeksi mencit dibunuh dengan cara dislokasi pada bagian leher, lalu bagian organ/jaringan seperti darah, hati, ginjal, limpa, jantung, paru-paru, usus, otot dan tulang paha) diambil sebagai cuplikan. Pekerjaan dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali pengulangan untuk setiap interval waktu

pengamatan. Selanjutnya organ/jaringan ditimbang dengan timbangan analitik dan dicacah dengan pencacah sintilasi gamma (*Single channel analyzer*). Tingkat akumulasi keradioaktifan organ/jaringan dihitung berdasarkan % keradioaktifan per gram organ atau jaringan.

Uji kinetik darah

Penentuan uji kinetik darah radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dilakukan dengan menyuntikkan 0,2 mL sediaan dengan aktivitas 900 μCi ke tubuh tikus melalui vena ekor, kemudian darahnya diambil pada selang waktu (5, 10, 15, 20, 25, 45 dan 60 menit) setelah penyuntikan. Darah tersebut masing-masing ditimbang lalu dicacah dan hasilnya dinyatakan sebagai persentase radioaktivitas dari seluruh darah ditubuh (dengan mengambil 7% dari berat badan tikus sebagai berat darah keseluruhan tubuh). Kemudian persentase radioaktivitas dalam darah terhadap waktu digambarkan dalam bentuk grafik.

Uji renal clearance

Penentuan uji *renal clearance* (pencucian dari ginjal) radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dilakukan dengan menyuntikkan 0,2 mL sediaan dengan aktivitas 750 μCi ke tubuh tikus melalui vena ekor, kemudian tikus tersebut dimasukkan ke dalam *metabolic cage*. Setelah itu urin yang keluar ditampung dengan tabung reaksi yang sudah ditimbang dan aktivitas setiap tabung

dicacah, kemudian dihitung persentase aktivitasnya.

Pencitraan dengan menggunakan kamera gamma

Sebanyak 0,5 mL sediaan ^{99m}Tc -CTMP dengan aktivitas 2 mCi disuntikkan ke tubuh tikus putih melalui vena ekor. Selang waktu 1 jam dilakukan pencitraan dengan kamera gamma setelah terlebih dahulu tikus tersebut dibius menggunakan campuran ketamine HCl (dosis 0.16 mL / 200 g berat badan) dan xylazine 2% (dosis 0,06 mL/200 g berat badan).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara ideal radiofarmaka untuk diagnosa maupun terapi setelah disuntikkan ke dalam tubuh harus cepat terakumulasi pada organ/jaringan target dan kemudian cepat diekskresikan dari tubuh. Akumulasi yang tinggi pada organ target sangat penting

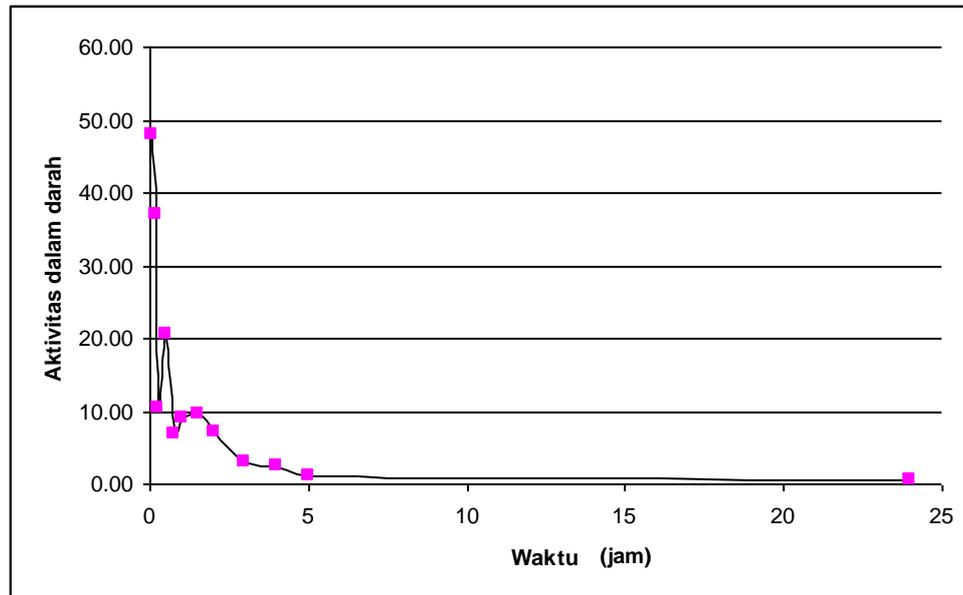
untuk pencitraan (scanning) dengan gamma kamera. Hasil uji biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP menggunakan mencit putih jantan dengan interval waktu pengamatan 1 jam pasca injeksi, 3 jam pasca injeksi dan 24 jam pasca injeksi dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa persentase keradioaktifan pada organ target (tulang paha) yang tertinggi terjadi pada 1 jam pasca injeksi sebesar 18.38 ± 0.84 % (I.D/gr) disusul kemudian 3 jam pasca injeksi sebesar 16.73 ± 8.86 % dan 24 jam pasca injeksi 5.62 ± 1.59 % Pada organ lain seperti darah, usus, otot, jantung, paru-paru, hati dan limpa tingkat akumulasi dari 1 jam, 3 jam dan 24 jam pasca injeksi cenderung turun. Disamping hal tersebut perbedaan tingkat akumulasi dengan organ terdekat seperti otot cukup jauh merupakan indikasi sediaan radiofarmasi ^{99m}Tc -CTMP tersebut baik secara uji preklinik pada hewan percobaan.

Tabel 1 . Persentase keradioaktifan ^{99m}Tc -CTMP per gram organ / jaringan

No	Organ	% ID/g		
		1 jam	3 jam	24 jam
1	Otot	0.21 ± 0.15	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02
2	Tulang	18.38 ± 0.84	16.73 ± 8.86	5.62 ± 1.59
3	Darah	0.89 ± 0.40	0.34 ± 0.16	0.03 ± 0.00
4	Lambung	0.61 ± 0.53	0.16 ± 0.14	0.07 ± 0.04
5	Usus	0.51 ± 0.32	0.31 ± 0.15	0.03 ± 0.00
6	Hati	0.41 ± 0.07	0.28 ± 0.17	0.06 ± 0.02
7	Lympa	0.39 ± 0.10	0.18 ± 0.08	0.04 ± 0.01
8	Ginjal	3.84 ± 1.64	1.67 ± 0.78	0.52 ± 0.28
9	Jantung	0.35 ± 0.16	0.07 ± 0.04	0.02 ± 0.01
10	Paru-paru	0.75 ± 0.35	0.16 ± 0.08	0.05 ± 0.01

Studi kinetik radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP pada tikus memperlihatkan fase distribusi diikuti dengan fase eliminasi. Radioaktivitas ^{99m}Tc -CTMP dalam darah tersisa sebesar 47.92% dalam waktu kurang dari 5 menit

setelah penyuntikkan, dan satu jam setelah penyuntikan radioaktivitas yang tersisa sebesar 8.91 %. Pada 24 jam pasca injeksi radioaktivitas yang tersisa hanya sebesar 0.43%.(Gambar 1)

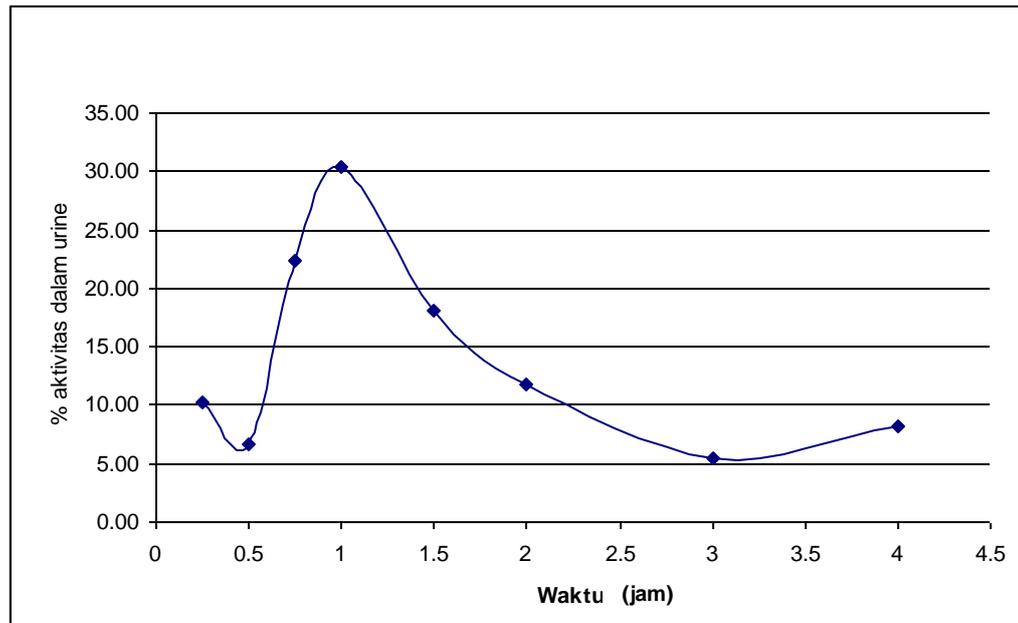


Gambar 1. Grafik *blood clearance* radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP pada tikus %ID

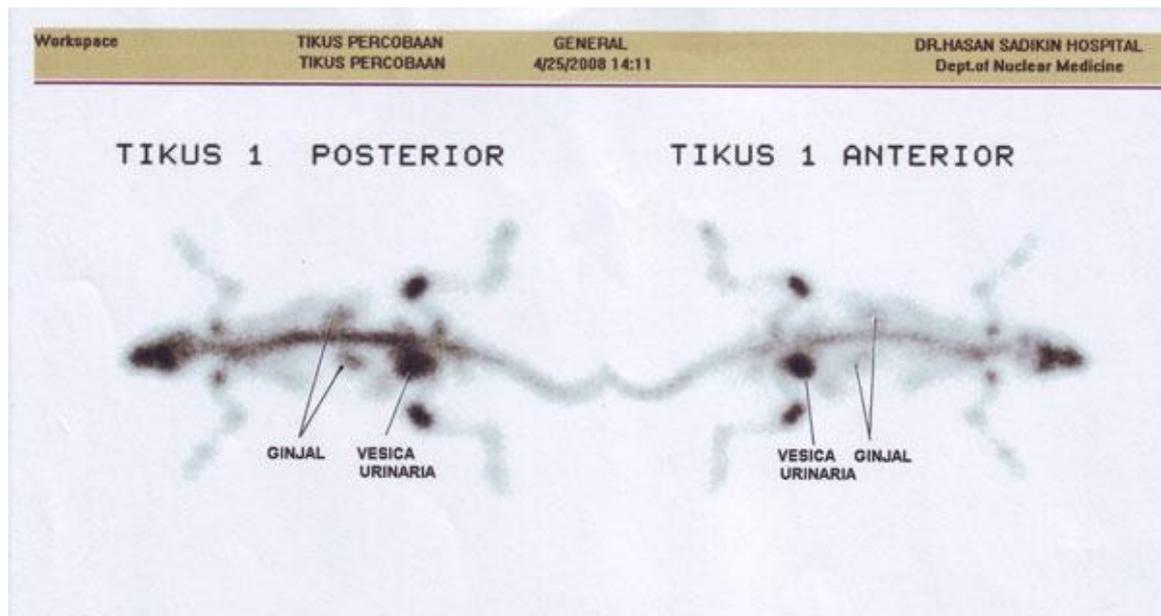
Hasil uji *renal clearance* radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP yang diekskresikan lewat ginjal melalui urin pada selang waktu penampungan 15 menit diperoleh sebesar 10.31% dan setelah 1 jam radioaktivitas yang diekresikan adalah sebesar 30.47%. Radioaktivitas dalam urine terus menurun terhadap waktu.(Gambar 2)

Hasil pencitraan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dengan kamera gamma memperlihatkan

akumulasi pada 1 jam pasca injeksi hampir seluruh jaringan tulang dari tulang kepala (thorax), tulang belakang (vertebra), bagian kaki depan dan belakang (tulang femur dan tibia), tulang rusuk, tulang ekor dan bagian persendian memberikan hasil pencitraan yang baik seperti ditunjukkan pada (Gambar 3).



Gambar 2. Grafik *urine clearance* radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP pada tikus %ID



Gambar 3. Hasil pencitraan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dengan kamera gamma

IV. KESIMPULAN

Dari seluruh hasil evaluasi yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa pada uji biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP akumulasi pada organ target (tulang)

tertinggi terjadi pada 1 jam pasca injeksi yaitu sebesar $18,38 \pm 0,84\%$. Hasil uji *blood clearance* radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dalam darah tersisa sebesar 47,92 % dalam waktu kurang dari 5 menit setelah penyuntikkan.

Hasil uji *renal clearance* radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP yang diekskresikan lewat ginjal melalui urin pada selang waktu penampungan 15 menit diperoleh sebesar 10.31% dan setelah 1 jam radioaktivitas yang diekresikan adalah sebesar 30.47%. Hasil pencitraan radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP dengan kamera gamma memperlihatkan akumulasi di daerah tulang memberikan pencitraan yang baik pada 1 jam pasca injeksi.

Berdasarkan hasil evaluasi biologis tersebut diatas maka radiofarmaka ^{99m}Tc -CTMP yang diproduksi kelompok Sintesis Senyawa Bertanda - PTNBR cukup baik untuk diagnosis tulang.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada : Iswahyudi, Yetti Suryati, Usup Ekaputra, Achmad Sidik dan Kelompok Sintesis Senyawa Bertanda yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian ini sampai makalah ini dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

1. BRENER ,W., KMPEN, W.U., BRUMMER, C., Bone uptake studies in rabbits before and after high-dose treatment with ^{153}Sm -EDTMP or ^{186}Re -HEDP., J. Nucl Med, 44 (2003) 247-252.
2. OGAWA, K., MUKAIT., INOUE Y., ONO SAJI H., Development of a novel ^{99m}Tc -chelate-conjugated biphosphonate with high affinity for bone as bone scintigraphic agent., J. Nucl. Med. 47 (2006) 2042-2047.

3. KOTARI, K., SAMUEL. G., BANERJEE,.S., UNNI,.P.R., SARMA,H.D., ^{186}Re -1,2,8,11-Tetraazacyclotetradecyl-1,2,8,11-tetramethylene phosphonic acid : A Novel agent for possible use in metastatic bone-pain palliation, J.Nucl. Med. And Biol., 28 (2001) 709-717.

PERAKITAN SISTEM TELEMONTOR RADIASI GAMMA PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH RADIOAKTIF MENGGUNAKAN RANGKAIAN KENDALI LOGIKA TERPROGRAM (*MICROCONTROLLER*)

Adi Wijayanto, Arie Budianti, L. Kwin P., M. Cecep Cepi H., Mahmudin
PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF - BATAN

ABSTRAK

PERAKITAN SISTEM TELEMONTOR RADIASI GAMMA PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH RADIOAKTIF MENGGUNAKAN RANGKAIAN KENDALI LOGIKA TERPROGRAM (*MICROCONTROLLER*).

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR–BATAN) memiliki instalasi pengolahan limbah radioaktif dan instalasi penyimpanan sementara untuk limbah radioaktif baik yang beraktivitas rendah, sedang maupun tinggi dari berbagai jenis radionuklida. PTLR telah mengolah limbah radioaktif dari seluruh Indonesia, baik dari internal BATAN maupun dari instansi luar BATAN. Saat ini, limbah olahan di tempat penyimpanan sementara limbah radioaktif (Interim Storage-1) IS-1 telah memenuhi hampir 60% dari kapasitas tampung IS-1, dan ini berarti bahwa potensi bahaya radiasi yang ada di IS-1 juga semakin meningkat. Potensi bahaya radiasi yang ada tidak dapat dihindari lagi dengan adanya peningkatan potensi bahaya paparan radiasi yang berisiko pada penerimaan dosis bagi pekerja, sehingga harus dikomunikasikan kepada pekerja, agar pekerja menjadi lebih waspada dan sadar akan keselamatannya saat bekerja di IS-1. Untuk mengetahui paparan radiasi pada daerah kerja membutuhkan sebuah sistem telemontor radiasi gamma. Sistem telemontor radiasi gamma ini dihubungkan dengan display yaitu seven segment dengan ukuran tingginya 5 inch sehingga dapat dengan mudah dibaca oleh pekerja sebelum memasuki IS-1. Tahap awal pemasangan sistem telemontor radiasi gamma, dilakukan pemilihan titik lokasi penempatan monitor radiasi. Ketinggian monitor radiasi dari permukaan lantai kurang lebih 1,5m, setinggi rata-rata orang. Perakitan monitor gamma pada prinsipnya mengubah data analog menjadi data digital kemudian data digital tersebut diolah dengan rangkaian kendali logika terprogram menggunakan microcontroller yang dihubungkan dengan display. Uji fungsi dilakukan dengan membandingkan dengan alat ukur lain yang telah terkalibrasi. Dari hasil uji fungsi dan komparasi dapat dipastikan bahwa sistem telemontor radiasi gamma di IS-1 berfungsi dengan baik, data yang dihasilkan tingkat keakuratan sangat bagus karena menggunakan rangkaian kendali logika terprogram, yaitu microcontroller.

Katakunci: Sistem Telemontor Radiasi Gamma, Paparan, Dosis, Limbah Radioaktif, dan Microcontroller

ABSTRACT

INSTALLING GAMMA RADIATION TELEMONTOR SYSTEM IN INTERIM STORAGE WITH PROGRAMMABLE LOGIC MICROCONTROLLER CIRCUITS.

Radioactive Waste Technology Centre (RWTC) – National Nuclear Energy Agency (NNEA) has an installation of radioactive waste treatment and also temporary storage (interim storage) for low intermediate and high waste. RWTC has processed radioactive waste from all over Indonesia, either from NNEA itself or institution outside of NNEA. Currently, processed waste in the interim storage (IS-1) is filled almost 60% of the storage capacity, and it means that radiation hazard potential in IS also raises up. This hazard cannot be avoided and it comes to the risk of dose Acceptance of the worker, so that it must be communicated to the worker in order to enhance the high-safety awareness of the worker when they work at IS. To know the radiation exposure on the working area, it is needed a gamma radiation telemontor system. Gamma radiation telemontor system is connected to a 7segment digital display which height is 5 inches so it can be read easily by the

worker before they enter IS-1. The early stage of making gamma radiation telemonitor is choosing the location of detector. Height of the monitor from ground is approximately 1,5m, as high as men's height. The making of gamma telemonitor is principally changing analog data into digital data then processing digital data by programmable logic microcontroller using connected microcontroller to display. Function test is done by comparison with other calibrated gamma monitor. From function and comparison testing result, gamma telemonitor surely done well. The data has a very good accuracy because it used programmable logic microcontroller circuit.

Keywords: Gamma Radiation Telemonitor System, Exposure, Dose, Radioactive Waste, and Microcontroller

I. PENDAHULUAN

Dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 tahun 2007 mengenai keselamatan radiasi pengan dan keamanan sumber radioaktif, dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 06 tahun 2009 tentang keselamatan radiasi dalam penggunaan zat radioaktif dan pesawat sinar – x untuk peralatan *gauging*, dinyatakan bahwa pengusaha instalasi harus menyediakan dan mengusahakan peralatan proteksi radiasi, pemantau dosis perorangan, pemantau daerah kerja dan pemantau lingkungan, yang dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan jenis sumber radiasi yang digunakan^[1,2]. Dengan dasar inilah dilakukan kegiatan pemasangan sistem telemonitor radiasi gamma di *IS-1*. Selain untuk memenuhi aspek legal dari peraturan BAPETEN, pemasangan sistem telemonitor radiasi gamma ini bertujuan memberikan informasi mengenai seberapa besar tingkat radiasi di daerah kerja yang akan dimasuki. Apabila telah mengetahui besaran radiasi yang akan dihadapi, diharapkan pekerja bisa lebih waspada dan berhati-hati dalam bekerja dengan sumber radiasi. Salah satu upaya dalam meningkatkan keselamatan radiasi adalah dengan mengkomunikasikan bahaya radiasi.

Komunikasi bahaya bertujuan untuk

memberikan informasi kepada pekerja mengenai potensi bahaya yang dihadapi di tempat kerja. Apabila pekerja telah mengetahui bahaya apa saja di balik pekerjaannya, diharapkan akan menjadi lebih waspada dan berhati-hati dalam bekerja dan tentunya selalu mengedepankan faktor keselamatan dalam bekerja. Komunikasi bahaya ini dapat dilakukan dengan cara memasang rambu-rambu bahaya kimia ataupun bahaya mekanik seperti misalnya, tertimpa, terpotong terjepit dan lain-lain. Termasuk pula pemasangan sistem telemonitor radiasi gamma di *IS-1*. Dengan *display* yang besar dan diletakkan di luar ruangan, sehingga dapat memberikan informasi dini besarnya paparan sebelum masuk daerah radiasi *IS-1* tersebut.

II. TEORI

Salah satu syarat perijinan adanya instalasi nuklir adalah alat ukur radiasi. Alat ukur radiasi merupakan peralatan yang sangat penting dalam kegiatan proteksi radiasi, karena radiasi tidak dapat dilihat, dibau maupun dirasa. Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar intensitas radiasi yang ada di lingkungan kerja. Apabila besaran

radiasi telah didapat, selanjutnya dibandingkan dengan nilai batasan dosis yang dikeluarkan BAPETEN. Dari sini dapat dilakukan tindakan-tindakan pengawasan ataupun pengendalian terhadap bahaya radiasi di daerah kerja. Setiap alat ukur radiasi, baik yang digunakan untuk mengukur kuantitas, energi, intensitas maupun dosis radiasi selalu terdiri dari dua bagian utama yaitu detektor dan alat penunjang^[3].

Alat ukur radiasi terdiri detektor dan peralatan penunjang elektronik. Detektor merupakan suatu bahan yang peka terhadap radiasi yang apabila terkena radiasi akan menghasilkan suatu tanggapan atau respon tertentu yang lebih mudah ditaati. Peralatan penunjang umumnya berupa peralatan elektronik, berfungsi untuk mengubah tanggapan detektor menjadi suatu informasi yang dapat diamati oleh panca indera manusia. Terdapat dua cara pengukuran radiasi yang menampilkan hasil pengukurannya secara langsung, yaitu cara pulsa dan cara arus.

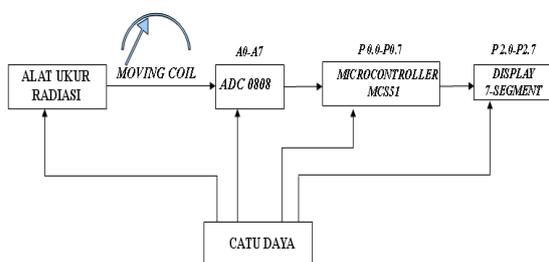
1. Cara pulsa, setiap radiasi yang mengenai alat ukur akan dikonversikan menjadi sebuah pulsa listrik. Bila kuantitas radiasi yang mengenai alat ukur semakin tinggi maka jumlah pulsa listrik yang dihasilkan semakin banyak.
2. Cara arus, pada cara arus, radiasi yang memasuki detektor tidak dikonversikan menjadi pulsa listrik melainkan rata-rata akumulasi energi radiasi per satuan waktu yang akan dikonversikan menjadi arus listrik. Semakin banyak kuantitas radiasi persatuan

waktu yang memasuki detektor, semakin besar arus listrik yang dihasilkan^[3].

Dalam kegiatan proteksi radiasi, menggunakan sistem pengukur seperti surveimeter biasanya menerapkan cara arus. Begitu juga dengan surveimeter yang digunakan dalam pembuatan sistem telemonitor radiasi gamma di *IS-I*. Prinsip pembuatan sistem telemonitor radiasi gamma ini adalah menghubungkan surveimeter analog dengan *display* digital yang besar sehingga mudah terlihat oleh pekerja sebelum memasuki *IS-IC* (limbah olahan). Surveimeter yang digunakan dalam kegiatan ini adalah surveimeter analog dengan detektor jenis *Geiger Mueller*.

Untuk prinsip kerja dari sistem telemonitor radiasi gamma ini adalah perubahan data analog menjadi data digital yang diperbesar tampilan *output*-nya. Di dalam alat ukur radiasi terdapat rangkaian pengkondisian sinyal dari detektor yang diumpankan ke *moving coil*. Dari *moving coil* tersebut terdapat perubahan tegangan 0 s.d 5 *DC* mVolt. *Moving coil* tersebut diparalel sebagai umpan pada rangkaian *ADC (Analog to Digital Converter)*. Rangkaian *ADC* yang digunakan menggunakan *IC ADC* dengan 8 bit *output*, yaitu *IC ADC 0808*. *Analog to Digital Converter* merupakan converter data analog (tegangan) ke data digital (bit) sekaligus sebagai pengkondisi sinyal. *ADC 0808* merupakan pengubah data analog ke digital 8 bit *output*. Perubahan tegangan dari 0 sd 5 mV tersebut diumpankan ke *input ADC* menghasilkan 8 bit *output* sehingga data yang

dihasilkan sudah keluaran data digital 8 bit yang kemudian dihubungkan dengan rangkaian sistem minimum *microcontroller* pada *port 0* dan *outputnya* dikeluarkan melauai *port 2*. *Microcontroller* tersebut diprogram dengan menggunakan bahasa *assembler* dengan ekstensi (*.asm) setelah kompilasi, dan diisikan ke Eprom pada *IC microcontroller* tersebut dengan ekstensi (*.hex). Untuk membuat ekstensi (*.asm) menggunakan program *ALDS (Assembler Language Development System)* dan ekstensi (*.hex) menggunakan program *ISP (In System Programming)*. *Mirocontroller* ini berfungsi untuk mengendalikan data digital yang dihasilkan oleh *ADC* kemudian ditampilkan pada *display 7-segment*. Keluaran dari Sistem minimum *microcontroller* ini, melalui *port 2* tadi dihubungkan dengan *display seven segment* common anoda. Perubahan tegangan tadi dibandingkan dengan skala yang tertera pada alat ukur (*moving coil*) dan pada *display* yang dihasilkan.sehingga data akhir yang dihasilkan berupa dosis dalam $\mu\text{Sv/jam}$.

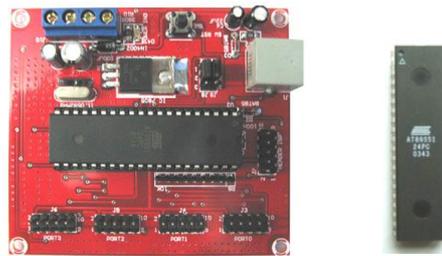


Gambar 1. Diagram Blok Sistem Telemonitor Gamma

III. TATAKERJA

A. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan yaitu alat ukur radiasi, *display* digital 7 *segment* berukuran 5 inch, *power supply* 9V DC, 12V DC, *Analog Digital Converter (ADC)* 8bit, Sistem minimum *microcontroller* AT89S51.



Gambar 2. Rangkaian Kendali Logika Terprogram (Sistem Minimum *Microcontroller* AT89S51).

B. Tata Kerja

Menentukan lokasi pemasangan, lokasi ditentukan dengan mengukur ketinggian dan posisi detektor/ *surveymeter* dari permukaan lantai. Mempersiapkan komponen yang dibutuhkan untuk dirakit diantaranya adalah alat ukur radiasi, *display* digital 7-*segment* berukuran 5 inch, *power supply* 9V DC, 12V DC, *Analog Digital Converter (ADC)*

Alat ukur radiasi jenis *ratemeter* dilakukan modifikasi dengan mengumpankan rangkaian pengkondisian *signal* dari detektor ke *moving coil*. Dari pengumpanan ini, terjadi perubahan tegangan 0 s.d 5 DC mVolt.

Perubahan tegangan diumpankan ke input *ADC* dan menghasilkan 8 *bit output*. Alat ukur yang telah dimodifikasi dihubungkan dengan rangkaian sistem minimum *microcontroller* pada *port 0* dan

outputnya dikeluarkan melalui port 2, kemudian output dari port 2 dihubungkan lagi dengan display seven segment common anoda.

Perubahan tegangan dibandingkan dengan skala yang tertera pada alat ukur (moving coil) dan pada display sehingga data yang dihasilkan sesuai dengan dosis radiasi dalam satuan $\mu\text{Sv}/\text{jam}$.

Tegangan pada alat ukur radiasi diganti dengan power supply DC 9V.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penempatan sistem telemonitor radiasi gamma yang dipilih adalah tempat penyimpanan limbah hasil olahan Interim Storage 1 (IS-1). Tempat ini dipilih karena di dalamnya, tersimpan limbah hasil olahan yang jumlahnya semakin banyak. Di tempat ini pula, sering dilakukan pekerjaan seperti pengangkutan dan bongkar muat limbah. Dengan berpedoman pada prinsip proteksi radiasi (limitasi), harus dilakukan upaya untuk mengurangi paparan radiasi terhadap pekerja. Salah satunya adalah dengan menyediakan informasi yang mudah terbaca dan mudah dipahami oleh pekerja mengenai paparan radiasi yang ada di tempat kerja tersebut.

Ketinggian titik penempatan monitor radiasi kurang lebih 1,5m. Ketinggian disesuaikan dengan tinggi rata-rata orang, sehingga dosis radiasi yang terukur adalah dosis yang mengenai pekerja. Setelah dilakukan instalasi, ratemeter yang telah dimodifikasi menjadi sistem telemonitor

radiasi gamma tersebut dipasang. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap hasil ukur yang ditampilkan. Setelah diamati, ternyata terjadi penurunan hasil ukur.



Gambar 3. Sistem Telemonitor Gamma



Gambar 4. Display Seven Segment 5 inch pada Sistem Telemonitor Gamma

Setelah dilakukan beberapa modifikasi rangkaian, sistem telemonitor radiasi gamma dapat dioperasikan. Komparasi bacaan pada moving coil ratemeter, ratemeter dan pada display adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Komparasi Moving coil Ratemeter, Ratemeter dan Display Seven Segment

Tegangan moving coil	Ratemeter	Display seven segment
0-5 mV	0-0,5 mR/jam	0-5 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$

Keterangan :

0,5mR/jam = 0,5 mrem/jam = 5 μ Sv/jam yang berarti bahwa tegangan 1mV mewakili 1 μ Sv/jam

Besarnya disipasi daya dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \cdot I$$

$$P = V \cdot \frac{V}{R}$$

$$P = V \cdot \frac{V}{\rho \cdot \frac{l}{A}}$$

$$P = V^2 \cdot \frac{A}{\rho \cdot l}$$

Keterangan :

R = Besar tahanan (Ω)

l = Panjang kabel penghantar (m)

ρ = Tahanan Jenis

untuk tembaga (0,0175)

A = Luas penampang kawat (mm²)

V = Tegangan (V)

P = Daya (Watt)

I = Arus (A)

Sehingga jika V= 5mV, P nya dapat dihitung menjadi :

$$P = V^2 \cdot \frac{A}{\rho \cdot l}$$

$$P = 0,000025 \cdot \frac{1.1.3,14}{0,0175 \cdot 15}$$

$$P = 0,00209 \text{ Watt}$$

Untuk V= 9V, P nya dapat dihitung menjadi :

$$P = 81 \cdot \frac{1.1.3,14}{0,0175 \cdot 15}$$

$$P = 0,09682 \text{ Watt}$$

Untuk prosentasi disipasi dayanya adalah

$$\eta = \frac{0,00209}{0,09682} \times 100\%$$

$$\eta = 0,0022\%$$

Disipasi dayanya kecil, sehingga tidak mempengaruhi bacaan yang dihasilkan pada *display Seven Segment* pada Sistem Telemonitor Gamma yang dihasilkan. Setelah dipastikan tidak ada lagi permasalahan disipasi daya, dilakukan uji fungsi dan komparasi terhadap sistem telemonitor radiasi gamma.

Hasil ukur sistem telemonitor radiasi gamma ini juga dibandingkan dengan hasil ukur surveimeter radiasi lain, dan dilakukan pengamatan terhadap hasil ukur selama 1 minggu.

Uji fungsi dilakukan secara bersamaan di lokasi penyimpanan limbah olahan. Radimeter disejajarkan dengan *ratemeter* sistem telemonitor radiasi gamma, kemudian dilihat hasil ukur yang ditampilkan oleh kedua alat tersebut pada waktu yang bersamaan. Hasil uji fungsi dan komparasi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Uji Fungsi dan Komparasi antara Sistem Telemonitor Gamma dengan Radiameter.

Bacaan ke-	Uji Fungsi	Komparasi	Selisih
	Sistem Telemonitor	Radiameter	Hasil Ukur (Persentase)
1	0,95	1,10	0,15
2	1,57	1,35	0,22
3	0,95	1,02	0,07
4	1,15	1,23	0,08
5	1,01	0,97	0,04
6	1,08	0,97	0,11
7	0,96	0,99	0,03
8	1,29	1,00	0,29
9	1,11	1,34	0,23
10	1,31	1,22	0,09

Perbedaan hasil ukur rata-rata adalah 0,131. Perbedaan hasil ukur ini kemudian dicari rentang skala untuk tingkat kepercayaan 95% dan didapatkan rentang tingkat kepercayaan sebesar $0,131 \pm 0,0548$. Selisih antara hasil ukur sistem telemonitor radiasi gamma dengan radiameter dengan nilai di luar rentang tingkat kepercayaan dianggap tidak valid.

Perbedaan hasil ukur dari sistem telemonitor radiasi gamma dan radiameter dipengaruhi paling utama oleh sensitivitas detektor. Selain itu, kualitas dari komponen elektrikal turut berpengaruh pada unjuk kerja dari sebuah alat ukur radiasi. Pada sistem telemonitor gamma menggunakan panjang

kabel 15 meter, disipasi dayanya masih sangat kecil $\eta=0,0022\%$, sehingga dapat dipastikan gangguan pengkabelan (*noise*) sangat kecil sehingga dapat diabaikan, serta tidak mempengaruhi bacaan nilai yang dihasilkan oleh sistem telemonitor gamma tersebut.

5. KESIMPULAN

Untuk merakit sistem telemonitor gamma ini digunakan ratemeter, ADC, mikrokontroller dan display. Dari hasil komparasi sistem telemonitor radiasi gamma dengan radiameter, 30% dari data komparasi tidak memenuhi rentang tingkat kepercayaan 95%. Namun, hal ini tidak mempengaruhi hasil bacaan alat karena kedua alat tersebut sudah dikalibrasi. Setiap alat ukur memiliki sensitivitas dan akurasi hasil yang berbeda. Perbedaan hasil ukur dipengaruhi oleh sensitivitas detektor dan komponen elektrikal penunjang alat ukur. Sistem telemonitor radiasi gamma di *IS-1* berfungsi dengan baik. Dalam perakitan sistem telemonitor gamma ini diharapkan ke depan dapat dikembangkan lagi menggunakan komputer untuk menyimpan *database* paparan radiasi gamma secara *realtime*.

DAFTAR PUSTAKA

1. PP No. 33 tahun 2007 Tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi pengion, Jakarta, 2007.
2. PERKA BAPETEN No. 06 tahun 2009 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Zat Radioaktif dan Pesawat Sinar α untuk Peralatan Gauging, Jakarta, 2009.

3. PUSDIKLAT, Deteksi dan Pengukuran Radiasi, Jakarta, 2008.
4. <http://www.batan.go.id/FAQ/faq-radiasi-2008>
5. COUGHLIN, ROBERT F dan FREDER/CK F DRISCOLL, Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier, Jakarta, 1994.
6. BUDIHARTO, WIDODO, Interfacing Komputer dan Mikrokontroler, Jakarta, 2004.

Respon Makrofag Peritoneal Terhadap *Plasmodium berghei* Stadium Eritrositik Yang Diiradiasi

Darlina, Devita T., dan Tur Rahardjo

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
(PTKMR)

ABSTRAK

RESPON MAKROFAG PERITONEAL TERHADAP *Plasmodium berghei* STADIUM ERITROSITIK YANG DIIRADIASI. Makrofag peritoneal merupakan efektor pertama yang memberikan perlawanan terhadap *P.berghei* yang disuntikkan secara intraperitoneal. Jumlah makrofag dapat ditingkatkan oleh adanya infeksi. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui respon makrofag peritoneal terhadap *P. berghei* stadium eritrositik yang diiradiasi. *P. berghei* stadium eritrositik diiradiasi dengan sinar gamma dengan dosis 150 Gy, 175Gy, dan 200 Gy kemudian disuntikan ke mencit secara intraperitoneal. Efek irradiasi *P. berghei* terhadap respon makrofag peritoneal diamati dengan melihat jumlah rerata makrofag peritoneal, dan derajat parasitemia. Dari hasil penelitian diketahui radiasi dapat melemahkan *P.berghei* sehingga daya infeksi dan daya multiplikasinya menurun sehingga jumlah makrofag menurun. Semakin besar dosis radiasi semakin menurunkan jumlah makrofag peritoneal mencit. Pada dosis 200 Gy jumlah makrofag peritoneal mendekati nol pada waktu pengamatan 144 jam.

Kata kunci: Makrofag, Iradiasi gamma, *Plasmodium berghei*, malaria

ABSTRACT

THE RESPONSE OF PERITONEAL MACROPHAGE TO IRRADIATED *Plasmodium berghei* ERYTHROCYTIC STAGE. Peritoneal macrophage is the first effector defense against *P.berghei* that infected intraperitoneal. The increasing number of macrophage was influenced the virulence parasite. This research was conducted to know the response of peritoneal macrophage to Irradiated *P. berghei* erythrocytic stage. Irradiated *P. berghei* were inoculated into mice; and the number peritoneal macrophage and parasitemia were observed. In this research, the irradiation doses were 150 Gy, 175 Gy, and 200 Gy. The result are the radiation could attenuated *P.berghei*; the infection and multiplication decreased, so the macrophage also decreased. The bigger radiation dose will make the number of macrophage peritoneal mencit more decreasing. At the dose of 200 Gy, the number of macrophage peritoneal is becoming zero for 114 hours of observation.

Key words: Macrophage, Gamma irradiation, *Plasmodium berghei*, malaria

I. PENDAHULUAN

Malaria adalah penyakit infeksi yang penyebarannya di dunia sangat luas yakni antara garis bujur 60⁰ Utara dan 40⁰ Selatan yang meliputi 100 negara yang beriklim tropis dan sub tropis. Di Indonesia, malaria masih merupakan penyakit endemis, diperkirakan 50 persen penduduk Indonesia masih tinggal di daerah endemik malaria [1].

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 [2]. Guna mengatasi kendala di atas kini upaya penanggulangan malaria banyak ditujukan untuk pembuatan vaksin untuk mencegah terjadinya infeksi

Pelemahan (atenuasi) mikroorganisma patogen merupakan strategi untuk pengembangan vaksin sejak pertama kali vaksin ditemukan oleh Louis Pasteur. Radiasi gamma dapat digunakan untuk menginaktifkan mikroorganisma untuk preparasi vaksin, disamping metode inaktivasi secara pemanasan atau kimia [3]. Pada malaria 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 [2]. Iradiasi gamma digunakan untuk melemahkan parasit malaria dalam stadium eritrositik untuk preparasi vaksin stadium eritrositik yang sehingga diharapkan dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan *plasmodium* di dalam eritrosit dan menyebabkan reduksi parsial parasitemia.

Malaria disebabkan oleh infeksi protozoa obligat intraseluler (*hemaprotzoa*) dari genus *plasmodium*. *Plasmodium sp* dapat menyerang mulai dari 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 genomnya, fungsi dan struktur pada kandidat vaksin antigen target sama. Sehingga penelitian berbagai aspek parasitologi, imunologi, dan pengembangan vaksin malaria banyak menggunakan parasit rodensia

dan mencit sebagai hospesnya. *Plasmodium berghei* adalah *hemoprotozoa* yang menyebabkan penyakit malaria pada rodensia, terutama rodensia kecil [4].

Dalam pengembangan vaksin dibutuhkan pengetahuan mengenai mekanisme imunitas terhadap malaria. Imunitas terhadap malaria sangat kompleks karena melibatkan hampir seluruh komponen sistem imun baik imunitas spesifik maupun non spesifik, imunitas humoral maupun seluler yang timbul secara alami maupun didapat sebagai akibat infeksi. Parasit yang masuk ke dalam tubuh akan segera dihadapi sistem imun tubuh, mula mula oleh 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 sistem imun dan sitokin limpa [5].

Makrofag merupakan sel efektor penting dalam perlindungan terhadap malaria. Bekerja melalui berbagai cara yaitu fagositosis langsung terhadap plasmodium, mensekresi sitokin guna mengaktifkan makrofag lainnya, mensekresi *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 [6].

Pada penelitian atenuasi *P.berghei* stadium eritrositik dengan radiasi gamma, dilakukan penghitungan makrofag *peritoneal* untuk mengetahui pengaruh besar dosis radiasi pada *P. berghei* terhadap respon imun non spesifik dari inang. Dosis radiasi diberikan pada *P. berghei* stadium eritrositik adalah 150 Gy, 175 Gy, dan 200 Gy. Respon imun non spesifik dievaluasi dengan mengamati jumlah makrofag. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dosis radiasi pada *P. berghei* pada stadium eritrositik terhadap respon imun nonspesifik, sebagai studi awal untuk mempelajari mekanisme imunitas inang pada pemberian bahan vaksin malaria yang diradiasi.

II. TATA KERJA

Propagasi parasit

P. berghei strain ANKA diperoleh dari Lembaga Eijkman dan Depkes Jakarta. Pengembang biakan parasit dilakukan dengan cara menginfeksikannya ke dalam tubuh mencit strain Swiss jantan yang berumur sekitar 2 bulan dengan berat antara 25 hingga 30 gram yang diperoleh dari Litbangkes. Mencit dipelihara dalam sangkar plastik dengan tutup kawat dan

mencit diberi makan pelet dan minum secara *ad libitum* (secukupnya).

Iradiasi *P. berghei*

P. berghei disuntikkan ke mencit secara *intra peritoneal*. Setiap dua hari sekali dilakukan pemeriksaan jumlah parasit dengan membuat apusan darah tipis. Bila jumlah *P. berghei* sudah mencapai parasitemia > 10%. Jumlah sel darah merah dihitung menggunakan hemositometer. Setelah itu mencit segera dianestesi dengan eter dan darahnya diambil langsung dari jantung menggunakan *syringe* 1 cc yang berisi anti koagulan (*citrat phospat dextrose/CPD*). Darah dibagi dalam beberapa kelompok sesuai dengan variasi dosis radiasi yang diiradiasi dengan menggunakan sumber gamma di fasilitas IRPASENA, di PATIR-BATAN. Penelitian ini dilakukan dengan variasi dosis, 0 (kontrol), 150, 175, dan 200 Gy dengan laju dosis yakni 380,2 Gy/jam

Inokulasi *P. berghei*

Inokulum merupakan *P. berghei* yang telah dilemahkan dengan sinar gamma, dengan dosis bervariasi pada laju dosis 380,5 Gy/jam. Jumlah parasit dihitung dengan menggunakan kamar hitung. Inokulasi dilakukan dengan menyuntikkan 0,2 ml inokulum yang mengandung $\pm 1 \times 10^5$ *P. berghei* stadium eritrositik secara *intra peritoneal*.

Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada 1 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 144 jam paska inokulasi meliputi angka makrofag dan parasitemia. Angka makrofag diamati dengan menyuntikkan larutan RPMI secara *intra peritoneal* kemudian mengambil cairan *intra peritoneal*. 2 μ l cairan dibuat sediaan apusan kemudian diwarnai dengan 10 % larutan *Giemsa* dibiarkan selama 30 menit. 2 μ l dimasukan ke dalam 98 μ l larutan *Tryphan blue* 1%, kemudian diambil 10 μ l dihitung dalam kamar hitung. Angka parasitemia pada mencit diamati setiap hari dengan mengambil darah perifer dari ujung ekor. Darah yang diperoleh kemudian dibuat sediaan apus darah tipis. Apusan dibiarkan mengering kemudian difiksasi dengan metanol selama 30 detik. Apusan diwarnai dengan 10 % larutan *Giemsa* dan dibiarkan selama 30 menit [7]. Semua preparat diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 1000x.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

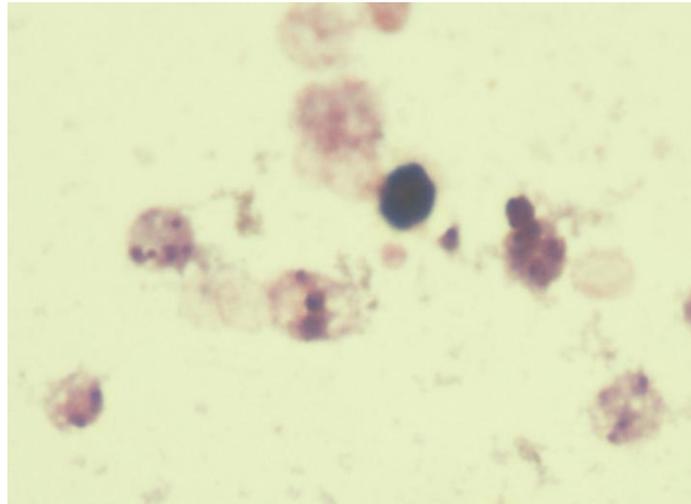
Pertahanan imun terdiri dari atas sistem imun alamiah atau nonspesifik dan respon imun yang didapat atau spesifik. Mekanisme imunitas nonspesifik memberikan pertahanan terhadap infeksi. Imunitas nonspesifik

timbul lebih cepat dibandingkan imunitas spesifik yang lebih lambat [5].

Imunitas nonspesifik selular terdiri dari sel mononuklear dan sel polimorfonuklear. Makrofag merupakan sel mononuklear yang berperanan dalam pertahanan nonspesifik. Makrofag merupakan sel monosit yang berdiferensiasi. Sel monosit yang diproduksi dalam sumsum tulang akan masuk ke dalam pembuluh darah. Setelah 24 jam, sel monosit akan bermigrasi dari darah ketempat tujuan di berbagai jaringan untuk berdiferensiasi sebagai makrofag dan dapat bertahan hidup berbulan bulan. Dalam jaringan monosit berubah menjadi makrofag dapat diaktifkan oleh mikroba. Makrofag peritoneal merupakan makrofag yang ada dalam cairan peritoneum. Kehadirannya di sepanjang kapiler memungkinkan menangkap patogen dan antigen yang mudah masuk tubuh. Semuanya mempunyai kesamaan yaitu dapat mengikat dan memakan partikel antigen dan mempresentasikannya ke sel T [6].

Pada penelitian ini parasit disuntikkan ke dalam tubuh secara *intra peritoneal*. Parasit yang masuk ke dalam *intra peritoneal* akan segera dihadapi sistim imun tubuh, mula mula oleh respon imun non spesifik. Mekanisme fisiologik imunitas

nonspesifik berupa komponen normal tubuh yang selalu ditemukan pada individu sehat dan siap mencegah mikroba masuk tubuh dan dengan cepat menyingkirkan mikroba tersebut [5]. Makrofag peritoneal merupakan efektor pertama dalam memberikan perlawanan terhadap infeksi *intra peritoneal*. Makrofag bekerja melalui berbagai cara antara lain dengan mem fagositosis langsung *plasmodium*. Jumlahnya dapat ditingkatkan oleh infeksi. Makrofag berperan dalam sistem imun nonspesifik selular. Sel ini berperanan dalam menangkap parasit, mengolah dan selanjutnya mempresentasikannya kepada sel T, yang dikenal sebagai sel penyaji atau APC. Pehancuran parasit terjadi dalam beberapa tingkat sebagai berikut, kemotaksis, menangkap, memakan, fagositosis, memusnahkan dan mencerna. Kemotaksis adalah gerakan fagosit ke tempat infeksi sebagai respon terhadap berbagai faktor biokimiawi yang dilepas oleh aktivasi komplemen [6]. Fagositosis yang efektif pada invasi parasit dini akan dapat mencegah timbulnya infeksi [5]. Dalam kerjanya sel fagosit juga berinteraksi dengan komplemen dan sistem imun spesifik.



Gambar 1. Fagositosis sel darah merah terinfeksi oleh makrofag peritoneal

Satu jam setelah inokulasi parasit secara *intra peritoneal* dilakukan pengambilan cairan *intra peritoneal* kemudian dibuat apusan dengan pewarnaan Giemsa 10 % untuk melihat aktivitas dari makrofag. Pada gambar 1 terlihat setelah satu jam makrofag sudah terlihat aktivitasnya. Makrofag sudah memfagositosis sel darah merah yang terinfeksi parasit. Satu makrofag dapat memfagositosis hingga 4 sel darah merah yang terinfeksi.

Pengamatan rerata jumlah makrofag peritoneal yang dilakukan pada 1 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 144 jam paska inokulasi. Jumlah makrofag dihitung dengan menggunakan kamar hitung. Dari

pengamatan rerata jumlah makrofag terhadap waktu pengamatan, terlihat pada kelompok mencit kontrol terjadi penurunan jumlah makrofag peritoneal seiring dengan lama waktu pengamatan (Gambar 2). Sedang pada kelompok mencit dengan perlakuan atenuasi dengan iradiasi jumlah rerata makrofag mengalami fluktuasi. Pada pengamatan 24 jam setelah penyuntikkan terlihat jumlah makrofag mengalami peningkatan dibandingkan pengamatan satu jam, hal ini kemungkinan parasit yang lemah memerlukan waktu untuk tumbuh. Sehingga jumlah parasit pada pengamatan 24 jam lebih meningkat dibandingkan 1 jam, demikian juga jumlah makrofag peritoneal. Seperti

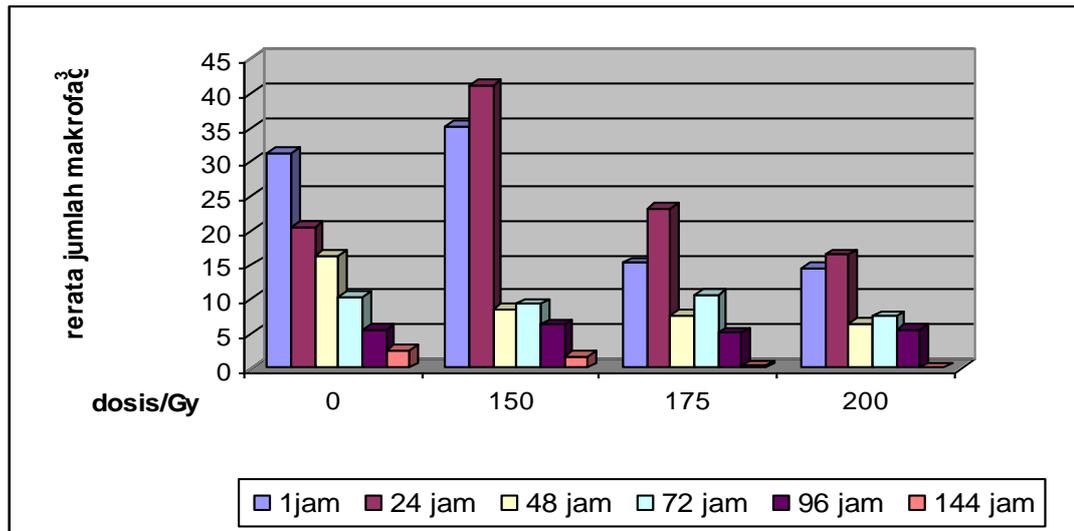
diketahui jumlah makrofag dapat ditingkatkan oleh infeksi, infeksi dipengaruhi oleh jumlah parasit. Tetapi setelah 48 jam hingga 144 jam jumlah rerata makrofag peritoneal pada kelompok mencit yang diradiasi menurun tajam. Hal ini kemungkinan dosis radiasi melemahkan parasit.

Parasit yang tidak difagositosis daya replikasinya rendah sehingga menurunkan jumlah rerata makrofag karena terjadinya penurunan infeksi parasit.

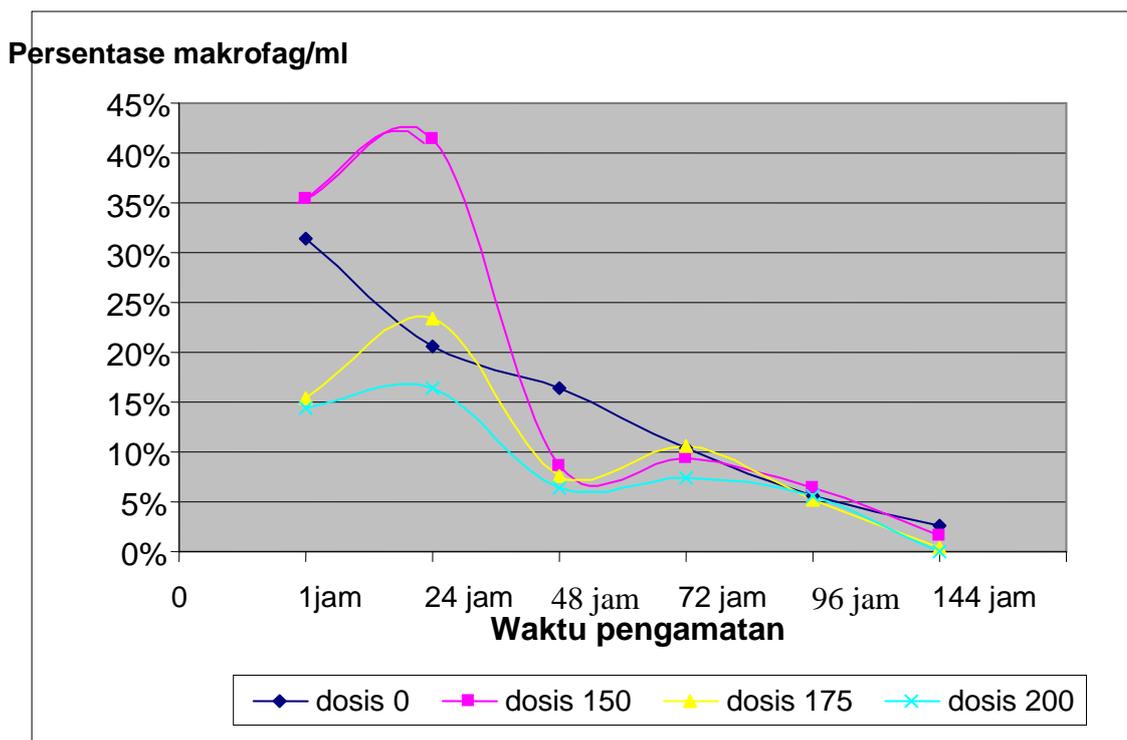
Pada Gambar 3 kurva respon makrofag peritoneal pada kelompok mencit yang diinfeksi dengan *P.berghei* yang dilemahkan, jumlah makrofagnya cenderung menurun dibandingkan kelompok kontrol. Semakin besar dosis semakin rendah jumlah makrofag peritoneal. Semakin lama waktu pengamatan semakin turun jumlah makrofagnya hingga pada jam ke-144 makrofag tidak terdeteksi lagi pada kelompok mencit dengan dosis 200 Gy. Semakin lama waktu pengamatan

jumlah makrofag peritoneal semakin menurun hal ini karena jumlah parasit di dalam cairan peritoneum semakin turun bahkan habis.

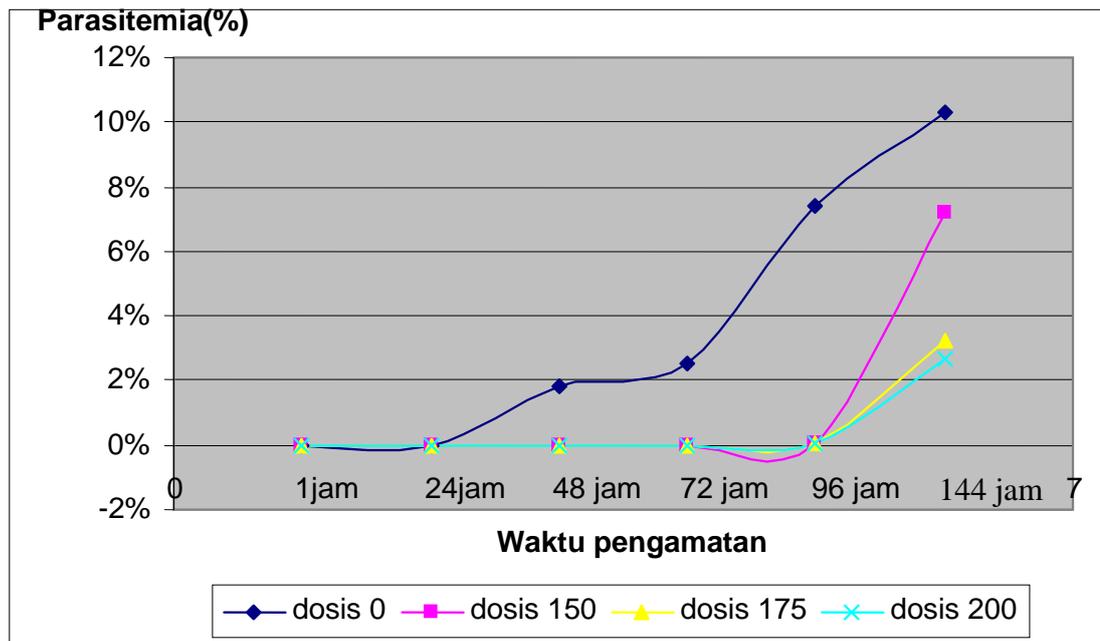
Menurunnya makrofag dalam cairan peritoneum kemungkinan karena parasit di dalam cairan peritoneum sudah difagositosis oleh makrofag tetapi sebagian parasit masuk ke dalam sirkulasi darah tepi dan menginfeksi sel darah merah. Pertumbuhan parasit dalam sirkulasi darah tepi ditandai dengan meningkatnya jumlah atau kepadatan (densitas) parasit dalam sirkulasi darah tepi. Densitas pertumbuhan parasit di dalam darah dinyatakan dengan persen parasitemia. Persen parasitemia menunjukkan jumlah eritrosit yang terinfeksi parasit [5]. Hubungan antara menurunnya jumlah makrofag dengan meningkatnya densitas parasit dalam darah dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Disini terlihat menurunnya jumlah makrofag peritoneal seiring dengan meningkatnya densitas parasit dalam darah.



Gambar 2. Pengaruh dosis radiasi pada *Plasmodium berghei* stadium eritrositik terhadap jumlah makrofağ peritoneal



Gambar 3. Respon makrofağ peritoneal pada mencit dengan perlakuan beberapa variasi dosis terhadap waktu pengamatan.



Gambar 4. Densitas *Plasmodium berghei* yang dilemahkan dengan beberapa variasi dosis

Pada Gambar 4, terlihat terjadi perbedaan periode prepaten pada kelompok mencit kontrol yang diinfeksi dengan parasit yang tidak diiradiasi dengan kelompok yang diberi perlakuan. Periode prepaten adalah waktu minimum mulai dari masuknya parasit dalam tubuh sampai dengan pertama terlihatnya merozoit di dalam eritrosit. Periode prepaten dan persen parasitemia dipengaruhi oleh virulensi parasit. Virulensi parasit salah satunya ditentukan daya multiplikasi parasit dan daya invasi parasit. Periode prepaten mencit kontrol adalah 48 jam sedangkan pada mencit yang diinfeksi dengan parasit yang diiradiasi, periode prepaten 144 jam paska infeksi (Gambar 1 dan 2). Menurut Tork dalam Landau bahwa

penundaan periode paten hingga 2 hari sudah signifikan [8].

Pada kelompok mencit kontrol, merozoit sudah terlihat dalam waktu 48 jam saat itu jumlah makrofag peritoneal masih cukup tinggi. Sedangkan pada kelompok mencit dengan perlakuan, merozoit terlihat setelah 144 jam saat itu jumlah makrofag dalam cairan peritoneum mendekati nol. Hal ini menunjukkan iradiasi dapat melemahkan parasit sehingga daya invasi dan daya multiplikasi parasit menurun sehingga jumlah makrofag menurun.

IV. KESIMPULAN

P. berghei yang masuk ke dalam *intra peritoneal* akan segera dihadapi sistem imun nonspesifik tubuh.

Makrofag peritoneal merupakan efektor pertama dalam memberikan perlawanan terhadap infeksi intraperitoneal. Makrofag bekerja melalui berbagai cara antara lain dengan mem fagositosis langsung *P.berghei*, jumlahnya dapat ditingkatkan oleh daya *P.berghei* infeksi. Radiasi dapat melemahkan *P.berghei* sehingga daya infeksi dan daya multiplikasinya menurun sehingga jumlah makrofag menurun. Semakin besar dosis radiasi semakin menurunkan jumlah makrofag peritoneal mencit. Pada dosis 200 Gy jumlah makrofag peritoneal mendekati nol pada waktu pengamatan 144 jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Initiative for Vaccine Research, State the art of vaccine research and development, (2005), <http://www.who.int/vaccines-documents>.
2. 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.
3. RAZ EYAL, JOSHUA 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.
4. LANDAU, I, P. GAUTRET, Animal models rodents In: Malaria, Parasites biology, and protection, Ed: Sherman, I.W. ASM Press, Washington, DC, 401-417 1998.
5. 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.
6. KARNEN G.B., Immunologi Dasar, Balai penerbit FKUI, Jakarta, 568 hal, 2006
7. LJUNGSTROM I., H. PERLAMAN, M. SCHILCHTHERLE, A. SHERE & M. WAHLGREEN, Methods In Malaria Research, MR4/ATCC, Manassas Virginia, 2004
8. LANDAU, J., BOULARD,Y., Life cycles and morphology, In: Rodent Malaria, R. KILLICK-KENDRICK (Ed.), Academic Press, London, 53 – 157, 1978.

PENGUKURAN KALIBRASI KELUARAN PESAWAT TERAPI LINIER ACCELERATOR (LINAC) DAN PENGUKURAN RESPON TLD-100 DENGAN METODA VARIASI DOSIS RADIASI & LUAS LAPANGAN RADIASI

Ellen Rhosa Rissi¹, Dian Milvita², dan Heru Prasetio³

^{1,2}Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Limau Manih

Padang, Kode Pos 25163, Telp (0751) 71671, E-mail : rissi_ellen@yahoo.com

³Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Cinere Pasar Jumat

PO Box 7043 JKSKL Jaksel 12070, Telp (021) 7513906, E-mail : prasetio@batan.go.id

ABSTRAK

PENGUKURAN KALIBRASI KELUARAN PESAWAT TERAPI LINIER ACCELERATOR (LINAC) & PENGUKURAN RESPON TLD-100 DENGAN METODA VARIASI DOSIS RADIASI DAN LUAS LAPANGAN RADIASI. Telah dilakukan penelitian tentang kalibrasi luaran dosis radiasi LINAC (Linier Accelerator) menggunakan luas lapangan 10 cm x 10 cm dan penentuan faktor kalibrasi dan faktor koreksi respon TLD-100 menggunakan variasi dosis radiasi dan variasi luas lapangan. Kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metoda SSD (Source to Surface Distance). Kalibrasi keluaran dosis radiasi LINAC dilakukan menggunakan detektor ionization chamber. Proses kalibrasi dilakukan dengan memberikan dosis radiasi terhadap detektor TLD-100 secara bervariasi. Kemudian dilakukan penentuan faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi luas lapangan. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah hubungan linier antara bacaan TLD-100 terhadap dosis radiasi yang diberikan dan respon TLD-100 akan berubah terhadap perubahan luas lapangan.

Katakunci: LINAC, Detektor TLD-100, kalibrasi

ABSTRACT

The research about calibration dose of radiation LINAC (Linier Accelerator) output used field size 10 cm x 10 cm and calibration factor and correction factor response to the TLD-100 used dose variation radiation and variation field size have been done. The calibration in this research has used method SSD (Source to Surface Distance). The output dose calibration radiation LINAC has done using detector of the ionization chamber. The calibration process with used give radiation dose about detector to the TLD-100 with more variation and then research factor has done in correction response to the TLD-100 about change of field size, got about result from research that is linier connection between to reading to the TLD-100 with dose radiation in used and response to the TLD-100 will changed about field size changed.

Keywords: LINAC, detector TLD-100, calibration

I. PENDAHULUAN

Teknik nuklir dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang kehidupan. Salah satunya adalah untuk keperluan medis. Pada dasarnya aplikasi teknik nuklir yang digunakan memanfaatkan energi dari radiasi pengion, baik yang berasal dari pesawat sumber radiasi pengion maupun dari radionuklida tertentu. Dalam bidang kedokteran, pemanfaatan teknik nuklir meliputi tindakan-tindakan radiodiagnostik, radioterapi dan kedokteran nuklir.

Radioterapi merupakan suatu metoda pengobatan penyakit kanker atau tumor yang menggunakan teknik penyinaran dari zat radioaktif maupun radiasi pengion lainnya. Terapi kanker dengan radiasi sangat dimungkinkan karena sel-sel kanker secara umum mempunyai kepekaan (*radiosensitivitas*) yang lebih tinggi terhadap radiasi pengion dibandingkan sel normal. Dengan pengaturan pemberian dosis radiasi secara tepat dan teliti, radiasi tersebut dapat membunuh sel-sel kanker dengan sedikit memberikan efek kerusakan terhadap sel-sel normal di sekitarnya.

Faktor utama yang mempengaruhi ketepatan dalam pemberian dosis radiasi untuk terapi kanker adalah melalui pengukuran kalibrasi luaran radiasi dari setiap pesawat radioterapi yang digunakan. Data ini sangat diperlukan sebagai standar untuk melakukan penyinaran radiasi terhadap pasien dengan tingkat akurasi tinggi dan tertelusur dalam sistim internasional. Pelaksanaan kalibrasi luaran berkas radiasi pesawat teleterapi sangat penting dilakukan, agar probabilitas

kesembuhan pasien meningkat karena mendapatkan jumlah dosis radiasi yang akurat, tepat dan teliti sesuai dengan yang direncanakan.

Mengingat bentuk dan volume organ target (kanker) berbeda-beda, maka dalam pemberian pengobatan atau terapi kanker pun menggunakan luas lapangan radiasi yang bervariasi. Untuk mengoptimalkan distribusi dosis radiasi pada organ target (kanker), maka sangat penting diketahui faktor koreksi dan faktor kalibrasi TLD-100 dengan metoda variasi luas lapangan radiasi.

II. TEORI

Radioterapi merupakan pemanfaatan radiasi pengion untuk pengobatan penyakit kanker. Perkembangannya berawal dari ditemukannya radiasi pengion berupa sinar-X oleh Roentgen pada tahun 1895 dan radioaktivitas oleh Becquerel pada tahun 1896. Radiasi pengion diketahui dapat merusak, bahkan mematikan jaringan. Semua jenis sel hidup dapat dirusak atau dimatikan dengan radiasi pengion, tetapi dosis radiasi yang dibutuhkan untuk mencapai kematian sel sangatlah bervariasi karena setiap sel memiliki *radiosensitivitas* yang berbeda-beda.

Salah satu tahapan dalam perlakuan radioterapi sebelum sampai pada penyinaran radiasi adalah kalibrasi berkas pesawat terapi eksternal yang akan digunakan. Tahapan ini sangat berperan dalam mencapai keberhasilan tujuan radioterapi. Kalibrasi untuk pesawat terapi dilakukan dengan cara menentukan laju

dosis serap pesawat terapi tersebut menggunakan alat ukur standar yang tertelusur ke standar internasional.

Pada akhir tahun 2000, IAEA mempublikasikan protokol dosimetri TRS (*Technical Report Series*) No. 398 yang diberi judul *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*.

Penentuan dosis serap air pada titik pengukuran efektif (P_{eff}) dapat ditentukan melalui Persamaan 1 :

$$D_{w,Q} = M_u \times N_{D,w} \times k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

Dengan:

$D_{w,Q}$: dosis serap di air pada titik pengukuran (Gy)

M_u : bacaan dosimeter terkoreksi rekombenasi ion, efek polaritas dan tekanan udara (digit)

$N_{D,w}$: faktor kalibrasi dosis serap air untuk LINAC

k_{Q,Q_0} : faktor koreksi kualitas berkas radiasi foton (untuk LINAC 1,2661)

Dosis serap pada suatu titik tertentu dalam fantom disebut sebagai *depth dose* (dosis kedalaman). Perbandingan antara dosis kedalaman (D) dengan dosis pada kedalaman acuan (dosis kedalaman maksimum D_{maks}) sepanjang sumbu utama dikalikan dengan 100%, dikenal sebagai *percentage depth dose* (PDD).

Untuk menghitung nilai laju dosis pada saat kedalaman maksimum, diperoleh berdasarkan

Persamaan 2:

$$D_{air} \left(d_{maks} \right) = \frac{D_{air} \left(P_{eff} \right)}{PDD} \quad (2)$$

Dengan :

$D_{air} (d_{maks})$: laju dosis pada kedalaman n cm

PDD : Percentage Depth Dose

Pengukuran dengan detektor bilik ionisasi (*ionization chamber*) membutuhkan faktor koreksi, yaitu terhadap :

1. Faktor koreksi polaritas

Setiap detektor yang akan digunakan untuk mengukur laju dosis serap air yang menimbulkan efek polaritas harus dikoreksi terhadap efek polaritas. Faktor koreksi polaritas ditunjukkan pada Persamaan 3:

$$K_{pol} = \frac{|\bar{M}_+| + |\bar{M}_-|}{2M} \quad (3)$$

Dengan :

K_{pol} : Faktor koreksi polaritas

$\bar{M}_{+,-}$: Bacaan rata-rata dari detektor *ionization chamber* (nC).

M : Bacaan rata-rata dari detektor *ionization chamber* pada saat V

2. Faktor koreksi saturasi

Untuk menentukan faktor koreksi saturasi maka dilakukan pengukuran menggunakan 2 (dua) buah tegangan. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda, dengan V_1 (tegangan normal) dan V_2 dengan kondisi penyinaran yang sama.

Pengaturan V_1 dengan bacaan M_1 dan V_2 dengan bacaan M_2 . Faktor koreksi saturasi ditunjukkan pada Persamaan 4 :

$$K_{sat} = a_0 + a_1 + \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + a_2 + \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \quad (4)$$

Dengan :

K_{sat} : faktor koreksi saturasi pada tegangan normal.

a_0, a_1, a_2 : 1,022, -0,363, 0,241

$M_{1,2}$: bacaan dari detektor kamar pengion (nC).

3. Faktor koreksi temperatur dan tekanan

Detektor ionisasi terbuka terhadap lingkungan disekitarnya, maka massa udara di dalam volume rongga detektor ionisasi selama pengukuran, mungkin berbeda dari kondisi saat detektor dikalibrasi sehingga perlu dilakukan koreksi bacaan dosimeter menggunakan Persamaan 5 :

$$K_{P,T} = \frac{P_0 \left(\frac{273,2+T}{273,2+T_0}\right)}{P \left(\frac{273,2+T}{273,2+T_0}\right)} \quad (5)$$

Dengan:

$K_{P,T}$: Faktor koreksi tekanan dan temperatur

P_0 : Tekanan udara normal acuan (1013 mBar).

T_0 : Suhu udara normal acuan (20°C).

P : Tekanan udara saat pengukuran (saat pengukuran, 10^6 mBar).

Setelah nilai $K_{P,T}$ dan K_{sat} didapatkan, maka dapat dihitung nilai M yang merupakan nilai bacaan yang telah terkoreksi dari sebuah *ionization chamber* berdasarkan Persamaan 6 :

$$M = \overline{M} \cdot K_{pol} \cdot K_{sat} \cdot K_{P,T} \quad (6)$$

Setelah nilai M didapatkan, maka kita dapat mengetahui laju dosis serap berdasarkan Persamaan 1. Hasil perhitungan laju dosis serap disebut sebagai kalibrasi berkas luaran dari pesawat terapi dan menjadi referensi atau standar untuk menentukan jumlah dosis radiasi yang akan diberikan kepada pasien.

III. TATA KERJA (BAHAN DAN METODE)

Pada penelitian ini digunakan radiasi foton (sinar-X) dari pesawat terapi LINAC Varian *Medical System 2100C* berenergi 6 MV di salah satu rumah sakit di Jakarta Timur. Penyinaran menggunakan *phantom* air dengan dosimeter bilik ionisasi (*ionization chamber*) TM 30013-2484 dan TLD-100. Teknik penyinaran yang dilakukan adalah teknik *Source to Surface Distance* (SSD). Perhitungan dosis radiasi menggunakan protokol TRS-398.

Kalibrasi luaran pesawat terapi LINAC dilakukan dengan cara menentukan laju dosis serap berkas pesawat terapi LINAC. Kalibrasi menggunakan fantom air, luas lapangan 10 cm x 10 cm, dan SSD 100 cm. Penentuan faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi dosis radiasi dilakukan dengan memvariasikan jumlah dosis radiasi pada pesawat terapi LINAC dan penentuan faktor koreksi TLD-100

terhadap luas lapangan radiasi dilakukan dengan cara memvariasikan luas lapangan penyinaran radiasi yang digunakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan Hasil kalibrasi berkas pesawat terapi LINAC menghasilkan nilai laju dosis serap sebesar 0,67905 cGy/MU pada kedalaman acuan 10 cm dan 1,018 cGy/MU pada kedalaman maksimum. Data hasil kalibrasi ini akan digunakan oleh radiografer Rumah Sakit untuk menentukan jumlah dosis radiasi yang akan diberikan kepada pasien yang akan menjalani terapi kanker.

Untuk faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi perubahan dosis radiasi yang diberikan, terlihat bahwa nilai respon TLD-100 cukup stabil dan fluktuasi nilai koreksi respon cukup kecil, sehingga perubahan besar dosis radiasi yang diberikan tidak memberikan perubahan respon yang besar dibawah 3,29%. Nilai factor kalibrasi TLD-100 tidak dipengaruhi oleh perubahan dosis yang diberikan. Kurva hubungan faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi dosis radiasi pesawat terapi LINAC diperlihatkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat kita analisa bahwa respon bacaan TLD-100 yang terjadi akan berubah terhadap perubahan luas lapangan sumber radiasi. Faktor koreksi respon TLD-100 akan semakin kecil jika luas lapangan yang diberikan semakin besar. Hal ini terjadi karena luas lapangan radiasi akan meningkatkan dosis radiasi yang keluar akibat meningkatnya radiasi

hamburan dari kolimator LINAC. Radiasi hambur dari kolimator cenderung memiliki energi yang rendah sehingga lebih mudah diserap oleh TLD-100, sehingga bacaan TLD-100 akan cenderung meningkat.

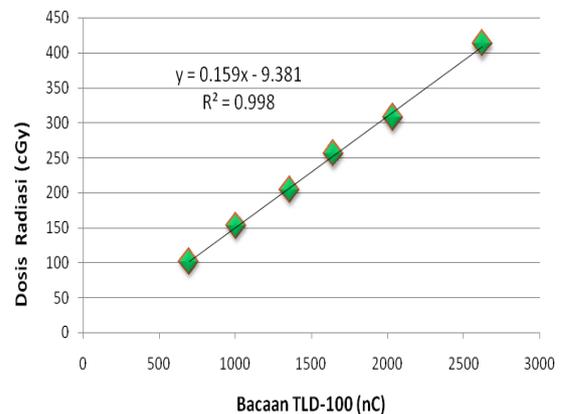
Nilai faktor kalibrasi yang didapatkan yaitu 0,137, berbeda dengan faktor kalibrasi yang didapatkan pada respon TLD-100 pada variasi dosis radiasi yaitu 0,152. Oleh sebab itu faktor kalibrasi untuk luas lapangan radiasi harus dikoreksi dengan faktor koreksi terhadap luas lapangan radiasi, karena masing-masing luas lapangan mempunyai faktor koreksi tersendiri.

Faktor kalibrasi yang telah didapatkan digunakan untuk prediksi perhitungan dosis radiasi yang diberikan kepada pasien pada luas lapangan penyinaran radiasi tertentu yang akan dikoreksi terlebih dahulu terhadap faktor koreksi yang telah didapatkan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Inneke Puspita Sari (2008), akan dibandingkan faktor koreksi yang telah didapatkan pada LINAC dengan faktor koreksi yang didapatkan pada pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi luas lapangan radiasi pada pesawat terapi Cobalt-60 diperoleh rata-rata faktor koreksi luas lapangan radiasi yaitu 0,971, lebih tinggi dari rata-rata faktor koreksi luas lapangan radiasi pada pesawat terapi LINAC yaitu 0,957. Hal ini dikarenakan pesawat terapi Cobalt-60 memiliki energi hamburan lebih rendah daripada pesawat terapi LINAC. Pesawat terapi Cobalt-60 memiliki energi hambur $\pm 1,25$ MV dan pesawat terapi LINAC memiliki energi hambur ± 6 MV. Karena energi

hambur pada pesawat terapi Cobalt-60 lebih rendah, maka perubahan luas lapangan akan meningkatkan radiasi hamburan yang keluar dari kolimator Cobalt-60. Radiasi hambur cenderung memiliki energi yang rendah sehingga lebih mudah diserap oleh TLD-100, karena TLD-100 lebih sensitif terhadap energi rendah sehingga bacaan TLD-100 akan cenderung meningkat. Dengan demikian energi hambur yang diserap TLD-100 pada pesawat terapi Cobalt-60 lebih banyak daripada yang diserap pada pesawat terapi LINAC. Dengan demikian, faktor koreksi Cobalt-60 lebih tinggi

cm, sedangkan untuk luas lapangan kecil dibawah 10 cm x 10 cm faktor koreksi Cobalt-60 lebih tinggi daripada faktor koreksi pada pesawat terapi LINAC.

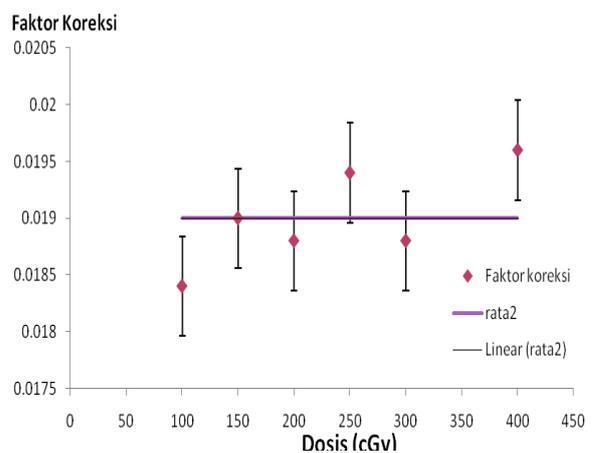


Gambar 1. Kurva Faktor Kalibrasi TLD-100 terhadap variasi dosis radiasi

Field Size (cm x cm)	Faktor Koreksi Cobalt-60	Faktor Koreksi LINAC
4 x 4	1,1609	1,065
6 x 6	-	1,059
8 x 8	1,0628	1,055
10 x 10	1	1
15 x 15	1,0034	0,965
20 x 20	0,8634	0,841
30 x 30	0,7368	0,719
Rata-rata	0,971	0,957

Tabel 2 Respon TLD-100 terhadap Variasi Luas Lapangan radiasi terhadap LINAC

daripada faktor koreksi pada pesawat terapi LINAC. Gambar perbandingan faktor koreksi respon TLD-100 antara pesawat terapi Cobalt-60 dan pesawat terapi LINAC ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 2. Fluktuasi respon dosis TLD-100 terhadap variasi dosis radiasi.

Pada Gambar 4 nilai faktor koreksi untuk kondisi luas lapangan referensi 10 cm x 10 cm memiliki nilai yang sama yaitu 1. Secara umum kedua kurva hampir berhimpitan, berarti nilai faktor koreksi untuk kedua pesawat tidak jauh berbeda untuk luas lapangan diatas 10 cm x 10

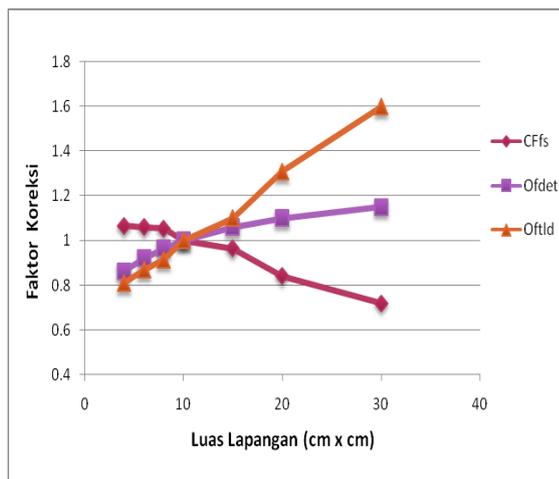
pesawat terapi Cobalt-60. Adapun data penelitian sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan nilai perbandingannya ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 1. Respon TLD-100 terhadap variasi dosis radiasi

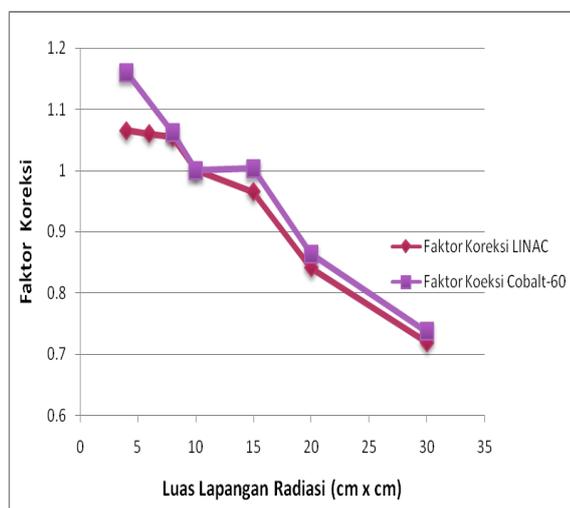
Monitor unit (MU)	Bacaan detektor <i>ionization chamber</i> (nC)	Bacaan TLD-100 (nC)	Dosis Radisi (dmaks) (cGy)	Koreksi Respon TLD-100	Faktor Kalibrasi (FK)	Variasi Respon dosis (%)
400	51,41	2620,5	413	0,0196	0,157	3.29
300	38,47	2036,3	307,8	0,0188	0,151	0.66
250	32,05	1645	256,4	0,0194	0,155	1.97
200	25,64	1360	205,1	0,0188	0,15	1.32
150	19,23	1008,7	153,8	0,0190	0,152	0.00
100	12,83	699	102,6	0,0184	0,146	3.95
Rata-rata				0,019	0,152	

Tabel 3. Respon TLD-100 terhadap Variasi Luas lapangan Radiasi Pada Pesawat Terapi Cobalt-60

<i>Field Size</i> (cm x cm)	Bacaan Detektor <i>Ioniation chamber</i> (nC)	Bacaan TLD-100 (nC)	Dosis (dmaks) (cGy)	Faktor Kalibrasi	Faktor Koreksi
4 x 4	22,13	1155	177,02	0,1532	1,065
6 x 6	23,59	1237,5	188,7	0,1524	1,059
8 x 8	24,75	1305	197,98	0,1517	1,055
10 x 10	25,64	1425,6	205,1	0,1438	1
15 x 15	27,20	1567	217,58	0,1388	0,965
20 x 20	28,23	1866,3	225,82	0,1209	0,841
30 x 30	29,49	2279,3	235,89	0,103	0,719
Rata-rata				0,137	0,957



Gambar 3. Kurva Faktor Koreksi TLD-100 Terhadap Variasi Luas Lapangan Radiasi



Gambar 4. Kurva Faktor koreksi respon TLD-100 terhadap variasi luas lapangan pada pesawat terapi Cobalt-60 dan pesawat terapi LINAC.

V. KESIMPULAN.

Sebagai hasil akhir dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Kalibrasi keluaran dosis radiasi LINAC yang dilakukan menggunakan protokol TRS 398 menghasilkan laju dosis radiasi sebesar 0,67905 cGy/MU pada kedalaman efektif 10 cm dan 1,018 cGy/MU pada kedalaman maksimum.
2. Nilai dosis radiasi dan bacaan TLD-100 akan mengalami kenaikan pada saat

dilakukan variasi dosis radiasi pada pesawat terapi LINAC. Hubungan antara respon TLD-100 terhadap variasi dosis radiasi memperlihatkan hubungan linier antara dosis radiasi terhadap respon TLD-100.

3. Respon TLD-100 yang terjadi akan berubah terhadap variasi luas lapangan yang diberikan. Koreksi respon TLD-100 akan semakin kecil jika luas lapangan yang diberikan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Akhadi Mukhlis. Dasar-Dasar Proteksi Radiasi. PT Rineka Cipta, Jakarta, 2000.
2. Akhadi Mukhlis dan M Thoyib Tamrin. Fenomena Termoluminesensi dan Pemanfaatan dalam Dosimetri. PTKMR-BATAN, Cinere Pasar Jumat, Jakarta, 1998.
3. E.B.Podgorsak. Review Radiation Oncology Physics : *A Handbook for Teacher and Students*, IAEA Publishing, 2003.
4. Huyskens. *Practical Guidelines for the Implementation of in vivo Dosimetry with Diodes in External Radiotherapy with Photon Beams (Entrance Dose)*. 2001.
5. International Commission on Radiation Unit and Measurement (ICRU). *Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy*. ICRU Report 50, ICRU Bethesda, 1993.
6. International Atomic Energy Agency (IAEA). *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice Dosimetry for Based on Standards of Absorb Dose to Water*. IAEA Technical Report Series no 398. Vienna, 2006.
7. Johns HE and Cunningham JR. *The Physics of Radiology 4th Edition*. Charles C Thomas Publisher, USA, 1983.
8. Metcalfe Peter, Tomas Kron, and Peter Hoban. *The Physics of Radiotherapy X-Rays and Electrons*. Medical Physics Publishing Madison, Wisconsin, Vernon Blvd 2007.

DOSIS RADIASI PASIEN RADIOLOGI ANAK PADA PEMERIKSAAN TORAK DI KOTA PADANG

Hasnel Sofyan¹⁾, Helfi Yuliati¹⁾, Dian Milvita²⁾ dan Sri Nengsih²⁾

¹⁾Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

²⁾Jurusan Fisika, Fak. MIPA – Universitas Andalas Padang

ABSTRAK

DOSIS RADIASI PASIEN RADIOLOGI ANAK PADA PEMERIKSAAN TORAK DI KOTA PADANG. Pengukuran dosis dari pesawat sinar-X yang diterima pasien anak untuk pemeriksaan torak menggunakan dosimeter termoluminesensi (TL) telah dilakukan di 3 rumah sakit kota Padang. Pesawat sinar-X telah digunakan sebagai alat diagnosis penyakit yang sangat membantu, namun juga dapat memberikan efek merugikan pada manusia. Karena anak-anak memiliki harapan hidup lebih panjang dan sensitivitas jaringan yang sangat tinggi, maka dosis radiasi sesungguhnya yang diterima pasien anak perlu diketahui untuk tujuan proteksi radiasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan besarnya dosis radiasi pada pasien anak dengan menggunakan dosimeter TL 100. TLD ditempelkan pada kulit pasien dengan posisi di dalam luas lapangan penyinaran dan dibaca dengan TLD reader 2000A/B. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa, rerata dosis radiasi untuk kelompok anak usia 0 – 1 tahun, 1 – 5 tahun, 5 – 10 tahun dan 10 – 15 tahun masing-masing adalah $126,66 \pm 150,58$ μGy , $117,67 \pm 93,67$ μGy , $111,55 \pm 36,38$ μGy , dan $160,95 \pm 139,18$ μGy . Dosis rerata dari penelitian ini relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai dosis maksimum yang ditetapkan NRPB.

ABSTRACT

RADIATION DOSES OF PEDIATRIC RADIOLOGY PATIENTS FOR THORAX EXAMINATIONS IN PADANG CITY. The measurements of dose from X-rays facility for pediatric patients in thorax examination using thermoluminescence dosimeter have been done at 3 hospitals in Padang city. The X-rays machines are very useful as supporting tool for diagnose diseases, however this methods can induce deleterious effects on human health. Since children have higher radiation sensitivity than adults and have longer life expectancy, so the actual dose acceptance in pediatric patients is important aspect to be monitored for radiation protection purpose. The aim of this research is to determine radiation dose in pediatric patients using TLD 100. TLDs attached on the skin of patients at position of radiation field, and readed by TLD reader type of 2000A/B. The measurement result shows the average of pediatrics radiation dose for 0 to 1 year, 1 to 5 years, 5 to 10 years and 10 – 15 years are 126.66 ± 150.58 μGy , 117.67 ± 93.67 μGy , 111.55 ± 36.38 μGy , and 160.95 ± 139.18 μGy , respectively. The average doses from this research are relatively higher than maximum doses from NRPB.

I.PENDAHULUAN

Penggunaan pesawat sinar-X sebagai alat yang sangat berarti untuk menunjang diagnostik suatu penyakit sudah tidak dapat dipungkiri lagi, sehingga penyebaran penempatan pesawat sinar-X di Indonesia sudah sampai ke tingkat Puskesmas kelas tertentu. Namun, akhir-akhir ini pada sisi lain telah diketahui dan menjadi perhatian cukup serius dampak terhadap efek jangka panjang

yang dapat ditimbulkan akibat paparan sinar-X, yaitu sebagai pencetus karsinogenik atau induksi kanker pada manusia [1]. Beberapa penelitian untuk mengetahui risiko dan yang berhubungan dengan paparan dosis radiasi pasien, hanya dilakukan pada pasien dewasa, sedikit sekali penelitian yang dilakukan terhadap pasien anak. Padahal anak-anak dengan harapan hidup lebih panjang dan sensitivitas jaringan yang sangat tinggi,

memiliki kemungkinan terjadinya efek radiasi tertunda juga akan lebih tinggi. Berdasarkan *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), kemungkinan terjadinya efek tertunda dari paparan radiasi untuk anak-anak adalah 2 – 3 kali lebih besar dari orang dewasa [2] dan risiko kanker dari paparan radiasi pada anak-anak 2 – 4 lebih besar dari orang dewasa per unit dosisnya [3,4]. Oleh karena itu, perhatian yang diberikan untuk proteksi radiasi dan QA (*quality assurance*) dalam bidang radiologi untuk anak-anak harus semakin ditingkatkan. Komisi Eropa telah mempublikasikan laporan untuk QA dan *doses reference* dari beberapa pemeriksaan radiografi sederhana pada anak-anak, tetapi nilai dosis untuk pemeriksaan kompleks seperti *micturating cystourethrography* (MCU) tidak disebutkan [5,6].

Dalam pemanfaatan sinar-X untuk keperluan radiodiagnostik harus memperhatikan aspek keselamatan dan kesehatan yang sesuai dengan prinsip *as low as reasonably achievable* (ALARA) khususnya asas jastifikasi dan optimasi seperti tertuang dalam *Basic Safety Standards-115* (BSS-115) [7]. Azas jastifikasi, adalah jika suatu kegiatan yang dapat menyebabkan adanya paparan radiasi maka kegiatan tersebut hanya boleh dilaksanakan setelah adanya pengkajian dan telah diketahui mempunyai manfaat yang lebih besar dibanding kerugian yang ditimbulkannya. Azas optimasi, adalah paparan yang ditimbulkan oleh suatu kegiatan harus ditekan serendah mungkin dengan memperhatikan faktor ekonomi dan sosial. Di

Indonesia, aspek keselamatan dan kesehatan diatur dalam PP No. 63 tahun 2000, yaitu "Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion"[8] dan Keputusan Kepala BAPETEN No. 01-P/Ka-Bapeten/I-03, yaitu "Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik" [9].

Dalam rangka meningkatkan penerapan aspek keselamatan dan kesehatan yang sesuai dengan PP No. 63 dan Keputusan Ka. BAPETEN, maka perlu dilakukan pengukuran besarnya paparan dosis radiasi yang diterima pasien foto torak (*Chest*), khususnya pasien anak. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya dosis radiasi sesungguhnya yang diterima pasien anak di RS Padang, dan diharapkan dapat dijadikan dasar untuk penelitian yang sama pada rumah sakit lainnya yang memiliki fasilitas untuk pasien torak di seluruh Indonesia. Di samping itu, dari penelitian ini juga diharapkan dosis yang diterima pasien anak dapat selalu berada dalam batasan kontrol dan atau batasan-batasan yang telah ditetapkan oleh badan dunia yang berhubungan dengan proteksi radiasi seperti NRPB (*National Radiological Protection Board*).

II.TATA KERJA

Penelitian dilakukan di rumah sakit pemerintah dan swasta yang cukup besar di kota Padang dengan jenis dan tipe pesawat sinar-X yang berbeda satu sama lainnya. Pesawat sinar-X tersebut adalah Pesawat sinar-X Mobile N 100 HF, Toshiba model KXO-15E/ZI dan Siemen. Perbedaan tipe pesawat, pada dasarnya tidak akan memberikan

pengaruh yang signifikan terhadap dosis radiasi yang diterima pasien. Besarnya dosis radiasi sangat dipengaruhi oleh parameter tegangan (kVp) dan arus waktu (mAs) alat yang digunakan.

Pengukuran dosis radiasi permukaan pada pemeriksaan torak (*Chest PA*) untuk anak dengan kelompok usia 0 – 1 tahun, 1 – 5 tahun, 5 – 10 tahun dan 10 – 15 tahun menggunakan dosimeter TL LiF:MgTi *chips* (TLD 100) buatan Harshaw. TLD yang digunakan memiliki keseragaman tanggapan dan faktor koreksi yang relatif sama dengan deviasi di bawah 10%. Sebelum digunakan, setiap TLD di-*annealing* pada temperatur 400°C selama 1 jam dan dilanjutkan dengan pemanasan pada temperatur 200°C dalam oven selama 2 jam.

Dalam pemeriksaan torak yang dilakukan, setiap pasien anak hanya menerima 1 kali penyinaran pesawat sinar-X. Pada saat bersamaan, untuk mengetahui paparan dosis yang diterima digunakan 3 TLD yang ditempelkan pada kulit dan TLD diposisikan berada dalam luas lapangan penyinaran. TLD yang telah terpapar oleh sinar-X, dibaca dengan menggunakan alat baca TLD reader Harshaw 2000A dan 2000B yang dialirkan gas N₂.

Data pasien anak dalam pemeriksaan torak yang meliputi umur, jenis kelamin, dan berat badan diperlukan untuk kelengkapan data pengukuran.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

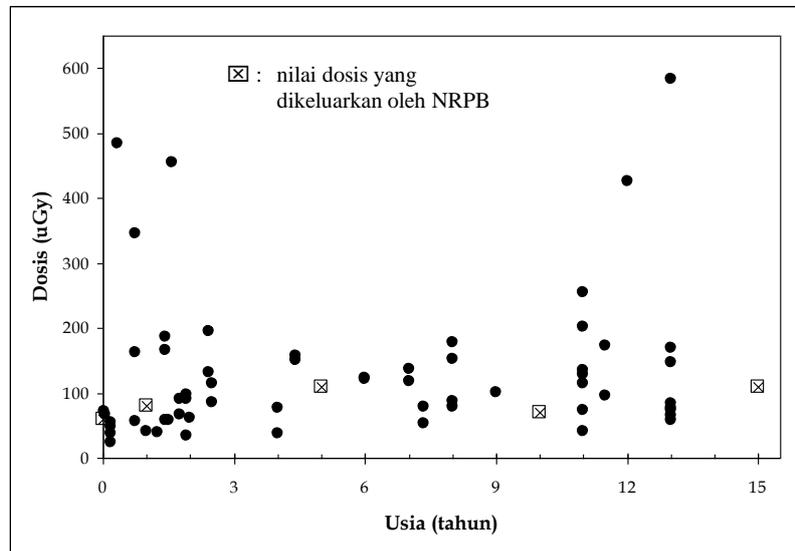
Pada saat pemeriksaan pasien, pengaturan parameter kVp dan mAs yang diberikan oleh operator pesawat sinar-X

berdasarkan pada pengalaman yang meliputi postur tubuh pasien. Pengalaman operator ini, lebih mengutamakan *image* (citra) yang terbentuk pada film tanpa memperhitungkan besarnya dosis radiasi yang seharusnya diberikan kepada pasien. Atau dapat dikatakan bahwa operator pada umumnya lebih memperhatikan azas justifikasi dan tidak mempertimbangkan azas optimasi. Karena hal ini berkaitan dengan semakin baik kualitas *image* yang terbentuk pada film, maka akan semakin mempermudah para dokter untuk menganalisis suatu penyakit.

Hasil bacaan TLD di 3 rumah sakit tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar ini, sebaran dosis yang diterima pasien anak sangat beragam dan hanya sebagian kecil yang berada di sekitar besaran dosis permukaan yang diterima pasien anak sesuai dengan usia antara 0 – 15 tahun yang dikeluarkan oleh NRPB [10] (Tabel 1). Dalam tabel ini, untuk anak usia antara 0 sampai 1 tahun menerima paparan dosis maksimum hanya sebesar 80 µGy. Dari hasil penelitian, dengan hasil kualitas citra yang baik secara medis pada kelompok usia 0 – 1 tahun diperoleh hasil yang bervariasi. Antara anak usia 4 bulan (berat badan (BB) 3,9 kg) dengan anak usia 9 bulan (BB 7,9 kg) seharusnya menerima paparan dosis radiasi yang relatif sama. Akan tetapi, karena operator yang menanganinya berbeda maka dosis radiasi yang diterima pasien anak tersebut berbeda yaitu 484,80 µGy untuk anak usia 4 bulan dan 346,30 µGy untuk anak usia 9 bulan dengan deviasi di bawah 10%. Apabila dibandingkan dengan data dari NRPB, terlihat perbedaan

yang mencapai lebih dari 4 – 6 kali lebih besar. Pada kesempatan lain, pasien anak dengan usia 2 bulan dan BB 6 kg, menerima paparan dosis

radiasi hanya 56,60 μGy . Pada kelompok usia anak lainnya juga terlihat nilai dosis yang diterima pasien anak sangat bervariasi.



Gambar 1. Sebaran dosis yang diterima pasien anak di RS Padang.

Perbedaan atau kesalahan dalam menetapkan parameter kVp dan mAs alat pada setiap kali pemeriksaan pasien, kemungkinan dapat saja terjadi karena nilai yang ditunjukkan parameter kVp dan mAs alat tidak sesuai.

Sehingga dalam rangka untuk proteksi radiasi pasien, hal ini harus mendapatkan perhatian yang lebih serius dengan cara mengkalibrasi alat tersebut secara berkala.

Tabel 1. Dosis radiasi yang diterima pasien anak sesuai jenis pemeriksaan dan usia dalam radiologi [10].

Jenis pemeriksaan	Penerimaan dosis permukaan (μGy) sesuai usia				
	0 tahun	1 tahun	5 tahun	10 tahun	15 tahun
Abdomen AP	110	340	590	860	2.010
Chest PA/AP	60	80	110	70	110
Pelvis AP	170	350	510	650	1.300
Skull AP	-	600	1.250	-	-
Skull LAT	-	340	580	-	-

Ketidak seragaman nilai dosis radiasi yang diterima setiap pasien anaka dalam satu kali pemeriksaan foto torak, tidak menjadikan kendala yang berarti dalam proses pembacaan *image* yang terbentuk pada film. Hal ini juga berarti bahwa *image* yang terbentuk masih dapat dikategorikan ke dalam kelompok dengan kualitas citra yang baik secara medis.

Namun perbedaan dosis yang diterima pasien anak perlu mendapatkan perhatian yang serius untuk tujuan proteksi radiasi.

Tabel 2 yang meliputi usia, berat, tegangan KVp dan mAs yang diberikan serta jarak antara pasien dengan pesawat sinar-X, memperlihatkan pasien anak yang menerima paparan dosis radiasi di atas 200 μGy . Dari

data yang diperlihatkan oleh NRPB, dosis radiasi maksimum yang diterima pasien anak usia 0 sampai 15 tahun adalah 110 μGy [10]. Sedangkan Tabel 3 merupakan besarnya dosis radiasi yang diterima pasien radiologi anak berdasarkan kelompok usia dari 3 rumah sakit. Pada pasien usia 0 – 1 tahun, interval antara dosis minimum dengan maksimum sangat besar sekali, dengan perbandingan lebih dari 20 kali nilai minimum dosis. Nilai minimum

dosis radiasi pada kelompok usia ini sebesar 23,30 μGy , dan dosis radiasi untuk usia 1 tahun menurut NRPB sebesar 80 μGy . Hal yang hampir sama juga terlihat untuk kelompok lainnya, terutama kelompok usia 10 – 15 tahun terlihat perbedaan melebihi 14 kali nilai minimum dosis. Sementara dosis yang ditetapkan NRPB untuk anak usia 10 dan 15 tahun masing-masing adalah 70 μGy dan 110 μGy [10].

Tabel 2. Data pasien anak hasil penelitian yang menerima dosis di atas batas NRPB.

No.	Usia	Berat Badan (Kg)	Tegangan (kVp)	Arus Waktu (mAs)	Jarak (cm)	Dosis (μGy)
1	4 bulan	3,9	55,0	10,00	91,0	484,80
2	9 bulan	7,9	54,0	12,50	89,0	346,30
3	19 bulan	8,7	58,0	12,50	90,0	455,20
4	11 tahun	16,0	47,0	8,00	89,0	254,30
5	11 tahun	45,0	58,0	0,05*	129,0	201,40
6	12 tahun	25,0	56,0	0,06*	131,0	425,40
7	13 tahun	39,0	87,5	18,00	148,0	582,60

Note : * = waktu (s) yang digunakan untuk penyinaran, tidak termasuk data untuk arus (mA)

Table 3. Dosis radiasi pada pasien anak pada rumah sakit A, B, dan C di Kota Padang berdasarkan batasan usia

	Usia (tahun)			
	0 - 1	1 - 5	5 - 10	10 -15
Rerata dosis (μGy)	126,66	117,69	111,55	160,95
Deviasi Standar (μGy)	150,58	93,67	36,38	139,18
Dosis maksimum (μGy)	484,80	455,20	177,10	582,60
Dosis minimum (μGy)	23,30	34,70	52,40	40,80
Jumlah pasien (orang)	11	20	11	18

Pemeriksaan kesehatan dengan pesawat sinar-X pada pasien anak, di samping harus mendapatkan citra yang optimal pada film, juga harus memperhatikan batasan dosis radiasi maksimal yang akan diterima pasien anak. Mengingat kemungkinan efek tertunda atau risiko kanker pada anak-anak cukup besar dibanding orang dewasa seperti yang dikemukakan oleh UNSCEAR, BEIR-V

(Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations) dan ICRP (International Commission on Radiological Protection). Maka, pemberian dosis radiasi yang sangat tergantung pada pengaturan parameter kVp dan mAs pesawat sinar-X, harus mendapatkan perhatian serius. Terutama dalam hal proteksi radiasi dan QA radiologi untuk pasien anak. Dalam radiologi anak, sebagai konsekuensi

yang penting untuk mengambil inisiatif proteksi radiasi adalah jaminan dosis yang diterima oleh pasien anak merupakan dosis minimum yang cocok dengan tujuan dan sasaran klinis. Salah satu langkah yang harus ditempuh untuk mendapatkan *image* dengan kualitas citra yang baik secara medis dan dosis radiasi yang diterima pasien dapat ditekan serendah mungkin, perlu melakukan *compliance test* pada radiodiagnostik [11].

IV. KESIMPULAN

Dosis radiasi yang diterima pasien anak di Kota Padang sangat bervariasi. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan berdasarkan kelompok usia 0 – 1 tahun, 1 – 5 tahun, 5 – 10 tahun dan 10 – 15 tahun diperoleh besarnya dosis radiasi untuk pasien anak masing-masing adalah $126,66 \pm 150,58$ μGy , $117,67 \pm 93,67$ μGy , $111,55 \pm 36,38$ μGy , dan $160,95 \pm 139,18$ μGy . Nilai rerata dosis radiasi dari penelitian ini relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai dosis maksimum untuk anak yang ditetapkan NRPB.

Dosis radiasi yang diterima pasien anak untuk pemeriksaan foto torak menggunakan pesawat sinar-X di 3 rumah sakit kota Padang sangat bervariasi. Perbedaan yang terjadi dapat disebabkan oleh faktor yang berasal dari operator pesawat sinar-X dan kondisi alat yang digunakan termasuk faktor usia alat. Dalam pemeriksaan, operator lebih mengutamakan azas jastifikasi, sehingga azas optimasi sering dilupakan dan tidak menjadi perhatian serius.

DAFTAR PUSTAKA

1. HALL, E.J., AND BRENNER, D.J., Cancer risks from diagnostic radiology, *The British J. Radiol.* Vol. 81, pp. 362 – 378 (2008).
2. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), Sources, Effects and Risks of Atomic Radiation. Vol II, New York, NY: United Nations, 2000:13, (2000).
3. ICRP 60, International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press, (1990).
4. BEIR-V. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR V Report. Washington: National Academy Press, (1990).
5. EUROPEAN COMMISSION, Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics, Report EUR 16261, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, pp. 1–35 (1996).
6. FOTAKIS, M., ATHANASOPOULOU, E.M., PSARRAKOS, K. AND ECONOMOU, I., Radiation doses to paediatric patients up to 5 years of age undergoing micturating cystourethrography examinations and its dependence on patient age: a Monte Carlo study, *The British Journal of Radiology* 76, pp. 812–817 (2003).
7. FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO and WHO. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Safety Series No. 115 CD Rom Edition (2003).
8. PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA, Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pngion, PP No. 63 Tahun 2000, (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2000 No. 136, Tambahan Lembaran Negara No. 3992. (2000).
9. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik, Keputusan Kepala BAPETEN No. 01-P/Ka-BAPETEN/I-03, Jakarta, (2003).

10. NRPB (National Radiological Protection Board), Doses to patient from medical X-ray examinations in the UK: 2000 review, NRPB-W14, Chilton (2002).
11. KUSUMAWATI, D.D., PRASETIO, H., YULIATI, H., DAN SUYATI, Urgensi compliance test pada radiodiagnostik, Prosid. Semnas Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dan Int'l. Sem. On Occupational Health and Safety I, PTKMR dan UI, 27 Agustus 2008 (2008)

PEMBUATAN SUMBER STANDAR Co-57 SEBAGAI SIMULATOR Tc-99m DENGAN SPEKTROMETER GAMMA

Hermawan Candra¹, Pujadi², Gatot Wurdianto³

¹²³Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jalan Cinere Ps. Jum'at, Kotak Pos 7043 JKSKL Jakarta Selatan 12070.
hermawan@batan.go.id

ABSTRAK

PEMBUATAN SUMBER STANDAR Co-57 SEBAGAI SIMULATOR Tc-99m DENGAN SPEKTROMETER GAMMA. Radiosotop yang sering digunakan pada kedokteran nuklir adalah I-131 dan Tc-99m. Tc-99m mempunyai waktu paro pendek 6,02 jam dan energi gamma sebesar 140,5 keV. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar Co-57 sebagai simulator atau sumber standar alternatif Tc-99m. Co-57 mempunyai waktu paro panjang 270 hari. Co-57 mempunyai energi gamma 122 dan 136 keV yang berdekatan dengan energi gamma Tc-99m 140,5 keV. Standardisasi radionuklida Tc-99m dan Co-57 menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma dengan sumber standar multi gamma Eu-152 pada rentang energi 100 keV sampai 450 keV. Hasil pengukuran efisiensi Tc-99m menggunakan sumber standar Eu-152 adalah 0.00508111. Sedangkan hasil pengukuran efisiensi Co-57 menggunakan sumber standar Eu-152 adalah 0.0052179. Perbedaan antara hasil pengukuran efisiensi Tc-99m dan Co-57 menggunakan sumber standar Eu-152 adalah 2.02%. Hasil perbedaan perhitungan efisiensi Tc-99m dan Co-57 memberikan hasil yang cukup baik sehingga Co-57 dapat digunakan sebagai simulator Tc-99m yang akan digunakan untuk mengkalibrasi dose calibrator.

Kata Kunci: Sumber standar Co-57, Simulator Tc-99m, kalibrasi, spektrometer gamma

ABSTRACT

MAKING OF Co-57 STANDARD SOURCE AS SIMULATOR OF Tc-99m WITH GAMMA SPECTROMETER. Radiosotopes which often used in nuclear medicine are I-131 and Tc-99m. Tc-99m have the short time live 6.02 hour and gamma energy is 140.5 keV. This research have been done of making of Co-57 source standard as simulator or standard source of alternative Tc-99m. Co-57 have the long time live of 270 days. Co-57 have the gamma energy 122 and 136 keV by gamma energy is gamma Tc-99m 140.5 keV. Radionuclide standardization of Tc-99m and Co-57 use gamma spectrometer counting system with standard source of multi of gamma Eu-152 energy range of 100 keV until 450 keV. Result of Tc-99m efficiency measurement use Eu-152 standard source is 0.00508111. While result of Co-57 efficiency measurement use Eu-152 standard source is 0.0052179. Difference between result of efficiency measurement of Tc-99m and Co-57 use standard source Eu-152 is 2.02%. Difference result of efficiency calculation of Co-57 and Tc-99m give the good enough result so that Co-57 serve the purpose of simulator Tg-99m to be used to calibrate the dose calibrator.

Keyword : Co-57 standard source, Simulator of Tc-99m, calibration, gama spectrometer

I. PENDAHULUAN

Bidang Kedokteran nuklir merupakan salah satu bidang yang memanfaatkan zat radioaktif sebagai tujuan damai. Kegiatan yang telah memanfaatkan zat radioaktif ini meliputi diagnosis maupun terapi berbagai penyakit. Zat radioaktif yang sering digunakan pada kegiatan-kegiatan tersebut misalnya radionuklida ^{137}Cs , ^{125}I , ^{192}Ir , ^{226}Ra , ^{131}I , ^{60}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{133}Ba , ^{18}F dan ^{41}Ar . Radionuklida Eu-152, Ho-166m dan Ba-133 sering digunakan sebagai sumber standar karena mempunyai waktu paro panjang dan mempunyai energi dengan rentang yang lebar. Eu-152 merupakan radionuklida yang mempunyai rentang energi gamma dari 100 keV sampai 1500 keV. dan mempunyai waktu paro panjang 13,1 tahun, Ho-166m mempunyai rentang energi gamma dari 80 keV sampai 1500 keV dan mempunyai waktu paro panjang 1200 tahun dan Ba-133 mempunyai rentang energi gamma dari 80keV sampai 500keV dan mempunyai waktu paro panjang 10,54 tahun. Ketiga radionuklida tersebut sering disebut radionuklida multi gamma.

Pada bidang kesehatan agar pemanfaatan zat radioaktif dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya maka perlu pengukuran aktivitas zat radioaktif yang tepat agar dosis radiasi yang akan diterima pasien terkontrol dan tidak merugikan pasien. Untuk pengukuran aktivitas zat radioaktif ini diperlukan alat yang mempunyai keandalan yang tinggi sebagai

alat acuan pengukuran aktivitas dan pengendalian mutu alat ukur radioaktivitas yaitu *dose calibrator*.

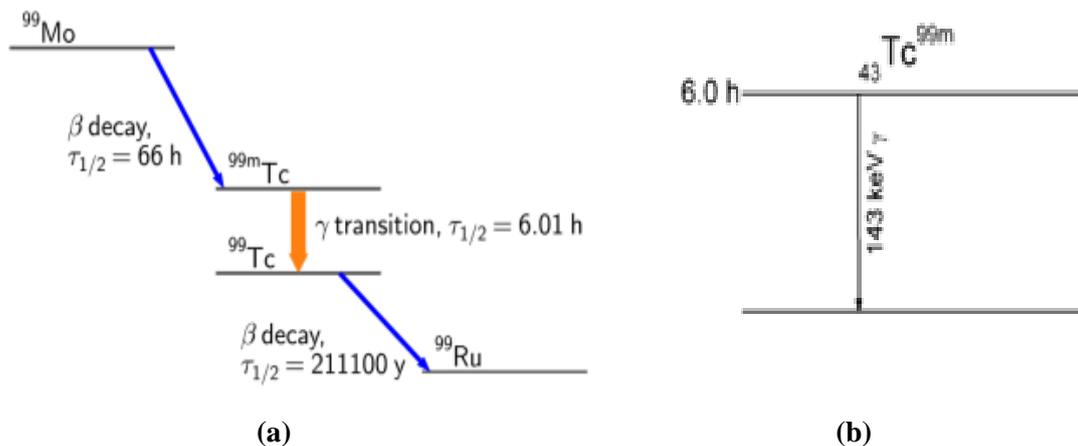
Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar Co-57 sebagai simulator Tc-99m pada kedokteran nuklir. Co-57 merupakan radionuklida yang sering digunakan sebagai sumber standar untuk mengkalibrasi alat ukur aktivitas pada rentang ukur 100keV-450keV dan sebagai simulator radionuklida Tc-99m. Tujuan kegiatan ini adalah meningkatkan kemampuan PTKMR BATAN dalam bidang metrologi radiasi khususnya pembuatan sumber standar Co-57 dan standardisasi radionuklida Co-57, menjadikan sumber standar radionuklida Co-57 sebagai standar dan simulator Tc-99m dalam mengkalibrasi alat ukur aktivitas untuk pengukuran aktivitas dengan bantuan kurva kalibrasi efisiensi dan sebagai alat untuk pengendalian mutu di laboratorium standardisasi radionuklida dan pengendalian mutu pengukuran aktivitas di rumah sakit.

II. TEORI

Radionuklida Tc-99m sering digunakan untuk bidang kedokteran nuklir tujuan diagnosa suatu penyakit dan pemeriksaan fungsi organ tubuh. Penggunaan Tc-99m sebagai radioaktif perunut dalam diagnosa penyakit. Tc-99m mempunyai waktu paro pendek 6,02 jam dan merupakan pemancar beta dan diikuti oleh gamma dengan energi gamma 140,5 keV (88,9%). Tc-99m diperoleh dari hasil peluruhan Mo-99

yang meluruh menjadi Tc-99 pada keadaan metastabil. Pada keadaan ini Tc-99m meluruh menjadi Tc-99 melalui proses transisi isomerik yang radionuklidanya akan meluruh dari keadaan metastabil menuju

keadaan stabil. Pada keadaan ini akan memancarkan sinar gamma dengan energi gamma sebesar 140,5 keV. Skema peluruhan Tc-99 dan Tc-99m disajikan pada Gambar 1(a) dan (b)



Gambar 1. (a). Skema Peluruhan Mo-99
(b). Skema Peluruhan Tc-99m

Radionuklida Tc-99m dan Co-57 mempunyai energi gamma yang berdekatan yaitu 140,5 keV dan 136,1 keV. Co-57 mempunyai waktu paro yang lebih panjang dibandingkan Tc-99m. Co-57 mempunyai waktu paro 270,9 hari. Dengan alasan tersebut Co-57 akan dipakai untuk kalibrasi alat ukur aktivitas Dose Calibrator karena energi gammanya berdekatan dan waktu paro Co-57 panjang sehingga efektif untuk sumber standar untuk kalibrasi dose calibrator sebagai simulasi radionuklida Tc-99m.

Proses standardisasi radionuklida sering dilakukan menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma. Pada pengukuran radioaktivitas sumber radioaktif menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu jenis detektor yang

digunakan, daya pisah detektor dan efisiensi detektor. Efisiensi detektor merupakan suatu ukuran yang menyatakan hubungan antara pulsa yang dihasilkan detektor dengan aktivitas dari sinar gamma yang terdeteksi. Ada beberapa jenis mengenai efisiensi detektor yaitu efisiensi mutlak dan efisiensi intrinsik. Efisiensi mutlak adalah rasio cacah pulsa yang dihasilkan detektor terhadap aktivitas yang dipancarkan sumber radioaktif sinar gamma. Pada efisiensi ini tergantung pada geometri pencacahan yaitu jarak antara sumber radioaktif dan detektor. Sedangkan efisiensi intrinsik adalah rasio cacah pulsa yang dihasilkan detektor terhadap cacah sinar gamma yang mengenai detektor. Pada efisiensi ini hanya tergantung materi detektor dan energi radiasi.

Untuk mencari hubungan antara energi sinar gamma dengan efisiensi detektor maka dilakukan kalibrasi efisiensi dengan membuat kurva kalibrasi efisiensi. Pada kalibrasi efisiensi menggunakan beberapa sumber radioaktif standar pemancar sinar gamma yang mempunyai energi sinar gamma yang tersebar dari energi rendah sampai energi gamma tinggi, misalnya dari energi 100 keV sampai 1300 keV. Selain itu juga dapat digunakan satu sumber radioaktif standar yang mempunyai rentang energi gamma rendah sampai tinggi, misalnya Eu-152 LMRI dengan rentang energi gamma 121,8 keV sampai 1408,1keV atau Ho-166m dengan rentang energi gamma 80 keV sampai 1427keV Radionuklida Eu-152 merupakan radionuklida yang meluruh dengan memancarkan partikel beta, sinar gamma dan sinar X. Radionuklida ini mempunyai jangkauan energi gamma yang cukup lebar dari 121,8 keV sampai 1408keV dan mempunyai intensitas yang besar. Salah satu kegunaan dari sumber standar Eu-152 sebagai sumber standar untuk menentukan aktivitas radionuklida secara kuantitatif

III. TATA KERJA

3.1. BAHAN DAN ALAT

Bahan-bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Radionuklida Tc-99m
- Radionuklida Co-57
- Sumber Standar Eu-152 LMRI

- Sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe GC 1018 buatan Canberra,
- High Voltage Supply TC 950 buatan Tennelec,
- Amplifier 2022 buatan Canberra, Multiport II buatan Canberra,
- Osiloskop,
- Timbangan semimikro Mettler H54R dan
- Software Genie 2000 buatan Canberra

3.2. METODE

3.2.1. Pembuatan sumber standar Co-57

Sampel Co-57 dibuat dalam bentuk padat (titik) atau *point source*. Sumber radioaktif master Co-57 cair diteteskan pada penyangga sumber mylar, sebanyak 5 buah. Penimbangan sampel dilakukan dengan variasi berat, menggunakan timbangan semimikro Mettler H54R. Sebelum dilakukan preparasi sumber radioaktif master Co-57, sumber tersebut diukur dengan sistem pencacah kamar pengion capintec. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui aktivitas total dari sumber radioaktif tersebut. Setelah mengetahui aktivitas total selanjutnya dilakukan pengenceran dan penimbangan dengan metode gravimetri. Sebagai larutan pengemban Co-57 digunakan 1 M HCl selanjutnya setelah penimbangan, dilakukan penetesan sumber radioaktif Co-57 ke penyangga sumber bentuk mylar.

3.2.2. Pengukuran Aktivitas Cuplikan Co-57 dan Tc-99m

Pengukuran aktivitas sampel Co-57 bentuk padat (titik) atau *point source* menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor semikonduktor *High Purity Germanium* (HPGe). Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan analisa kualitatif menggunakan kurva kalibrasi energi sedangkan analisa kuantitatif menggunakan kurva kalibrasi efisiensi. Sumber standar yang digunakan adalah sumber standar Eu-152 buatan LMRI. yang mempunyai rentang energi rendah sampai tinggi (121keV sampai 1408 keV). Sumber standar Eu-152 dipilih sebagai sumber standar karena mempunyai waktu paro panjang (13,1 tahun) dan mempunyai rentang energi gamma yang lebar yaitu antara (121keV sampai 1408keV) Nilai efisiensi yang sering dipakai adalah efisiensi mutlak. Nilai efisiensi tersebut dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon(E) = \frac{cps}{dps \times Y(E)} \quad (1)$$

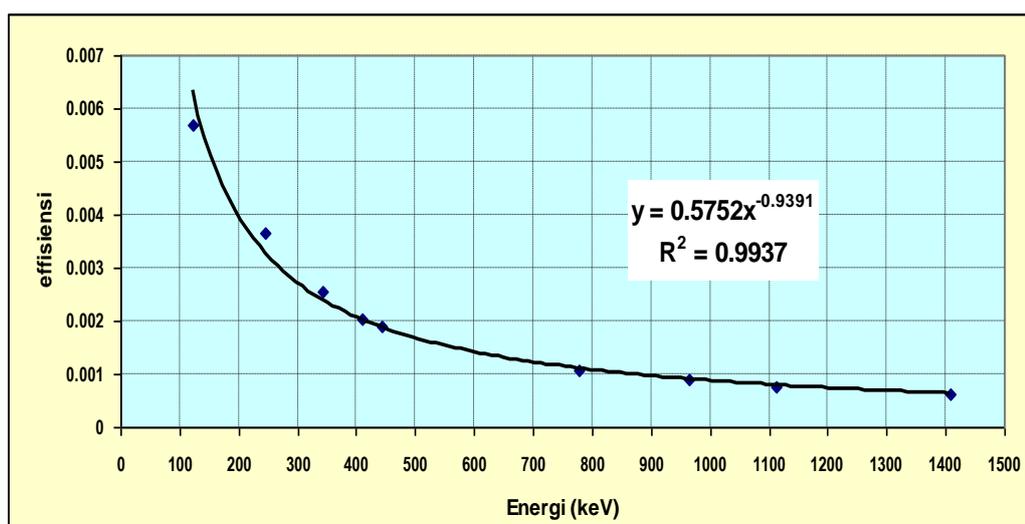
dengan :

$\varepsilon(E)$ adalah efisiensi mutlak pada energi E
cps adalah laju pencacahan pada pengukuran
dps adalah aktivitas standard pada saat pengukuran

$Y(E)$ adalah yield sebagai fungsi energi gamma

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sumber standar Eu-152 LMRI digunakan sebagai data analisa kuantitatif menggunakan spektrometer gamma untuk mendapatkan nilai efisiensi setiap energi gamma secara perhitungan. Nilai efisiensi digunakan untuk membuat kurva kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi gamma. Kurva kalibrasi efisiensi dari penentuan luas puncak serapan total untuk rentang energi 100 keV sampai 1500 keV disajikan pada Gambar 3.

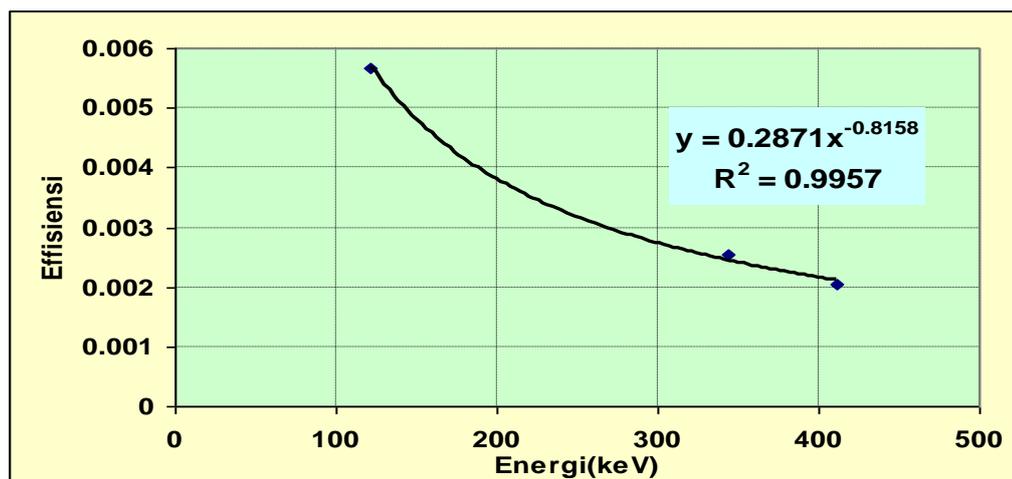


Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152 LMRI 100-1500 keV

Pada kurva kalibrasi efisiensi energi antara 100 keV sampai 1500 keV menggunakan Eu-152 LMRI diperoleh nilai korelasi R^2 sebesar 0.9937 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y = 0,5752 X^{-0,9391}$.

Radionuklida Tc-99m dan Co-57 mempunyai energi gamma berturut-turut 140,5 keV dan 136,1 keV. Pada pembuatan

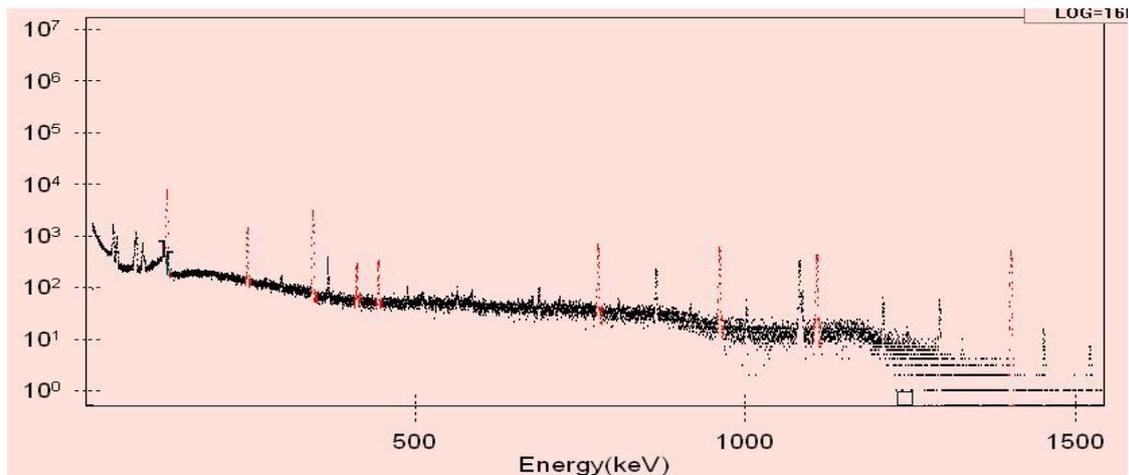
kurva kalibrasi efisiensi, penentuan luas puncak serapan total untuk energi gamma kedua radionuklida tersebut dipilih pada rentang energi 100 keV sampai 450 keV menggunakan sumber standar Eu-152. Kurva kalibrasi efisiensi dari penentuan luas puncak serapan total pada rentang energi 100 keV sampai 450 keV disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152 LMRI 100 – 450 keV

Pada kurva kalibrasi efisiensi energi antara 100 keV sampai 450 keV menggunakan Eu-152 LMRI diperoleh nilai korelasi R^2 sebesar 0.9957 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y=0,2871 X^{-0,8158}$. Pemilihan energi gamma pada Eu-152 sangat berpengaruh pada hasil kurva kalibrasi efisiensi untuk perhitungan nilai efisiensi Co-57 (136,1 keV) dan Tc-99m(140,5 keV). Energi gamma Eu-152 yang dipilih adalah pada 121,8, 344 keV dan 411 keV. Nilai koefisien linieritas yang dihasilkan cukup bagus, yaitu 0,9957. Pada metode spektrometri gamma pemilihan energi gamma yang tepat untuk kalibrasi efisiensi

sumber standar sangat diperlukan karena mempengaruhi ketepatan dan keakuratan hasil pengukuran aktivitas. Spektrum sumber standar Eu-152 disajikan pada Gambar 5 (a) dan (b). Pada Gambar 5 tampak spektrum energi gamma sumber standar Eu-152 mempunyai rentang energi yang cukup luas yaitu dari energi gamma 120 keV sampai 1500 keV yang digambarkan dengan bentuk peak.. menurut Debertin, ada 9 energy gamma yang direkomendasikan dalam pembuatan kurva kalibrasi efisiensi, karena mempunyai intensitas (yield) lebih besar dari 10%.



Gambar 5. Spektrum sumber standar Eu-152 : 100-1500keV

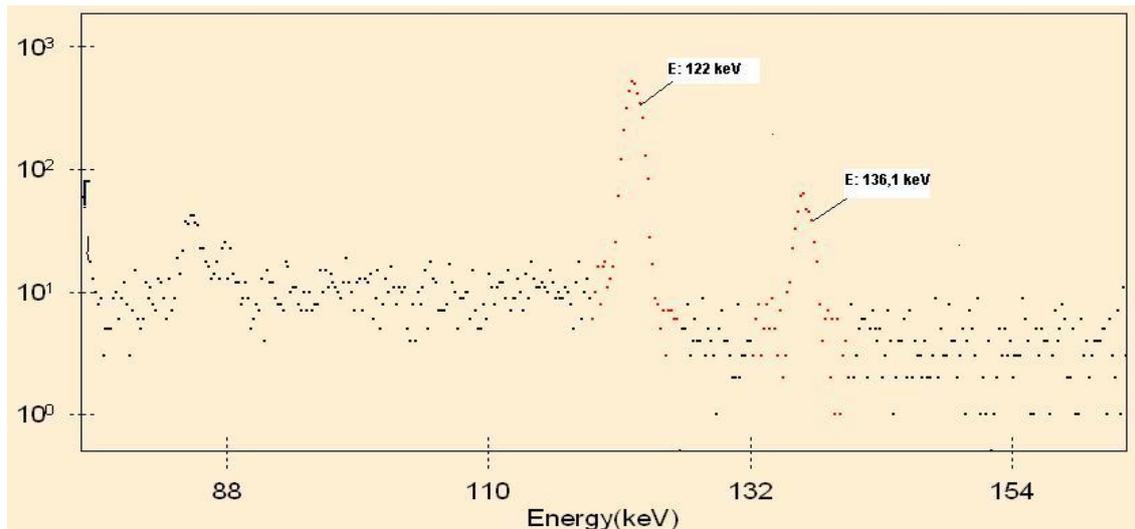
Tabel 1. menyajikan nilai efisiensi dan perbedaan nilai efisiensi dari radionuklida Tc-99m dan Co-57 pada energi gamma 140,5 keV dan 136 keV menggunakan persamaan kurva kalibrasi efisiensi antara 100 keV sampai 450 keV

Dari tabel di atas dapat dijelaskan bahwa pada radionuklida Tc-99m dengan energi gamma 140,5 keV dengan menggunakan persamaan pada kurva kalibrasi efisiensi (121 keV, 344keV dan 411keV) diperoleh nilai efisiensi sebesar 0,00508111. Nilai efisiensi tersebut digunakan untuk menghitung aktivitas radionuklida Tc-99m sebesar

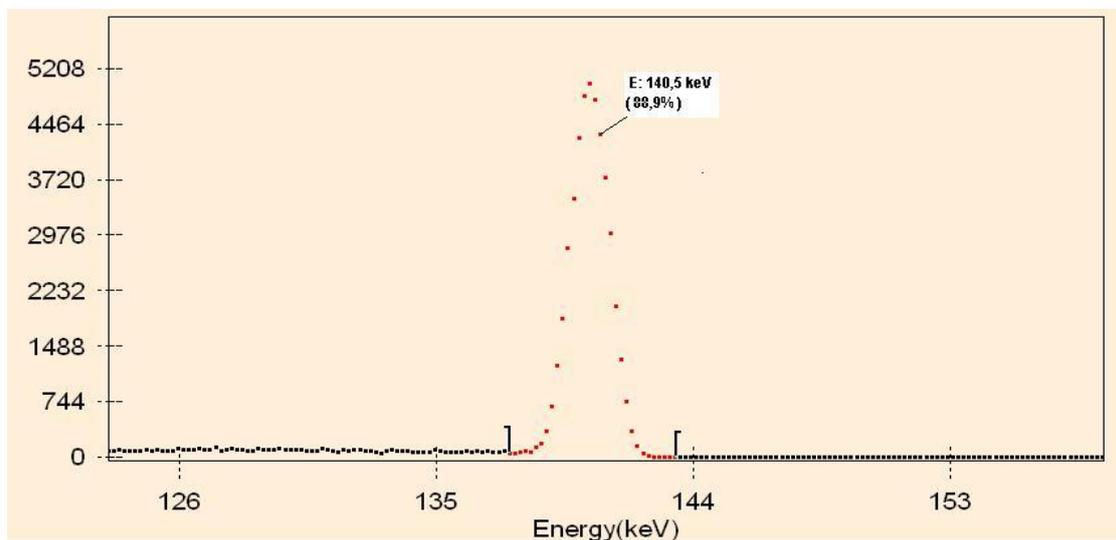
291.134 Bq/mg. Sedangkan pada perhitungan dengan menggunakan energi gamma Co-57, 136keV dengan menggunakan persamaan pada kurva kalibrasi efisiensi (121 keV, 344keV dan 411keV) diperoleh nilai efisiensi sebesar 0,0052179 . Nilai efisiensi ini juga digunakan untuk menghitung aktivitas Tc-99m dan diperoleh aktivitas sebesar 285.241 Bq/mg. Perbedaan nilai aktivitas yang diperoleh dengan menggunakan kedua nilai efisiensi tersebut relatif bagus yaitu sebesar 2,02%. Spektrum sumber standar Co-57 dan Tc-99m disajikan pada Gambar 6 di bawah ini.

Table 1. Nilai efisiensi dan perbedaan nilai efisiensi Tc-99m (140,5keV) dan Co-57 (136keV)

Radionuklida	E (keV)	Effisiensi	Aktivitas Tc-99m (Bq/mg)	Perbedaan %
Tc-99m	140,5	0,00508111	291,134	2,02
Co-57	136,1	0,0052179	285,241	



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Spektrum sumber standar Co-57 pada 136 keV
(b) Spektrum sumber standar Tc-99m pada 140 keV

V. KESIMPULAN

Dari Hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Proses standardisasi radionuklida Co-57 dengan spektrometer gamma menggunakan sumber standar Eu-152 pada energi 121, 344 keV dan 411 keV memberikan harga koefisien linieritas yang cukup bagus $r^2 = 0,9957$
2. Dari persamaan kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152, perhitungan nilai efisiensi Co-57 (136keV) dengan Tc-99m(140,5 keV) memberikan perbedaan yang cukup kecil sebesar 2,02%.
3. Sumber standar Co-57 yang dibuat pada penelitian ini layak digunakan

sebagai Simulator radionuklida Tc-99m .

4. Perlu dilakukan pengembangan sumber standar Co-57 di bidang lain sebagai sumber standar pengukuran aktivitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H.SCHRADER (1997), Activity Measurements with Ionization Chambers, Bureau International Des Poids Et Mesures
- [2]. ICRP Publication 38, Radionuclide Transformation Energy & Intensity of Emissions, Vol. 11-13, Pergamon Press, Oxford
- [3]. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, NCRP Report No. 58, November 1978.
- [4]. K. DEBERTIN AND RG. HELMER, Gamma and X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detector, 1988
- [5]. DEBERTIN, SCHOTZIG, KF WALZ, Efficiency Calibration of Semiconductor Spectrometers Techniques and Accurates ,PTB Germany
- [6]. RICHARD J.KOWALSKY, JRANDOLPH PERRY, Radiopharmaceuticals in nuclear medicine practice, Norwalk Los Altos california 1991

PENGARUH SERAPAN DIRI TERHADAP EFISIENSI PENCACAHAN PARTIKEL ALFA PADA PENCACAH TIPE SCALER 2000 YANG DILENGKAPI DENGAN DETEKTOR ZnS(Ag)

Makhsun, R. Buchari

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi –BATAN

ABSTRAK

PENGARUH SERAPAN DIRI TERHADAP EFISIENSI PENCACAHAN PARTIKEL ALFA PADA PENCACAH TIPE SCALER 2000 YANG DILENGKAPI DENGAN DETEKTOR ZnS(Ag). Salah satu masalah yang harus dipecahkan dalam pencacahan partikel alfa adalah faktor serapan diri yang besar yang disebabkan oleh daya tembus partikel alfa yang sangat kecil. Untuk mengatasi itu dibuatlah grafik kalibrasi efisiensi terhadap ketebalan sampel yang berfungsi sebagai koreksi dalam pencacahan. Dibuat enam buah variasi ketebalan dengan berat 20 mg, 70 mg, 140 mg, 300 mg, 380 mg, dan 430 mg dengan matrik serbuk alumina dan larutan uranil asetat sebagai sumber standarnya. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa semakin tebal sampel, efisiensi pencacahannya akan semakin kecil sesuai dengan persamaan : $y = -0,0084x + 9,8889$ dimana y adalah efisiensi pencacahan dan x adalah berat sampel.

Kata Kunci : serapan diri, detektor ZnS(Ag), efisiensi pencacahan.

ABSTRACT

SELF ABSORPTION EFFECT FOR ALPHA PARTICLE COUNTING EFFICIENCY AT COUNTER TYPE SCALER 2000 APPLIED WITH ZnS(Ag) DETECTOR. A problem that must be solved in alpha particle counting is high self absorption which caused by reaching power of alpha particle that very short. Making graph of efficiency calibration to sample thickness which is used for counting correction may solve the problem. It's made six thickness variations with weight of 20 mg, 70 mg, 140 mg, 300 mg, 380 mg, and 430 mg using matrix of alumina flour and uranium acetate solution as standard source. The result of calibration show that the counting efficiency equal with equation: $y = -0.0084x + 9.8889$ where y is counting efficiency and x is sample weight.

Key Word: self absorption, ZnS(Ag) detector, counting efficiency.

I. PENDAHULUAN

Pencacah tipe Scaler 2000 yang dilengkapi dengan detektor ZnS(Ag), merupakan pencacah jenis 2π buatan Ludlum Measurement Inc. USA yang portabel dan dapat dioperasikan untuk mencacah partikel alfa maupun partikel beta. ZnS(Ag) adalah sulfida seng yang berbentuk bubuk seng kristalin dengan menggunakan aktivator perak

yang digunakan sebagai sintilator untuk digunakan sebagai detektor.

ZnS(Ag) merupakan jenis detektor yang peka terhadap radiasi partikel alfa dan partikel beta. Detektor ini akan memancarkan cahaya tampak apabila terkena radiasi yang sesuai, cahaya tampak ini kemudian dikuatkan oleh PMT (*Photo Multiplier Tube*) dan cahaya inilah yang digunakan sebagai acuan untuk

menghitung jumlah radiasi yang dipancarkan oleh sumber radioaktif.

Untuk mendapatkan hasil pencacahan yang akurat perlu dilakukan kehati-hatian dalam beberapa hal, diantaranya adalah persiapan sampel, pembuatan sumber standar yang sesuai dengan sampel yang akan diukur, homogenitas sampel, laju cacah latar, kalibrasi efisiensi pencacahan, dan lain-lain.

Permasalahan yang selalu timbul dalam pencacahan partikel alfa dan partikel beta adalah faktor serapan diri yang besar yang terjadi pada sampel bila dibandingkan dengan pencacahan sinar gamma. Hal ini dikarenakan daya tembus partikel alfa dan partikel beta sangat kecil, lebih-lebih partikel alfa yang hanya mampu menembus sejauh kurang lebih 30 cm saja pada udara bebas. Oleh karena itu pada pencacahan partikel alfa banyak sekali partikel alfa yang tidak bisa menembus matrik sampel dan keluar menuju detektor, sehingga akan banyak partikel alfa yang tidak terdeteksi oleh detektor, yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap efisiensi pencacahan.

Efisiensi pencacahan dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah matrik sampel dan ketebalan sampel. Pada matrik yang berupa endapan, semakin tebal sampel yang akan dicacah, efisiensinya akan semakin rendah, hal ini disebabkan oleh adanya faktor serapan diri pada sampel tersebut. Efisiensi pencacahan didefinisikan sebagai banyaknya radiasi yang mampu dideteksi oleh detektor dibandingkan

dengan jumlah radiasi yang dipancarkan oleh sampel. Efisiensi pencacahan biasanya ditulis dalam satuan persen (%).

Sebelum melakukan pencacahan partikel alfa maupun partikel beta perlu dilakukan kalibrasi efisiensi, yaitu berupa grafik linier yang menggambarkan hubungan antara ketebalan ataupun berat sampel terhadap efisiensi pencacahan guna menghasilkan pencacahan yang akurat. Grafik efisiensi ini dibuat dengan cara membuat sampel yang bervariasi ketebalannya tetapi mempunyai aktifitas yang sama.

II. TEORI

II.1. Deteksi Radiasi Partikel Alpha dengan Detektor ZnS(Ag)

ZnS(Ag) merupakan jenis sintilator anorganik berupa sulfida seng yang berbentuk bubuk seng kristalin dengan menggunakan aktivator perak yang digunakan sebagai sintilator untuk mendeteksi partikel bermuatan. Efisiensi sintilasi ZnS(Ag) cukup baik, tetapi ZnS(Ag) tidak mampu melewatkan cahaya dengan baik. Dengan demikian ZnS(Ag) hanya digunakan dalam bentuk lapisan yang sangat tipis, supaya hanya terjadi sedikit penyerapan cahaya yang dihasilkan oleh interaksi partikel bermuatan dengan ZnS(Ag). Konsekuensi penggunaan lapisan tipis ini ialah bahwa hanya partikel-partikel yang mempunyai daya ionisasi besar yang dapat dideteksi. Dalam hal ini partikel alpha dan partikel beta memenuhi syarat untuk dapat dideteksi¹.

Partikel bermuatan yang melewati sintilator akan membentuk banyak pasangan *elektron-hole* yang dihasilkan karena terjadi proses eksitasi elektron-elektron dari pita valensi ke pita konduksi. *Hole* yang bermuatan positif akan segera menuju ke kedudukan aktivator dan mengionisasi aktivator tersebut. Sedangkan elektron dapat terus bergerak bebas dalam kristal sebelum menumbuk aktivator yang telah terionisasi. Pada tumbukan ini elektron dapat turun ke kedudukan aktivator dan menciptakan suatu tingkat tenaga tereksitasi. Apabila tingkat tenaga yang terbentuk ini memungkinkan terjadinya de-eksitasi dari tingkat tenaga tersebut ke tingkat dasar, maka akan terjadi proses de-eksitasi yang sangat cepat dan mempunyai kebolehdijadian yang besar untuk memancarkan foton tampak ². Proses yang terjadi dalam detektor sintilasi dibagi dalam tiga tahap yaitu :

a. Proses Absorpsi

Partikel bermuatan yang masuk ke dalam sintilator akan kehilangan energinya. Semakin besar energi yang dimiliki oleh partikel maka jarak tempuhnya akan semakin besar, sehingga jumlah material detektor yang terionisasi akan semakin banyak.

b. Proses Sintilasi

Sintilasi atau pemancaran radiasi akan timbul karena adanya *de-eksitasi* elektron-elektron *sintilator* untuk mencapai kestabilan

kembali setelah mengalami eksitasi pada proses absorpsi.

c. Konversi Sinar (Radiasi) menjadi Pulsa Listrik

Sinar yang dipancarkan oleh sintilator diarahkan pada katoda dari suatu tabung pengganda elektron (PMT) yang secara optik digandeng dengan sintilator tersebut. Cahaya yang dihasilkan oleh sintilator pada saat terkena radiasi ditangkap oleh fotokatoda yang terpasang pada PMT. Pada tabung ini selain terdapat fotokatoda juga ada banyak anoda (disebut dinoda). Setiap dinoda diberi tegangan yang berbeda satu dengan yang lain, semakin jauh dari fotokatoda tegangannya semakin besar ³.

Fotokatoda yang terkena cahaya sintilasi akan melepaskan elektron. Ini terjadi akibat adanya tumbukan antara foton cahaya sintilasi dengan fotokatoda pada PMT, sehingga menghasilkan elektron. Elektron yang terjadi akibat tumbukan itu akan ditarik oleh dinoda pertama untuk diperbanyak, dan elektron-elektron yang telah diperbanyak ini akan ditarik lagi oleh dinoda kedua untuk diperbanyak lagi, begitu seterusnya sampai pada dinoda terakhir sehingga dihasilkan cukup banyak elektron. Banyaknya elektron-elektron sekunder yang digandakan dari satu dinoda ke dinoda yang lain mempunyai kelipatan sebagai berikut : jika pada PMT mengandung n dinoda dan setiap dinoda menimbulkan penggandaan M kali, maka banyaknya elektron yang

dihasilkan akan menjadi M^n kali. Bila dinoda terakhir ini dihubungkan dengan suatu rangkaian hambatan, maka elektron-elektron tersebut akan menghasilkan pulsa listrik negatif. Tinggi pulsa keluaran dari PMT sebanding dengan energi radiasi, sedangkan jumlah pulsa sebanding dengan intensitas radioaktif yang datang³.

Tinggi pulsa yang dikeluarkan dari PMT pada tipe ini sekitar 20 mV, tinggi pulsa ini masih terlalu kecil untuk dapat dianalisa sehingga diperlukan penguatan. Penguatan pada sistem pencacah ini dilakukan melalui dua tahap. Dengan sistem penguat tersebut akan diperoleh tinggi pulsa dalam orde volt yang cukup untuk dapat dianalisa oleh sistem pencacah.

Hubungan antara aktivitas radioaktif dengan cacahan secara umum dapat digambarkan seperti pada persamaan berikut:

$$C = A_c t \eta \quad (1)$$

dengan C adalah jumlah cacahan, A_c adalah aktivitas sumber radioaktif (dps), t adalah lamanya waktu pencacahan (s) dan η adalah efisiensi pencacahan (cps/dps).

Dari Persamaan (1) dapat diketahui efisiensi detektor yaitu :

$$\eta = \frac{C}{A_c t} = \frac{N}{A_c} \quad (2)$$

dengan N adalah cacah per satuan waktu (laju cacah) (cps).

II.2. Faktor Serapan Diri

Faktor serapan diri terjadi karena adanya daya tembus yang kecil pada radiasi partikel alfa dan beta. Semakin kecil daya tembusnya maka semakin besar faktor serapan dirinya. Daya tembus sebuah partikel juga tergantung pada energi yang dimiliki oleh partikel tersebut, semakin besar energi yang dimiliki maka akan semakin besar daya tembusnya. Pada akhirnya energi yang dimiliki oleh sebuah partikel secara tidak langsung juga akan berpengaruh terhadap faktor serapan diri.

Medium yang biasa digunakan untuk menetapkan hubungan antara jangkauan dan energi bagi partikel alpha adalah udara. Untuk energi-energi yang kurang dari 4 MeV dan untuk energi antara 4 MeV- 8 MeV, jangkauan dalam udara pada suhu 0°C dan tekanan 760 mmHg dapat didekati secara teliti dengan persamaan-persamaan berikut¹:

$$R(\text{cm}) = 0,56E \quad \text{untuk } E < 4 \text{ MeV} \quad (3)$$

$$R(\text{cm}) = 1,24E - 2,62 \quad \text{untuk } 4 \text{ MeV} < E < 8 \text{ MeV} \quad (4)$$

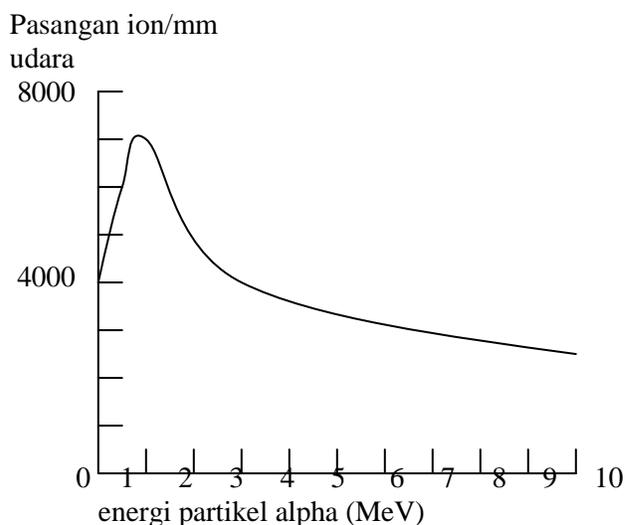
dengan R adalah jangkauan partikel alpha dalam udara (cm) dan E adalah energi radiasi alpha (MeV).

Sedangkan ketebalan medium yang mampu dijangkau oleh partikel alpha dalam medium selain udara dapat dirumuskan dalam persamaan berikut³:

$$R_m (\text{mg/cm}^2) = 0,56A^{1/3}R \quad (5)$$

dengan R_m adalah ketebalan medium yang mampu dijangkau oleh partikel alpha dalam medium selain udara (mg/cm^2), A adalah massa atom total medium, dan R adalah jangkauan partikel alpha dalam udara (cm).

Pada saat bergerak melintasi udara, sebuah partikel alpha kehilangan sekitar 35 eV per pasangan ion yang terbentuk. Karena tingginya muatan elektron dan kecepatan yang relatif rendah karena besarnya massa, maka ionisasi jenis dari suatu partikel alpha sangat tinggi kira-kira puluhan ribu pasangan ion per cm di udara. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva ionisasi dari partikel alpha di udara pada suhu dan tekanan standar ³

III. ALAT DAN BAHAN

- Detektor ZnS(Ag) model 43-2-2 dan Scaller model 2000 buatan Ludlum Measurement Inc, Texas
- Planset berdiameter 5 cm, lampu infra merah, ayakan berukuran 200 mesh, neraca, gelas kimia, vial plastik, sendok, sarung tangan karet, oven, masker, penggerus, batang pengaduk, pinset dan lain-lain.
- Sumber standar serbuk U_3O_8 0,527 % dengan konsentrasi 18,425 Bq/g
- Sumber standar larutan uranyl asetat dengan konsentrasi 71,6648 Bq/ml
- Larutan HNO_3 0,1 M dan $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_5$
- Serbuk Al_2O_3 (alumina) 200 mesh dan Tanah dihaluskan hingga 200 mesh

IV. METODOLOGI

IV.1. Uji Homogenitas Sampel

Uji homogenitas sampel diperlukan sebelum melakukan kalibrasi efisiensi ataupun pengukuran suatu aktifitas radioaktif agar diperoleh suatu metode preparasi sampel yang baik dan homogen. Oleh karena itu dilakukan dua cara uji homogenitas sampel untuk mengetahui kehomogenan yang lebih baik. Yang pertama yaitu dengan menyampurkan 400 mg serbuk alumina dengan 100 mg serbuk sumber standar U_3O_8 0,527 % dengan konsentrasi aktivitas 18,425 Bq/g dengan cara diaduk. Sampel tersebut dibagi menjadi lima bagian masing-masing 100 mg dan diletakkan dalam planset. Setelah itu sampel ditetesi larutan HNO_3 0,1 M lalu dikeringkan baru kemudian dicacah.

Sedangkan cara yang kedua yaitu dengan menyampurkan 5 ml larutan uranyl asetat dengan konsentrasi 71,6648 Bq/ml, 10 ml larutan HNO_3 , dan 500 mg serbuk alumina dengan cara diaduk dan dikeringkan, kemudian sumber standar tersebut diaduk kembali. Langkah selanjutnya sampel dibagi menjadi lima bagian masing-masing 100 mg dan diletakkan dalam planset dan ditetesi larutan HNO_3 0,1 M, lalu diuapkan di bawah lampu inframerah hingga kering baru kemudian dicacah.

Untuk menambah homogenitas sampel dapat dilakukan dengan penambahan TEG (tetra etilen glikol) pada sampel⁵, sedangkan

untuk mengurangi absorpsi diri yang diakibatkan oleh penambahan TEG, sampel dipanaskan menggunakan oven pada suhu 200° C selama 1 jam. Penambahan 4 tetes TEG pada masing-masing planset dilakukan setelah pencacahan pertama selesai dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan homogenitas antara sampel yang menggunakan TEG dan sampel yang tidak menggunakan TEG.

IV.2. Kalibrasi Efisiensi Pencacahan

Kalibrasi efisiensi pengukuran dilakukan untuk mendapatkan grafik hubungan antara ketebalan sampel terhadap efisiensi pengukuran. Sehingga pada saat pengukuran aktivitas sampel sesungguhnya dapat diketahui efisiensi pengukuran pada ketebalan sampel yang digunakan.

Pada pembuatan standar dengan variasi ketebalan dipilih cara kedua dalam preparasi sampelnya karena cara ini terbukti lebih homogen dibandingkan cara pertama. Larutan uranyl asetat yang digunakan pada tiap-tiap planset masing-masing sebanyak 1 ml dengan aktivitas sebesar 71,665 Bq. Sampel standar dibuat dengan menggunakan matrik serbuk alumina sebagai pengencer untuk memvariasikan ketebalannya. Dibuat enam buah variasi ketebalan dengan cara mengisikan serbuk alumina pada tiap-tiap planset dengan berat yang berbeda-beda yaitu sebesar 20 mg, 70 mg, 140 mg, 300 mg, 380 mg, dan 430 mg, karena planset yang digunakan berdiameter 2

inci maka diperoleh ketebalan sampel dan 1.
konsentrasi aktifitas seperti tertera dalam Tabel

Tabel 1. Variasi ketebalan sampel untuk kalibrasi efisiensi pencacahan

No Planset	Masa Sampel (mg)	Ketebalan (mg/cm ²)	Konsentrasi Aktifitas (Bq/g)
1	20 ± 0,1	0,99	3.583,25
2	70 ± 0,1	3,45	1.023,79
3	140 ± 0,1	6,91	511,89
4	300 ± 0,1	14,80	238,88
5	380 ± 0,1	18,74	188,59
6	430 ± 0,1	21,21	166,66

Efisiensi pencacahan didefinisikan sebagai perbandingan antara cacahan dengan aktivitas sumber standar. Efisiensi pencacahan dapat ditulis dengan persamaan :

$$\eta = \frac{(N_t - N_{bg})}{A_s} \quad (3)$$

dengan η adalah efisiensi detektor (cps/dps), N_t adalah laju cacah sumber standar total (cps), N_{bg} adalah laju cacah latar (cps), dan A_s adalah aktivitas sumber standar (dps).

IV.3. Pengukuran Sampel

Pengukuran sampel dilakukan pada sebuah sampel yang mengandung unsur radioaktif pemancar alfa yang tidak diketahui aktifitasnya, kemudian sampel tersebut divariasikan konsentrasinya dengan cara menambahkan matrik tanah pada masing-

masing variannya. Tujuannya adalah untuk menguji apakah perlakuan terhadap sampel pada saat preparasi sudah benar, dengan cara menghitung balik konsentrasi aktifitas sampelnya. Sampel dibuat menjadi lima buah dengan tiap-tiap variasi merupakan campuran antara sampel dan tanah dengan konsentrasi seperti pada Tabel 2.

Masing-masing sampel ditimbang sebesar 400 mg yang setara dengan ketebalan 19,73 mg/cm², lalu dimasukkan ke dalam planset untuk diratakan dengan larutan HNO₃ lalu diuapkan di bawah lampu inframerah hingga kering. Setelah itu baru semua sampel dicacah.

Tabel 2. Pembuatan variasi sampel untuk percobaan pengukuran

No Planset	Berat Sampel (g)	Berat Tanah (g)	Konsentrasi (%)
1	90 ± 0,0002	0 ± 0,0000	100
2	90 ± 0,0002	75 ± 0,0002	54,55
3	90 ± 0,0002	100 ± 0,002	47,37
4	90 ± 0,0002	125 ± 0,0002	41,86
5	90 ± 0,0002	150 ± 0,0002	37,50

Untuk menentukan konsentrasi aktivitas dari sampel digunakan persamaan :

$$C_a = \frac{(N - N_{bg})}{\eta m} \quad (4)$$

dengan C_a adalah konsentrasi aktivitas radionuklida (Bq/kg), N adalah laju cacah sampel (cps), N_{bg} adalah laju cacah latar (cps), η adalah efisiensi pencacahan (cps/dps), dan m adalah massa sampel (kg).

Sedangkan untuk menghitung deviasi standar laju cacah digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\delta_N = \sqrt{\frac{N}{t_t} + \frac{N_{bg}}{t_{bg}}} \quad (5)$$

dengan δ_N adalah deviasi standar laju cacah (cps), N adalah laju cacah sampel (cps), N_{bg} adalah laju cacah latar (cps), t_{bg} adalah waktu

cacah latar, dan t_t adalah waktu pencacahan total (s).

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Uji Homogenitas Sampel

Pencacahan pada uji homogenisasi dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap-tiap planset. Waktu pencacahan untuk sampel yang menggunakan sumber standar larutan uranil asetat selama 10 menit, sedangkan waktu pencacahan untuk sampel yang menggunakan serbuk U_3O_8 selama 30 menit. Dari ketiga hasil pencacahan pada setiap planset itu kemudian dirata-ratakan sehingga diperoleh sebuah cacahan rata-rata untuk tiap plansetnya. Dari data hasil rata-rata pada tiap-tiap planset itu kemudian dihitung simpangannya.

Tabel 3. Hasil uji homogenitas dengan sumber standar serbuk U_3O_8 tanpa TEG

No. Planset	C_t	C_t rata-rata	Simpangan (%)
1	690 688 689	$689 \pm 26,25$	0,55
2	663 656 658	$659 \pm 25,67$	4,88
3	790 798 803	$797 \pm 28,23$	15,04
4	662 650 665	$659 \pm 25,67$	4,88
5	667 661 652	$660 \pm 25,69$	4,73
Rata2		$692,8 \pm 26,32$	6,02

Tabel 4. Hasil uji homogenitas dengan sumber standar uranil asetat tanpa TEG

No. Planset	C_t	C_t rata-rata	Simpangan (%)
1	3877 3885 3923	$3895 \pm 62,21$	0,21
2	3872 3891 3877	$3880 \pm 62,28$	0,18
3	3885 3869 3913	$3889 \pm 62,36$	0,05
4	3873 3898 3899	$3890 \pm 62,37$	0,08
5	3876 3899 3868	$3881 \pm 62,30$	0,15
Rata2		$3887 \pm 62,35$	0,13

Tabel 5. Hasil uji homogenitas dengan sumber standar serbuk U_3O_8 dengan TEG

No. Planset	C_t	C_t rata-rata	Simpangan (%)
1	611 607 597	$605 \pm 24,60$	4,81
2	651 647 631	$643 \pm 25,36$	1,16
3	650 645 652	$649 \pm 25,48$	2,11
4	590 583 573	$582 \pm 24,13$	8,43
5	702 698 697	$699 \pm 26,44$	9,97
Rata2		$635,6 \pm 25,21$	5,30

Tabel 6. Hasil uji homogenitas dengan sumber standar uranil asetat dengan TEG

No. Planset	C_t	C_t rata-rata	Simpangan (%)
1	3626 3637 3636	$3633 \pm 60,27$	0,13
2	3635 3642 3643	$3640 \pm 60,33$	0,06
3	3633 3639 3651	$3641 \pm 60,34$	0,09
4	3627 3631 3650	$3636 \pm 60,30$	0,05
5	3643 3651 3623	$3639 \pm 60,32$	0,03
Rata2		$3637,8 \pm 60,31$	0,07

Dari hasil uji homogenisasi menunjukkan bahwa tingkat homogenitas pada sampel uranil asetat mempunyai hasil yang jauh lebih baik dari pada tingkat homogenitas pada sampel yang menggunakan U_3O_8 . Simpangan yang terjadi pada uji homogenitas dengan sumber standar serbuk U_3O_8 tanpa penambahan TEG, seperti yang terlihat pada Tabel 3 berkisar antara 0,55 % sampai dengan 15,04 % dengan simpangan rata-rata sebesar 6,02 %, sedangkan pada sumber standar uranil asetat seperti yang terlihat pada Tabel 4, mempunyai simpangan antara 0,05 % sampai dengan 0,21 % dengan simpangan rata-rata sebesar 0,13 %.

Penambahan TEG juga mempengaruhi homogenitas sampel, penambahan TEG pada matrik sampel yang menggunakan U_3O_8

menjadikan simpangan rata-ratanya menurun dari 6,02 % menjadi 5,30 %, sedangkan pada matrik sampel yang menggunakan uranil asetat menjadikan simpangan rata-ratanya menurun dari 0,13 % menjadi 0,07 %, ini berarti bahwa penambahan TEG pada matrik sampel dapat meningkatkan tingkat homogenitas pencampuran sampel.

V.2. Kalibrasi Efisiensi Pencacahan

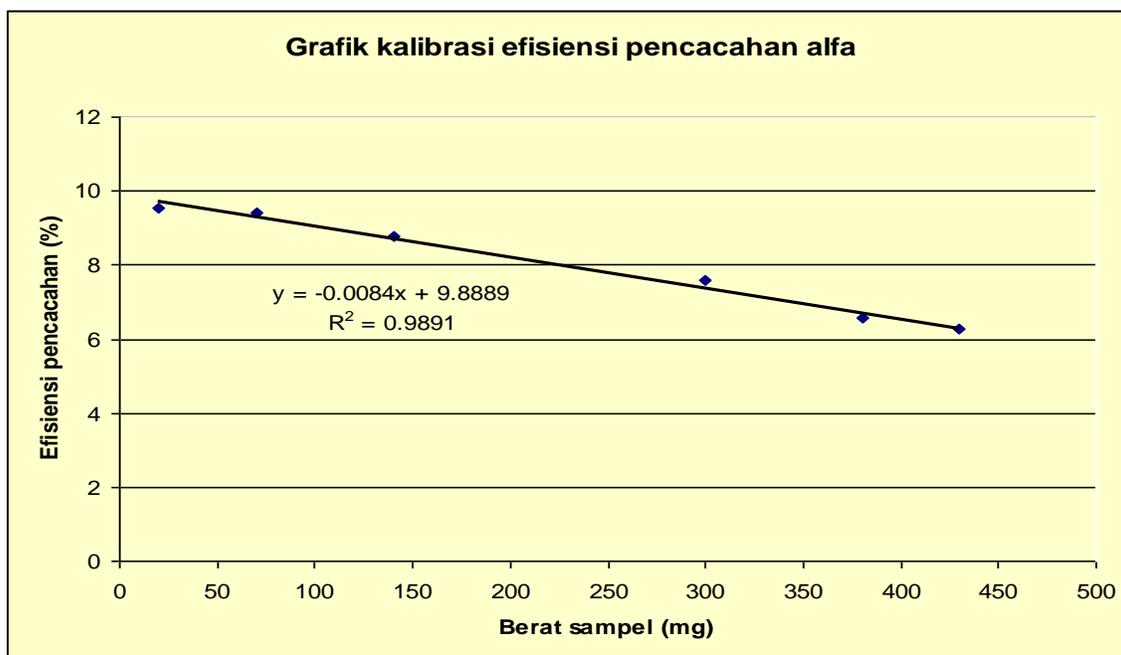
Pencacahan pada kalibrasi efisiensi dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap-tiap plansetnya dengan waktu pencacahan sampel masing-masing selama 10 menit. Hasil pencacahan itu kemudian dirata-rata, dan untuk menghitung efisiensinya digunakan persamaan 3. Hasil kalibrasi efisiensi pencacahan alfa dapat dilihat pada Tabel 7

Tabel 7. Hasil kalibrasi efisiensi pencacahan alfa

Berat Standar (mg)	N_r (cps)	N_{bg} (cps)	Efisiensi (%)
$20 \pm 0,02$	6,88	0,04	$9,54 \pm 0,11$
$70 \pm 0,02$	6,78	0,04	$9,41 \pm 0,11$
$140 \pm 0,02$	6,33	0,04	$8,78 \pm 0,10$
$300 \pm 0,02$	5,47	0,04	$7,56 \pm 0,10$
$380 \pm 0,02$	4,74	0,04	$6,56 \pm 0,09$
$430 \pm 0,02$	4,52	0,04	$6,26 \pm 0,09$

Dari Tabel 7 dapat dibuat grafik kalibrasi efisiensi yaitu grafik hubungan antara ketebalan sumber standar dengan efisiensi

pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kalibrasi efisiensi pencacahan alfa terhadap berat sampel

Dari grafik pada Gambar 2 terlihat bahwa hubungan antara ketebalan sumber standar dengan efisiensi pengukuran adalah linier dan membentuk sebuah persamaan seperti terlihat pada Persamaan 6, semakin tebal sampel yang diukur maka efisiensinya akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin tebal sampel maka faktor serapan dirinya akan semakin besar.

$$y = -0,0084x + 9,8889 \quad (6)$$

dimana y adalah efisiensi pencacahan, dan x adalah berat sampel.

Efisiensi pencacahan alfa yang diperoleh pada kalibrasi ini cukup kecil yaitu berkisar antara 9,54 % sampai dengan 6,26 % hal ini dikarenakan adanya faktor koreksi dari

geometri sampel, selain itu juga pencacahan dilakukan dengan detektor bergeometri 2π , maksudnya sumber pengemisi partikel alpha yang dicacah hanya pada satu sisi saja sehingga sudut yang tersedia untuk pengemisian partikel alpha hanya 2π . Bagaimanapun pengukuran dengan geometri seperti ini akan menghasilkan efisiensi pengukuran maksimal 50 %⁶. Alasannya adalah beberapa partikel alpha akan teremisi ke arah detektor yang sensitif, sementara beberapa partikel alpha yang lain akan teremisi ke arah yang berlawanan sehingga tidak mencapai area detektor.

Walaupun begitu kalau kita perhatikan Persamaan 6 dan diasumsikan berat sampel sama dengan 0 yang berarti tidak ada serapan diri pada sampel, efisiensi maksimumnya tetap saja tidak bisa mencapai 50 % tetapi hanya

berkisar 10 %. Hal ini dikarenakan walaupun tidak ada serapan diri pada sampel tetapi masih ada serapan pada udara yang berada diantara sampel dan detektor, dan juga ada faktor serapan pada dinding permukaan detektornya. Oleh karena itu perlu diperhatikan untuk pengukuran alfa adalah jarak antara sampel dengan detektor dibuat sedekat mungkin, untuk mengurangi faktor serapan oleh udara yang ada diantaranya.

V.3. Pengukuran Konsentrasi Aktifitas Sampel

Dalam preparasi sampel, perlakuan terhadap sampel harus sama dengan perlakuan terhadap sumber standar pada saat kalibrasi.

Hal ini dilakukan untuk mengurangi faktor kesalahan dalam pengukuran. Berat sampel yang digunakan adalah 400 mg, dari grafik kalibrasi efisiensi dan dengan menggunakan persamaan 6 maka efisiensi yang seharusnya dipakai untuk menghitung konsentrasi aktifitasnya adalah 6,53 %.

Pencacahan dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap-tiap plansetnya dengan waktu pencacahan sampel masing-masing selama 1 menit. Hasil pencacahan kemudian dirata-rata, dan untuk menghitung konsentrasi aktifitasnya digunakan persamaan 4. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas uranium yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas alfa

Konsentrasi Sampel (%)	N_t (cps)	N_{bg} (cps)	Konsentrasi Aktifitas (Bq/g)
100	191,40	0,04	$732,62 \pm 1,19$
54,55	129,64	0,04	$496,19 \pm 0,98$
47,37	104,74	0,04	$400,84 \pm 0,88$
41,86	94,67	0,04	$362,30 \pm 0,84$
37,50	76,90	0,04	$294,26 \pm 0,76$

Dari Tabel 8 terlihat bahwa hasil pengukuran konsentrasi aktifitas berkisar mulai dari $(294,26 \pm 0,76)$ Bq/g untuk konsentrasi 37,50 % sampai dengan $(732,62 \pm 1,19)$ Bq/g untuk konsentrasi 100 %. Sedangkan untuk menghitung konsentrasi aktifitas sampel pada saat awal sebelum dicampur dengan tanah dari masing-masing hasil pengukuran dapat

dilakukan dengan cara menghitung balik yaitu dengan cara mengembalikan masing-masing konsentrasinya menjadi 100 %. Hal ini berguna untuk mengetahui sejauh mana perlakuan sampel pada saat preparasi. Hasil perhitungan dari Tabel 8 dengan cara mengembalikan konsentrasinya menjadi 100 % dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil perhitungan aktivitas alfa dengan asumsi konsentrasi 100 %

Konsentrasi Sampel (%)	Konsentrasi Aktifitas (Bq/g)	Asumsi Konsentrasi Sampel 100 % (Bq/g)	Simpangan (%)
100	732,62	732,62	0
54,55	496,19	909,60	24,16
47,37	400,84	846,19	15,50
41,86	362,30	865,50	18,14
37,50	294,26	784,69	7,11
Rata-rata		827,72	12,98

Dari Tabel 9 terlihat bahwa simpangan yang terjadi untuk masing-masing sampel berkisar antara 7,11 % sampai dengan 24,16 % dengan rata-rata 12,98 %. Hasil ini lebih besar dari simpangan pada uji homogenitas dengan perlakuan yang sama yaitu pada sampel dengan menggunakan serbuk U_3O_8 yang dicampur dengan serbuk alumina yaitu berkisar dari 0,55 % sampai dengan 15,04 % dengan simpangan rata-rata sebesar 6,02 %, itu menunjukkan bahwa pencampuran pada sampel kurang homogen dibandingkan dengan sampel standarnya. Hal ini disebabkan karena jumlah sampel dan jumlah tanah yang dicampurkan cukup banyak sehingga menjadikan sampel menjadi lebih sulit untuk dihomogenisasi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil uji homogenisasi menunjukkan bahwa tingkat homogenitas sampel uranil asetat lebih baik dibandingkan tingkat homogenitas sampel U_3O_8 , simpangan yang terjadi pada uji homogenitas sumber standar uranil asetat mempunyai rata-rata sebesar 0,13 %, sedangkan sampel U_3O_8 mempunyai rata-

rata sebesar 6,02 %. Hal ini terjadi karena uranil asetat adalah larutan sedangkan U_3O_8 adalah serbuk, sehingga ketika dilakukan pencampuran dengan serbuk alumina, larutan uranil asetat akan lebih merata. Dengan menambahkan TEG juga dapat meningkatkan homogenitas sampel, penambahan TEG pada matrik sampel yang menggunakan U_3O_8 menjadikan simpangan rata-ratanya menurun dari 6,02 % menjadi 5,30 %, sedangkan pada matrik sampel yang menggunakan uranil asetat menjadikan simpangan rata-ratanya menurun dari 0,13 % menjadi 0,07 %.

Efisiensi pencacahan alfa sangat bergantung dari matrik dan ketebalan sampel. Hubungan antara efisiensi pencacahan dan ketebalan sampel membentuk grafik linier dimana semakin tebal sampel maka efisiensi pencacahan akan semakin menurun, hal ini disebabkan faktor serapan diri pada sampel menjadi semakin besar.

Untuk memperoleh sampel yang homogen perlu dicari prosedur preparasi sampel yang lebih baik dalam hal pencampuran sampel, terutama sampel yang berbentuk

serbuk, sehingga akan diperoleh sampel yang homogen.

DAFTAR PUSTAKA

1. Price, Williem J., *Nuclear Radiation Detection*, Mc Graw Hill Book Company, New York, 1958.
2. Krane, K.S., *Fisika Modern*, Universitas Indonesia, Jakarta, 1988.
3. Cember, H., *Introduction to Health Physics*, Pergamon Pres, New York, 1983.
4. Fenyves, E., Haiman, O., *The Physical Principes of Nuclear Radiation Measurement*, Akademi Kiado, Budapest, 1969.
5. Anggarwal, S.K., Chourasiya, G., Duggal, R.K., Singh, C.P., Rawat, A.S., Jain, H.C., *A Comparative Study of Different Methods of Preparation of Sources for Alpha Spectrometry of Plutonium*, Nuclear Instrument, Vol. A238 No.463, 1985.

STUDI AWAL KARAKTERISTIK SUMBER TENORM UNTUK FASILITAS KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI LINGKUNGAN

Muji Wiyono, Bunawas dan Wahyudi

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49 Po Box 7043 JKSKL Jakarta 12070

ABSTRAK

STUDI AWAL KARAKTERISTIK SUMBER TENORM UNTUK FASILITAS KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI LINGKUNGAN. Telah dilakukan studi awal karakteristik sumber standar bentuk luasan dari limbah TENORM untuk kalibrasi alat ukur radiasi lingkungan di Fasilitas Penelitian Technologically Enhanced of Radioactive Materials (TENORM) PTKMR-BATAN. Studi dilakukan dengan menentukan aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th dalam air lindi TENORM dan sumber standar, masing-masing menggunakan spektrometer HPGe model GMX-25P4 dan spektrometer ATOMTEX serta pengukuran laju paparan radiasi menggunakan surveimeter Ludlum 19. Diperoleh hasil bahwa aktivitas konsentrasi radionuklida rerata dalam air lindi TENORM adalah tidak terdeteksi untuk ^{40}K , $(0,45 \pm 0,18)$ Bq/liter untuk ^{226}Ra dan $(1,16 \pm 0,39)$ Bq/liter untuk ^{232}Th , sedangkan aktivitas konsentrasi pada sumber standar TENORM adalah (292 ± 98) Bq/kg untuk ^{40}K , (749 ± 61) Bq/kg untuk ^{226}Ra dan (1.989 ± 218) Bq/kg untuk ^{232}Th . Dengan demikian fraksi lindi adalah tidak terdeteksi untuk ^{40}K , 0,060 % untuk ^{226}Ra dan 0,058 % untuk ^{232}Th . Sedangkan laju paparan radiasi pada permukaan sumber standar TENORM berkisar dari (225 ± 7) $\mu\text{R}/\text{jam}$ sampai dengan (275 ± 7) $\mu\text{R}/\text{jam}$. Sumber standar TENORM di Fasilitas Penelitian TENORM memenuhi syarat sebagai sumber kalibrasi alat ukur radiasi lingkungan.

Kata kunci : sumber standar luasan, radiasi lingkungan, TENORM.

ABSTRACT

PRELIMINARY STUDY ON THE CHARACTERIZATION OF TENORM SOURCE AS CALIBRATION FACILITY OF MEASUREMENT TOOL FOR ENVIRONMENTAL RADIATION. The preliminary study on the characterization of wide-formed standard source for calibration of measurement tool for environmental radiation had been conducted in Research Facility of Technologically Enhanced of Radioactive Materials (TENORM) PTKMR-BATAN. The study was done by determination of the concentration activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th radionuclides in leaching water of TENORM and standard source, each with HPGe spectrometer of GMX-25P4 model and ATOMTEX spectrometer, and the measurement of radiation exposure rate by using a Ludlum 19 surveymeter was done as well. The results showed that the mean concentration activity of radionuclides in leaching water of TENORM was undetected for ^{40}K , $(0,45 \pm 0,18)$ Bq/liter for ^{226}Ra and $(1,16 \pm 0,39)$ Bq/liter for ^{232}Th , whereas concentration activity of standard source of TENORM was (292 ± 98) Bq/kg for ^{40}K , (749 ± 61) Bq/kg for ^{226}Ra and $(1,989 \pm 218)$ Bq/kg for ^{232}Th . It was known that leaching fraction was undetected for ^{40}K , 0,060 % for ^{226}Ra and 0,058 % for ^{232}Th . The rate of radiation exposure on the surface of TENORM standard source was ranged from (225 ± 7) $\mu\text{R}/\text{h}$ up to (275 ± 7) $\mu\text{R}/\text{h}$. Standard source in the TENORM Research Facility was fulfilled condition as calibration source of measurement tool for environmental radiation.

Key words : standard source of wide-formed, environment radiation, TENORM.

I.PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber daya alam dalam industri non nuklir seperti pertambangan, batu bara, timah, minyak dan gas, dan lain-lain disamping menghasilkan devisa negara yang

cukup besar, juga akan selalu dihasilkan produk samping yang tidak dikehendaki berupa limbah TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*). TENORM adalah zat radioaktif alam yang terakumulasi dikarenakan kegiatan

manusia atau proses teknologi sehingga terjadi peningkatan konsentrasi jika dibandingkan dengan keadaan awal.¹ TENORM ini berbahaya karena dapat meningkatkan paparan radiasi ke lingkungan. Oleh karena itu setiap industri yang melakukan penambangan bahan galian non nuklir yang dapat menghasilkan limbah radioaktif sebagai hasil samping penambangan wajib melakukan analisis keselamatan radiasi.²

Analisis keselamatan radiasi dapat dilakukan antara lain dengan cara mengukur kandungan radionuklida TENORM pada berbagai industri non nuklir dengan mengambil sampel TENORM, kemudian dimasukkan dalam beker marinelli yang kedap dan ditunda selama 30 hari, setelah itu dilakukan pengukuran di laboratorium.^{3,4} Metode ini tidak praktis dan lambat untuk jumlah sampel yang banyak. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran dengan secara langsung (*in-situ*) yang lebih cepat menggunakan alat ukur spektrometer gamma *in-situ* atau spektrometer gamma ATOMTEX.

Dalam pengukuran secara langsung, alat ukur spektrometer gamma *in-situ* harus dikalibrasi dengan mengacu metode Helfer dan Miller menggunakan sumber standar bentuk titik.⁵ Akan tetapi hasil pengukuran secara langsung yang telah dilakukan terhadap radionuklida alam yang dibandingkan dengan pengukuran di laboratorium masih terdapat perbedaan cukup besar yaitu 56,2%⁶, sehingga perlu dilakukan perbaikan metode kalibrasi dengan menggunakan sumber standar

kalibrasi bentuk luasan yang mendekati dengan kondisi nyata di lapangan.

Sesuai dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMR-BATAN) sebagai pusat litbang dalam bidang keselamatan radiasi tingkat nasional, telah dibuat fasilitas penelitian TENORM pada tahun 2003. Dalam mengembangkan fasilitas tersebut telah dibuat sumber standar bentuk luasan menggunakan limbah TENORM sebagai bahan standar kalibrasi. Sumber standar tersebut akan digunakan untuk mengkalibrasi berbagai macam alat ukur radiasi lingkungan seperti spektrometer gamma *in-situ*, spektrometer gamma ATOMTEX, surveiometer Mini Instrument, pengukur dosis bilik pengion Reuter Stokes, dan lain-lain.

Sebelum digunakan sebagai sumber standar kalibrasi, maka sumber standar TENORM bentuk luasan tersebut harus diketahui karakteristik kandungan radionuklidanya sebagai salah satu persyaratan sebagai sumber standar. Dalam upaya pemanfaatan sumber standar sebagai kalibrasi alat ukur radiasi lingkungan tersebut, telah dilakukan studi awal karakteristik sumber standar kalibrasi buatan PTKMR-BATAN meliputi pengukuran aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{26}Ra dan ^{232}Th pada air lindi TENORM, pengukuran aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{26}Ra dan ^{232}Th secara langsung di atas sumber standar menggunakan spektrometer ATOMTEX dan pengukuran paparan radiasi. Hasil pengujian diharapkan

bahwa sumber standar kalibrasi dari limbah TENORM yang dibuat sudah memenuhi persyaratan sebagai sumber standar kalibrasi, sehingga dapat digunakan untuk mengkalibrasi alat ukur radiasi lingkungan milik PTKMR-BATAN.

Dalam makalah ini disajikan cara pengukuran aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{26}Ra dan ^{232}Th pada air lindi TENORM menggunakan spektrometer gamma HPGe model GMX-25P4, aktivitas konsentrasi pada sumber standar TENORM bentuk luasan menggunakan spektrometer ATOMTEX dan pengukuran paparan radiasi menggunakan surveimeter ludlum 19, serta pembahasan hasil yang diperoleh.

II. TATA KERJA

Pembuatan Sumber Standar Bentuk Luasan dan Pengambilan Sampel Air Lindi TENORM

Tanah mengandung TENORM pada bak A berukuran (1,07 x 1,05 x 0,75) m (Gambar 1) dimasukkan dalam 4 ember masing-masing bervolume 5 liter, kemudian dimasukkan dalam tong mesin pengaduk (molen). Selanjutnya tanah mengandung TENORM yang lain pada bak : B, C, D, E, F, G, H, I dan J diambil dan dimasukkan dalam tong mesin molen dengan cara yang sama. Tanah TENORM yang tercampur dalam tong mesin pengaduk ditambah 3 ember air masing-masing 5 liter.

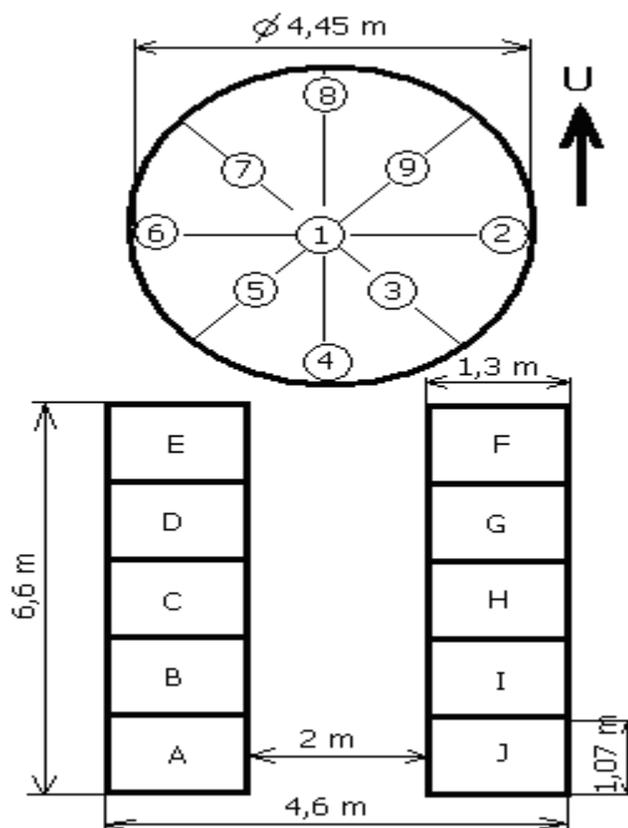
Limbah TENORM dan air dicampur hingga homogen. Campuran dipindahkan dalam wadah sumber standar berupa sumur yang terbuat dari tembok berdiameter dalam

4,45 m dengan tinggi 0,75 m. Selanjutnya dilakukan pengadukan kedua dan seterusnya pada tanah TENORM pada masing-masing bak A, B, C, D, E, F, G, H, I dan J dengan cara seperti tersebut di atas sampai seluruh bahan tercampur dalam sumur.

Lumpur TENORM dalam sumur didiamkan selama 16 jam sampai mengendap dan diperoleh air lindi TENORM berwarna jernih. Air lindi pada permukaan sumur TENORM pada titik 2, 4, 6 dan 8 masing-masing disampling sebanyak 2 liter.

Kalibrasi Spektrometer Gamma HPGe model GMX-25P4

Spektrometer Gamma HPGe buatan Ortec model GMX-25P4 dihidupkan dan disetting pada tegangan kerja, *coarsa gain*, *fine gain* dan *amplifier* sesuai buku manual. Sumber standar volume 1 liter dalam wadah marinelli dengan densitas 1,00 gr/cm³ berisi multi isotop : ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb dan ^{241}Am dengan aktivitas masing-masing : (152,87 ± 0,94; 225,06 ± 2,21; 400,49 ± 4,19; 346,51 ± 2,76; 174 ± 1,28; 51,67 ± 0,52; 62,77 ± 0,42; 405,15 ± 2,54 dan 294,47 ± 2,00) Bq buatan PTKMR-BATAN pada tanggal 1 Oktober 2004 yang tertelusur ke Laboratorium IAEA diletakkan di atas detektor. *Life time* Spektrometer Gamma HPGe buatan Ortec model GMX-25P4 diatur dalam selang waktu 3600 detik, kemudian dilakukan pencacahan. Setelah 3600 detik proses pencacahan spektrometer gamma akan berhenti secara otomatis.



Gambar 1. Fasilitas Penelitian TENORM PTKMR – BATAN

Energi puncak yang dihasilkan dari pencacahan sumber standar multi isotop : ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb dan ^{241}Am digunakan untuk mengganti nomor salur pada spektrometer gamma. Sebagai contoh adalah nomor salur spektrometer gamma pada puncak energi ^{54}Mn diganti (*diaquisi*) dengan energi puncak ^{54}Mn dan seterusnya untuk energi puncak yang lain sehingga diperoleh rentang energi paling rendah yaitu energi 81,00 keV untuk ^{133}Ba sampai dengan energi paling tinggi yaitu energi 1332,50 keV untuk ^{60}Co dan diperoleh kalibrasi energi.

Dari hasil pencacahan sumber standar tersebut selanjutnya dihitung efisiensi

pencacahan pada masing-masing puncak (*peak*) dengan persamaan berikut : ^{7,8}

$$\varepsilon = \frac{N}{At \cdot P\gamma} \times 100 \quad (1)$$

dengan N: laju cacah sumber standar (cps)

At : aktivitas sumber standar saat pengukuran (Bq).

$P\gamma$: kelimpahan energi gamma (%)

Aktivitas sumber standar pada saat pengukuran dihitung dengan persamaan : ^{7,8}

$$A_t = A_o \cdot e^{-\frac{0,693}{T_{1/2}} \cdot t} \quad (2)$$

dengan A_0 : aktivitas awal (Bq)

$T_{1/2}$: waktu paro radionuklida
(tahun)

t : waktu antara waktu awal
penetapan aktivitas sampai dengan waktu
pengukuran (tahun).

Hasil perhitungan efisiensi
pencacahan dari masing-masing energi pada
sumber standar tersebut dibuat grafik
hubungan energi dengan efisiensi sehingga
diperoleh kurva kalibrasi efisiensi yang
digunakan untuk menentukan efisiensi dari
suatu radionuklida lain yang belum diketahui.

Preparasi dan Pengukuran Sampel Air

Lindi TENORM.

Air lindi TENORM dari hasil
sampling pada masing-masing titik
pengukuran 2, 4, 6 dan 8 dimasukkan dalam
beker marinelli volume 1 liter, ditutup,
kemudian dilem antara tutup dan wadahnya,
diberi kode dan didiamkan selama 30 hari agar
hasil anak luruh ^{228}Th dan ^{238}U tumbuh dan
mencapai kesetimbangan radioaktif dengan
induknya. Selanjutnya satu liter air aquabidest
dimasukkan dalam beker marinelli yang lain,
ditutup, kemudian dilem antara tutup dan
wadahnya, diberi kode dan didiamkan selama
30 hari.

Beker marinellil air lindi diletakkan di
atas detektor pada Spektrometer Gamma dan
dicacah selama 3600 detik. Selanjutnya beker
marinelli berisi air aquabidest dengan volume
1 liter dicacah dengan cara yang sama selama
3600 detik sebagai cacah latar.

Cacah bersih (*net area*) pada
radionuklida ^{40}K ditentukan langsung pada
energi 1460,75 keV dengan $P_\gamma = 0,1067$.
Cacah bersih pada radionuklida ^{226}Ra
ditentukan dari anak luruhnya yang
memancarkan radiasi gamma yaitu ^{214}Bi pada
energi 609,31 keV dengan $P_\gamma = 0,446$ atau
 ^{214}Pb pada energi 351,92 keV dengan $P_\gamma =$
0,351. Sedangkan cacah bersih ^{232}Th
ditentukan dari anak luruhnya yang
memancarkan radiasi gamma yaitu ^{212}Pb pada
energi 238,63 keV dengan $P_\gamma = 0,435$ atau
 ^{208}Tl pada energi 583,19 keV dan energi 2614
keV dengan $P_\gamma = 0,307$ dan $P_\gamma = 0,356$.⁸

Aktivitas konsentrasi radionuklida
yang terkandung dalam air lindi TENORM
dihitung dengan persamaan :^{7,8}

$$C = \frac{(N_t - N_b)}{\varepsilon \cdot P_\gamma \cdot Fk \cdot V} \quad (3)$$

dengan C : konsentrasi aktivitas radionuklida
pada air lindi TENORM (Bq/liter)

N_t : laju cacah sampel (cps)

N_b : laju cacah latar (cps)

ε : efisiensi pencacahan (ditentukan
dari kurva kalibrasi efisiensi)

P_γ : pancaran radiasi gamma (%)

Fk : faktor koreksi serapan diri.

V : volume sampel air lindi
TENORM (liter).

Faktor koreksi serapan diri dihitung
bila terjadi perbedaan antara kerapatan sampel
dengan kerapatan sumber standar.⁷ Untuk

sampel berupa air lindi dari TENORM faktor koreksi serapan diri sama dengan satu karena densitas air lindi sama dengan densitas sumber standar.

Ketidakpastian pengukuran (*uncertainty*) untuk pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida air lindi TENORM (μC)

$$\mu C = C \sqrt{\left(\frac{\sigma Nt}{Nt}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Nb}{Nb}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma P\gamma}{P\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Fk}{Fk}\right)^2} \quad (4)$$

dengan σNt , σNb , $\sigma \varepsilon$, $\sigma P\gamma$ dan σFk adalah deviasi standar dari masing-masing laju cacah sampel, laju cacah latar, efisiensi, pancaran radiasi gamma dan faktor koreksi serapan diri.

Sedangkan konsentrasi minimum terdeteksi (*MDC = minimum detectable concentration*) alat cacah spektrometer gamma HPGe dengan tingkat kepercayaan 68 % dihitung dengan persamaan berikut :⁷

$$MDC = \frac{2,33 \sqrt{N_b / T_b}}{\varepsilon \cdot P\gamma \cdot V} \quad (\text{Bq/liter}) \quad (5)$$

Pengukuran Konsentrasi Aktivitas TENORM

Spektrometer AT6101D dengan detektor NaI(Tl) buatan ATOMTEX-Belarusia yang terdiri dari unit deteksi radiasi gamma (*Detection Unit BDKG-11 : DU*) dan unit

dengan tingkat kepercayaan 68,3 % dihitung dengan persamaan :^{9,10}

pemroses informasi (*Information Processing Unit : IPU*) sebelum digunakan untuk pengukuran dilakukan stabilisasi. Stabilisasi dilakukan dengan cara DU dipasang pada *threeport* dan diletakkan pada lantai datar kemudian dihubungkan dengan IPU menggunakan kabel penghubung. Selanjutnya *check sample* berisi radionuklida ⁴⁰K buatan ATOMTEX diletakkan di bawah DU pada jarak 14 cm, dipilih menu *stabilize* dan diset pada 10 detik. Setelah selesai proses stabilisasi pada monitor IPU akan keluar tampilan nilai energi sebesar 1461 keV yang merupakan energi ⁴⁰K, dan akan tersimpan secara otomatis.

Threeport diletakkan di lokasi pengukuran (titik 1) dan ujung bawah DU diatur pada jarak 14 cm dari permukaan TENORM, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran aktivitas konsentrasi pada sumber kalibrasi TENORM dengan Spektrometer ATOMTEX AT 6101D

Dipilih menu “geometry” kemudian “2pi” pada IPU dan di ENTER untuk memulai proses pengukuran. Pengukuran dilakukan selama 3600 detik dan pada selang 900 detik, 1800 detik, 2700 detik dan 3600 detik dicatat nilai konsentrasi aktivitas ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th pada tampilan monitor IPU. Dengan cara yang sama dilakukan pengukuran pada titik-titik yang lain (titik 2 s/d titik 9).

Perbedaan aktivitas konsentrasi (AK) pada setiap titik pengukuran dihitung menggunakan permaan berikut :

$$\text{Perbedaan AK} = \frac{AK_n - AK_{\text{rerata}}}{AK_n} \times 100\%$$

dengan AK_n dan AK_{rerata} adalah aktivitas konsentrasi pada titik pengukuran ke-

n dan aktivitas konsentrasi rerata dari seluruh pengukuran.

Pengukuran Laju Paparan Radiasi TENORM.

Lumpur TENORM dalam sumur didiamkan tanpa panas matahari selama 30 hari. Selanjutnya sumber standar TENORM bentuk luasan tersebut diukur laju paparan radiasinya pada titik pengukuran 1 sampai dengan titik pengukuran 9 (Gambar 1) menggunakan surveimeter Ludlum 19 buatan TSI – USA pada permukaan sumber. Laju paparan radiasi sebenarnya adalah besarnya laju paparan yang terbaca pada alat ukur dikurangi laju paparan latar dikalikan faktor kalibrasi alat ukur, sebagai berikut :

$$X_g = (X_a - X_b) \times \text{FK} \quad (6)$$

dengan : X_g = laju paparan sebenarnya
di tempat yang diukur ($\mu\text{R}/\text{jam}$).

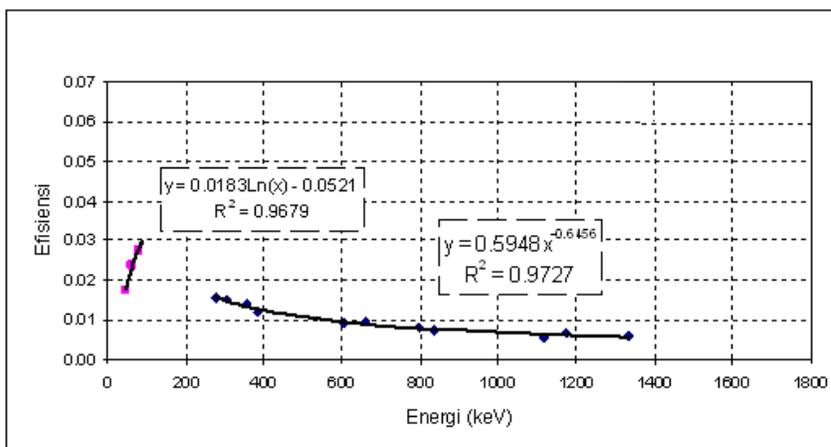
X_a = bacaan laju paparan dari
alat ukur ($\mu\text{R}/\text{jam}$).

X_b = bacaan laju paparan latar
($\mu\text{R}/\text{jam}$).

FK= faktor kalibrasi alat ukur.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi efisiensi pada
spektrometer gamma dengan detektor HPGe
model GMX-25P4 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi pencacahan sebagai fungsi energi (keV)

Diperoleh dua persamaan kalibrasi
untuk energi kurang dari 100 keV dengan
persamaan $Y = 0,0183\ln(X)-0,0521$ dengan R^2
 $= 0,9679$ dan untuk energi lebih dari 100 keV
dengan persamaan $Y = 0,5948X^{-0,6156}$ dengan
 $R^2 = 0,9727$. Nilai efisiensi dari persamaan

tersebut digunakan untuk menentukan
konsentrasi aktivitas air lindi TENORM.

Aktivitas konsentrasi radionuklida
 ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th air lindi dari sumber
standar bentuk luasan buatan PTKMR-
BATAN disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas konsentrasi air lindi sumber standar bentuk luasan

Titik	Aktivitas konsentrasi (Bq/L)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
2	ttd	$0,41 \pm 0,12$	$1,43 \pm 0,43$
4	ttd	$0,22 \pm 0,07$	$1,10 \pm 0,33$
6	ttd	$0,54 \pm 0,16$	$0,64 \pm 0,19$
8	ttd	$0,63 \pm 0,19$	$1,48 \pm 0,44$
Rerata		$0,45 \pm 0,18$	$1,16 \pm 0,39$

Catatan : MDC ^{40}K = 1,35 Bq/L

Berdasarkan tabel tersebut aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K adalah tidak terdeteksi (ttt) atau aktivitas konsentrasinya di bawah dari MDC yaitu 1,35 Bq/L. Aktivitas konsentrasi radionuklida ^{226}Ra berkisar dari $(0,22 \pm 0,07)$ Bq/L hingga $(0,63 \pm 0,19)$ Bq/L, terendah pada titik 4 dan tertinggi pada titik 8. Sedangkan untuk radionuklida ^{232}Th berkisar dari $(0,64 \pm 0,19)$ Bq/L hingga $(1,48 \pm 0,44)$ Bq/L, terendah pada titik 6 dan tertinggi pada titik 8.

Berdasarkan Tabel 1 di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa sumber TENORM dapat dijadikan sebagai sumber luasan untuk kalibrasi alat ukur radiasi lingkungan dengan fraksi lindi yang rendah yaitu untuk ^{40}K tidak terdeteksi, untuk ^{226}Ra sebesar 0,06 % dan

untuk ^{232}Th sebesar 0,058 %. Dengan demikian sumber TENORM sangat kecil kemungkinannya mencemari lingkungan.

Aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th pada sumber standar TENORM bentuk luasan yang diukur secara langsung menggunakan spektrometer ATOMTEX disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th pada sumber standar bentuk luasan

Titik	Aktivitas konsentrasi (Bq/kg)			Perbedaan aktivitas konsentrasi dengan reratanya (%)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
1	113 ± 10	868 ± 7	2.316 ± 5	-61,23	15,91	16,38
2	192 ± 14	806 ± 7	2.252 ± 4	-34,32	7,61	13,17
3	203 ± 3	799 ± 3	2.218 ± 4	-30,34	6,68	11,56
4	304 ± 5	684 ± 4	1.680 ± 25	4,11	-8,68	-15,58
5	384 ± 7	727 ± 4	1.860 ± 20	31,58	-2,88	-6,53
6	360 ± 3	705 ± 3	1.848 ± 4	23,36	-5,93	-7,14
7	351 ± 9	721 ± 9	1.906 ± 17	20,14	-3,74	-4,22
8	362 ± 1	715 ± 2	1.906 ± 5	24,11	-4,54	-4,22
9	359 ± 1	712 ± 1	1.916 ± 5	23,01	-4,89	-3,72
Rerata	292 ± 98	749 ± 61	1.989 ± 218			

Terlihat aktivitas konsentrasi ^{40}K berkisar dari (113 ± 10) Bq/kg pada titik pengukuran 1 hingga (384 ± 7) Bq/kg pada titik pengukuran 5. Untuk aktivitas konsentrasi ^{226}Ra berkisar dari (684 ± 4) Bq/kg pada titik pengukuran 4 hingga (868 ± 7) Bq/kg pada

titik pengukuran 1, sedangkan untuk ^{232}Th berkisar dari (1.680 ± 25) Bq/kg pada titik pengukuran 4 hingga (2.316 ± 5) Bq/kg pada titik pengukuran 1.

Ternyata pada titik pengukuran 1 aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K adalah

paling rendah sedangkan aktivitas konsentrasi radionuklida ^{226}Ra dan ^{232}Th adalah paling tinggi. Hal ini akan memberikan dampak terhadap paparan radiasi total yang dipancarkan, sehingga akan diperoleh paparan radiasi yang relatif homogen pada seluruh permukaan sumber standar TENORM.

Perbedaan aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K dengan reratanya berkisar dari 4,11 % hingga -61,23 %, terendah pada titik pengukuran 4 dan tertinggi pada titik pengukuran 1. Untuk radionuklida ^{26}Ra berkisar dari -2,88 % yaitu pada titik pengukuran 5 hingga 15,91 % pada titik pengukuran 1, sedangkan untuk radionuklida ^{232}Th berkisar dari -3,72 % pada titik pengukuran 9 hingga 16,38 % pada titik pengukuran 1.

Berdasarkan Tabel 2 tersebut maka aktivitas konsentrasi untuk radionuklida ^{40}K adalah kurang homogen karena mempunyai rentang perbedaan yang cukup besar yaitu

antara 4,11 % sampai dengan -61,23 %. Sedangkan aktivitas konsentrasi untuk radionuklida ^{226}Ra dan ^{232}Th adalah cukup homogen karena rentang perbedaannya relatif kecil yaitu < 17 %.

Laju paparan radiasi sumber standar buatan PTKMR-BATAN yang diukur pada permukaan sumber disajikan pada Tabel 3.

Nilai laju paparan berkisar antara (225 ± 7) $\mu\text{R}/\text{jam}$ hingga (275 ± 7) $\mu\text{R}/\text{jam}$, terendah pada titik pengukuran 4 dan tertinggi pada titik pengukuran 2. Perbedaan laju paparan radiasi dengan reratanya cukup rendah yaitu antara -1,22 % pada titik pengukuran 1, 3, 5 dan 7 sampai dengan -10,22 % pada titik pengukuran 4 dan 9,82 pada titik pengukuran

Tabel 3. Laju paparan radiasi di atas sumber standar bentuk luasan buatan PTKMR-BATAN.

Titik	Laju paparan radiasi ($\mu\text{R}/\text{jam}$)	Perbedaan laju paparan radiasi dengan reratanya (%)
1	245 ± 7	-1,22
2	275 ± 7	9,82
3	245 ± 10	-1,22
4	225 ± 7	-10,22
5	245 ± 7	-1,22
6	255 ± 7	2,75
7	245 ± 7	-1,22
8	238 ± 4	-4,20
9	255 ± 7	2,75
Rerata	248 ± 14	

Berdasarkan hasil pengukuran laju paparan radiasi tersebut terlihat bahwa sumber standar kalibrasi yang dibuat adalah cukup

homogen karena perbedaannya cukup kecil yaitu antara -1,22 % hingga -10,22 %. Akan tetapi jika dibandingkan dengan Tabel 2 di

titik pengukuran 1 yang mempunyai perbedaan -61,23 % untuk aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , maka hasil pengukuran pada Tabel 3 tidak bisa dijadikan dasar bahwa sumber standar yang dibuat adalah homogen. Perbedaan laju paparan radiasi yang cukup kecil pada titik pengukuran 1 Tabel 3 tersebut terjadi karena aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K adalah paling rendah sedangkan aktivitas konsentrasi radionuklida ^{226}Ra dan ^{232}Th adalah paling tinggi dibandingkan dengan delapan titik pengukuran yang lain. Karena radionuklida ^{40}K mempunyai energi 1460,5 keV yaitu lebih rendah dibandingkan dengan energi radionuklida ^{226}Ra dan ^{232}Th yang memiliki energi tertinggi masing-masing 2447,86 keV dan 2614,66 keV maka paparan radiasi yang dipancarkan radionuklida ^{40}K juga lebih rendah dibandingkan dengan paparan radiasi yang dipancarkan dari radionuklida ^{226}Ra dan ^{232}Th sehingga gabungan paparan radiasi dari radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th adalah menjadi tidak berbeda jauh dengan paparan radiasi pada pengukuran titik-titik yang lain.

Sumber standar yang belum homogen tersebut dapat diperbaiki dengan cara mencampur limbah TENORM pada titik pengukuran 1 dengan limbah TENORM pada titik pengukuran 4. Selanjutnya dilakukan pengukuran aktivitas konsentrasi radionuklida ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th ulang di atas sumber standar menggunakan spektrometer ATOMTEX

IV.KESIMPULAN

Karakteristik sumber standar TENORM pada Fasilitas Penelitian TENORM PTKMR-BATAN adalah fraksi lindi sangat rendah yaitu tidak terdeteksi untuk ^{40}K , 0,060 % untuk ^{26}Ra dan 0,058 % untuk ^{232}Th , sehingga kemungkinan mencemari lingkungan sangat kecil. Rerata aktivitas konsentrasi pada sumber standar TENORM adalah (292 ± 98) Bq/kg untuk ^{40}K , (749 ± 61) Bq/kg untuk ^{226}Ra dan (1.989 ± 218) Bq/kg untuk ^{232}Th serta homogenitas sumber TENORM cukup baik, sehingga sumber standar TENORM tersebut dapat digunakan sebagai fasilitas kalibrasi alat ukur radiasi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA.

1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 33 tahun 2007, tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta (2007).
2. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Himpunan Peraturan Perundang-undangan Ketenaganukliran, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 27 tahun 2002, tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, BAPETEN, Jakarta (2002).
3. SUTARMAN, BUNAWAS, ISKANDAR, D., CHAERUDIN, A. dan SETIAWAN, H., Konsentrasi Radionuklida Alam di Dalam Bahan Bangunan di Jakarta dan Sekitarnya, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan II, PSPKR-BATAN, Jakarta (1994).
4. LUCAS, H.F., MARKUN, F., The Determination of ^{226}Ra and ^{238}Th in Water and Solids by the Least Squares Gamma Spectrometric Method, J. Environment Radioactivity 15 (1992).
5. ISKANDAR, D., WAHYUDI dan BUNAWAS, Kalibrasi Sitem

- Spektrometer Gamma In-Situ Untuk Pengukuran Radioaktivitas Lingkungan, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VII, P3KRBiN-BATAN, Jakarta (1999).
6. BUNAWAS dan WAHYUDI, Penentuan ^{228}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K Dalam Tanah Menggunakan Spektrometer Gamma In-Situ, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM-BATAN, Yogyakarta (2000).
 7. BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, "Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan", halaman : 137 - 155, BATAN, Jakarta (1998).
 8. WIYONO, M., dan BUNAWAS, "Penentuan Aktivitas Limbah Radioaktif Padat Menggunakan Spektrometer Gamma In-Situ", Prosiding Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah V, PTLR-BATAN, halaman: 100-109, Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang (2007).
 9. JAMES E., M., 2000, "Physics For Radiation Protection", John Wiley & Sons, Inc, New York.
 10. WIYONO, M., dan WAHYUDI, Pengelolaan Limbah Radioaktif Cair di PTKMR – BATAN, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PTAPB-BATAN, Yogyakarta (2009).

AKUMULASI DAN ELIMINASI RADIONUKLIDA Cs PADA IKAN LELE (*Clarias sp*)

Poppy Intan Tjahaja dan Putu Sukmabuana

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN
Jl. Tamansari no. 71, Bandung 40132
e-mail : poppyintan24@yahoo.com

ABSTRAK

AKUMULASI DAN ELIMINASI RADIONUKLIDA Cs PADA IKAN LELE (*Clarias sp*). Telah dilakukan penelitian akumulasi dan eliminasi radionuklida Cs pada ikan lele (*Clarias sp*) yang dipelihara dalam media air yang dikontaminasi dengan Cs-134. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari akumulasi dan eliminasi radionuklida Cs pada ikan lele sehingga dapat diketahui nilai faktor bioakumulasi dan waktu paro efektif radionuklida Cs pada ikan untuk digunakan dalam pengkajian dosis interna pada manusia berdasar jalur air – ikan – manusia. Penelitian dilakukan dengan memelihara ikan lele pada 500 L air yang dikontaminasi dengan Cs-134, sehingga konsentrasinya dalam air menjadi 9,95 Bq/mL. Air dan 3 ekor ikan lele diambil sebagai sampel setiap lima hari sekali selama 65 hari. Ikan dibedah lalu dipisahkan bagian tubuhnya menjadi daging, tulang dan organ dalam, kemudian didestruksi dengan HCl. Kandungan Cs dalam sampel air dan ikan diukur menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HPGe. Ikan lele yang tersisa setelah dipelihara selama 65 hari dalam media air mengandung Cs dipindah ke dalam media air tanpa Cs, dan dilakukan pengamatan kandungan Cs dalam air dan tubuh ikan setiap lima hari sekali. Nilai faktor bioakumulasi ditentukan dengan cara membandingkan konsentrasi Cs-134 yang diakumulasi oleh bagian tubuh ikan terhadap konsentrasinya dalam media air. Sedang waktu paro biologi ditentukan dengan cara menentukan waktu di mana aktivitas Cs-134 dalam tubuh ikan tinggal setengah dari aktivitas semula. Dari penelitian ini diperoleh nilai faktor bioakumulasi pada seluruh tubuh ikan sebesar 8,6 mL/g dan pada daging sebesar 10,8 mL/g dengan koefisien laju penyerapan sebesar 0,0188/hari. Waktu paro efektif Cs-134 dalam tubuh ikan adalah 141,5 hari dengan koefisien laju eliminasi sebesar 0,0049/hari. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa ikan lele menyerap radionuklida Cs dari media air tempat hidupnya dan mengakumulasi pada bagian tubuhnya, terutama pada daging. Eliminasi radionuklida Cs berlangsung lambat sehingga waktu paro efektif radionuklida Cs dalam ikan menjadi relatif panjang.

Kata kunci : radionuklida Cs, Cs-134, ikan lele, akumulasi, eliminasi

ABSTRACT

ACCUMULATION AND ELIMINATION OF Cs RADIONUCLIDE IN LELE FISH (*Clarias sp*). A research on accumulation and elimination of Cs radionuclide in lele fish (*Clarias sp*) maintained on Cs radionuclide contaminated water had been conducted. The aim of the research is studying the accumulation and elimination behavior of Cs radionuclide in lele fish to obtain the bioaccumulation factor and effective half life of Cs radionuclide that finally can be used for human internal dose assessment trough the water – fish – human pathway. The lele fishes were maintained in 500 L freshwater contaminated with Cs-134 on concentration of 9.95 Bq/mL. Water and 3 lele fishes were taken up as samples periodically every 5 days during 65 days. The fishes were dissected and muscle, bones, and internal organs were seperated then destructed using 1.8 M hydrochloric acid. The Cs-134 activities of water and fish parts were measured using gamma spectrometer with HPGe detector. After 65 days the remained lele fish in contaminated water were

transferred to freshwater without Cs-134 contamination. The observations were conducted on Cs-134 activities in water and fishes periodically every five days during 25 days maintenance. Bioaccumulation factor was determined by comparing Cs-134 concentration accumulated on fish body to the concentration of water. The effective half life was determined at the time where the Cs-134 activity became half of the initial activity. The bioaccumulation factor of Cs-134 in lele fish obtained from this research was 8.6 mL/g and in fish muscle was 10.8 mL/g with uptake rate coefficient of 0,0188/day. The effective half life of Cs-134 in fish was 141.5 days with elimination rate coefficient of 0.0049/day. From this research it could be concluded that the lele fishes uptake the Cs-134 from the water and accumulate in their bodies, especially in muscles. The elimination of Cs radionuclide was slow, therefore the effective half life of Cs in fish was relatively long.

Keywords: Cs radionuclide, Cs-134, lele fish, accumulation, elimination

I. PENDAHULUAN

Radionuklida cesium merupakan radionuklida hasil fisi dari reaksi nuklir yang dapat lepas ke lingkungan akibat adanya kecelakaan nuklir yang parah dan *global fallout* dari uji coba senjata nuklir di atmosfer. Selain radiasi eksterna, keberadaan radionuklida Cs di lingkungan dapat membahayakan manusia secara interna apabila Cs masuk ke dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. Jalur kritis masuknya radionuklida di lingkungan ke manusia adalah tanah – tanaman pangan – manusia atau air – produk perikanan – manusia. Radionuklida cesium yaitu Cs-134 dan Cs-137 merupakan isotop Cs yang memancarkan radiasi gamma dengan energi 604 keV, 795 keV dan waktu paro 2,05 tahun untuk Cs-134, sedang untuk Cs-137 energinya sebesar 662 keV dan mempunyai waktu paro 30 tahun.

Untuk tujuan kajian keselamatan nuklir, dalam hal ini untuk memperkirakan dosis interna yang diterima masyarakat berdasar jalur masuknya radionuklida ke manusia, diperlukan nilai faktor transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan dan faktor transfer radionuklida dari air ke produk perikanan. Dalam publikasi International Atomic Energy Agency [1] mengenai nilai parameter transfer radionuklida di lingkungan dicantumkan nilai faktor transfer berbagai radionuklida dari tanah ke tanaman dan dari air ke produk perikanan yang dikonsumsi. Jenis tanaman maupun ikan yang tercantum dalam publikasi tersebut adalah jenis yang hidup dan dikonsumsi di negara beriklim sedang yang berbeda dengan jenis yang ada di Indonesia. Lebih jauh lagi, lingkungan dan iklim yang

berbeda antara Indonesia yang beriklim tropis dengan negara-negara Eropa yang beriklim sedang mengakibatkan tidak mungkin mengaplikasikan nilai faktor transfer radionuklida berdasar hasil penelitian dari negara-negara beriklim sedang.

Data nilai faktor transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan atau dari air ke ikan yang tersedia saat ini untuk wilayah tropis sangat terbatas. Beberapa penelitian pernah dilakukan sebelumnya untuk tanaman bayam [2], serta untuk ikan mujaer [3] dan ikan mas [4]. Untuk melengkapi data nilai parameter transfer untuk wilayah tropis pada penelitian ini akan dipelajari akumulasi dan eliminasi radionuklida Cs pada ikan lele sehingga dapat ditentukan nilai faktor bioakumulasi dan umur paro efektif radionuklida Cs pada ikan lele. Pada penelitian ini digunakan Cs-134 bukan Cs-137 dengan pertimbangan bahwa keduanya mempunyai sifat kimia sama, dan Cs-134 mempunyai waktu paruh lebih pendek dibandingkan dengan Cs-137, sehingga memudahkan pengelolaan limbah hasil penelitian.

Ikan lele merupakan jenis ikan yang hidupnya di dasar perairan dan merupakan ikan nomor tiga yang banyak diproduksi dan dikonsumsi penduduk kota Bandung dan sekitarnya setelah ikan mas dan mujaer. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Kota Bandung, konsumsi ikan lele di kota Bandung sebesar 0,21 kg/orang/tahun pada tahun 2002 [5]. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh nilai faktor bioakumulasi radionuklida Cs dari air ke ikan lele yang nantinya dapat dipergunakan dalam pengkajian dosis interna yang diterima penduduk berdasarkan jalur air – ikan – manusia.

II. TATAKERJA

Pada penelitian ini digunakan ikan lele dumbo (*Clarias sp*) berukuran antara 80 sampai 100 g yang diperoleh dari pasar lokal di kota Bandung. Ikan diadaptasikan terlebih dahulu dalam kolam penelitian yang terbuat dari serat gelas berkapasitas 800 L. Kolam dilengkapi pompa sirkulasi dengan laju alir 35 L/menit, terjunan hidraulis dan aerator untuk mensuplai oksigen ke dalam air. Setelah 2 minggu ikan dianggap mampu beradaptasi, ditandai dengan tingkat kematian kurang dari 10%. Ikan kemudian dipindahkan ke kolam serupa yang berisi air dan telah dikontaminasi dengan radionuklida Cs sehingga konsentrasinya menjadi 9,95 Bq/mL. Pada penelitian ini digunakan Cs-134 bukan Cs-137 dengan pertimbangan bahwa Cs-134 mempunyai waktu paruh lebih pendek dibandingkan dengan Cs-137, sehingga memudahkan pengelolaan limbah hasil penelitian. Sebelum dikontaminasi air kolam dianalisis karakteristiknya di Laboratorium Air, Jurusan Teknik Lingkungan, ITB.

Kontaminasi air dilakukan dengan menambahkan Cs-134 dengan aktivitas 1,22 M Bq / mL sebanyak 3,27 mL ke dalam 500 L air dalam kolam. Air disirkulasi dengan pompa selama lebih kurang dua jam supaya Cs-134 terdistribusi merata dalam air kolam. Homogenitas Cs-134 dalam air kolam diperiksa dengan mengambil cuplikan air kolam sebanyak 100 mL pada tiga titik, kemudian diukur aktivitas Cs-134 menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe. Kandungan Cs-134 dalam air dianggap homogen apabila aktivitas Cs-134 pada ke tiga titik tidak berbeda atau perbedaannya kurang dari 10%.

Ikan lele sebanyak 54 ekor dimasukkan ke dalam kolam yang mengandung Cs-134 dan dipelihara selama 65 hari sampai terjadi akumulasi maksimum Cs-134. Ikan diberi makan pelet pakan ikan setiap pagi dan sore. Selama pemeliharaan ikan, pH air kolam dijaga tetap 7, apabila pH turun menjadi kurang dari 7 ditambahkan kapur ke dalam air kolam sampai pH kembali normal. Volume air kolam juga dijaga tetap konstan untuk menghindari pemekatan Cs-134 dalam air akibat penguapan. Setiap lima hari sekali 3 ekor ikan, air permukaan dan air dasar kolam

masing-masing sebanyak 100 mL diambil untuk diukur kandungan Cs-134.

Ikan dibedah menggunakan gunting dan pinset lalu bagian daging, tulang, dan organ dalam dipisahkan. Bagian tubuh ikan masing-masing ditimbang menggunakan neraca teknis dengan ketelitian 0,01 g, kemudian didestruksi dengan HCl 1,8 M dalam vial sampai volumenya mencapai 100 mL. Demikian pula halnya dengan sampel air sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam vial. Aktivitas Cs-134 dalam sampel air dan bagian tubuh ikan masing-masing diukur menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe selama 600 detik.

Setelah 65 hari, sisa ikan sebanyak 25 ekor yang ada di kolam yang mengandung Cs-134 diambil dan dipindahkan ke kolam lain yang berisi air yang tidak mengandung Cs-134. Sama seperti percobaan sebelumnya, ikan sebanyak 3 ekor dan air 100 mL diambil setiap 5 hari sekali dan aktivitas Cs-134-nya diukur.

ANALISIS DATA

Data konsentrasi radionuklida Cs dalam bagian tubuh ikan dan air yang diperoleh dari hasil penelitian dianalisis untuk memperoleh nilai faktor bioakumulasi. Nilai faktor bioakumulasi dihitung berdasarkan rasio konsentrasi radionuklida dalam tubuh ikan terhadap konsentrasi radionuklida dalam air menggunakan persamaan (1) berdasarkan model kompartemen air – ikan (Gambar 1).

$$F_t = F_{bc} = C_{ikan} / C_{air} \quad (1)$$

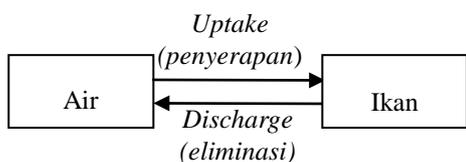
F_t = Faktor transfer
 F_{bc} = Faktor biokumulasi
 C_{ikan} = Konsentrasi Cs-134 dalam jaringan ikan
 C_{air} = Konsentrasi Cs-134 dalam media air

Menurut model pada Gambar 1 perubahan konsentrasi radionuklida dalam tubuh ikan akan mengikuti persamaan (2) [6].

$$dC_{(t)}/dt = u[C_{eq}-C_{(t)}] - cC_{(t)} \quad (2)$$

$C_{(t)}$ = konsentrasi radionuklida dalam ikan pada waktu t (Bq / g)
 C_{eq} = konsentrasi radionuklida dalam ikan

pada saat ekuilibrium (Bq / g)
 u = koefisien laju penyerapan (1/hari)
 c = koefisien laju eliminasi (1/hari)



Gambar 1. Model kompartemen air-ikan

Akumulasi radionuklida dalam tubuh ikan merupakan selisih antara besarnya penyerapan radionuklida dengan eliminasi dan peluruhan fisik radionuklida. Koefisien laju eliminasi radionuklida dari ikan ke air dinyatakan dalam persamaan (3) [7].

$$c = (\ln 2)/T_e \quad (3)$$

c = koefisien laju eliminasi = (1/hari)
 T_e = waktu paro efektif (waktu paro biologi dan fisis) Cs-134
 = waktu yang diperlukan untuk menurunkan aktivitas Cs-134 menjadi separo dari aktivitas semula

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. PERTUMBUHAN IKAN

Air kolam tempat ikan dipelihara diukur pH dan suhunya setiap hari selama pemeliharaan, dan diperoleh kisaran suhu antara 20 – 33 °C, sedang pH berkisar antara 6-7. Dari hasil analisis karakteristik air yang dilakukan di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan ITB diperoleh data seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik air kolam pemeliharaan ikan lele

No.	Parameter Air	Hasil Analisis (mg/L)	Baku mutu* (mg/L)
1	TSS (Total suspended solid)	1421	400
2	DO	3,9	3

3	(Dissolved Oxygen) BOD (Biological Oxygen Demand)	230	6
4	COD (Chemical Oxygen Demand)	945,44	50
5	Kalium (K)	116,57	-
6	Amonium (NH ₄)	0,403	-

* Baku mutu mengacu pada Peraturan Pemerintah no. 82 tahun 2001 untuk air kelas 3 yaitu air untuk pembudidayaan ikan air tawar.

Pada Tabel 1 terlihat kadar partikel tersuspensi (TSS) dalam air yang digunakan melebihi nilai baku mutu air yang dipersyaratkan untuk pembudidayaan ikan air tawar hampir 3,5 kali. Untuk kadar oksigen terlarut (DO) sedikit di atas batas yang dipersyaratkan akan tetapi nilai ini masih memenuhi syarat untuk kehidupan lele yang hanya memerlukan minimal 0,3 mg/L oksigen terlarut [8]. Oksigen terlarut merupakan kebutuhan vital organisme yang hidup di perairan untuk proses respirasi. Nilai BOD dan COD pada air yang digunakan untuk penelitian jauh melebihi nilai baku mutu, yaitu masing-masing 38 dan 19 kali lebih besar. Tingginya nilai BOD dan COD menunjukkan buruknya kualitas air dalam mendukung kehidupan biota di dalamnya. Parameter BOD menunjukkan kebutuhan oksigen terlarut untuk mengoksidasi materi organik dalam perairan, sedang COD menunjukkan kebutuhan oksigen terlarut untuk mengoksidasi material anorganik dalam air. Tingginya BOD dan COD dalam perairan dapat mengurangi jumlah oksigen yang seharusnya dapat dimanfaatkan oleh biota lain dalam sistem perairan. Kandungan unsur K adalah sebesar 116 mg/L, tidak ada nilai baku mutu yang ditetapkan untuk air budidaya ikan air tawar, akan tetapi umumnya kandungan K dalam perairan tawar adalah sebesar 2,886 mg/L [7]. Dari beberapa pustaka dinyatakan bahwa penyerapan Cs oleh ikan sangat dipengaruhi oleh keberadaan unsur K di media tempat hidupnya [7, 9, 10]. Parameter kandungan amonium (NH₄⁺) dalam air

memperlihatkan nilai 0,403 mg/L, walaupun tidak ada nilai baku mutu tetapi keberadaan NH_4 tidak membahayakan kehidupan ikan karena bersifat tidak toksik [8]. Di dalam air NH_4 berada dalam kesetimbangan dengan amonia NH_3 yang bersifat toksik melalui reaksi (4).



Hubungan antara NH_3 dan NH_4^+ bergantung pada pH, apabila pH kurang dari 8 dengan konsentrasi NH_4^+ kurang dari 1 mg/L maka konsentrasi amonia masih di bawah nilai maksimum yaitu 0,02 mg L. Ikan lele dapat hidup pada kandungan amonia sampai 157,56 mg/L [11].

Dalam penelitian ini kondisi pertumbuhan ikan diamati dengan mengamati pertambahan bobot ikan lele. Walaupun beberapa parameter kualitas air tidak memenuhi persyaratan kualitas air untuk budidaya ikan air tawar tetapi ikan lele yang dipelihara pada kolam berisi air terkontaminasi Cs-134 mengalami pertumbuhan normal, karena ikan lele mampu hidup normal pada lingkungan perairan yang kualitasnya sangat buruk atau kondisi ekstrim [12]. Pertumbuhan normal ditandai dengan bertambahnya berat ikan dan pada ikan yang betina pada saat dibedah dijumpai adanya telur yang artinya sistem reproduksi tidak terganggu.

Pada awal pemeliharaan rata-rata berat 55 ekor ikan lele pada kolam aktif adalah sebesar 110 ± 11 g, sedang 55 ekor lainnya yang ada di kolam kontrol berat badan rata-rata lebih ringan yaitu hampir $90 \pm 6,8$ g. Pada akhir penelitian yaitu setelah 65 hari pemeliharaan berat ikan rata-rata untuk kolam yang diberi Cs-134 hampir mencapai 140 g, sedang untuk kolam kontrol menjadi hampir 100 g, artinya masing-masing mengalami kenaikan berat 27% dan 11%.

3.2. ANALISIS AIR

Sampel air sebanyak 100 mL diambil setiap 5 hari sekali masing-masing dari bak kontrol dan bak yang berisi air yang telah dikontaminasi, kemudian aktivitas radionuklida Cs-nya diukur. Pada sampel air dari bak kontrol tidak terdeteksi adanya radionuklida Cs. Dalam air yang dikontaminasi terjadi penurunan konsentrasi Cs-134 seiring dengan lamanya waktu

pemeliharaan. Pada awal percobaan konsentrasi Cs-134 dalam air 9,95 Bq/mL dan pada akhir penelitian yaitu pada hari ke 65 diperoleh 8,77 Bq/mL, yaitu berkurang hampir 12%. Pengurangan ini dapat dikatakan terjadi karena adanya penyerapan oleh ikan dan peluruhan fisis. Berdasarkan perhitungan pengurangan konsentrasi akibat peluruhan fisis adalah dari 9,95 menjadi 9,35 Bq/mL atau mengalami penurunan sebesar 6%.

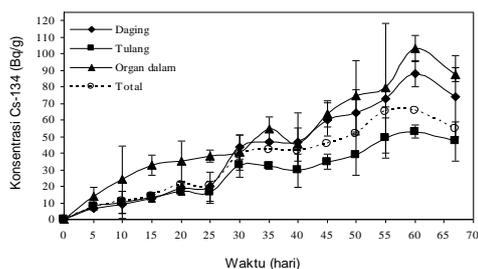
3.3. ANALISIS SAMPEL IKAN

Sampel bagian tubuh ikan didestruksi dengan HCl, kemudian diukur menggunakan spektrometer gamma untuk mengetahui konsentrasi Cs-134. Distribusi konsentrasi Cs-134 dalam tubuh ikan diperlihatkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 dapat dilihat terjadi peningkatan konsentrasi Cs-134 dalam tubuh ikan sejak pengamatan 5 hari pertama. Sampai akhir pemeliharaan dalam kolam terkontaminasi Cs-134 konsentrasi tertinggi terdapat pada organ dalam ikan yaitu 103 Bq/g dan 87 Bq/g masing-masing pada hari ke 60 dan ke 65. Pada daging, konsentrasi Cs-134 lebih rendah dari organ dalam, konsentrasi tertinggi pada daging dicapai pada hari ke 60 yaitu 88 Bq/g dan pada hari ke 65 menurun menjadi 74 Bq/g. Demikian pula halnya dengan tulang konsentrasi tertinggi dicapai pada hari ke 60 yaitu 53 Bq/g dan pada hari ke 65 menurun menjadi 47 Bq/g. Penurunan konsentrasi Cs-134 dalam semua bagian tubuh ikan setelah hari ke 60 disebabkan oleh peluruhan fisis dan proses eliminasi Cs-134 dari tubuh ikan. Pada hari ke 0 sampai hari ke 60 penyerapan dan akumulasi Cs-134 pada ikan lebih besar dari pada peluruhan fisis dan eliminasi, sehingga konsentrasi dalam bagian tubuh ikan meningkat. Setelah hari ke 60 akumulasi Cs-134 dalam bagian tubuh ikan sudah mencapai kejenuhan, tetapi proses peluruhan fisis dan eliminasi terus berlangsung, sehingga konsentrasi Cs-134 dalam bagian tubuh ikan menurun. Laju eliminasi Cs-134 dalam tubuh ikan dibahas selanjutnya.

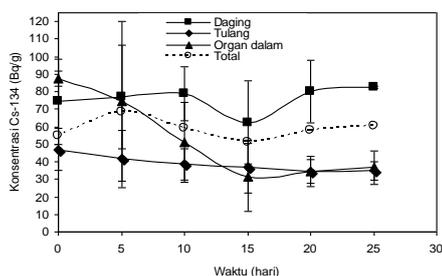
Unsur Cs berada pada golongan yang sama dengan unsur K dalam sistem periodik unsur. Unsur K banyak diperlukan dalam metabolisme otot sehingga kandungan K banyak di daging atau otot. Karena Cs mempunyai sifat kimia yang mirip dengan K, maka dengan sendirinya Cs akan terakumulasi

di bagian otot [13]. Cesium yang terukur di organ dalam adalah karena adanya bahan makanan dan air yang terperangkap pada organ dalam, sehingga memberi kontribusi aktivitas Cs. Artinya Cs sebenarnya tidak diakumulasi dalam organ dalam. Hal ini terbukti dari hasil percobaan eliminasi.

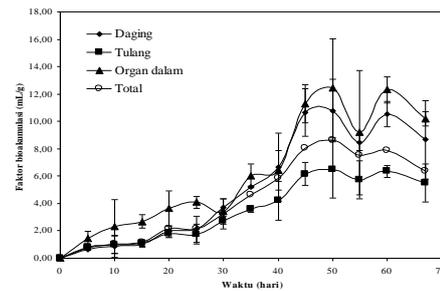
Hasil pengukuran konsentrasi Cs pada bagian tubuh ikan terkontaminasi Cs yang kemudian dipelihara dalam air bersih tanpa Cs memperlihatkan penurunan yang cukup tajam. Konsentrasi Cs pada organ dalam ikan (Gambar 3) turun dari 84 Bq/g menjadi hampir 37 Bq/g atau tinggal 44% dari konsentrasi semula dalam waktu 25 hari. Pada bagian tulang penurunan terjadi dari 45 Bq/g menjadi sekitar 30 Bq/g selama 25 hari proses eliminasi, sedang untuk bagian daging konsentrasinya terlihat berfluktuasi, tetapi tidak terlihat adanya penurunan. Pada keseluruhan tubuh ikan konsentrasi Cs-134 juga tidak terlihat penurunan yang signifikan.



Gambar 2. Distribusi konsentrasi Cs-134 dalam bagian tubuh ikan



Gambar 3. Eliminasi Cs-134 dari ikan ke air



Gambar 4. Faktor bioakumulasi Cs-134 pada ikan selama 65 hari

Akumulasi radionuklida Cs pada tubuh ikan dinyatakan sebagai faktor bioakumulasi dihitung menggunakan persamaan (1). Dari perhitungan diperoleh hasil seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

Nilai faktor bioakumulasi radionuklida Cs dari air ke ikan ditentukan pada saat terjadi akumulasi maksimum yaitu 8,6; sedang faktor bioakumulasi pada bagian yang dikonsumsi (daging) lebih tinggi, yaitu 10,8. Nilai faktor bioakumulasi untuk jenis ikan tropis pernah dilaporkan sebelumnya, yaitu sebesar 9 untuk ikan mas [4], 13 untuk ikan mujaer [3], dan 11-15 untuk ikan zebra [7]. Nilai bioakumulasi Cs yang dilaporkan oleh IAEA untuk jenis ikan yang hidup di negara iklim sedang adalah 30 – 3000 [1].

Dibandingkan dengan nilai faktor bioakumulasi ikan-ikan yang dilaporkan IAEA nilai faktor bioakumulasi yang diperoleh dari penelitian ini termasuk rendah. Penyerapan Cs oleh ikan dipengaruhi oleh keberadaan K dalam air tempat hidupnya. Seperti yang dilaporkan oleh peneliti lain [7, 10], akumulasi Cs menurun apabila ikan dipelihara dalam air yang memiliki kandungan K tinggi. Pada kandungan K dalam air sebesar 390 mg/L faktor bioakumulasi hanya 12,5% dari faktor bioakumulasi pada air dengan kandungan K normal. Dari hasil analisis unsur K dalam air yang digunakan dalam penelitian ini terdapat kandungan K yang relatif tinggi yaitu sebesar 116,57 Bq/mL dibandingkan dengan kandungan K dalam air tawar biasa pada umumnya yaitu sebesar 2,886 mg/L [7].

Masuknya K dari air ke tubuh ikan sebagian besar melalui insang, yaitu pada saat air melewati insang untuk proses pengambilan oksigen dari air. Unsur K kemudian masuk ke

dalam aliran darah dan dengan cepat masuk ke jaringan. Menurut penelitian Sanders [9] dalam waktu 1 jam 90% K sudah menghilang dari peredaran darah. Kesetimbangan K dalam plasma darah dengan dalam jaringan terjadi setelah 4-5 jam kecuali untuk tulang, yaitu hanya 15% dari konsentrasi rata-rata jaringan lain.

Dalam tubuh ikan nilai akumulasi sebenarnya merupakan selisih dari Cs yang diserap dengan yang diekskresikan baik melalui ginjal, *rectum* ataupun insang. Pada penelitian ini terlihat eliminasi sangat kecil terutama eliminasi Cs dari daging. Sampai hari ke 25 pemeliharaan ikan di air bersih tidak terlihat penurunan konsentrasi Cs-134 pada daging, tetapi terjadi penurunan pada organ dalam dan tulang (Gambar 3). Penurunan ini terjadi selain karena peluruhan fisik Cs-134 juga karena adanya ekskresi yang terbukti dari naiknya konsentrasi Cs-134 dalam air tempat hidupnya (Gambar 5). Kenaikan konsentrasi Cs-134 dalam air terjadi sampai hari ke 10 setelah pemeliharaan ikan terkontaminasi Cs-134 di media air yaitu mencapai 0,04 Bq/mL. Pada hari ke 15 konsentrasinya sedikit menurun menjadi 0,025 kemudian meningkat pada hari ke 20 dan menurun kembali pada hari ke 25 menjadi 0,045. Walaupun terlihat berfluktuasi tetapi konsentrasi Cs-134 dalam air cenderung meningkat dari 0 pada awal penelitian menjadi 0,045 Bq/mL pada hari ke 25. Fluktuasi konsentrasi Cs-134 dalam air sangat dipengaruhi oleh metabolisme Cs-134 dalam tubuh ikan dimana terjadi proses penyerapan, akumulasi, dan ekskresi.

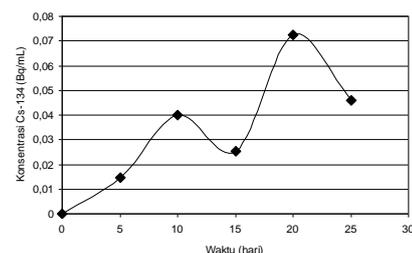
Laju pengeluaran atau eliminasi Cs-134 dari ikan dapat dihitung melalui persamaan (3). Nilai waktu paro efektif pada ikan ditentukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini (Gambar 6). Berdasarkan data penelitian sulit ditentukan nilai waktu paro efektif karena sampai pengamatan hari ke 25 belum tercapai nilai aktivitas setengah dari semula, sehingga kemudian dibuat *trendline* logaritmik dan diperoleh persamaan (5).

$$y = 5479 e^{-0,0049x} \quad (5)$$

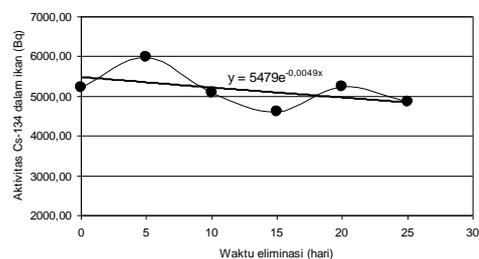
Simbol y adalah aktivitas Cs-134 dalam tubuh ikan (Bq) dan x adalah waktu eliminasi (hari). Dari persamaan (5) diperoleh nilai waktu paro

efektif dengan memasukkan nilai y setengah dari aktivitas pada saat $x = 0$ (5479 Bq), yaitu sebesar 141,5 hari. Waktu paro efektif atau beberapa peneliti juga menyebut sebagai waktu paro biologi, bervariasi menurut spesies ikan dan lingkungan hidupnya [14]. Waktu paro efektif radionuklida Cs pada ikan zebra yang hidup di perairan tawar wilayah tropis adalah 43 – 59 hari [7], sedang beberapa spesies ikan air tawar yang hidup di danau di Norwegia mempunyai waktu paro biologi untuk radiosesium bervariasi dari 103 sampai 816 hari [14].

Dari nilai waktu paro biologi dapat dihitung koefisien laju eliminasi dan laju penyerapan masing-masing menggunakan persamaan (3) dan persamaan (2). Koefisien laju eliminasi diperoleh sebesar 0,0049 / hari, sedang koefisien laju penyerapan adalah sebesar 0,0188 /hari. Nilai koefisien laju penyerapan hampir 4 kali lebih besar dari koefisien laju eliminasi sehingga radiosesium terakumulasi pada tubuh ikan lele.



Gambar 5. Kenaikan konsentrasi Cs-134 dalam air pada saat pemeliharaan ikan terkontaminasi



Gambar 6. Kecenderungan penurunan aktivitas Cs-134 pada tubuh ikan lele

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ikan lele yang hidup dalam media air terkontaminasi Cs-134 dengan konsentrasi 9,95 Bq/mL menyerap Cs dari air tempat hidupnya. Berdasarkan data konsentrasi Cs dalam ikan dihitung koefisien laju penyerapan Cs-134 dan diperoleh nilai sebesar 0,0188 /hari. Dari hasil penelitian dan perhitungan eliminasi radionuklida Cs dari tubuh ikan diperoleh waktu paro efektif Cs-134 pada ikan lele selama 141,5 hari dengan koefisien laju eliminasi 0,0049 / hari. Dengan nilai koefisien laju penyerapan lebih besar dari pada koefisien laju eliminasi maka berarti Cs-134 diakumulasi dalam tubuh ikan lele dengan faktor bioakumulasi sebesar 8,6 untuk seluruh tubuh sedang pada daging nilai faktor bioakumulasi adalah 10,58. Besarnya nilai faktor bioakumulasi Cs-134 pada daging ikan lele hampir sama dengan pada daging ikan tropis lainnya yaitu ikan mas, mujaer dan ikan zebra, yang masing-masing sebesar 9 [4], 13 [3], dan 15 [7].

Radionuklida Cs yang diserap oleh ikan lele terdistribusi pada otot, tulang dan organ dalam dengan akumulasi tertinggi pada daging. Pada organ dalam ikan Cs-134 yang terukur bukan merupakan Cs-134 yang diakumulasi dalam jaringan, melainkan Cs-134 dalam air atau partikulat makanan yang terperangkap dalam saluran pencernaan ataupun insang ikan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan dalam pengkajian dosis radiasi interna dalam kaitannya dengan *radiological risk assessment* pada saat terjadi kontaminasi radiosesium di lingkungan perairan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada saudari Umi Habibah, mahasiswa Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, yang telah banyak membantu pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, "Handbook of Parameter Values for Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environment", IAEA, Vienna (1994).
2. TJAJAJA, P.I. dan SUKMABUANA, P. Penyerapan Cs-134 dari tanah andosol ke tanaman bayam (*Amaranthus sp*) (Prosiding Seminar Nasional ke 14 Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Bandung 8 November 2008), PTRKN BATAN – UNPAD, Bandung (2008).
3. TJAJAJA P.I., HISWARA, E., WAHYUDI, dan YURFIDA, Akumulasi dan eliminasi radionuklida ¹³⁷Cs dan ⁶⁰Co pada ikan mujaer (*Tilapia mozambica*), (Prosiding Seminar Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, Agustus 1997), PSPKR, BATAN, Jakarta (1997) 187-194.
4. CHUSSETIJOWATI, J., TJAJAJA, P.I., SUKMABUANA, P., Penyerapan Radiosesium-134 Dalam Air Oleh Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) (Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nulir, PTNBR, BATAN, Juni 2007) PTNBR BATAN, Bandung (2007).
5. BADAN PUSAT STATISTIK KOTA BANDUNG, "Bandung Dalam Angka", Badan Pusat Statistik Kota Bandung, Bandung (2002).
6. MAN, C.K. and KWOK, Y.H., "Uptake of ¹³⁷Cs by Fresh Water Fishes", Department of Applied Physics, The Hongkong Polytechnics University, Hung Hom, Kowloon, Hongkong, 1999.
7. SRIVASTAVA, A., DENSCHLAG, H.O., and URICH, K., Accumulation and discharge behavior of Cs-137 by zebra fish (*Brachydanio rerio*) in different aquatic environments, J. Radioanal. And Nucl. Chem 138 (1) (1995) 165-170.
8. PRIHATMAN, "Proyek Pengembangan Ekonomi Masyarakat Pedesaan", Bapenas, Jakarta (2000).
9. SANDERS, M.J. and KIRSCHNER, L.B., Pottasium metabolisme in seawater teleosts, I. The use of ⁸⁶Rb as a tracer for potassium, J. exp. Biol., 104 (1983) 15-28.
10. HAKANSON, L. and FERNANDEZ, J.A., A mechanistic sub-model predicting the influence of potassium on

- radiocesium uptake in aquatic biota, J. environ. Radioactiviy, 54, (2001) 345 – 360.
11. SAWYER, C.N., Mc CARTY, P.L., and PARKIN, G.E., “Chemistry for Environmental Engineering”, McGraw-Hill Inc., Singapore (1994).
 12. SUYANTO, S.R., “Budidaya Ikan Lele”, Penebar Swadaya, Jakarta (2001).
 13. SUZUKI, Y., NAKAHARA, M., and UEDA, T., Roles of food and seawater in accumulation of radionuclides by marine fish, Bull. Japanese Society of Scientific Fisheries, 45 (11) (1979) 1409 – 1416.
 14. FORSETH, T., UGEDA, O., NAESJE, T. F., and JONSSON, B., Radiocaesium elimination in fish : variation among and within species, J. Appl. Ecol., 35 (1998) 847 – 856.

FAKTOR KOREKSI PENGUKURAN AKTIVITAS RADIOFARMAKA DENGAN SYRINGE DI KEDOKTERAN NUKLIR.

**Pujadi, Hermawan Candra dan Gatot Wurdianto
PTKMR - BATAN**

FAKTOR KOREKSI PENGUKURAN AKTIVITAS RADIOFARMAKA DENGAN SYRENGE DI KEDOKTERAN NUKLIR. Telah dilakukan percobaan pengukuran radiofarmaka Iodium-125 menggunakan kamar ionisasi pada wadah *syringe* dan ampul gelas standar PTKMR- BATAN untuk menentukan faktor koreksi pengukuran dengan wadah *syringe*. Sumber radiofarmaka I-125 yang digunakan dibuat di RSG – GAS Serpong. Cuplikan sumber I-125 masing-masing disiapkan 7 buah dalam wadah *syringe* volume 3 cc dengan berbagai variasi berat dari 0,36228 – 2,82533 gram, pada *syringe* volume 5 cc dengan variasi berat dari 0,67826 – 2,91876 gram. Sedangkan sebagai standar dibuat pada wadah ampul gelas volume 5 cc standar PTKMR, dengan berat 2,85831 gram. Pengukuran terhadap cuplikan pada wadah *syringe* dilakukan pada posisi sumber ketinggian 7 cm dari dasar kamar ionisasi. Sedangkan pengukuran sumber ampul ditempatkan sesuai dengan posisi holder. Hasil menunjukkan bahwa pada pengukuran sumber radiofarmaka Iodium-125 dengan wadah ampul gelas didapatkan aktivitas 2,7569 $\mu\text{Ci/gram}$, sedangkan pada wadah *syringe* 3 cc didapatkan 3,8918 $\mu\text{Ci/gram}$ dan pada wadah *syringe* 5 cc didapatkan 3,6706 $\mu\text{Ci/gram}$. Sehingga pada wadah *syringe* 3 cc memerlukan faktor koreksi antara 24,3 – 32,7 % dan pada wadah *syringe* 5 cc memerlukan faktor koreksi antara 39,5 – 42,6 % .

Kata Kunci : *Koreksi, syringe, iodium-125, ampul gelas dan kamar ionisasi*

CORRECTION FACTOR OF RADIPHARMACEUTICAL ACTIVITY MEASUREMENT USING SYRINGE ON NUCLEAR MEDICINE. Measurement of I-125 radiopharmaceutal using ionization chamber on syringe and glass ampule of PTKMR – BATAN have been carried out for determination of syringe correction factor. The radiopharmaceutical of I-125 was produced in RSG-GAS Serpong. The I-125 sample sources were prepared in syringe of 3cc with variation of weight ranging from 0,36228 to 2,82533 gram, and syringe of 5cc with variation of weight ranging from 0,67826 to 2,91876 gram. As standard sources was prepared in glass ampoule vol 5 cc, with wieght of 2,85831 gram. Sample source in syringe was measured with position 7 cm height from botom of ionization chamber. Sample source in ampul was measured at holder position. The result showed that measurement of I-125 radiopharmaceutal with ampoule glass, the activity obtained was 2,7569 $\mu\text{Ci/gram}$, and in syringe 3cc was 3,8918 $\mu\text{Ci/gram}$ and in syringe 5 cc was 3,6706 $\mu\text{Ci/gram}$. The correction factor was obatined 24,3 – 32,7 % and 39,5 – 42,6 % for syringe 3cc and 5cc respectively.

Keywords : *Correction, syringe, iodium-125, glass ampoule and ionization chamber.*

I. PENDAHULUAN

Ketelitian dan ketepatan pengukuran aktivitas radiofarmaka yang digunakan dibidang kedokteran nuklir, baik untuk diagnosa maupun terapi sangat perlu dilakukan agar dosis yang diterima oleh pasien sesuai dengan yang dibutuhkan. Hal ini untuk menjamin keselamatan, kesehatan pasien dan lingkungan sesuai dengan prinsip proteksi radiasi. Radiofarmaka sebelum diberikan kepada pasien perlu diukur aktivitasnya sehingga dosis yang diberikan sesuai dengan yang diinginkan. Salah satu alat bantu untuk menentukan aktivitas radiofarmaka di rumah sakit, khususnya di unit kedokteran nuklir, adalah perangkat kamar ionisasi yang dikenal dengan *Dose Calibrator*. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti dan akurat diperlukan alat yang berfungsi dengan baik, metode yang tepat dan sumber daya manusia yang berpengalaman. *Dose Calibrator* merupakan alat yang bersifat relatif sehingga perlu dikalibrasi sebelum digunakan. Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja alat, biasanya dilakukan menggunakan sumber standar zat radioaktif dalam bentuk cair pada wadah ampul gelas. Untuk mendapatkan hasil pengukuran radiofarmaka yang baik, pengukuran diharapkan dalam kondisi yang sama dengan pada waktu kalibrasi. Pada kenyataannya di lapangan kondisi seperti ini tidak dilakukan. Kalibrasi alat ukur aktivitas radiofarmaka di rumah sakit dilakukan menggunakan sumber standar pada wadah ampul

gelas standar PTKMR dengan tebal dinding gelas 5 mm, sedangkan pengukuran radiofarmaka sebelum diberikan ke pasien menggunakan wadah *syringe* 3 cc maupun 5 cc, dengan ketebalan dinding bahan plastik 6-7 mm, dengan perbedaan ini dapat dipastikan akan menambah kesalahan pengukuran, sehingga perlu faktor koreksi agar tidak merugikan pasien. Hal ini karena ada perbedaan bahan yaitu gelas dan plastik selain berbeda ketebalan.

Oleh karena itu dengan perbedaan ini kemungkinan akan mengakibatkan tidak akuratnya hasil pengukuran radiofarmaka yang akan diberikan kepada pasien. Menurut GUY RATEL (1995) yang dikutip oleh PUJADI (2008) apabila *Dose Calibrator* di kalibrasi menggunakan sumber cairan 5 gram dengan wadah ampul gelas dari "Borosilicate" tebal dinding 0,6 mm, maka koreksi pengukuran menggunakan *syringe* dengan ketebalan dinding 1,2 mm adalah $\pm 25\%$ ⁽²⁾. Menurut M.J.WOODS, J.D. KEIGHTLEY dan M. CIOCANEL (1998), pada kegiatan interkomparasi pengukuran aktivitas Iodium -125 dan Iodium -123 di Inggris yang melibatkan 20 rumah sakit dengan 65 buah *Dose Calibrator*, hasil yang didapat menunjukkan bahwa simpangan pengukuran berkisar antara 20 – 60% ⁽⁶⁾. Rentang hasil pengukuran dengan *Dose Calibrator* yang demikian besar di sebabkan oleh banyak faktor, diantaranya adalah karena tenaga gamma Iodium 125 cukup rendah, sehingga sangat sensitif terhadap perbedaan wadah sumber, bentuk,

posisi pengukuran, geometri dan posisi sumber. Radionuklida Iodium -125 meluruh melalui tangkapan elektron, dan diikuti pelepasan sinar-X dari kulit K dengan energi 27,2 dan 31,7 keV^(1,2). Menurut A. RYTZ (1983) pengukuran aktivitas radionuklida yang mempunyai tenaga gamma < 50 keV, menggunakan Dose Calibrator, pancaran photon tidak terdeteksi semua, karena ada yang terhambat pada dinding kamar Dose Calibrator, hanya sebagian yang bisa menembus dinding dan terdeteksi^(3,4). Menurut G. RATEL & JW MULLER (1988) yang dikutip oleh PUJADI (2005) pengukuran menggunakan kamar pengion yang ber dinding logam, maka tenaga gamma < 13 keV tidak terdeteksi sama sekali⁽⁵⁾. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dianalisa perbedaan pengukuran aktivitas radiofarmaka khususnya terhadap radiofarmaka Iodium-125, yang banyak digunakan di beberapa rumah sakit di Indonesia, pada wadah *syringe* dengan ketebalan 0,6 – 0,7 mm terhadap wadah ampul gelas standar PTKMR dengan ketebalan dinding 0,5 mm. Pada penelitian ini digunakan perangkat kamar ionisasi - $4\pi\gamma$ atau *Dose Calibrator* Capintec CRC-7BT. Sumber radiofarmaka I-125 yang digunakan dibuat difasilitas Reaktor Serpong. Sedangkan sumber radionuklida Co-60 buatan Amersham, yang merupakan stok. Diharapkan dengan penelitian ini akan diperoleh faktor koreksi pengukuran radiofarmaka Iodium-125 pada wadah *syringe* terhadap wadah ampul gelas

standar PTKMR yang digunakan untuk kalibrasi alat ukur di beberapa rumah sakit.

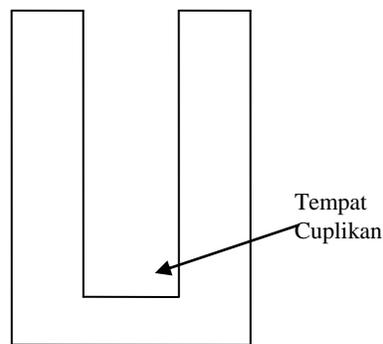
II. TATA KERJA

II.1. Bahan dan Peralatan

1. Syringe volume 3 cc dan 5 cc
2. Ampul gelas standar PTKMR- BATAN
3. Sumber Radionuklida Iodium -125 bentuk cair
4. Sumber Radionuklida Cobalt - 60 bentuk cair
5. Timbangan semi mikro Metler H5R
6. Kamar Pengionan $4\pi\gamma$ Capintec

II.2. Pembuatan dan pengukuran cuplikan

Cuplikan radiofarmaka Iodium -125 dalam bentuk cair dipreparasi pada wadah ampul gelas standar PTKMR volume 5 cc, sebanyak ($2,85831 \pm 0,1\%$) gram. Cuplikan radiofarmaka dengan berat sebesar ini berfungsi sebagai standar, sesuai dengan keadaan pada waktu kalibrasi. Kemudian dibuat pula sumber radiofarmaka sebanyak 7 buah pada wadah *syringe* volume 3 cc dengan berbagai variasi berat dari 0,36228 – 2,82533 gram dan pada wadah *syringe* volume 5 cc dengan variasi berat dari 0,67826 – 2,91876 gram. Kemudian masing-masing sumber ditutup rapat, sumber pada *syringe* dibungkus plastik tipis untuk menghindari kemungkinan kontaminasi pada waktu pengukuran.



Ilustrasi dose calibrator



Posisi sumber ampul, *syringe*

Gambar 1 : Ilustrasi variasi posisi cuplikan sumber.

Pengukuran dilakukan menggunakan *Dose Calibrator* Capintec CRC-7BT milik PTKMR. Posisi sumber radiofarmaka disesuaikan dengan keadaan pada waktu pengukuran di lapangan, sumber dengan wadah ampul maupun *syringe* di letakkan dalam kamar ionisasi dengan posisi tegak. Dengan posisi tegak di dalam lubuk kamar pengionan maka posisi sumber dalam ampul dari dasar lubuk hanya berjarak 1,5 cm. Sedangkan sumber pada wadah *syringe* didalam lubuk kamar pengionan ada dua kemungkinan posisinya, yaitu apabila cara memasukkan *syringe* tutupnya terlebih dahulu maka posisi sumber dalam *syringe* dari dasar lubuk berjarak 7,5 cm, apabila dengan cara kebalikannya maka posisi sumber berjarak 4 cm dari dasar lubuk. Ilustrasi posisi cuplikan sumber Iodium I-125 pada wadah ampul gelas dan wadah *syringe* di sajikan pada Gambar 1. Selain itu dilakukan pula pengukuran pada posisi ketinggian 7 - 8 cm dari dasar kamar ionisasi, sesuai dengan hasil penelitian terdahulu oleh PUJADI dkk (2008), dimana pada posisi ini pengukuran menggunakan *Dose Calibrator* Capintec CRC-

7BT milik PTKMR memberikan respon yang paling optimal. Pengambilan data dilakukan masing-masing sebanyak 25 kali.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1. disajikan data hasil pengukuran I-125 pada wadah *syringe* 3cc dengan variasi berat / volume, dibandingkan dengan hasil pengukuran pada wadah ampul gelas. Terlihat bahwa hasil pengukuran sangat berbeda dengan ratio aktivitas terukur dengan wadah *syringe* dan ampul gelas berkisar antara 1,39 – 1,43 artinya aktivitas terukur menggunakan *syringe* lebih besar 39,5 – 42,6 %. Hal ini kemungkinan dikarenakan I-125 mempunyai energi foton yang relatif kecil 32 – 35 keV, sehingga pengukuran dengan wadah ampul gelas lebih banyak terabsorpsi dibanding pada wadah *syringe*. Perbedaan volume / massa pada wadah *syringe* tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengukuran, terlihat dari rata-rata harga aktivitas *syringe* 3 cc sebesar 3,8918 $\mu\text{Ci}/\text{gram}$ dengan deviasi 2,8% dan pada *syringe* 5 cc sebesar

3,6706 $\mu\text{Ci}/\text{gram}$ dengan deviasi 2,5 %. Hal ini disebabkan posisi sumber pada wadah *syringe* terletak pada daerah 7 – 9 cm dari dasar lubang kamar pengion. Menurut penelitian terdahulu pengukuran menggunakan kamar pengionan

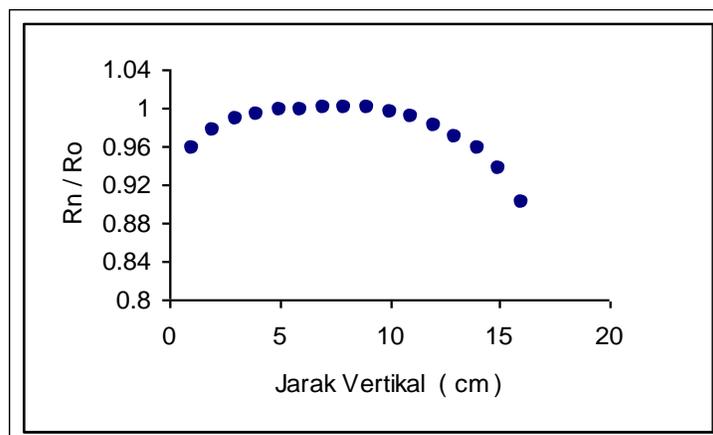
Capintec model CRC-7BT pada daerah ini adalah daerah yang paling optimum untuk pengukuran, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Data hasil pengukuran I-125 wadah *syringe* 3 cc dan ampul gelas 5 cc

No.	Berat sumber <i>syringe</i> 3cc (gram)	Aktivitas <i>Syringe</i> ($\mu\text{Ci}/\text{gram}$)	Aktivitas Ampul ($\mu\text{Ci}/\text{gram}$)	Rasio : <i>Syringe</i> /ampul Faktor koreksi
1.	0.36228	3.892	2.757	1.412
2.	0.59033	3.862	2.757	1.400
3.	0.748841	3.886	2.757	1.409
4.	1.0453	3.846	2.757	1.395
5.	1.38128	3.931	2.757	1.426
6.	1.55069	3.895	2.757	1.413
7.	2.82533	3.931	2.757	1.426

Perbedaan volume pada wadah *syringe* 3 cc dan 5 cc memberikan perbedaan hasil aktivitas dengan rasio 0,943 antara *syringe* 3cc terhadap *syringe* 5 cc. Sedangkan perbedaan volume / berat dengan wadah yang sama yaitu wadah *syringe* 3 cc harga aktivitas per gramnya hanya

berbeda tidak terlalu berarti dengan rasio terbesar adalah 0,978. Pada wadah *syringe* 5 cc harga aktivitas per gramnya hanya berbeda tidak terlalu berarti dengan rasio terbesar adalah 0,986.



Gambar 2 : Kurva hasil pengukuran I-125 variasi jarak dari dasar kamar pengion

Gambar 3. Pada pengukuran cuplikan sumber I-125 pada ampul gelas standar PTKMR, respon yang didapatkan paling optimal, yaitu harga aktivitas mendekati harga sesungguhnya ditunjukkan oleh harga $R_n/R_o = 1$, berada di daerah berat 2 gram. Apabila sebagai acuan digunakan sumber dengan berat 2 gram, maka

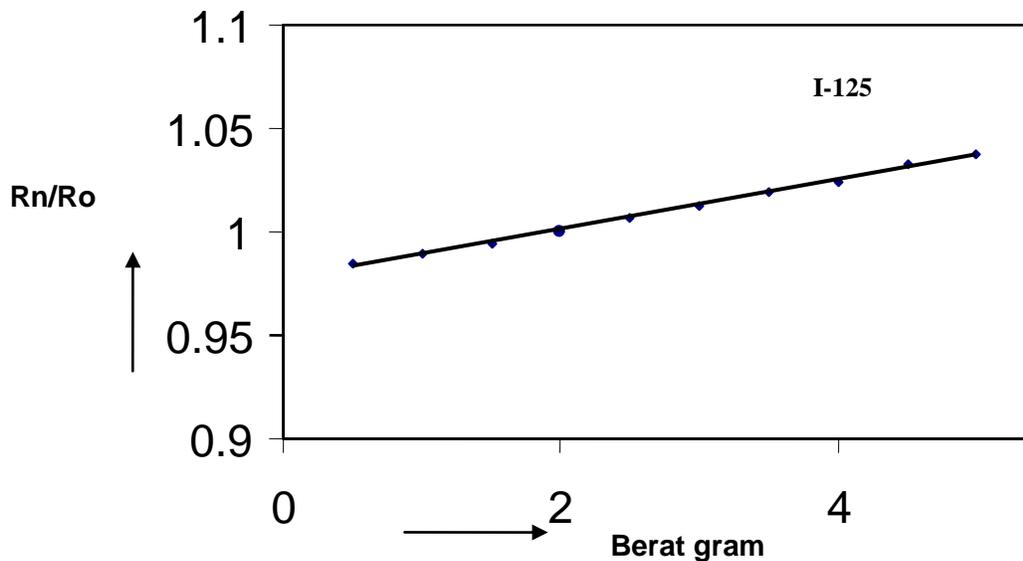
rasio yang didapatkan pada cuplikan dengan variasi berat 0,5 – 5 gram berkisar antara 0,985 – 1,037. Tabel 2. menyajikan data hasil pengukuran I-125 pada wadah *syringe* 5 cc dengan variasi berat / volume, dibandingkan dengan hasil pengukuran pada wadah ampul gelas.

Tabel 2. Data hasil pengukuran I-125 wadah *syringe* 5 cc dan ampul gelas 5 cc

No.	Berat sumber <i>syringe</i> 5cc (gram)	Aktivitas <i>Syringe</i> ($\mu\text{Ci}/\text{gram}$)	Aktivitas Ampul ($\mu\text{Ci}/\text{gram}$)	Ratio : <i>Syringe</i> /ampul Faktor koreksi
1.	0.826	3.654	2.757	1.325
2.	0.875	3.702	2.757	1.343
3.	0.956	3.649	2.757	1.324
4.	1.129	3.685	2.757	1.337
5.	1.383	3.674	2.757	1.333
6.	1.424	3.659	2.757	1.327
7.	2.919	3.669	2.757	1.331

Seperti pada data *syringe* 3cc terlihat bahwa hasil pengukuran sangat berbeda antara wadah *syringe* 5 cc dengan ampul gelas, aktivitas

terukur per gram lebih besar pada wadah *syringe*, perbedaan terhadap ampul dengan rasio 1,327 – 1,243.



Gambar 3. Hasil pengukuran I-125 dengan variasi berat sumber

IV. KESIMPULAN :

Hasil pengukuran I-125 dengan wadah *syringe* dibandingkan dengan wadah ampul gelas, untuk *syringe* 3cc dengan rasio sebesar 1,395 – 1,426 artinya aktivitas terukur menggunakan *syrenge* memerlukan faktor koreksi antara 39,5 – 42,6 % dan untuk wadah *syringe* 5 cc , dengan rasio 1,327 – 1,243 , aktivitas terukur menggunakan *syringe* lebih besar dan memerlukan faktor koreksi antara 32,7 – 24,3 % terhadap wadah ampul. Faktor koreksi ini diperlukan untuk mendapatkan hasil pengukuran radiofarmaka yang akurat agar keselamatan, kesehatan pasien dan lingkungan terjamin sesuai dengan prinsip proteksi radiasi

- Ga-67 and I-123 assays in UK Hospitals, Int.J.Appl.Radiat.Isot , vol. 49 (1998).
8. RADIOISOTOPE CALIBRATOR MANUAL, CRC - 7BT , (1992)

V. DAFTAR PUSTAKA

1. NCRP REPORT No. 58 , A Hand Book of Radioactivity Measurement Procedures (1978).
2. GUY RATEL, Activity concentration of a solution I-125 : Result of an international comparison, Nuclear Instrumens & Method in Physics Research, A366(1995) 183 -191.
3. H. SCHRADER, Activity Measurement with Ionization Chamber, BIPM, Sevres (1997)
4. H.M.WEISS, $4\pi\gamma$ -Ionization Chamber Measurement , Nuclear Instrumens & Method in Physics Research 112, (1973)
5. A.RYTZ, The International reference System For Activity of- Ray Emitting Nuclides, Int.J.Appl.Radiat.Isot. (1983)
6. G. RATEL & JW MULLER Int.J.Appl.Radiat.Isot, vol 64 (1988)
7. M.J.WOODS, J.D. KEIGHTLEY dan M. CIOCANEL , Intercomparisons of

PENGGUNAAN RADIOFARMAKA ^{99m}Tc - HUMAN SERUM ALBUMIN NANOSFER UNTUK PENCITRAAN SUMSUM TULANG DAN DETEKSI INFLAMASI PADA HEWAN UJI

Rizky Juwita Sugiharti, Iim Halimah, Prina Puspa Kania, Nanny Kartini

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN – BANDUNG
Jl. Tamansari 71-Bandung Telp : 022-2503997 Fax : 022-2504081
e-mail : wita@batan-bdg.go.id

ABSTRAK

PENGGUNAAN RADIOFARMAKA ^{99m}Tc -HUMAN SERUM ALBUMIN NANOSFER UNTUK PENCITRAAN SUMSUM TULANG DAN DETEKSI INFLAMASI PADA HEWAN UJI. Kelainan pada sumsum tulang dapat menjadi pertanda adanya gangguan pada sistem limfohematopoesis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akumulasi radiofarmaka Tc-Human Serum Albumin nanosfer (^{99m}Tc -HSA nanosfer) di sumsum tulang sehingga dapat mendeteksi adanya kelainan yang ditandai dengan adanya up-take yang tinggi. Penelitian ini juga bertujuan mendeteksi adanya inflamasi di dalam tubuh dengan pemberian radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer secara injeksi intravenat. Pada penelitian ini digunakan hewan uji berupa tikus dan mencit. Hasil pencitraan dengan kamera gamma pada interval waktu 30 menit memperlihatkan adanya lokalisasi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer pada sumsum tulang tikus. Dari hasil uji biodistribusi pada mencit memperlihatkan pula akumulasi ^{99m}Tc -HSA nanosfer di organ target yaitu sumsum tulang dan otot yang diinflamasi dengan bakteri E. coli dan S. aureus. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa ^{99m}Tc -HSA nanosfer dapat digunakan sebagai radiofarmaka untuk pencitraan sumsum tulang dan deteksi inflamasi

Kata kunci : ^{99m}Tc -HSA nanosfer, pencitraan, sumsum tulang, biodistribusi, inflamasi

ABSTRACT

^{99m}Tc -HUMAN SERUM ALBUMIN NANOSPHERE FOR BONE MARROW SCINTIGRAPHY AND INFLAMATION DETECTION IN ANIMAL MODEL. Bone marrow deviation could be the sign of lymphohematopoietic disorders. ^{99m}Tc -Human Serum Albumin nanosphere (^{99m}Tc -HSA nanosphere) by intravenous injection will accumulate in bone marrow where areas detection of disorders signs by high up take in bone marrow. Intravenous injection of ^{99m}Tc -HSA nanosphere could also detect inflammation within the body. Rats and mice's were used as experimental animal for this study. Study result showed that scintigraphic imaging in 30 minutes of ^{99m}Tc -HSA nanosphere confirms localization in bone marrow of rat. Biodistribution study also demonstrates the accumulation of ^{99m}Tc -HSA nanosphere in targeted organ which were bone marrow and thigh of mice which inflamed by E. coli and S. aureus. This study showed that ^{99m}Tc -HSA nanosphere is reliable radiopharmaceutical for bone marrow scintigraphy and inflammation detection

Key words : ^{99m}Tc -HSA nanosphere, imaging, bone marrow, biodistribution, inflamatio

I. PENDAHULUAN

Evaluasi sumsum tulang merupakan dasar untuk menentukan pengobatan dan prognosis terhadap pasien dengan kelainan pada sistem limfohematopoesis. Kelainan tersebut meliputi penyakit anemia, leukemia, limfoma, metastases dari tumor, beberapa macam infeksi, dan kegagalan pembentukan sumsum, termasuk di dalamnya adalah kasus mielofibrosis (penyakit dimana sumsum tulang tidak dapat cukup untuk memproduksi jumlah sel darah dewasa). Penggunaan nanokoloid yang ditandai dengan radioisotop untuk prosedur sintigrafi sumsum tulang telah banyak digunakan untuk menentukan pola distribusi sumsum tulang pada beberapa kelainan [1,2,3,4]. Sintigrafi sumsum tulang menggunakan radiofarmaka yang mengandung nanokoloid berdasarkan pada tingginya efisiensi ekstraksi radiofarmaka koloid melalui mekanisme fagositosis, dimana sekitar 15% dari dosis radiofarmaka yang diinjeksikan akan terakumulasi di sumsum tulang pada keadaan normal. Apabila terjadi peningkatan *up take* nanokoloid, maka terjadi kenaikan aktivitas fagositosis, sehingga hal ini menandakan adanya suatu kelainan di sumsum tulang [5].

Radiofarmaka nanokoloid secara istimewa akan terakumulasi pada

lesi/luka akibat inflamasi berhubungan dengan beberapa kondisi seperti *osteomyelitis*, *osteitis*, *rheumatoid arthritis*, *artrosis*, *joint prostheses* dan pada proses penyembuhan luka, dengan demikian nanokoloid secara klinis berguna untuk mendeteksi *osteomyelitis* dan infeksi lainnya yang berhubungan dengan tulang atau sendi [5,6].

Dengan mempelajari biodistribusi dari suatu sediaan radiofarmasi maka dapat diketahui tempat penyebaran di dalam tubuh selang beberapa waktu setelah pemberian sediaan tersebut. Hasil uji biodistribusi dapat dihitung berdasarkan persentase penimbunan per gram organ (%ID/g) atau persentase penimbunan per organ (%ID) [7].

Penelitian dan pengembangan formulasi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer di PTNBR telah dimulai sejak tahun 2006. Radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer merupakan suatu radiofarmaka yang mengandung partikel nanokoloid. Kegunaannya sebagai radiofarmaka untuk prosedur limfosintigrafi telah diuji dan dikaji secara intensif [8,9]. Untuk mengetahui lokalisasi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer di sumsum tulang dan akumulasinya di jaringan inflamasi maka dalam tulisan ini dilakukan uji sintigrafi dan uji biodistribusi dari sediaan tersebut. Penelitian ini

diharapkan menghasilkan kesimpulan bahwa radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer dapat dijadikan radiofarmaka alternatif untuk pencitraan sumsum tulang dan deteksi inflamasi.

II. TATA KERJA

Bahan dan peralatan

Bahan utama yang digunakan adalah kit radiofarmaka HSA nanosfer buatan PTNBR-BATAN Bandung. Peralatan yang digunakan adalah pencacah saluran tunggal (Ortec) untuk pencacah radioaktivitas, *dose calibrator* (Victoreen), timbangan analitis (Metler-Toledo), *animal scanner* (Berthoid) untuk melakukan pencitraan dengan kamera gamma. Peralatan pendukung yang digunakan adalah *syringe* (Terumo), seperangkat alat bedah, pipet mikro (Eppendorf) dan tabung reaksi.

Sebagai hewan uji digunakan tikus (*Rattus novergitus*) dan mencit (*Mus musculus*). Bakteri yang digunakan untuk menginfeksi mencit adalah *E. coli* (ATCC 10536) dan *S. aureus* (ATCC 29737)

Penyiapan radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosphere.

Kit radiofarmaka HSA-nanosfer buatan PTNBR-BATAN Bandung ditambahkan larutan ^{99m}Tc -perteknetat ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) sebanyak 2-5 mCi/750-

1000 μL , kemudian dikocok dan diinkubasi pada temperatur kamar selama 15 menit. Semua tahap pengerjaan dilakukan secara aseptis.

Kemurnian radiokimia sediaan radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA-nanophere ditentukan dengan metode kromatografi kertas menggunakan kertas Whatman 3 MM sebagai fasa diam, metanol 95% untuk memisahkan pengotor radiokimia ^{99m}Tc -perteknetat bebas, NaCl 0,9% untuk memisahkan pengotor radiokimia ^{99m}Tc -perteknetat bebas dan Tc-pirofosfat, sedangkan HCl 1N untuk memisahkan pengotor ^{99m}Tc -tereduksi

Pencitraan dengan menggunakan kamera gamma

Sebanyak 0,5 mL sediaan ^{99m}Tc -HSA nanosfer dengan aktivitas 1-2,5 mCi disuntikkan ke tubuh tikus putih melalui vena ekor. Tikus tersebut kemudian dibius menggunakan larutan eter, kemudian dilakukan pencitraan dengan kamera gamma selang 30 menit dan 3 jam pasca injeksi

Penyiapan hewan untuk uji biodistribusi

Hewan uji mencit (*Mus musculus*) jantan dengan berat 25-30g disiapkan dan dibuat menjadi 2 kelompok yaitu kelompok I dan kelompok II masing-masing kelompok

berjumlah 9 ekor. Tiap kelompok kemudian dibagi menjadi 3 kelompok lagi masing-masing terdiri dari 3 ekor mencit untuk pembedahan dengan interval waktu 30 menit, 1 jam dan 3 jam.

Bakteri *E. coli* dan *S. aerus* dikembang biakkan pada media Nutrien Agar dalam cawan petri yang diinkubasi selama 24 jam, kemudian dibuat suspensi dalam larutan NaCl fisiologis yang mengandung sejumlah 9×10^8 sel/10 mL. Selanjutnya, suspensi bakteri ini diberikan secara sub kutan pada paha kiri mencit di dua kelompok hewan uji . Kelompok 1 disuntikkan suspensi bakteri *E. coli* dan kelompok 2 disuntikkan suspensi bakteri *S. aerus*

Uji biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer

Sebanyak 0,1 mL ^{99m}Tc -HSA nanosfer masing-masing dengan

aktivitas $\pm 100 \mu\text{Ci}$ disuntikkan ke mencit yang telah diketahui beratnya melalui vena ekor. Kemudian mencit dibedah pada interval waktu 30 menit, 1 dan 3 jam. Organ-organ berupa otot paha yang diinfeksi, otot paha normal, tulang, darah, usus halus, hati, limpa, ginjal, jantung, paru-paru dan lambung, diambil. Setiap organ dicacah dengan alat pencacah saluran tunggal dan dihitung persentase cacahan pada tiap gram organ .

Sedangkan, persentase penimbunan pada organ otot, dan sumsum tulang dihitung berturut-turut sebesar 40% dan 6,5% dari seluruh berat badan (BB) hewan uji. [10].

$$\begin{aligned} \%ID \text{ otot} &= (\%ID/g) \text{ otot} \times 40\% \text{ BB} \\ \%ID \text{ sumsum tulang} &= (\%ID/g) \text{ otot} \times 6,5\% \text{ BB} \end{aligned}$$

$\%ID/g = \text{Percentage of Injection dose}$

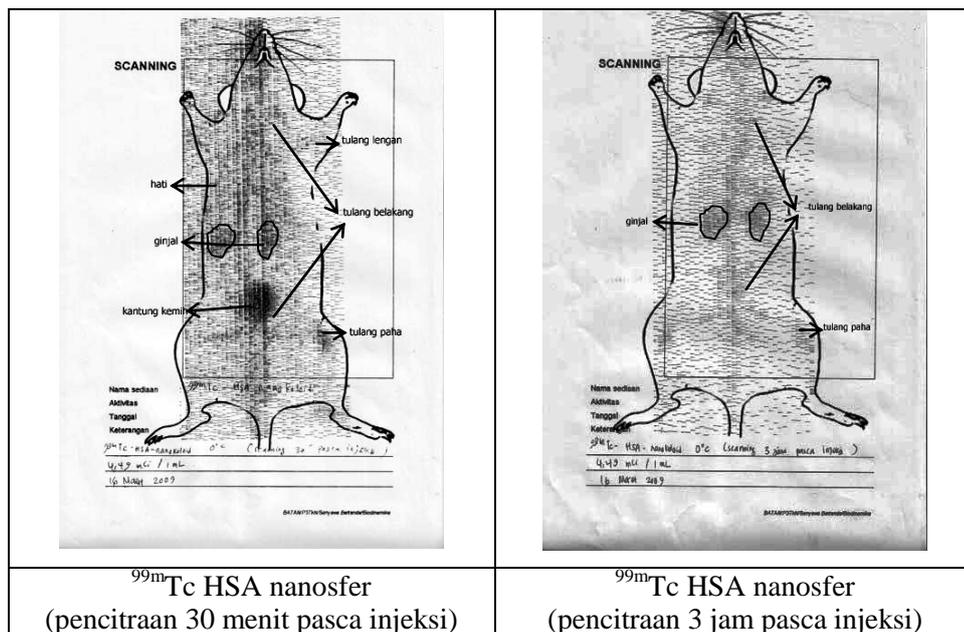
$$\%ID/g = \frac{\text{cacahan per gram organ}}{\text{cacahan dosis yang diberikan}} \times 100\%$$

$\%ID/g = \text{Percentage of Injection dose/gram}$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uji kemurnian radiokimia sediaan radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer memberikan kemurnian

radiokimia sebesar >95% dan dapat digunakan untuk melakukan pengujian berikutnya



Gambar 1. Hasil pencitraan radiofarmaka ^{99m}Tc HSA nanosfer dengan kamera gamma

Gambar 1 adalah hasil pencitraan radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer dengan kamera gamma yang memperlihatkan akumulasi di tulang belakang, tulang paha, dan tulang lengan tikus sudah dapat dilihat pada saat 30 menit pasca injeksi. Pencitraan pada 3 jam pasca injeksi terlihat akumulasi yang lebih jelas di tulang belakang, tulang paha dan tidak terlihat lagi akumulasi di kandung kemih juga hati. Dari hasil uji pencitraan pada 3 jam

pasca injeksi sebagian besar radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer kemungkinan telah diekresikan melalui ginjal.

Untuk mengetahui kehandalan ^{99m}Tc -HSA nanosfer sebagai radiofarmaka untuk deteksi inflamasi yang disebabkan oleh bakteri, digunakan hewan uji mencit yang telah diinfeksi secara subkutan dengan bakteri *E. coli* dan *S. aerus* di daerah paha. Setelah diobservasi selama 24 jam terlihat

adanya inflamasi berupa benjolan di daerah injeksi.

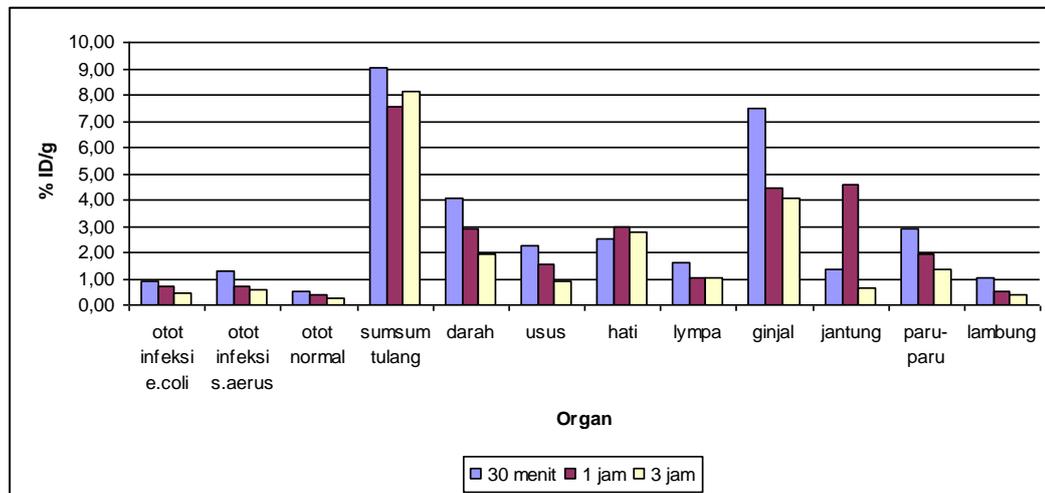
Pada percobaan uji biodistribusi pengambilan sampel sumsum tulang diwakili oleh organ tulang dikarenakan sumsum tulang sulit dipisahkan dari organ tulang. Hasil uji biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer berdasarkan perhitungan penimbunan per gram organ (% ID/g) dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil uji biodistribusi dari radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer memperlihatkan akumulasi radiofarmaka tersebut di sumsum tulang sebesar 9,06%, 7,58% dan 8,13% masing-masing pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi. Akumulasi yang tinggi pada sumsum tulang disebabkan adanya mekanisme fagositosis dimana sel darah putih yang terdapat di dalam sumsum tulang akan menangkap nanokoloid sebagai benda asing [5].

Uji biodistribusi memperlihatkan juga akumulasi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer di organ target yaitu otot paha kiri yang diinflamasi bakteri *E.coli* sebesar 0,89%, 0,73%, 0,48% dan otot paha kiri yang diinflamasi bakteri *S. aerus* sebesar 1,29%, 0,72%, 0,57% masing-masing pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi. Sedangkan akumulasi pada otot normal yaitu paha kanan yang tidak diinflamasi bakteri adalah sebesar

0,51%, 0,40% dan 0,26% pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi. Data ini memperlihatkan adanya akumulasi yang lebih besar di otot yang diinflamasi bakteri dibandingkan dengan otot normal. Mekanisme akumulasi pada organ target yang diinfeksi berdasarkan adanya kenaikan jumlah sel darah putih, sehingga sel darah putih akan menangkap nanokoloid sebagai benda asing.

Seperti umumnya radiofarmaka yang berbentuk koloid, akumulasi akan terlihat di organ hati dan limpa. Akumulasi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer di hati sebesar 2,50% ; 2,98% dan 2,78% masing-masing pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi dan akumulasi di limpa sebesar 1,60%; 1,06% dan 1,05% masing-masing pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi. Akumulasi di hati dan limpa disebabkan adanya mekanisme RES (*reticuloendothelial system*) sebagai salah satu sistem imun, dimana kedua organ ini secara alami akan menangkap benda asing yang masuk ke dalam tubuh.

Adanya akumulasi yang tinggi di ginjal sebesar 7,48%; 4,47% dan 4,08% berturut-turut pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi menunjukkan bahwa rute utama ekskresi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer adalah melalui ginjal.



Gambar 2. Hasil uji biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc-HSA nanosfer pada mencit

Untuk mengetahui rasio perbedaan akumulasi dari radiofarmaka ^{99m}Tc-HSA nanosfer pada organ yang diinfeksi oleh bakteri gram negatif (*E.coli*) dan (*S.aureus*) gram positif,

maka dihitung rasio cacahan radioaktivitas dari otot yang diinflamasi oleh bakteri dan dibandingkan dengan otot normal.

Tabel 1.
Rasio radioaktivitas antara organ target/non target

	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
30 menit	2,51	1,96
1 jam	1,49	2,35
3 jam	1,76	2,22

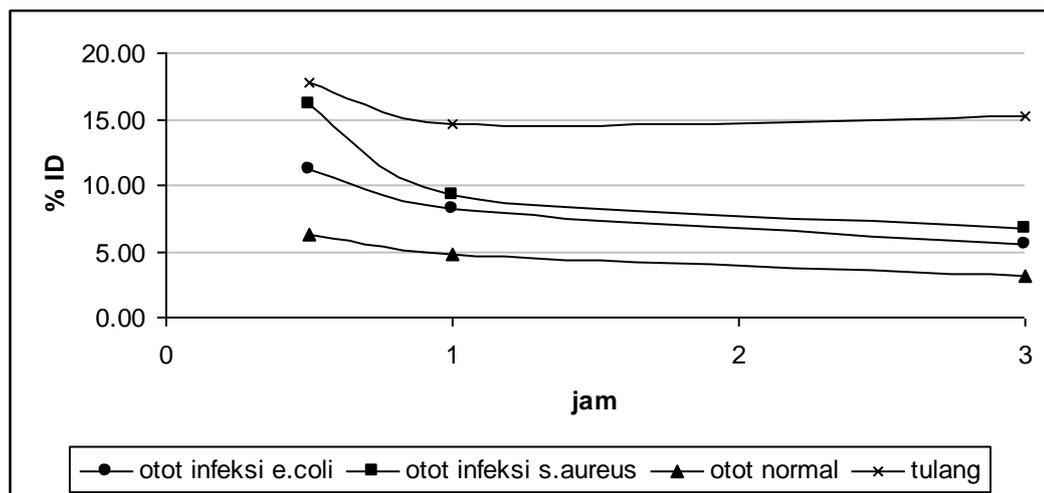
Hasil memperlihatkan bahwa rasio yang tertinggi pada organ target dicapai pada 30 menit setelah penyuntikan pada kelompok hewan yang diinfeksi bakteri *E.coli* dengan persentase penimbunan target/non target sebesar 2,51 kali, sedangkan pada kelompok hewan yang diinfeksi bakteri *S. aureus* rasio yang tertinggi pada

organ target dicapai pada 1 jam setelah penyuntikan dengan persentase penimbunan target/non target sebesar 2,35 kali. Dengan adanya nilai rasio yang signifikan (>1) dari kedua jenis bakteri, dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan akumulasi yang signifikan antara otot normal dan otot yang diinfeksi. (Tabel 1).

Radiofarmaka yang ideal untuk deteksi kelainan sumsum tulang harus memiliki nilai persentase penimbunan per organ (%ID) sebesar (10-15%) [5]. Dari perhitungan biodistribusi berdasarkan per gram organ diperoleh akumulasi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer di sumsum tulang sebesar 17,81%; 14,64% dan 15,30% berturut-turut pada 30 menit, 1 jam dan 3 jam pasca injeksi, dari hasil ini maka dapat disimpulkan radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer yang dibuat di PTNBR-BATAN Bandung cukup ideal untuk digunakan untuk deteksi kelainan sumsum tulang (Gambar 3).

Selanjutnya dilakukan juga perhitungan % ID radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer di organ otot. Pada

kelompok hewan uji yang diinfeksi di bagian otot paha dengan bakteri *S.aureus* memperlihatkan persentase penimbunan yang lebih besar yaitu 16,14%; 9,22% dan 6,70% dibandingkan dengan kelompok hewan uji yang diinfeksi bakteri *E.coli*. yaitu sebesar 11,14%; 8,28%; dan 5,55% berturut-turut pada 30 menit, 1 jam dan 3 jam pasca injeksi. Dari perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer lebih sensitif untuk mendeteksi infeksi yang disebabkan oleh bakteri *S.aureus* yang merupakan bakteri kelompok gram positif dibandingkan dengan infeksi yang disebabkan oleh bakteri *E.coli* yang merupakan bakteri kelompok gram negatif (Gambar 3).



Gambar 3. Biodistribusi radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer pada hewan uji kelompok I dan kelompok II

IV KESIMPULAN

Radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA-nanosfer terakumulasi di sumsum tulang 9,06%, 7,58% dan 8,13% (%ID/g) masing-masing pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi. Persentase penimbunan per organ (%ID) radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA-nanosfer $\pm 15\%$ sehingga cukup ideal untuk digunakan untuk deteksi kelainan sumsum tulang. Adanya akumulasi pada otot paha yang diinfeksi bakteri *E.coli* sebesar 0,89%, 0,73%, 0,48% (%ID/g) dan otot paha yang diinflamasi bakteri *S. aerus* sebesar 1,29%, 0,72%, 0,57% (%ID/g) masing-masing pada 30 menit, 1 dan 3 jam pasca injeksi membuktikan bahwa radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer dapat juga digunakan sebagai radiofarmaka alternatif untuk deteksi inflamasi. Radiofarmaka ^{99m}Tc -HSA nanosfer juga sensitif untuk deteksi inflamasi yang disebabkan oleh bakteri gram negatif maupun bakteri gram positif.

V. TERIMA KASIH

Terima kasih yang tulus kami ucapkan kepada Sdr. Iswahyudi, Sdr. Ahmad Sidik, Sdr. Yetti Suryati dan Sdr. Usup Ekaputra dari Bidang Senyawa Bertanda dan Radiometri-PTNBR-BATAN Bandung yang telah

membantu kami dengan sepenuh hati untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. JONES, R.R., The role of bone marrow imaging, *Radiology*, **183** (1992) 321-322.
2. LINK, T. M., Bone marrow imaging, Available: afni.nimh.nih.gov/sscc/staff/rwcox/ISMRM_2006/.../L_08.pdf, diakses tanggal 27 Maret 2009
3. LUCIGNANI, G., Bone and marrow imaging : do we know what we see and do we see what we want to know?, *Eur. J Nucl Med Mol Imaging*, **34** (2007) 1123-1126
4. KOWALSKY, R.J., FALEN, S.W., **Radiopharmaceuticals in Nuclear Pharmacy and Nuclear Medicine**, Apha, 2nd ed, Washington DC (2004) 725-728
5. ZOLLE, I, **Technetium Pharmaceuticals: Preparation and Quality Control in Nuclear Medicine**, Springer, New York (2007) 230-236.
6. PALESTRO, C. J., LOVE, C., TRONCO, G.G., TOMAS, M.B., RINI, J.N., Combined labeled leukocyte and technetium ^{99m}Tc sulfurcolloid bone marrow imaging for diagnosing musculoskeletal infection, *Radiographics*, **26** (2006) 859-870
7. SAHA, G. B., **Fundamentals of Nuclear Pharmacy**, 5th ed, Springer, USA (2004) 115
8. OEKAR, NANNY KARTINI, WIDYASARI, EVA MARIA., Penandaan Human Serum Albumin (HSA)-Nanosfers dengan radionuklida Teknesium- ^{99m}Tc , dalam proses publikasi di *Majalah Farmasi Indonesia*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, (2008)

9. SUGIHARTI, RIZKY JUWITA.
HALIMAH, IIM., WIDYASARI,
EVA MARIA., KANIA, PRINA
PUSPA., Biodistribusi ^{99m}Tc -Human
Serum Albumin-Nanosfer pada
Mencit Putih (*Mus musculus*)
Sebagai Radiofarmaka untuk
Limfosintigrafi, Seminar Nasional
Sains dan Teknik Nuklir, Bandung,
3 Juni 2009.
10. IAEA., **Radiopharmaceuticals :
Manufacture of Kits**, Technical
Reports Series No. 466.
Technetium-99m, Vienna (2008)

DETEKSI ABERASI KROMOSOM STABIL AKIBAT RADIASI GAMMA DENGAN TEKNIK FISH DUAL PROBE

Sofiati Purnami, Yanti Lusiyanti, Dwi Ramadhani
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No.49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan 12440

ABSTRAK

DETEKSI ABERASI KROMOSOM STABIL AKIBAT RADIASI GAMMA DENGAN TEKNIK FISH DUAL PROBE. Telah dilakukan penggunaan teknik *fluorescence in situ hybridization (FISH) dual probe* untuk mendeteksi aberasi kromosom akibat radiasi gamma. Sampel darah yang diperoleh dari donor laki-laki sehat dan tidak merokok diiradiasi secara *in vitro* pada dosis 0,5 Gy dan 2 Gy dari iradiator Co-60 dengan laju dosis 21,05 Gy/jam. Selanjutnya darah dibiakkan dalam media kultur RPMI 1460 selama 48 jam pada suhu 37°C kemudian dipanen. Larutan sel limfosit ditetaskan di atas gelas preparat kemudian didenaturasi dan dihibridisasi dengan *whole chromosome probe (WCP)*. Pengecatan dilakukan dengan variasi WCP nomor 1 dan 2; 1 dan 5; serta 2 dan 5 berlabel *fluorescent isothiocyanate (FITC)*, kemudian diamati dengan mikroskop epifluoresen. Pengamatan terhadap kromosom yang berpendar dilakukan dengan cara dipotret kemudian dibuat ideogram dengan program Cytovision dari Applied Imaging System. Hasil pengamatan menunjukkan adanya aberasi kromosom disentrik dan translokasi pada sel yang diradiasi dengan kedua dosis. Disimpulkan bahwa teknik FISH *dual probe* yang dikembangkan dapat memvisualisasi aberasi kromosom baik stabil maupun tidak stabil.

Kata kunci : aberasi kromosom stabil, FISH, pengecatan kromosom

ABSTRACT

DETECTION OF STABLE CHROMOSOME ABERRATION INDUCED BY GAMMA IRRADIATION WITH DUAL PROBE FISH TECHNIQUE. Application of fluorescence in situ hybridization (FISH) technique with dual probe was conducted to detect the stable chromosome aberration as results of effect of gamma radiation. Blood samples obtained from healthy men and not smoker donor were exposed in vitro to doses of 0.5 Gy and 2 Gy of gamma rays from Co-60 at a dose rate of 21.05 Gy/hour. The exposed samples were then cultured in enriched medium of RPMI 1460 and harvested after being incubated for 48 hours at 37°C. The lymphocyte cell suspension was dropped onto slides and denatured and hybridized by using whole chromosome probe (WCP). The staining was done with chromosome probe variation as 1 and 2; 1 and 5; and 2 and 5 labeled with fluorescent isothiocyanate (FITC). The hybridized chromosome was observed with a fluorescence microscope. Chromosome fluorescence was observed and a ideogram figure was made by Cytovision program of Applied Imaging System. The result showed that there was dicentric and translocation chromosome in cells irradiated with both doses. It was concluded that dual probe FISH technique developed were able to visualize aberrations either stable or not stable chromosome.

Key words : stable chromosome aberration, FISH, chromosome painting

I.PENDAHULUAN

Aplikasi teknologi nuklir dalam berbagai bidang harus memperhitungkan dan selalu mengutamakan keselamatan, sehingga perlu suatu tindakan pemantauan agar dosis radiasi yang diterima seseorang karena pekerjaannya atau tindakan medik tidak melebihi batas yang diijinkan. Ketika tubuh terpapar radiasi alfa, beta, gamma, neutron maupun X maka akan terjadi perubahan pada materi biologik yaitu pada tingkat molekuler, seluler, jaringan dan tubuh [1].

Sejumlah perubahan atau kerusakan yang timbul dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan resiko akibat radiasi pada kesehatan tubuh, antara lain kerusakan pada kromosom sel tubuh. Kromosom diyakini sebagai indikator kerusakan yang paling dapat diandalkan untuk radiasi pengion. Aberasi kromosom yang diinduksi oleh radiasi pengion dibagi dalam dua kelompok utama, yaitu aberasi kromosom tidak stabil, seperti kromosom disentrik (kromosom dengan dua sentromer) dan kromosom cincin; dan aberasi stabil seperti translokasi (terjadi perpindahan atau pertukaran fragmen dari dua atau lebih kromosom) [1,2].

Aberasi kromosom stabil dapat diperiksa dengan dua macam cara yaitu teknik pewarnaan *banding* dan *FISH*. Teknik *FISH* merupakan suatu teknik pengecatan yang spesifik pada pasangan kromosom dengan bahan berpendar (*fluorescent*) untuk

memvisualisasi terjadinya translokasi kromosom secara individual. Teknik *chromosome painting* ini dilakukan dengan menggunakan *whole chromosome probe* berlabel pada sebagian atau semua kromosom sehingga adanya perpindahan fragmen antar kromosom dapat dilihat dengan mikroskop epifluoresen [2,3].

Identifikasi aberasi kromosom dengan teknik *FISH* memiliki tujuan utama untuk menetapkan hubungan antara frekuensi aberasi kromosom stabil dalam limfosit darah perifer dengan dosis kumulatif pada seseorang. Sejumlah laboratorium di luar dan dalam negeri telah menetapkan beberapa hal penting seperti nomor kromosom yang dicat, jenis aberasi yang digunakan untuk pendugaan dosis, keberadaan translokasi terhadap waktu, jenis latar belakang (*background*) aberasi stabil sebagai pembanding dan juga kehandalan teknik *FISH* untuk dosimetri biologi [3,4].

Teknik *FISH* digunakan untuk deteksi aberasi kromosom stabil karena hasilnya lebih mudah diamati. Penelitian ini menggunakan dua macam *probe* berdasarkan pernyataan Durante, bahwa aberasi kromosom dalam sel akibat pajanan sinar gamma umumnya hanya melibatkan dua pasang kromosom [5]. Disarankan untuk melakukan pengamatan aberasi kromosom pada sel limfosit dengan pengecatan pada pasangan kromosom dengan ukuran besar berkisar antara kromosom 1 hingga kromosom 12, karena kromosom

tersebut mampu memvisualisasikan sekitar 20% dari genom, sehingga efisien mampu mendeteksi adanya aberasi sekitar 33% [6].

Teknik FISH dengan probe tunggal maupun *dual probe* telah digunakan untuk memeriksa kondisi kromosom para pekerja radiasi yang telah menerima akumulasi dosis radiasi dalam jangka waktu yang lama [4,7]. Pada makalah ini akan disampaikan pengembangan teknik FISH *dual probe* pada sampel yang diradiasi gamma secara *invitro* dengan dua dosis untuk mengetahui aberasi kromosom yang terjadi. Selanjutnya dengan program *Cytovision* dapat dibuat peta kromosom (ideogram) masing-masing nomor kromosom sehingga dugaan perubahan kromosom dapat dilihat. Teknik pemetaan kromosom masih merupakan studi awal yang sedang dikembangkan di Laboratorium Biomedika, Pusat Teknologi Keselamatan Radiasi dan Metrologi – BATAN. Diharapkan teknik ini dapat dikuasai dengan baik untuk selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pemantauan kesehatan pekerja radiasi akibat radiasi.

II. BAHAN DAN TATA KERJA

Subyek penelitian dan radiasi

Sampel darah diperoleh dari donor yang sehat, laki-laki dan tidak merokok. Darah diambil 20 ml ditambah heparin sebagai koagulan, kemudian dibagi menjadi tiga tabung, dua tabung diradiasi dengan

irradiator Panoramik Serbaguna di Pusat Teknologi Aplikasi dan Isotop Radiasi dengan laju dosis 21,05 Gy/jam pada dosis 0,5 Gy dan 2 Gy dan satu tabung sebagai kontrol. Setelah diradiasi, darah dibiarkan selama 1 jam di dalam inkubator.

Pembiakan dan pemanenan sel darah limfosit

Dari setiap tabung masing-masing dibiakkan dengan tiga kali ulangan (triplo). Ke dalam tabung kultur dimasukkan media pertumbuhan 7,5 ml RPMI-1640, 1 ml Fetal Bovine Serum, 0,25 ml Penicilin Streptomycin, 1 ml darah dan 0,1 ml Phitohemagglutinin. 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 sehingga diperoleh sel pada tahap metafase.

Darah hasil biakan, disentrifus dengan kecepatan 1300 rpm selama 10 menit. Pada endapan darah ditambahkan 10 ml KCl 0,56%, diaduk dengan pipet pasteur dan disimpan pada *waterbath* 37°C selama 13 menit. Pada endapan ditambahkan 4 ml larutan Carnoy (metanol : asam asetat = 3 : 1), *divortex*, dan kemudian ditambahkan 4 ml larutan Carnoy sampai volume total mencapai 10 ml. Larutan tersebut disentrifus kembali beberapa kali sampai diperoleh endapan sel limfosit yang berwarna putih.

Pembuatan preparat dan pengecatan kromosom dengan teknik FISH.

Sel limfosit yang diperoleh ditetaskan di atas gelas preparat selanjutnya dikeringkan di atas *hot plate* 65°C selama 1½ jam. Dengan mikroskop, dilakukan seleksi terhadap preparat yang mempunyai sebaran kromosom yang baik pada sel tahap metafase. 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. Preparat kemudian dikeringkan di atas *hot plate* 65°C selama 1½ jam. Kromosom pada preparat selanjutnya didenaturasi dengan dimasukkan ke dalam larutan formamida dan diinkubasi pada *waterbath* 65°C selama 1½ menit. Preparat dicuci secara berturutan dengan etanol 70% dingin selama 4 menit, 70% selama 2 menit, 90% sebanyak 2x masing-masing selama 2 menit dan 100% selama 5 menit. Kromosom pada preparat telah siap untuk dilakukan hibridisasi dengan *whole chromosome probe* (WCP) nomor 1,2,5. WCP dari ID Labs USA, variasi dual probe yang dilakukan adalah kromosom nomor 1 dan 2, 1 dan 5, serta 2 dan 5.

Dibuat campuran masing-masing untuk probe kromosom berbeda sebanyak 3 µl WCP berlabel FITC dengan 3µl buffer, disentrifus selama 5-10 detik, didenaturasi pada suhu 65°C selama 10 menit, dan kemudian diinkubasi pada *waterbath* 37°C

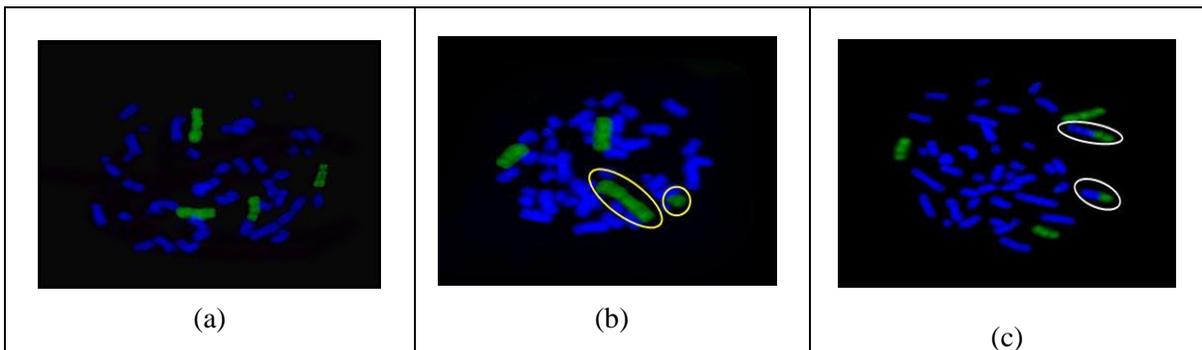
selama 45 menit. Proses hibridisasi dilakukan dengan meneteskan larutan *probe* pada preparat yang telah didenaturasi, preparat ditutup dengan *coverslip* dan dilem untuk mencegah penguapan. Preparat diletakkan dalam wadah plastik dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 16 jam. Setelah proses hibridisasi *coverslip* dibuka, secara berturutan preparat direndam dalam seri *coplin jar* yang berisi larutan stringency 45°C sebanyak 2x masing-masing selama 5 menit, larutan 1 x SSC sebanyak 2x selama 5 menit, dan larutan deterjen sebanyak 1x selama 4 menit. Preparat dikeringkan, ditetaskan 10µl 4,6 *diamino-2-phenylindole* (DAPI), ditutup, dan didiamkan selama 10 menit. DAPI merupakan counterstain terhadap kromosom yang tidak dihibridisasi dengan WCP. Preparat segera diamati dengan mikroskop *epi-fluorescent* yang dilengkapi dengan filter biru dan filter DAPI, dan dilakukan pemotretan terhadap kromosom yang memiliki pendaran *probe* kromosom. Selanjutnya dibuat ideogram dengan menyusun kromosom berdasar ciri khas dari setiap nomor kromosom dengan program *Cytovision* dari *Applied imaging system* sehingga dapat divisualisasi bila ada dugaan kerusakan kromosom.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini WCP yang digunakan adalah kromosom nomor 1, 2 dan 5 dengan komposisi probe kromosom yang digunakan adalah kromosom nomor 1 dan 2, 1

dan 5, serta 2 dan 5 menggunakan *single colour painting* FITC untuk masing-masing dosis radiasi. Pada Gambar 1 diperlihatkan hasil pengamatan aberasi kromosom dengan teknik FISH *dual probe*, pengecatan dilakukan pada kromosom nomor 2 dan 5 baik pada sampel kontrol maupun yang diradiasi 0,5 Gy serta 2 Gy. Warna pendar hijau pada dua pasang kromosom

menunjukkan bahwa kromosom telah dicat dengan probe berlabel FITC yang bila diamati dengan *filter* biru terlihat hijau, sedangkan warna biru diperoleh bila menggunakan *filter* DAPI. Pengambilan gambar dengan *cytovision* dilakukan dengan cara *monokrom* untuk masing-masing *filter* kemudian gambar digabungkan.



Gambar 1. Hasil pengamatan aberasi kromosom dengan teknik FISH *dual probe*, kromosom yang dicat nomor 2 dan 5. (a) Kontrol, (b) Dosis 0,5 Gy, (c) Dosis 2 Gy.

Pada Gambar 1a dimana sampel darah tidak diradiasi, sepasang kromosom yang berpendar hijau adalah kromosom nomor 2 dan 5 yang didefinisikan sebagai kromosom normal dan tidak terlihat adanya aberasi. Sedangkan pada Gambar 1b terlihat adanya aberasi kromosom berupa disentrik dan patahan kromosom (*fragment*), hal ini menunjukkan bahwa pada dosis radiasi 0,5 Gy terjadi aberasi kromosom tidak stabil. Pada Gambar 1c dengan dosis radiasi 2 Gy tampak adanya patahan (*breakpoint*) pada kromosom, terlihat adanya perpindahan posisi warna antara kromosom dengan pendar warna hijau dengan kromosom yang warna biru, hal ini menunjukkan aberasi berupa translokasi yang merupakan aberasi kromosom stabil.

Hasil pengamatan aberasi kromosom pada variasi nomor probe kromosom dengan dua dosis radiasi ditunjukkan pada Tabel 1. Data yang diperoleh masih berupa studi awal yang menunjukkan hubungan frekuensi aberasi kromosom terhadap dosis radiasi. Terlihat bahwa penggunaan nomor probe kromosom 1 dan 2, 1 dan 5 serta 2 dan 5 persentase aberasi kromosom yang diperoleh nilainya hampir sama untuk dosis 0,5 Gy maupun 2 Gy. Dalam penelitian selanjutnya akan dilakukan pengamatan aberasi kromosom dengan variasi dosis radiasi dan variasi probe lebih dari dua, data ini nantinya diperlukan sebagai biososimeter untuk kegiatan pemantauan kesehatan pekerja radiasi yang bekerja dengan radiasi gamma.

Tabel 1. Data aberasi kromosom akibat radiasi gamma dengan metode *FISH*

Nomor probe kromosom	Kontrol			0,5 Gy			2 Gy		
	Jumlah sel	Aberasi kromosom	%	Jumlah sel	Aberasi kromosom	%	Jumlah sel	Aberasi kromosom	%
1 dan 2	534	0	0	304	4	1,32	198	14	7,07
1 dan 5	164	0	0	288	4	1,39	141	11	7,80
2 dan 5	230	0	0	185	2	1,08	278	24	8,63

Pada Tabel 1 jumlah sel metafase dan aberasi kromosom yang diperoleh bervariasi, tetapi secara persentase jumlah aberasi meningkat seiring meningkatnya dosis radiasi, karena semakin besar radiasi maka sel yang terionisasi juga semakin banyak, sehingga aberasi yang terjadi juga semakin besar. Aberasi kromosom yang terjadi dapat berupa aberasi kromosom tidak stabil seperti kromosom disentrik dan kromosom cincin yang akan mati pada saat pembelahan sel, serta aberasi kromosom stabil seperti translokasi yang tidak mati saat pembelahan sel sehingga dapat diturunkan pada sel anak. Dengan demikian aberasi kromosom stabil tidak akan mengalami perubahan untuk waktu yang lama setelah terpajan radiasi.

Pengaruh radiasi gamma terhadap kromosom dapat berupa translokasi, inversi, disentrik, fragmen maupun bentuk cincin. Hal dapat digambarkan dengan lebih jelas pada saat kromosom dibuat ideogram (peta kromosom). Hal ini dimungkinkan karena dengan program *Cytovision* dari *applied imaging system*, karakteristik setiap nomor

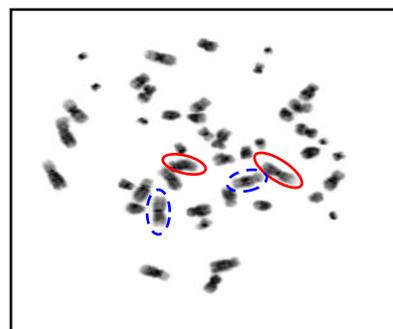
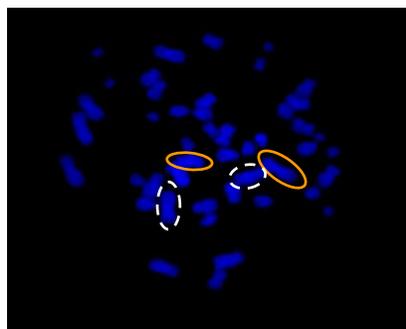
kromosom dapat dibedakan kemudian dibuat susunannya dari nomor 1 sampai 23. Pembuatan ideogram bertujuan untuk mengetahui lebih detail posisi atau nomor kromosom yang mengalami aberasi, identifikasi nomor kromosom ini dilakukan berdasarkan protokol yang dibuat oleh Goeze dan Petersen [8]. Ideogram kromosom pada sel yang tidak diradiasi (kontrol) dengan probe kromosom nomor 1 dan 5 sebagai hasil analisis dengan program *Cytovision* dari *applied imaging system* dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar kromosom yang digunakan untuk membuat ideogram adalah dari *filter* DAPI (Gambar 2a), yang warnanya diubah menjadi hitam putih (Gambar 2b), kemudian kromosom dipetakan berdasarkan ciri setiap nomor kromosom (Gambar 2c). Dari ideogram terlihat tidak ada aberasi, hal ini karena kromosom tidak terpajan radiasi. Pada pembuatan ideogram harus dipilih kromosom yang mempunyai sebaran bagus, antar kromosom tidak tumpang tindih dan bentuk lengan kromosom panjang.

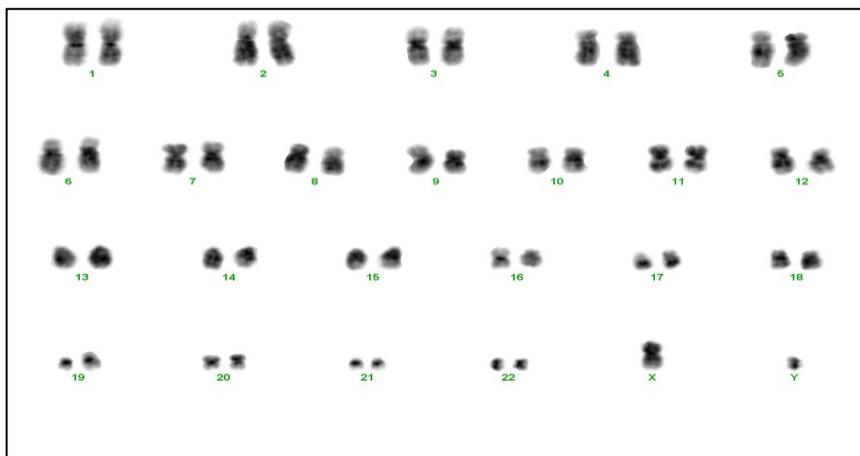
Ideogram kromosom pada sel yang menerima pajanan sebesar 2 Gy dengan kromosom nomor 2 dan 5 yang dilabel FITC sebagai hasil analisis dengan program *Cytovision* dari *applied imaging system* dapat dilihat pada Gambar 3c.

Pada Gambar 3a terlihat kromosom yang mengalami translokasi, ditandai dengan warna biru dan hijau yang terdapat pada lengan kromosom yang sama. Sedangkan Gambar 3b adalah gambar hitam putih yang diperoleh dari filter DAPI, selanjutnya dibuat ideogram (Gambar 3c). Dari hasil ideogram diduga kerusakan yang terjadi berupa disentrik (kromosom dengan dua sentromer) serta terjadi penggabungan antara kromosom nomor 2 dengan nomor 17. Pada Gambar 3c terdapat satu kromosom tidak yang

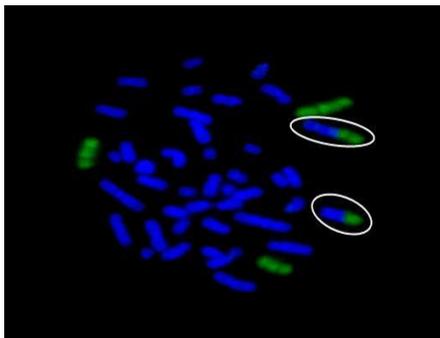
teridentifikasi, hal ini dimungkinkan karena dengan teknik FISH, kerat (*band*) lengan kromosom tidak spesifik bila menggunakan teknik *banding*. Diduga kromosom yang tidak teridentifikasi adalah potongan kromosom (*fragment*). Kerusakan kromosom yang terjadi pada kromosom nomor 2 dianggap berperan penting dalam munculnya kanker darah (leukemia). Hal ini ditunjukkan pada tahun 1983 melalui penelitian kerusakan kromosom pada mencit (*Mus musculus*, sp) yang menderita leukemia akibat diirradiasi [9].



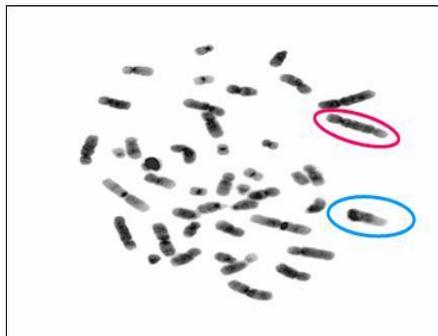
(a) (b)



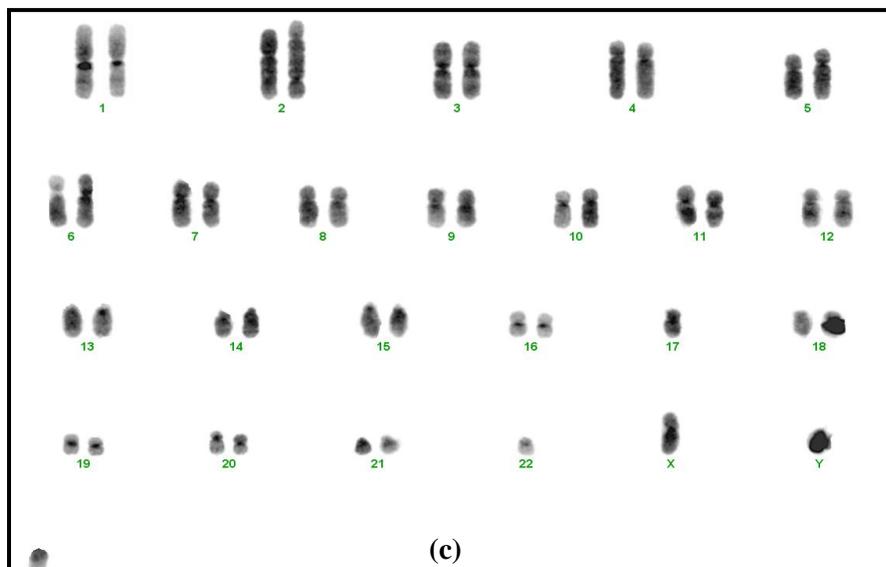
Gambar 2. Aberasi kromosom pada kontrol dengan probe nomor 1 dan 5 (a) Kromosom dilihat dengan filter DAPI; (b) Kromosom dengan warna hitam putih (*invert*); (c) ideogram kromosom tanpa aberasi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Aberasi kromosom pada dosis 2 Gy dengan probe nomor 2 dan 5 (a) Kromosom dilihat dengan dual filter; (b) Warna kromosom dengan hitam putih (*invert*); (c) Ideogram kromosom dengan aberasi.

IV. KESIMPULAN

Teknik FISH *dual probe* adalah metode yang sesuai untuk mendeteksi perubahan susunan kromosom, yaitu aberasi kromosom stabil maupun tidak stabil yang merupakan biomarker penting untuk pengkajian efek, risiko dan dosis pada kasus paparan radiasi pada manusia. Untuk ini diperlukan pengembangan kualitas teknik pengecatan kromosom yang lain dengan *triple probe* atau lebih sehingga kemungkinan adanya aberasi kromosom stabil dan tidak stabil pada genom dapat diamati. Deteksi aberasi kromosom dengan teknik FISH dapat dikuasai dengan baik dan pengembangan dapat dilakukan dengan visualisasi dalam bentuk ideogram gambar kromosom sehingga aberasi yang terjadi akibat radiasi gamma dapat teridentifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. HALL E.J., Radiobiologi for Radiologist, Fourth edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia USA, 1994.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Cytogenetic Analysis for Radiations Dose Assessment, Technical Reports Series No. 405. IAEA, Vienna, 2001.
3. CAMPAROTO M.L., RAMALHO, A.T., NATARAJAN, A.T., CURADO, M.P., AND SAKAMOTO-HOJO, E.T., Translokation Analysis by the FISH-Painting Methode for Retrospective Dose Construction in Individuals Exposed to Ionizing Radiation 10 Years After Exposure, *Mutation Research* 530: 1-7, 2003.
4. ALATAS, Z., LUSIYANTI, Y dan INDRAWATI, I., Pemeriksaan Aberasi Kromosom Stabil dengan Teknik Fluoresence in Situ Hybridization, Prosiding PPI-PDIPTN PTAPB – BATAN, Yogyakarta, 2006
5. LUSIYANTI, Y., ALATAS, Z DAN PURNAMI, S., Teknik FISH dengan Dual Probe untuk Deteksi Kromosom Translokasi, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan IV, Universitas Indonesia – Depok, Jawa Barat, 2008
6. DURANTE, M., GEORGE, K., WU, H., DAN CUCINOTTA, F.A., Karyotypes of Human Lymphocytes Exposed to High Energy Iron Ions, *Radiation Research* 158: 581-590, 2002
7. DARROUDI, F., Use of FISH Translocation Analysis for Retrospective Biological Dosimetry How Stable Chromosome Aberrations. *Radiation Protection Dosimetry* 88 : 101-109, 2000.
8. GOEZE, A., dan PETERSEN, I., DAPI chromosome identification. <http://amba.charite.de/cgh/protocol/02/class.html>, Berlin, 1996. (Diunduh 31 Juli 2009).
9. HAYATA, I.; SEKI, M; YOSHIDA, K; HIRASHIMA, F; SADO, T; YAMAGIWA, J; ISHIHARA, T., Chromosome aberrations observed in 52 mouse myeloid leukaemias, *Cancer Res.* 43 : 367-373 , 1983.

PENGUKURAN TEGANGAN PUNCAK EFEKTIF BEBERAPA PESAWAT MAMMOGRAFI

Suyati, Dyah Dwi K dan Nunung Nuraeni
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

Abstrak

PENGUKURAN TEGANGAN PUNCAK EFEKTIF (kVp) BEBERAPA PESAWAT MAMMOGRAFI. Tegangan puncak efektif dari 3 buah pesawat mammografi Mammomat diukur menggunakan detektor yang terhubung dengan elektrometer Unfors. Detektor Unfors diletakan pada jarak 100 cm dari focus sumber radiasi pesawat sinar x. Dengan mengatur tegangan panel pesawat, detektor disinari dengan sinar x. Tegangan yang diukur dibandingkan dengan tegangan panel yang diberikan. Dari ketiga pesawat mammografi yang diukur diperoleh perbedaan tegangan terukur dan tegangan panel yang diberikan $\leq 5\%$. Dengan demikian dapat disimpulkan ketiga pesawat mammografi tersebut berfungsi dengan baik.

Kata kunci: mesin mamografi, panel tegangan, pengukuran tegangan

Abstract

EFFECTIVE PEAK VOLTAGE MEASUREMENT (kVp) OF MAMMOGRAPHY MACHINES. Effective peak voltage (kVp) of three mammography machine at several hospitals was measured using detector which interfaced with Unfors ellectrometer. The Unfors detector was located 100 cm away from the focus of radiation source from an x ray machine. By selecting the kV parameter on the panel, detector was exposed by the x ray. The measured voltage was compared to the voltage on the panel. Result found that all the machine give the differences between the panel voltage and measured voltage $\leq 5\%$. The condition of the three mammography machines still good.

Keywords: mammography machine, panel voltage, measured voltage

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah memberikan pengaruh yang sangat besar di berbagai bidang, termasuk bidang kedokteran dan kesehatan. Peningkatan teknologi di bidang kedokteran dan kesehatan bertujuan untuk mencapai tingkat efisiensi dan ketelitian pemeriksaan setiap penyakit demi kesehatan setiap manusia. Untuk keperluan medis, suatu rumah sakit harus dilengkapi dengan alat-alat kesehatan yang menunjang fungsi dari rumah sakit tersebut disamping tenaga ahli kesehatan. Pesawat sinar-x

merupakan salah satu alat kesehatan yang sangat penting untuk menunjang diagnosa penyakit.

Salah satu jenis pesawat sinar x adalah pesawat mammografi yang dapat mendiagnosa suatu kelainan pada payudara, yang tidak dapat diamati dari luar tubuh. Pengaturan tegangan kerja pesawat mammografi akan mempengaruhi citra yang dihasilkan dan dosis yang diberikan. Untuk itu pengaturan tegangan kerja harus diperhatikan kesesuaiannya dengan masukan yang diberikan. Agar kelaikan pesawat mammografi dalam operasi dapat diketahui maka perlu dilakukan pengukuran energi

keluarannya yang biasa dinyatakan dalam bentuk nilai tegangan puncak efektif (kVp). Dengan mengetahui kondisi kelaikan pesawat ini maka pendeteksian dini terhadap kerusakan dapat dilakukan dan pemanfaatan sinar x pada pasien akan menjadi lebih optimal.

Suatu pengecekan kelaikan pesawat alat dan kualitas citra (gambar) melalui proses radiografi harus dilakukan secara rutin dan komprehensif. Pengecekan ini termasuk dalam program jaminan kualitas yang wajib dilakukan oleh pemilik dan pengguna pesawat mammografi. Sehingga jaminan atas kelaikan dan kehandalan pesawat dapat tercapai. Hasil citra yang baik dan jaminan dosis yang diterima pasien, operator serta pengguna lainnya tidak melebihi batas yang digunakan. Dalam penelitian ini akan diuraikan, salah satu pelaksanaan program jaminan kualitas yaitu pengukuran tegangan puncak efektif tabung (kVp) pada pesawat mammografi.

II.TATA KERJA

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran akurasi tegangan kerja puncak efektif pesawat mammografi model mamomat pada tiga unit yang terdapat di rumah sakit di Sumatra Barat. Salah satu unit pesawat mammografi yang diukur dapat dilihat pada gambar 1 (a). Tegangan keluaran pesawat mammografi diukur menggunakan detektor yang

terhubung dengan elektrometer Unfors yang diletakan pada jarak 100 cm, dari focus sumber sinar x. Detektor yang dihubungkan dengan elektrometer Unfors dapat dilihat pada gambar 1 (b). Sedangkan sistem pengukuran keluaran tegangan puncak efektif dapat dilihat pada gambar 2. Pengukuran untuk masing-masing pesawat mammografi dilakukan pada tegangan panel yang bervariasi mulai dari 22 kV sampai 34 kV dengan arus dan waktu yang konstan sesuai dengan panel pesawat mammografi. Nilai tegangan yang terukur akan terbaca elektrometer. Selanjutnya tegangan yang diatur pada panel dibandingkan dengan tegangan yang terbaca pada elektrometer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 1 dapat dilihat hasil pengukuran tegangan puncak efektif untuk masing-masing tegangan panel yang diberikan dan perbedaan antara tegangan puncak efektif terukur dan tegangan panel yang diberikan. Secara umum dapat terlihat tegangan hasil pengukuran pada masing-masing pesawat nilainya tidak sesuai dengan tegangan yang ditunjukkan pada panel kontrol. Hal ini disebabkan karena setiap pesawat mempunyai karakteristik yang berbeda sehingga tegangan yang dihasilkan tidak bisa tepat sama dengan penunjukkan pada panel kontrol.

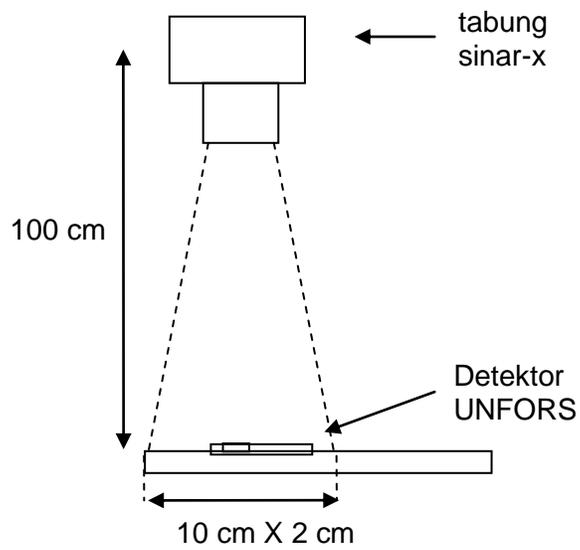


(a)



(b)

Gambar 1. (a) Pesawat mammografi Siemens Mammomat (b) Detektor dan elektrometer UNFORS



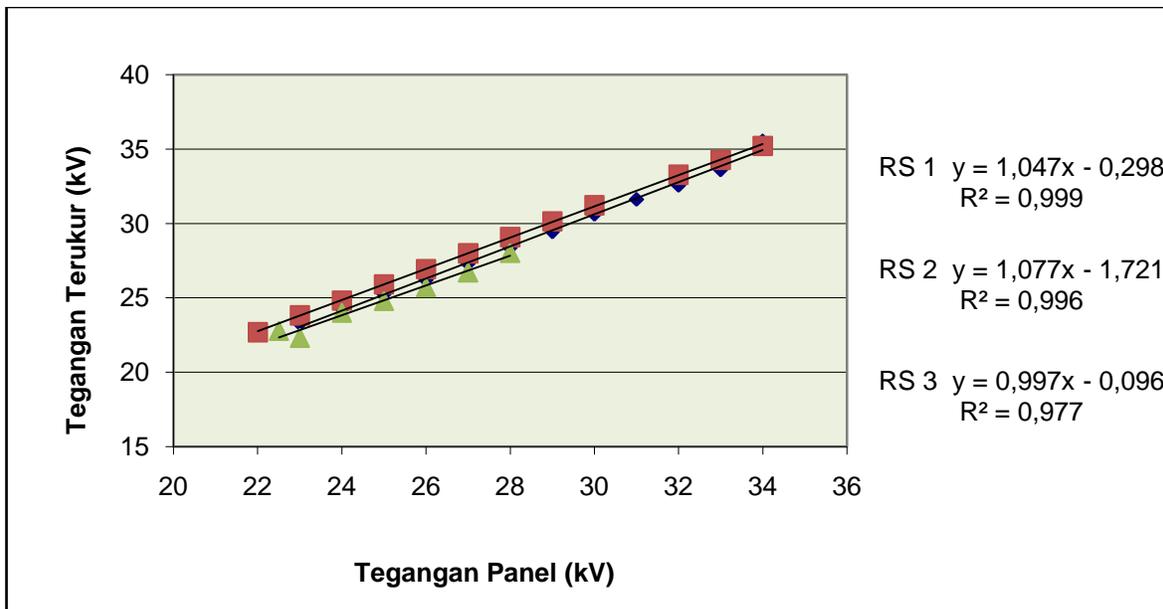
Tabel 1. Perbandingan tegangan panel dan tegangan terukur pada pesawat mamografi

No.	Tegangan Panel (kV)			Tegangan Terukur (kV)			Beda tegangan terukur terhadap Tegangan Panel (%)		
	RS 1	RS 2	RS 3	RS 1	RS 2	RS 3	RS 1	RS 2	RS 3
1	23	22	22,5	23,26	22,69	22,79	1,13	3,14	1,29
2	24	23	23	24,25	23,82	22,31	1,04	3,57	3
3	25	24	24	25,24	24,82	24	0,96	3,42	0
4	26	25	25	26,2	25,9	24,79	0,77	3,6	0,84
5	27	26	26	27,3	26,93	25,71	1,11	3,58	1,12
6	28	27	27	28,37	27,99	26,71	1,32	3,67	1,07
7	29	28	28	29,43	29,08	28,02	1,48	3,86	0,07
8	30	29		30,61	30,14		2,03	3,93	
9	31	30		31,62	31,22		2	4,07	
10	32	32		32,56	33,27		1,75	3,97	
11	33	33		33,59	34,26		1,79	3,82	
12	34	34		35,52	35,21		4,47	3,56	

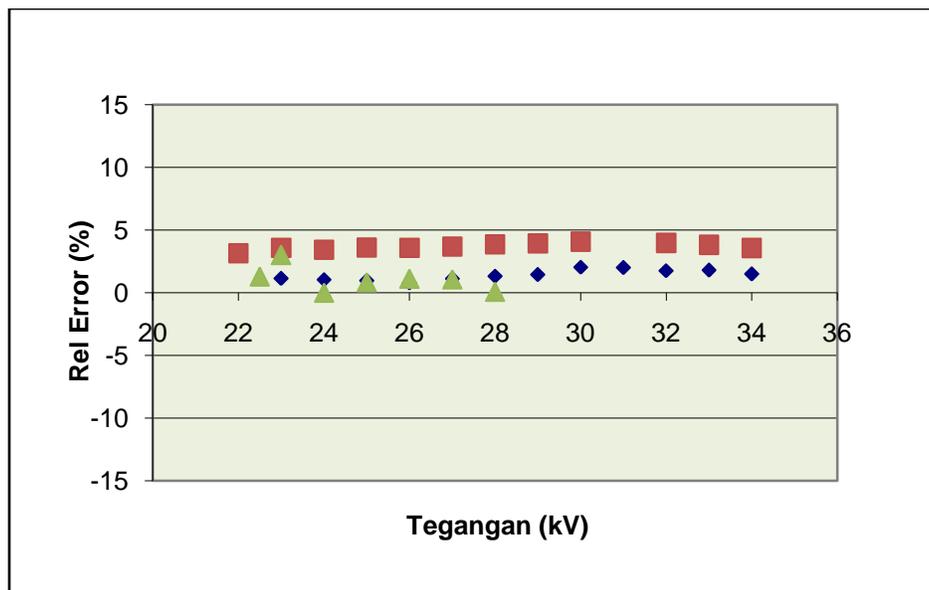
Pada rumah sakit 1 perbedaan tegangan yang terkecil berada pada tegangan panel 26 kV yaitu 0.2 kV (0,77%) dan yang terbesar pada tegangan panel 34 kV yaitu 1.52 kV (4,47%). Untuk rumah sakit 2 perbedaan tegangan yang terkecil pada tegangan panel 22 kV yaitu 0.69 kV (3,14%) dan yang terbesar pada tegangan 30 kV yaitu 1,22 kv (4,07 %). Pada pesawat 3, perbedaan tegangan terkecil terjadi pada tegangan panel 24 kV dengan beda tegangan 0,00 kV dan yang terbesar pada tegangan panel 23 kv yaitu 0.69 kV. Dari ketiga pesawat, terlihat bahwa pesawat rumah sakit 2 yang memiliki kecenderungan prosentase penyimpangan terbesar dari kedua pesawat yang lain. Namun demikian secara umum

penyimpangan yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan sebesar 5%.

Untuk melihat linieritas antara tegangan panel dan tegangan terukur dapat dilihat pada Gambar 3. Dari grafik terlihat hubungan yang linier antara ketiga pesawat dengan korelasi yang cukup baik yang ditandai dengan nilai koefisien korelasi R^2 yang mendekati nilai 1. Jika hubungan yang terbentuk linier artinya antara tegangan panel dan tegangan terukur berbanding lurus sehingga pesawat masih dapat dipergunakan. Jika tidak linier atau koefisien korelasinya tidak mendekati 1 artinya ada sesuatu dalam rangkaian elektronik pesawat mamografi yang bermasalah sehingga mengakibatkan penyimpangan.



Gambar 3. Grafik hubungan tegangan panel dan tegangan terukur



Gambar 4. Grafik perbedaan tegangan terukur terhadap tegangan panel.

Namun yang penting untuk diperhatikan bukan hanya koefisien linieritasnya, tetapi nilai konstanta (nilai off set pada titik nol) antara tegangan terukur dan tegangan panel. Nilai ini menunjukkan seberapa besar selisih penunjukkan antara tegangan terukur dan

tegangan panel. Nilai konstanta dari persamaan garis ini sebanding dengan rata-rata nilai penyimpangan pada Tabel 1.

Untuk mengetahui sebaran nilai perbedaan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4. Dari grafik terlihat bahwa

penyimpangan yang terjadi secara umum ketiga pesawat memperlihatkan besarnya penyimpangan masih berada dalam daerah $\pm 5\%$.

Menurut standar yang dikeluarkan oleh Royal Australian and New Zealand College of Radiologists penyimpangan yang masih diperbolehkan antara tegangan panel terhadap tegangan terukur sebesar $\leq 5\%$ ^{2,4}. Dari grafik terlihat jelas bahwa sebaran nilai perbedaan masih berada dalam rentang yang diperbolehkan. Secara umum akurasi ketiga pesawat tersebut masih memenuhi standar, dengan kata lain kondisi pesawat relatif cukup baik

KESIMPULAN

Dari ketiga pesawat yang diukur, ternyata nilai perbedaan tegangan terukur terhadap tegangan panel $\leq 5\%$. Jadi dapat disimpulkan bahwa ketiga pesawat mammografi tersebut masih memenuhi standar atau kondisi pesawat relatif cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AKHADI, M, *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, 2000.
- [2] Health Departement of Western Australia *Diagnostik X-ray Equipment Compliance Testing*, Nedlan WA. (2000).
- [3] International Atomic Energy Agency. *Optimization of The Radiological Protection Of Patients: Image Quality and Dose in Mammography* (coordinated research in Europe). IAEA- TECDOC-1447, IAEA, Austria, May. (2005).
- [4] British Columbia *Diagnostic X-ray unit QC Standards in BC*.(2002).

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM INKORPORASI P-32 PADA BAKTERI ESCHERICHIA COLI, KLEBSIELLA PNEUMONIAE DAN YERSINIA ENTEROCOLITICA

Tiah Rachmatiah¹ dan Irawan Sugoro²

¹Jurusan Farmasi – Institut Sains dan Teknologi Nasional Depok

²Pusat Aplikasi dan Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN Jakarta

tiahrachmatiah@yahoo.com

ABSTRAK

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM INKORPORASI P-32 PADA BAKTERI ESCHERICHIA COLI, KLEBSIELLA PNEUMONIAE DAN YERSINIA ENTEROCOLITICA. Penyakit infeksi dapat disebabkan oleh bakteri coliform seperti *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica*. Ketiga bakteri tersebut merupakan hasil isolasi dari sampel susu sapi perah yang terinfeksi mastitis. Dalam percobaan ini akan dilakukan penentuan waktu optimum inkorporasi P-32 pada sel bakteri *E. coli*, *K. pneumoniae*, dan *Y. enterocolitica*. Tahapan penelitian terdiri dari pembuatan kultur inokulum dan pembuatan kurva pertumbuhan berdasarkan nilai absorbansi, biomassa dan inkorporasi P-32. Parameter yang diukur adalah pola pertumbuhan absorbansi, biomassa dan % inkorporasi P-32. Hasil percobaan menunjukkan pola pertumbuhan dari setiap isolat memperlihatkan pola yang sama berdasarkan nilai absorbansi inkorporasi P-32, tetapi berbeda berdasarkan data biomassa. Hasil analisis korelasi menunjukkan terdapat hubungan yang nyata antara pola pertumbuhan berdasarkan absorbansi dan biomassa dengan % inkorporasi P-32 untuk semua bakteri. Waktu optimum inkorporasi bakteri bakteri *E.coli*, *K.pneumoniae* dan *Y.enterocolitica* masing-masing terjadi pada jam ke – 3, 1 dan 4.

Kata kunci: Inkorporasi P-32, Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Yersinia enterocolitica

ABSTRACT

DETERMINATION OF P-32 INCORPORATION IN ESCHERICHIA COLI, KLEBSIELLA PNEUMONIAE AND YERSINIA ENTEROCOLITICA. Infectious diseases can be caused by bacteria coliform i.e. *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica*. The bacteria were isolated from dairy milk with mastitis. The aim of research was to determination of P-32 incorporation in *E. coli*, *K. pneumoniae*, and *Y. enterocolitica*. The experiment was preparation of inoculum culture and measurement of growth curve by the absorbance, biomass and P-32 incorporation. The parameters were the absorbance pattern, biomass and % P-32 incorporation. The results showed that the growth of isolates have the same pattern based on the absorbance and P-32 incorporation, but different on the biomass. There were significant relation between absorbance and biomass growth pattern with % P-32 incorporation for all bacteria. The optimum time of P-32 incorporation occurred on 3,1 and 4 hours incubation for *E.coli*, *K.pneumoniae* and *Y.enterocolitica*.

Keywords Inkorporasi P-32, Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Yersinia enterocolitica

I. PENDAHULUAN

Pada negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, penyakit infeksi masih merupakan masalah kesehatan yang cukup penting dan menyebabkan kematian pada 18% dari seluruh kasus kematian [1]. Infeksi ataupun penyakit akibat infeksi pada manusia telah menyebabkan kematian sebesar 13 juta orang di seluruh dunia setiap tahun, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia [2]. Empat puluh tiga persen kematian di negara berkembang disebabkan oleh penyakit infeksi sedangkan di negara maju hanya sebesar satu persen. Kematian yang besar tersebut dapat dicegah jika dilakukan diagnosa yang cepat dan tepat serta didukung oleh penanganan yang efektif dan efisien [3].

Penyakit infeksi timbul sebagai akibat serangan organisme patogen. Organisme ini dapat berada dimana saja, misalnya di tanah, air, udara, pada hewan, maupun menggunakan hewan sebagai perantara. Penyakit infeksi dapat disebabkan oleh bakteri coliform seperti *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia* dan *Yersinia enterocolitica*. Pada manusia ketiga jenis bakteri ini merupakan bakteri-bakteri penyebab diare [4]. Namun dari ketiga bakteri tersebut, kasus diare di Indonesia lebih banyak disebabkan oleh bakteri *Escherichia coli* [5]. Sejak tahun 1970 *Escherichia coli* diketahui menyebabkan diare dan disentri [6]. Bakteri ini juga dapat menyebabkan pneumonia, sekitar 50% dari *Primary Nosocomial Pneumonia* di Rumah Sakit [7]. Bakteri *Klebsiella pneumoniae* merupakan

penyebab kasus pneumonia yang sangat parah. Bakteri ini biasanya ditemui pada infeksi saluran pernafasan⁽⁸⁾. Bakteri *Klebsiella pneumoniae* dapat menyebabkan radang paru-paru karena bakteri, terutama erat kaitannya dengan pecandu minuman alkohol [9]. Sedangkan infeksi bakteri *Yersinia enterocolitica* dapat menyebabkan nyeri pada abdominal (bisa disalah artikan sebagai appendisitis), sakit kepala, demam, diare, mual. Sedangkan pada anak-anak diare air/lendir.

Pada hewan khususnya sapi, bakteri-bakteri coliform ini merupakan bakteri penyebab mastitis⁽¹⁰⁾. Mastitis adalah penyakit radang ambing yang disebabkan oleh mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur [11]. Penyakit ini dapat menyebabkan kerugian yang besar akibat penurunan produksi susu, penurunan kualitas susu, biaya perawatan serta pengobatan yang mahal [12].

Infeksi organisme patogen dapat terjadi melalui kulit, membran mukosa, transfusi darah, ataupun kontaminasi dari makanan dan minuman. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui pola patogenitas pada bakteri-bakteri penyebab penyakit infeksi tersebut. Salah satunya dengan pelabelan atau perunutuan pada sel bakteri dengan radionuklida. Berkat radiasi yang dipancarkan maka setiap unsur (senyawa) radioisotop yang memasuki tubuh hewan atau manusia dapat diikuti (dilacak, dirunut) jejak dan perilakunya [13].

Target utama bagian sel untuk pelabelan adalah DNA yang merupakan sumber

informasi genetik sel. Pemberian radioisotop (radionuklida) akan menyebabkan perubahan genetik sel. Perubahan genetik sel akan berakibat pada terganggunya kinerja atau kematian sel⁽¹⁴⁾. Untuk itu khusus untuk tujuan teknik perunut selalu dipergunakan radioisotop (radionuklida) yang sifat destruksinya terhadap sel dan jaringan kecil, yaitu dengan radionuklida buatan seperti Fosfor-32 (P-32). Dipergunakannya radionuklida P-32 karena fosfor memiliki jumlah relatif stabil dalam sel. Waktu optimum inkorporasi P-32 pada sel bakteri harus diketahui sehingga saat diujikan dapat terunut secara maksimal [13].

Dalam percobaan ini digunakan bakteri *Escherichia coli* S3, *Yersinia enterocolitica* Y5, dan *Klebsiella pneumoniae* K3. Ketiga isolat bakteri ini merupakan hasil isolasi dari susu sapi perah yang terinfeksi mastitis di Kabupaten Garut yang ditandai dengan keluarnya air susu yang berwarna coklat kekuningan dan sedikit menggumpal, timbulnya gejala radang (panas, sakit, bengkak, merah, serta demam) pada daerah ambing terlihat sangat nyata dan bervariasi dengan keadaan yang menginfeksi ambing tersebut, serta telah diuji patogenitas dan resistensinya terhadap antibiotika. Isolat *Klebsiella pneumoniae* yang berhasil diisolasi sebanyak 12 strain dan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah strain *Klebsiella pneumoniae* dari level mastitis positif 3 (isolat K3) atau mastitis akut, sedangkan pada isolat *Yersinia enterocolitica* yang berhasil diisolasi sebanyak 5 strain dan yang akan digunakan

dalam penelitian ini adalah strain *Yersinia enterocolitica* dari level mastitis positif 5 atau mastitis akut. Ketiga macam isolat bakteri ini digunakan karena memiliki resistensi yang cukup tinggi terhadap antibiotika [15].

Berdasarkan hal di atas maka dalam penelitian ini akan dilakukan penentuan waktu optimum inkorporasi P-32 terhadap sel bakteri *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* dan *Yersinia enterocolitica*. Selain itu akan dilihat pula hubungan pertumbuhan sel dengan inkorporasi P-32 pada bakteri *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* dan *Yersinia enterocolitica*.

II. TATA KERJA

Bahan dan Metode.

Mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah strain bakteri *Escherichia coli* (isolat S3), *Klebsiella pneumoniae* (isolat K3) dan *Yersinia enterocolitica* (isolat Y5), sedangkan radioisotop yang digunakan adalah Fosfor-32 (P-32) dalam bentuk NH_3PO_4 sebagai perunut. Alat yang digunakan berupa *Liquid Scintillation Counter* (LSC), *Waterbath Shaker*, *Laminar Air Flow*, Spektrofotometer, dan oven.

Pembuatan kultur inokulum

Inokulasi kultur hasil peremajaan berumur 24 jam sebanyak 3 ose ke dalam 30 ml TSB. Kemudian diinkubasi pada suhu kamar dan agitasi 120 rpm selama 24 jam. Setelah itu diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada λ_{660} nm.

Pembuatan kurva tumbuh absorbansi

Selanjutnya sebanyak 10 % v/v (10^{12} sel/ml) dari kultur inokulum ditambahkan ke dalam 30 ml TSB. 30 ml Medium TSB digunakan untuk mengukur absorbansi dengan menggunakan spektrofotometer pada λ_{660} nm. Pada waktu 0,1,2,3,4 jam, diambil tiap jamnya pada masing-masing inokulum bakteri sebanyak 1 ml ke dalam *cuvet*. Setelah itu diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer pada λ_{660} nm pada setiap jamnya. Data yang diperoleh dibuat kurva dengan memakai program Microsoft Excel dengan X= Waktu (jam) dan Y= Absorbansi.

Pembuatan kurva tumbuh biomassa

Medium TSB sebanyak 30 ml ditambahkan P-32 (100 μ l/30 ml) untuk dua perlakuan, yang pertama untuk pengukuran biomassa sel dan yang kedua untuk pengukuran % inkorporasi P-32. Untuk pengukuran biomassa sel, kultur sebanyak 1 ml dimasukkan ke dalam *mikrotube* 1,5 ml, setelah itu disentrifugasi selama 10 menit pada 10000 rpm pada tiap jamnya. Kemudian supernatan diambil untuk pengukuran % inkorporasi P-32, sedangkan pelet dikeringkan pada suhu 60⁰ C selama 1 hari, setelah itu ditimbang. Biomassa diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$B_m = B_t - B_o$$

Keterangan :

B_m = Biomassa (mg/ml)

B_t = Berat tabung + berat Biomassa (mg)

B_o = Berat tabung kosong (mg)

Dari data yang diperoleh dibuat kurva dengan memakai program Microsoft Excel dengan X= Waktu (jam) dan Y= Biomassa

Pengukuran Inkorporasi P-32

Untuk pengukuran inkorporasi P-32, supernatan kultur + P-32 setelah disentrifugasi selama 10 menit pada 10000 rpm pada tiap jamnya diambil sebanyak 1 ml lalu dilarutkan ke dalam 9 ml aquadest di dalam vial gelas. Setelah itu dilakukan pencacahan dengan LSC selama 1 menit. Kemudian dihitung untuk menentukan CPM Sel dengan memakai rumus sebagai berikut:

$$\text{CPM Sel} = \text{CPM Total} - \text{CPM Medium}$$

Kemudian dihitung untuk menentukan % Inkorporasi P-32 dengan memakai rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Inkorporasi} = \text{CPM Sel} / \text{CPM Total} \times 100\%$$

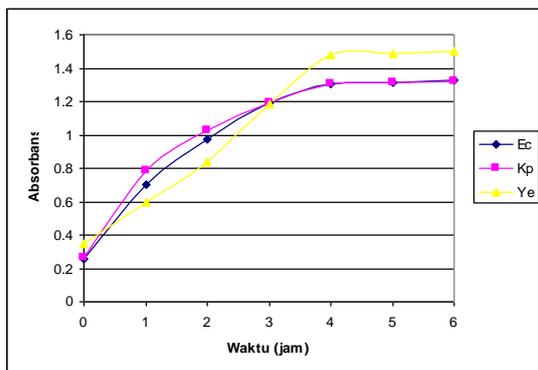
Data di atas dibuat kurva dengan memakai program Microsoft Excel dengan X= Waktu (jam) dan Y= % inkorporasi.

Analisis data

Data yang didapatkan dari hasil penelitian ini, kemudian dianalisis dengan Uji Korelasi Pearson pada program Microsoft Excel untuk mengetahui adanya hubungan antara biomassa dan P-32, hubungan absorbansi dengan biomassa, hubungan absorbansi dengan P-32.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

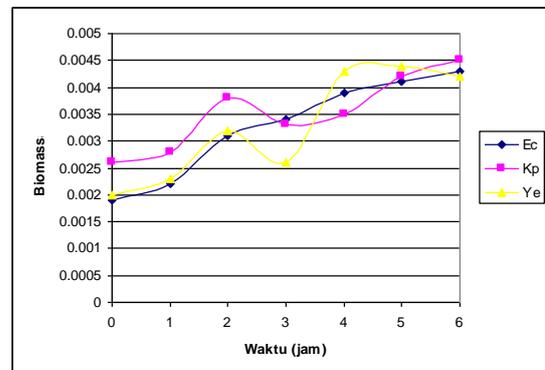
Nilai absorbansi dapat menunjukkan pertumbuhan jumlah sel bakteri. Pertumbuhan jumlah sel dari setiap isolat memperlihatkan pola yang sama (Gambar 1). Hal ini didukung pula dengan nilai korelasi pola pertumbuhan antar bakteri yang mendekati satu. Kurva pertumbuhan dari ketiga macam bakteri ini menunjukkan bahwa tidak ada fase adaptasi, tetapi langsung memasuki fase log hingga jam ke-4. Hal ini terjadi karena sebelumnya bakteri ini telah ditumbuhkan pada media yang sama.



Gambar 1. Pola pertumbuhan bakteri *E.coli* (Ec), *K.pneumoniae* (Kp) dan *Y. enterocolitica* (Ye) berdasarkan data absorbansi.

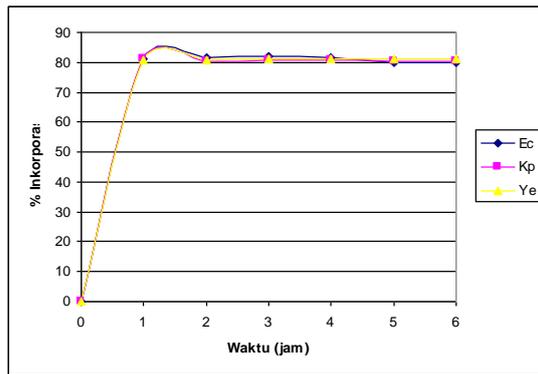
Pola pertumbuhan berdasarkan data absorbansi ternyata berbeda dengan pola pertumbuhan biomassa (Gambar 2). Terjadi penurunan nilai biomassa pada bakteri *K.pneumoniae* dan *Y. enterocolitica* setelah jam ke-2, sedangkan *E.coli* mengalami kenaikan. Hasil analisis korelasi pun menunjukkan bahwa hubungan antara pola pertumbuhan biomassa bakteri *K.pneumoniae* dan *Y. enterocolitica* yang nyata sedangkan

dengan *E.coli* tidak begitu nyata. Terjadinya penurunan biomassa kemungkinan karena pada saat itu terjadi pembelahan sel yang sangat cepat sehingga dinding sel bakteri tipis meskipun jumlah sel banyak [16].



Gambar 2. Pola pertumbuhan bakteri *E.coli* (Ec), *K.pneumoniae* (Kp) dan *Y. enterocolitica* (Ye) berdasarkan data biomassa.

Demikian pula halnya dengan pola inkorporasi P-32 yang menunjukkan pola yang sama (Gambar 3). Hal ini didukung dengan data korelasi yang memiliki nilai 1 atau hubungan sangat nyata. Waktu inkorporasi maksimal isolat bakteri *E.coli*, *K. pneumoniae* dan *Y. enterocolitica* berbeda, yaitu pada jam ke-3, 1 dan 4. Hal tersebut terjadi karena perbedaan aktivitas metabolisme dan komponen penyusun sel, serta kebutuhan akan unsur P.



Gambar 3. % inkorporasi bakteri *E.coli* (Ec), *K.pneumoniae* (Kp) dan *Y. enterocolitica* (Ye) berdasarkan data biomassa.

Inkorporasi P-32 pada sel bakteri memiliki hubungan yang nyata dengan pola pertumbuhan berdasarkan absorbansi dan biomassa. Hal ini karena terjadinya pembelahan dan metabolisme sel sehingga terjadi penyerapan P-32 ke dalam sel yang nantinya menjadi bagian dari sel. Kemampuan sel bakteri untuk menginkorporasi P-32 sangatlah penting untuk pengujian lanjutan untuk mengetahui pola patogenitas dan sebaran bakteri pada hewan uji.

IV. KESIMPULAN.

Waktu optimum inkorporasi bakteri bakteri *E. coli*, *K. pneumoniae* dan *Y. enterocolitica* terjadi pada jam ke – 3, 1 dan 4. Terdapat hubungan yang nyata antara pola pertumbuhan sel dan % inkorporasi P-32 pada sel bakteri bakteri *E.coli*, *K.pneumoniae* dan *Y.enterocolitica*.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih pada PATIR atas fasilitas yang diberikan dan Nunik

Lelaningtyas, Dinardi serta Aji Gustam atas bantuannya selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

1. PT. PFIZER INDONESIA, Product monograph. Breakthrough on Infection Management. Superazon (Sulbaktam/cefoperazon) Jakarta, 2002.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Combating infection in developing countries, Vienna Austria, 2000.
3. MACHI, S. Nuclear techniques serve mankind, Japan Atomic Industrial Forum (JAIF),Inc. 2002.
4. BROOKS GF, BUTEL JS, ORNSTON LN, JAWETZ MELNICK ADELBERG Medical Microbiology. Edisi ke-20. Alih bahasa oleh Nugroho E dan MaulanyRF. EGC Penerbit Buku Kedokteran, Jakarta, 1996.
5. DZULKARNAIN B, SUNDARI D CHOZIN A, 1996. Tanaman Obat Bersifat Antibakteri Di Indonesia. Cermin Dunia Kedokteran, 110:35-48.
6. RUSLI S., Tatalaksana Diare Berdarah Pasien Dewasa. Tinjauan Kepustakaan, Majalah Penyakit Infeksi Indonesia, No.1, Jakarta, hal. 8-9. 2001.
7. KARSINAH, Mikrobiologi Kedokteran. Jakarta : Balai Penerbit FKUI, hal 27-29. 1994.
8. BOEL, T. Infeksi Saluran Kemih dan Kelamin. Fakultas Kedokteran Gigi. Universitas Sumatera Utara. 1-15. 2004.
9. RASHID T, EBRINGER A. Ankylosing spondylitis is linked to Klebsiella-the evidence (Epub ahead of print). Clin Rheumatol. PMID 17186116. 2006.
10. RUEGG, PAMELLA L. Evaluating the Effectiveness of Mastitis Vaccines. University of Wisconsin – Madison. 2001.
11. SUGORO, I. Pengontrolan Penyakit Mastitis dan Manajemen Pemerahan Susu. Artikel PATIR BATAN. 2004.
12. SUDARWANTO. Usaha Peningkatan Produksi Susu Melalui Program Pengendalian Mastitis Subklinis. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Kesehatan Masyarakat Veteriner. FKH IPB. Bogor. 1999.

13. DARUSSALAM, M. Radiasi dan Radioisotop : Prinsip dan penggunaannya dalam : Biologi, Kedokteran dan Pertanian. Tarsito. Bandung. 1996.
14. HALL, E.J. Radiobiology for The Radiobiologist, Lippincott Williams and Walkin, Philadelphia. 1994.
15. SUGORO, I., N.LELANANINGTYAS, DINARDI DAN PIKOLI, M.R., Laporan Penelitian : Isolasi Bakteri Coliform dari Susu Sapi yang Terinfeksi Mastitis di Kabupaten Garut, Prodi Biologi FSAINTEK UIN Syahid, Jakarta, 2007.
16. FUNKE BR, TORTORA GJ, CASE CL, Microbiology: an introduction, 8th ed., San Francisco: Benjamin Cummings. ISBN 0-8053-7614-3, 2004.

PENENTUAN KARAKTERISTIK PELURUHAN I-131 HASIL PRODUKSI LOKAL (09C31P403.036) DAN IMPOR (UN2910) MENGUNAKAN SISTEM PENCACAH KAMAR PENGION

Wijono, Pujadi dan Gatot Wurdianto

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional

ABSTRAK

PENENTUAN KARAKTERISTIK PELURUHAN I-131 HASIL PRODUKSI LOKAL (09C31P403.036) DAN IMPOR (UN2910) MENGGUNAKAN SISTEM PENCACAH KAMAR PENGION. Telah dilakukan penentuan karakteristik peluruhan I-131 hasil produksi lokal (09C31P403.036) dan impor (UN2910) menggunakan sistem pencacah kamar pengion. Alat ukur radiasi yang digunakan adalah pencacah kamar pengion Merlin Gerin S/N 5 11 017 dan Capintec CRC-7BT S/N 71742. Semua pencacahan dilakukan dalam 10 tahap. Pengulangan data tiap tahap menggunakan Merlin Gerin, dilakukan 60 kali secara komputerisasi dalam satuan Ampere. Sedangkan Capintec dilakukan 15 kali secara manual. Hasil perhitungan berupa grafik karakteristik peluruhan I-131 lokal dan impor yang memiliki umur paro masing-masing ($195,701 \pm 0,52\%$) dan ($196,223 \pm 0,65\%$) jam. Umur paro tersebut lebih lama dibanding teori, prosentase perbedaannya masing-masing 1,42% dan 1,69%. Persamaan garis grafik eksponensial peluruhan I-131 lokal dan impor adalah $y = 7579,3 \times e^{-0,0036x}$ ($R = 1$) dan $y = 141,89 \times e^{-0,0035x}$ ($R = 0,9999$). Pada tingkat kepercayaan 95% diperoleh nilai ketidakpastian bentangan (U) dari I-131 lokal dan impor masing-masing sebesar 5,2931% dan 5,2949%. Dengan diketahuinya karakteristik peluruhan dan ketidakpastian yang tertelusur ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat kepercayaan konsumen untuk mendapatkan perlindungan keamanan, keselamatan dan kesehatan yang memadai sesuai peraturan ketenaganukliran yang berlaku.

Kata kunci : peluruhan, umur paro dan ketidakpastian

ABSTRACT

DETERMINATION OF DECAY CHARACTERISTIC OF I-131 LOCAL (09C31P403.036) AND IMPORT PRODUCT (UN2910) WITH IONIZATION CHAMBER COUNTING SYSTEM. Determination of decay characteristic of I-131 local (09C31P403.036) dan import product (UN2910) by using ionization chamber counting system has been carried out. The used radiation instruments are Merlin Gerin ionization chamber counting with S/N 5 11 017 and Capintec CRC-7BT S/N 71742. All counting have been done 10 phase. Repetition of data every phase by using Merlin Gerin were carried out 60 times and has been done computerized in set of Ampere. While Capintec has been done 15 times manually. The result of calculation are in the form of decay characteristic graph of local I-131 and import which have half-life ($195.701 \pm 0.52\%$) and ($196.223 \pm 0.65\%$) hour respectively. This half-life is longer compared with theoretically, percentage of the difference each of 1.42% dan 1.69%. The equation of exponential graph line decay of local I-131 and import is $y = 7579.3 \times e^{-0.0036x}$ ($R = 1$) and $y = 141.89 \times e^{-0.0035x}$ ($R = 0.9999$). The uncertainty value of unfold (U) of local were obtained and import each of 5.2931% and 5.2949% at confident level 95%. By determining of decay characteristic and traceability of uncertainty, the guarantee of quality for consumer to get protection of security, adequate health and safety according to regulation of nuclear applying could be increased.

Keywords : decay, half-time dan uncertainty

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan aplikasi berbagai jenis radioisotop dalam kedokteran nuklir telah berkembang dengan pesat. Salah satu contoh adalah penggunaan I-131 untuk keperluan diagnostik maupun terapi pada suatu rumah sakit. Di dalam proses penggunaannya tidak lepas dari faktor akurasi umur paro-nya untuk penentuan waktu penyinaran yang tepat kepada konsumen (pasien).

Umur paro I-131 sebenarnya memiliki nilai yang tidak selalu sama dibandingkan dengan umur paro secara teori. Perbedaan ini dipengaruhi faktor kemurnian radiokimia maupun kemurnian radionuklidanya. Di dalam perumusan program *software* suatu alat ukur radiasi (*dose calibrator*) biasanya menggunakan masukan (*input*) umur paro secara teori. Apabila perbedaan umur paro yang sebenarnya terhadap teori ini terlalu besar maka akan menyebabkan kesalahan yang besar pula pada penentuan waktu penyinaran yang tepat ke konsumen. Oleh karena itu diperlukan hasil analisis yang dapat menginformasikan nilai ketidakpastian waktu paro dan karakteristik peluruhan I-131.

Pada penelitian ini dilakukan penentuan karakteristik peluruhan I-131 hasil produksi lokal (kode 09C31P403.036) dan impor (kode UN2910) menggunakan sistem pencacah kamar pengion. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan jaminan kualitas agar pihak konsumen mendapatkan perlindungan keamanan,

keselamatan dan kesehatan yang memadai sesuai peraturan ketenaganukliran yang berlaku.

II. TEORI

Perhitungan nilai ketidakpastian (U) terdiri dari tipe A dan B. Tipe A meliputi nilai-nilai ketidakpastian data pengukuran alat ukur standar *Capintec* CRC-7BT (u_{cp}) dan Pencacah Kamar Pengion Merlin Gerin (u_{mg}). Sedangkan tipe B meliputi nilai-nilai ketidakpastian kebocoran detektor (u_{leak}), Umur paro teori (u_{pr}), resolusi bacaan (u_{resl}), respon detektor (u_{res}), linieritas (u_{lin}), akurasi (u_{akr}) dan *repeatability* (u_{rpb}).^[1]

Untuk tipe A, deviasi standar pengukuran *capintec* (σ_{cp}) ditentukan oleh hasil cacahan *Capintec* tiap tahap pengukuran (A_{icp}), cacahan rerata *Capintec* (\bar{A}_{cp}) dan jumlah pengulangan data (N). Perumusan deviasi standar ini ditunjukkan dalam Persamaan 1 berikut :

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_{icp} - \bar{A}_{cp})^2}{N(N-1)}} \quad (1)$$

Dengan diketahuinya deviasi standar hasil pengukuran *Capintec*, cacahan rerata *Capintec* dan jumlah pengulangan datanya, maka dapat ditentukan ketidakpastian *Capintec* (u_{cp}) dalam satuan persen (%) seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan 2.

$$u_{cp} = \frac{\sigma_{cp}}{A_{cp} \sqrt{(N-1)}} \times 100 \quad (2)$$

Dengan rumus standar deviasi yang sama pada *capintec*, diperoleh nilai ketidakpastian Pencacah Kamar Pengion Merlin Gerin (u_{mg}) dalam prosen (%) sebagai berikut :

$$u_c = \sqrt{u_{cp}^2 + u_{mg}^2 + u_{leak}^2 + u_{pr}^2 + u_{resl}^2 + u_{res}^2 + u_{lin}^2 + u_{akr}^2 + u_{pbtb}^2} \quad (4)$$

Apabila k adalah faktor cakupan untuk nilai derajat kebebasan efektif (v_{eff}) dengan tingkat kepercayaan 95% dan menggunakan nilai

$$v_{eff} = \frac{u_{cp}^4 + u_{mg}^4 + u_{ser}^4 + u_{resl}^4 + u_{res}^4 + u_{lin}^4 + u_{lur}^4 + u_{leak}^4}{(u_{cp}^4/v_{cp}) + (u_{mg}^4/v_{mg}) + (u_{leak}^4/v_{leak}) + (u_{pr}^4/v_{pr}) + (u_{resl}^4/v_{resl}) + (u_{res}^4/v_{res}) + (u_{lin}^4/v_{lin}) + (u_{akr}^4/v_{akr}) + (u_{pbtb}^4/v_{pbtb})} \quad (5)$$

$$u_{mg} = \frac{\sigma_{mg}}{A_{mg} \sqrt{(N-1)}} \times 100 \quad (3)$$

Dari nilai-nilai ketidakpastian tipe A dan B diperoleh nilai ketidakpastian standar gabungan (u_c) sebagai berikut :

kritis k -students, maka nilai ketidakpastian bentangan (U) dapat ditentukan. [2]

Tabel 1 Hubungan derajat kebebasan terhadap faktor cakupan [4]

Derajat Kebebasan	Nilai k pada TK 95%	Derajat Kebebasan	Nilai k pada TK 95%
1	12.706	13	2.160
2	4.303	14	2.145
3	3.182	15	2.131
4	2.776	16	2.120
5	2.571	17	2.110
6	2.447	18	2.101
7	2.365	19	2.093
8	2.306	20	2.086
9	2.262	25	2.060
10	2.228	30	2.042

Nilai ketidakpastian bentangan (U) diperoleh dari hasil perkalian nilai faktor cakupan (k) dengan nilai ketidakpastian gabungan (u_c).

$$U = k \cdot u_c \quad (6)$$

Hasil akhir perhitungan umur paro ($T_{1/2}$) adalah :

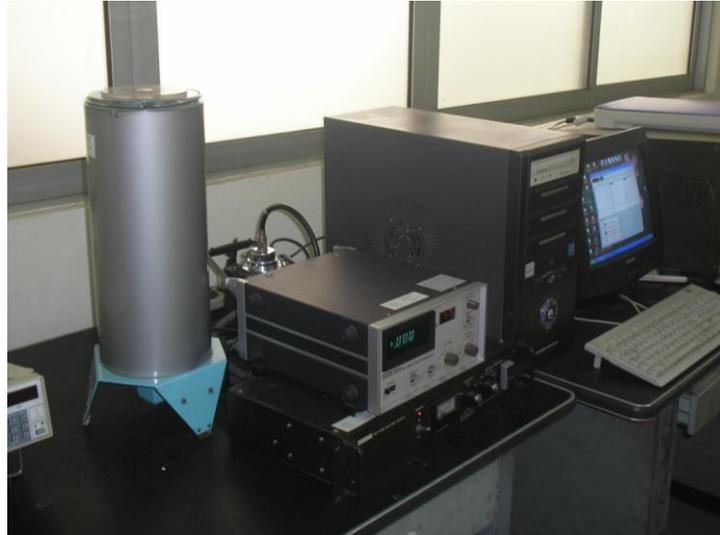
$$T_{1/2} = T_{1/2_{mg}} \pm U \quad (7)$$

III. TATA KERJA

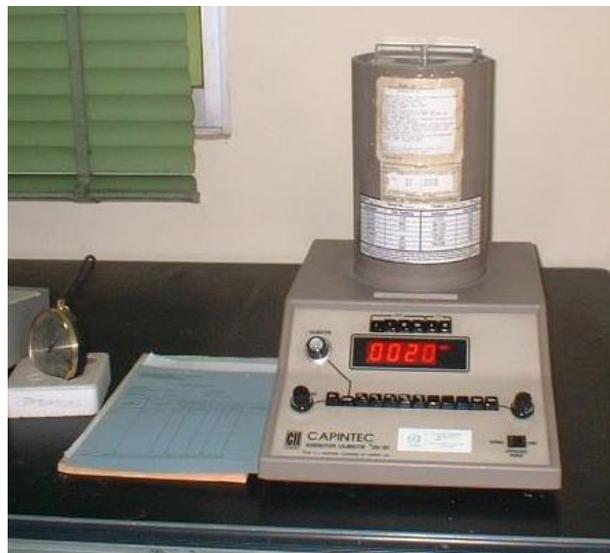
Peralatan yang digunakan dalam penentuan karakteristik peluruhan I-131 adalah sistem pencacah kamar pengion. Sistem tersebut terdiri dari Pencacah Kamar Pengion Merlin Gerin S/N 5 11 017 dan *Radioisotope calibrator capintec* CRC-7BT S/N-71742 sebagai alat ukur standarnya. Foto-foto alat tersebut ditunjukkan dalam Gambar 1 dan 2. Radioisotop yang

digunakan adalah I-131 hasil produksi lokal PT. Batan Teknologi No. Kode 09C31P403.036 dan hasil impor dari *Japan Radioisotope Association (JRA)* Jepang

No.Kode UN2910. Aktivitas awal masing-masing radioisotop sebesar 8,31 mCi (1 April 2009) dan 0,54 mCi (2 Maret 2009).



Gambar 1 Pencacah Kamar Pengion Merlin Gerin



Gambar 2 Alat

ukur standar *Capintec* CRC-7BT

Proses pencacahan menggunakan alat ukur standar *Capintec* CRC-7BT maupun kamar pengion Merlin Gerin diawali dengan memakai monitor radiasi perorangan

(TLD) sampai pekerjaan selesai. Pencacahan menggunakan alat ukur standar *Capintec* CRC-7BT dilakukan dengan menyiapkan formulir data pencacahan kamar pengion

capintec serta mencatat identitas radionuklida sampel, nama pelaksana/penyelia, waktu pengukuran, temperatur ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban (%) sebelum menghubungkan kabel *Capintec* ke *power supply* PLN.

Capintec diaktifkan dan distabilkan selama 30 sampai 60 menit. Kemudian diset dengan posisi tombol “range” 20 mCi, “averaging”, “TEST” bacaan yang harus terletak pada 140-155 volt, “ZERO” dan “Zero adjustment” pada bacaan 0,00 mCi. Selanjutnya mengatur “Background adjustment” pada posisi “BGK” agar bacaan 0,00 mCi. Dengan demikian *Radionuclide*

Langkah pengukuran menggunakan Pencacah Kamar Pengion *Merlin Gerin* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pencacahan alat ukur alat ukur standar *capintec* CRC-7BT, namun distribusi datanya diambil secara otomatis dari program komputerisasi dengan pengulangan data 60 kali tiap satu kali proses pencacahan. Tahap pengukuran dilakukan sebanyak 10 tahap pada selang waktu tertentu sehingga hasil pengukuran arus terakhirnya telah meluruh dan melewati besaran umur paronya. Satuan ukur dari *Merlin Gerin* ini adalah Ampere (A)

Dari hasil kedua alat ukur radiasi tersebut di atas dapat ditentukan akuisisi data aktivitas/arus dan deviasi standarnya pada masing-masing tahap pengukuran. Selanjutnya dapat dibuat karakteristik grafik peluruhan, umur paro dan ketidakpastiannya.

Nilai ketidakpastian terdiri dari tipe A dan B. Tipe A diperoleh dari distribusi

Factor (RF) dapat digunakan sesuai jenis radionuklida sampel (tombol I-131). Agar proses pencacahan dapat dilakukan dengan baik maka radionuklida sampel dimasukkan ke dalam holder dan meletakkannya tepat pada posisi tengah sumur detektor. Dengan demikian aktivitas terdisplai dapat diamati dan dicatat sebanyak 15 kali pada FORM-LMR-STD-15. Tahap pengukuran dilakukan sebanyak 10 tahap pada selang waktu tertentu sehingga hasil pengukuran aktivitas terakhirnya telah meluruh dan melewati besaran umur paronya. Satuan ukur dari *Capintec* ini Curie (Ci).

cacah sampel dan latar. Sedangkan Tipe B diperoleh dari spesifikasi alat ukur standar yang meliputi : kebocoran, waktu paro, resolusi, respon, linieritas, akurasi dan repeatability. Dengan menggunakan persamaan 6 dapat ditentukan nilai ketidakpastian gabungan (u_c).

Berdasarkan hasil pengukuran, perhitungan dan analisis data pencacahan/ketidakpastian maka dapat ditentukan karakteristik peluruhan dengan aktivitas yang tertelusur dan faktor konversi arus ke aktivitas pada Pencacah Kamar Pengion *Merlin Gerin*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik fluktuasi data umur paro I-131 lokal dan impor dari hasil perhitungannya menunjukkan sedikit perbedaan. Hal ini ditunjukkan dalam Grafik Gambar 3. Umur paro rerata I-131 lokal

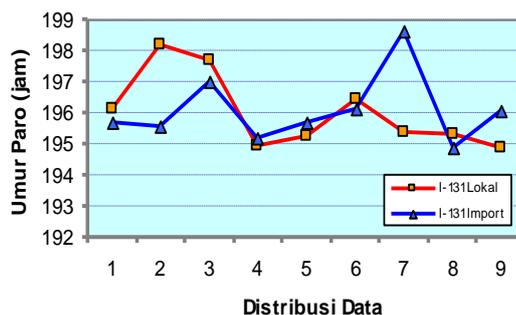
selama $(195,701 \pm 1,023)$ jam. Hasil ini cukup stabil dimana nilai deviasi standarnya 0,52% (kurang dari 1%) dari nilai reratanya. Hal yang serupa terjadi pada umur paro rerata I-131 impor yang memiliki nilai deviasi standar sedikit lebih besar, yaitu 0,65% dan masih dibawah 1%. Perbedaan ini mungkin disebabkan rentang aktivitas dari masing-masing sampel. I-131 lokal memiliki aktivitas awal pengukuran sebesar $7557,6 \mu\text{Ci}$ atau $653 \times 10^{-12}\text{A}$. Sedangkan I-131 impor memiliki aktivitas jauh lebih kecil, yaitu sebesar $141,8 \mu\text{Ci}$ atau $12,24 \times 10^{-12}\text{A}$. Dalam kondisi perbedaan rentang ukur aktivitas yang besar ini akan sangat berpengaruh pada akurasi pengukuran. Bahkan dalam ketidakpastian Tipe B menunjukkan angka tertinggi (3%).

Dalam buku "A Handbook of Radioactivity Measurement Procedures" ditunjukkan umur paro I-131 secara teori

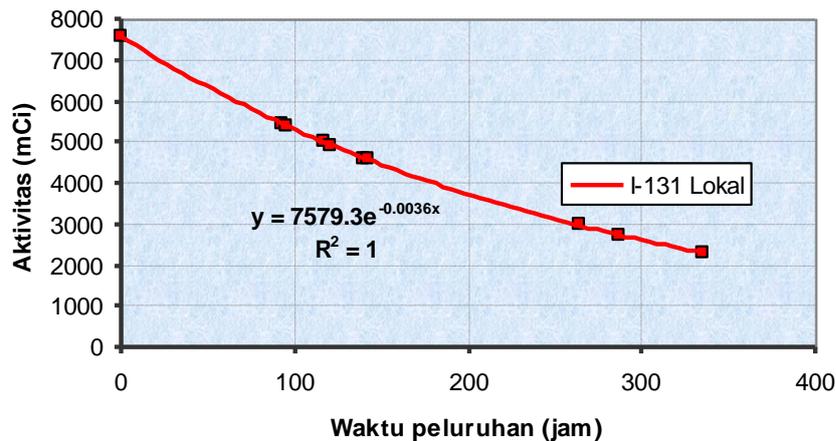
selama 8,04 hari atau 192,96 jam. Dengan demikian dapat diketahui bahwa I-131 lokal dan impor memiliki umur paro lebih panjang dibanding teori, prosentase perbedaannya masing-masing 1,42% dan 1,69%.

Grafik karakteristik peluruhan I-131 lokal dan impor ditunjukkan dam Gambar 4 dan 5. Dari hasil perhitungannya memiliki rumus persamaan eksponensial masing-masing $y = 7579,3 \times e^{-0,0036x}$ ($R = 1$) dan $y = 141,89 \times e^{-0,0035x}$ ($R = 0,9999$). Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kurva karakteristik I-131 lokal lebih baik dibanding I-131 impor. Hal ini dapat dilihat pada selisih nilai *R-squared*-nya 0,0001 lebih kecil untuk I-131 impor.

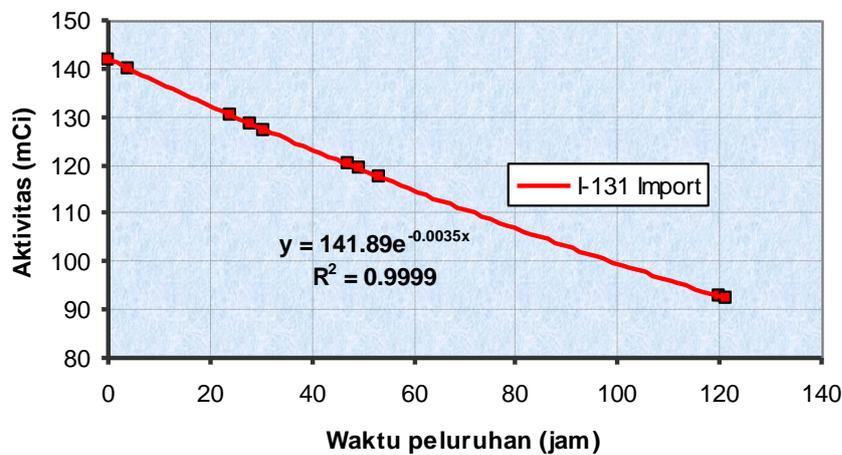
Dari distribusi data karakteristik peluruhan I-131 lokal dan impor dapat dihitung nilai faktor konversi arus ke aktivitas Pencacah Kamar Pengion Merlin Gerin sebesar $(11,5805 \pm 0,0097) \mu\text{Ci}/10^{-12}\text{A}$.



Gambar 3 Grafik fluktuasi data umur paro I-131 Lokal dan Impor



Gambar 4 Grafik karakteristik peluruhan I-131 Lokal



Gambar 5 Grafik karakteristik peluruhan I-131 Impor

Temperatur pada saat pengukuran adalah 24°C, sedangkan temperatur ukur terbaik untuk pengoperasian sistem pencacah kamar pengion adalah $22^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$.^[2] Hal ini menunjukkan bahwa temperatur saat pengukuran di atas masih dalam daerah temperatur ukur terbaik untuk melakukan pengukuran walaupun dalam batas (*limit*) atas. Hal ini perlu diperhatikan karena apabila perbedaan temperatur pengukuran terlalu jauh dari batas temperatur ukur terbaik maka akan mempengaruhi kinerja alat ukur itu sendiri.

Kelembaban pada saat pengukuran adalah 54%, sedangkan nilai kelembaban yang dianjurkan sesuai IK-LMR-STD-10 adalah $60 \pm 10\%$.^[5] Hal ini menunjukkan bahwa kelembaban saat pengukuran tersebut masih dalam kondisi kelembaban yang dianjurkan. Namun hal yang paling penting untuk diperhatikan dalam pengukuran metode relatif adalah kesamaan kondisi pada saat pengukuran dengan alat standar dan dengan alat ukur yang dikalibrasi. Dasar peraturan pengkondisian ruang ukur tidak secara jelas dinyatakan, namun secara tujuan

pengkondisian ruang ukur adalah untuk menjaga kestabilan peralatan (*instruments*). Dalam kondisi ruang ukur yang stabil (tidak terlalu panas dan lembab), maka kestabilan umur komponen-komponen elektronik dalam sistem peralatan ukur juga lebih panjang.^[2] Kondisi ruang ukur yang stabil ini juga mendukung faktor linieritas dari alat ukur yang bersangkutan.

Hasil perhitungan ketidakpastian tipe A dan B dari pengukuran I-131 lokal dan impor ditunjukkan dalam Tabel 2 dan 3. Dari hasil ketidakpastian tipe A pada kedua sumber menunjukkan beberapa perbedaan, yaitu nilai deviasi standar akuisisi data cacah I-131 impor selalu lebih besar dibanding yang lokal. Hal ini terjadi pada hasil

pengukuran menggunakan Pencacah Kamar Pengion Merlin Gerin maupun Capintec. Perbedaan ini mungkin disebabkan aktivitas I-131 impor tersebut yang terlalu kecil, sehingga mengurangi kemampuan respon alat. Perbedaan lain pada nilai pembagi (n-1) pada Merlin Gerin adalah 59 (dilakukan secara komputerisasi) dan Capintec 14 (dilakukan secara manual). Perbedaan nilai ketidakpastian pada tahap ini bukan disebabkan fluktuasi akuisisi data, namun disebabkan perbedaan karakteristiknya. Jenis detektor Kamar Pengion Merlin Gerin memiliki satuan hasil ukur arus (Ampere) dan Capintec memiliki satuan hasil ukur aktivitas (Curie).

Tabel 2 Hasil ketidakpastian menggunakan I-131 Lokal

No	Komponen	Tipe	Distribusi	u	Pembagi	u_i	c_i	$(u_i \cdot c_i)^2$	v_i	$(u_i \cdot c_i)^4$	$(u_i \cdot c_i)^4 / v_i$	Satuan
1	Capintec	A	Poisson	0.0672	$\sqrt{14}$	0.01796	1	3.226E-04	14	1.041E-07	7.433E-09	%
2	Background-1	A	Poisson	0.0000	$\sqrt{14}$	0	1	0.000E+00	14	0.000E+00	0.000E+00	%
3	Merlin Gerin	A	Poisson	0.1518	$\sqrt{59}$	0.019763	1	3.906E-04	59	1.525E-07	2.585E-09	%
4	Background-2	A	Poisson	0.0836	$\sqrt{59}$	0.010883	1	1.184E-04	59	1.403E-08	2.378E-10	%
5	Kebocoran	B	Rectangular	0.5000	$\sqrt{3}$	0.288675	1	8.333E-02	14	6.944E-03	4.960E-04	%
6	Waktu Paro	B	Rectangular	0.1244	$\sqrt{3}$	0.07181	1	5.157E-03	14	2.659E-05	1.899E-06	%
7	Resolusi	B	Rectangular	0.0060	$\sqrt{3}$	0.00346	1	1.196E-05	14	1.430E-10	1.021E-11	%
8	Respon	B	Rectangular	2.0000	$\sqrt{3}$	1.154701	1	1.333E+00	14	1.778E+00	1.270E-01	%
9	Linieritas	B	Rectangular	2.0000	$\sqrt{3}$	1.154701	1	1.333E+00	14	1.778E+00	1.270E-01	%
10	Akurasi	B	Rectangular	3.0000	$\sqrt{3}$	1.732051	1	3.000E+00	14	9.000E+00	6.429E-01	%
11	Repeatability	B	Rectangular	1.0000	$\sqrt{3}$	0.57735	1	3.333E-01	14	1.111E-01	7.937E-03	%
Jumlah								6.089E+00		1.267E+01	9.053E-01	
Ketidakpastian Gabungan, u_c (%)								2.468				
Derajat Kebebasan efektif, v_{eff} (%)								14.000				
Faktor Cakupan k, untuk tingkat kepercayaan 95%								2.145				
Ketidakpastian Bentangan, U (%)								5.2931				

Tabel 3 Hasil ketidakpastian menggunakan I-131 Impor

No	Komponen	Tipe	Distribusi	u	Pembagi	u_i	c_i	$(u_i \cdot c_i)^2$	v_i	$(u_i \cdot c_i)^4$	$(u_i \cdot c_i)^4 / v_i$	Satuan
1	Capintec	A	Poisson	0.1585	$\sqrt{14}$	0.042367	1	1.795E-03	14	3.222E-06	2.301E-07	%
2	Background-1	A	Poisson	0.0605	$\sqrt{14}$	0.016159	1	2.611E-04	14	6.817E-08	4.869E-09	%
3	Merlin Gerin	A	Poisson	0.3201	$\sqrt{59}$	0.041678	1	1.737E-03	59	3.017E-06	5.114E-08	%
4	Background-2	A	Poisson	0.2230	$\sqrt{59}$	0.029028	1	8.426E-04	59	7.100E-07	1.203E-08	%
5	Kebocoran	B	Rectangular	0.5000	$\sqrt{3}$	0.288675	1	8.333E-02	14	6.944E-03	4.960E-04	%
6	Waktu Paro	B	Rectangular	0.1244	$\sqrt{3}$	0.07181	1	5.157E-03	14	2.659E-05	1.899E-06	%
7	Resolusi	B	Rectangular	0.0332	$\sqrt{3}$	0.01918	1	3.679E-04	14	1.354E-07	9.669E-09	%
8	Respon	B	Rectangular	2.0000	$\sqrt{3}$	1.154701	1	1.333E+00	14	1.778E+00	1.270E-01	%
9	Linieritas	B	Rectangular	2.0000	$\sqrt{3}$	1.154701	1	1.333E+00	14	1.778E+00	1.270E-01	%
10	Akurasi	B	Rectangular	3.0000	$\sqrt{3}$	1.732051	1	3.000E+00	14	9.000E+00	6.429E-01	%
11	Repeatability	B	Rectangular	1.0000	$\sqrt{3}$	0.57735	1	3.333E-01	14	1.111E-01	7.937E-03	%
Jumlah								6.093E+00		1.267E+01	9.053E-01	
Ketidakpastian Gabungan, u_c (%)										2.469		
Derajat Kebebasan efektif, v_{eff} (%)										14.000		
Faktor Cakupan k, untuk tingkat kepercayaan 95%										2.145		
Ketidakpastian Bentangan, U (%)										5.2949		

Dari hasil ketidakpastian tipe B (*rectangular*) untuk kebocoran, umur paro, respon, linieritas, akurasi dan repeatability memiliki nilai sama, namun untuk resolusi bacaan memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan skala rentang ukur yang digunakan tidak sama. Pada pengukuran I-131 lokal menggunakan faktor pengali 0,001 dan memiliki hasil ukur pembagi *numeris* yang besar (4 angka), sehingga nilai ketidakpastiannya lebih kecil dibanding hasil I-131 impor. Pada hasil pengukuran I-131 impor ini menggunakan faktor pengali 0,0001 dan memiliki hasil ukur pembagi *numeris* yang sangat kecil (kurang dari 1 dan 4 angka desimal dibelakang koma).

Dari tabel 2 dan 3 dapat diketahui jenis distribusi, ketidakpastian (U_i), bilangan pembagi, nilai derajat kebebasan (v_i) dan ketidakpastian efektif (u_i) dari masing-masing komponen tipe A dan B. Hasil

perhitungan di atas dengan ketetapan faktor konversi (c_i) = 1 (satu), sehingga $u_i = u_i \cdot c_i$.

Sesuai persamaan 4 dapat diketahui nilai ketidakpastian standar gabungan (u_c) untuk I-131 lokal dan impor masing-masing sebesar 2,468% dan 2,469%. Nilai derajat kebebasan efektif dan faktor cakupan k (untuk tingkat kepercayaan 95%) pada kedua sumber tersebut sama. Dengan persamaan 6 diperoleh nilai ketidakpastian bentangan (U) dari I-131 lokal dan impor masing-masing sebesar 5,2931% dan 5,2949%.

V. KESIMPULAN

Telah dilakukan penentuan karakteristik peluruhan I-131 hasil produksi lokal (09C31P403.036) dan impor (UN2910) menggunakan pencacah kamar pengion Merlin Gerin dan S/N 5 11 017 dan alat ukur radiasi standar Capintec CRC-7BT S/N 71742. Semua pencacahan dilakukan dalam 10 tahap. Pengulangan data tiap tahap Merlin Gerin sebanyak 60 kali dan secara

komputerisasi dalam satuan Ampere. Sedangkan Capintec dilakukan 15 kali dan secara manual.

Hasil perhitungan berupa grafik karakteristik peluruhan I-131 lokal dan impor yang memiliki umur paro masing-masing $(195,701 \pm 0,52\%)$ dan $(196,223 \pm 0,65\%)$ jam. Hasil ini cukup stabil dimana nilai deviasi standarnya kurang dari 1% dibanding nilai reratanya Umur paro tersebut lebih lama dibanding teori, prosentase perbedaannya masing-masing 1,42% dan 1,69%. Persamaan garis grafik eksponensial peluruhan I-131 lokal dan impor adalah $y = 7579,3 \times e^{-0,0036x}$ ($R = 1$) dan $y = 141,89 \times e^{-0,0035x}$ ($R = 0,9999$).

Pada tingkat kepercayaan 95% diperoleh nilai ketidakpastian bentangan (U) dari I-131 lokal dan impor masing-masing sebesar 5,2931% dan 5,2949%. Dengan diketahuinya karakteristik peluruhan dan ketidakpastian yang tertelusur ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat kepercayaan konsumen untuk mendapatkan perlindungan keamanan, keselamatan dan kesehatan yang memadai sesuai peraturan ketenaganukliran yang berlaku.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

1. Bapak Dr. Susilo Widodo, selaku Kepala Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta
2. Bapak Drs. Otto Pribadi Ruslanto, MT, selaku Kepala Bidang Metrologi Radiasi PTKMR – BATAN
3. Bapak Holnizar, Hermawan Candra, S.Si, Rosdiani dan Agung Agusbudiman, selaku staf sub bidang standarisasi yang telah banyak membantu proses iradiasi dan pengambilan data penelitian
4. Achmad Abdullah, Sigit Nur Cahyo dan Arif Maulana Yusuf, selaku mahasiswa praktek dari Fakultas MIPA – UI, yang telah banyak membantu proses pengambilan data penelitian di Laboratorium Standardisasi, PTKMR-BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. Guide To The Expression of Uncertainty In Measurement, ISO/TAG4/WG3; June 1992
2. Instruksi Kerja Unit Standardisasi, No. Dokumen: IK-LMR-STD-10, P3KRBiN-Batan, 2003
3. Peraturan Pemerintah, Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion, PP No.63, Jakarta, 2000
4. A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, NCRP Report No. 58, 1 Edition, 1978
5. ICRP Publication 38, Radionuclide Transformations Energy and intensity of Emissions

LEMBAR TANYA JAWAB

Nama Penanya : Makhsun

Nama Penyaji : Ibu Juni

Pertanyaan :Kira-kira apa yang menyebabkan akumulasi ^{134}Cs naik turun? Apakah ada hubungannya dengan grafik peluruhannya yang diperoleh yang juga naik turun?!!

Jawaban :Ya, karena sampel tanah yang diambil berada di sekitar akar tanaman bawang putih. Disamping itu kemungkinan daya serap tanaman terhadap unsur2 dalam tanah berbeda-beda.

Nama Penanya : Muji Wiyono

Nama Penyaji : Asep Setiawan

Pertanyaan :Mengapa hasil kedapat ulangan pada sampel 2 dan sampel 3 cukup besar?dan apakah dilakukan oleh orang yang sama?

Jawaban :Penentuan kedapat ulangan yang berbeda sangat dipengaruhi oleh skill / pengalaman seseorang karena itu dalam setiap analisis indikator ini perlu ditambahkan. Ya, dilakukan oleh orang yang sama.

Nama Penanya : Poppy

Nama Penyaji : Wahyudi

Pertanyaan :Berapa lama pengukuran sampel? Mengapa tidak digunakan marineli 500 mL karena setahu saya efisiensinya lebih baik.

Jawaban :lama pengukuran 3600 detik.Karena sumber standar yang digunakan dalam marineli 1 L.

Nama Penanya : lin Kurnia

Nama Penyaji : Prof. Dr. Suharsono

Pertanyaan :Konfirmasi berkurangnya pendapatan nelayan ikan di PLTU Suralaya?

Jawaban :Setiap daerah disekitar PLTU pasti berkurang tangkapannya, hal ini merupakan halnegatif dari pembangunan PLTU yang tidak dapat dihindarkan. Setiap pembangunan instalasi pasti ada yang diuntungkan dan ada yang dirugikan.

Nama Penanya : Siti Nurhayati

Nama Penyaji : Prof. Dr. Suharsono

Pertanyaan : Salah satu kesimpulan dari makalah bapak adalah adanya pengaruh suhu terhadap keseragaman jenis kelamin biota laut. Apakah kira-kira pernyataan di atas juga berlaku untuk spesies yang lain? bagaimana proses terjadinya?!

Jawaban : Untuk biota yang bukan laut, saya belum pernah mendapatkan informasinya sedangkan untuk biota laut juga masih bergantung dari spesiesnya oleh karena ada jenis-jenis yang sensitif dan ada juga yang sifatnya lebih tahan terhadap perubahan lingkungan. Mekanisme terjadinya bersifat hormonal namun detailnya dari perubahan pada tingkat genetiknya masih belum jelas dan masih dalam perdebatan. Namun penerapan hormonal dan enzimatis telah diterapkan untuk membuat organisme yang diploid menjadi tetraploid atau sebaliknya.

Nama Penanya : Adi Wijayanto

Nama Penyaji : Rasito

Pertanyaan : Tingkat kepercayaan simulasi MNCPS terhadap pengukuran? apakah free software?

Jawaban : Tingkat kepercayaannya sangat bergantung pada kesesuaian dalam membuat geometri dll. Untuk softwarena sendiri tidak free.

Nama Penanya : Deinar Fadriaz

Nama Penyaji : Nunung Nuraeni

Pertanyaan : Nilai ESD hasil penelitian anda melebihi batas standar. Apa tindak lanjutnya?

Jawaban : Pemanfaatan sinar-X untuk diagnostik pada dasarnya tidak ada batasan khusus asal terjustifikasi. Namun alangkah baiknya jika dosis yang diterima sesuai dengan tingkat panduan dosis yang direkomendasikan oleh Bapeten. Dan nilai ESD ini tidak ditindak lanjuti karena masih terjustifikasi dan hanya terjadi pada beberapa titik saja bukan secara keseluruhan.

Nama Penanya : Rofiq S

Nama Penyaji : Melsy P

Pertanyaan : Semakin besar sudut datang semakin besar respon terhadap TLD, dari mana titik acuan sudut datangnya?Apakah ada nilai faktor koreksinya?

Jawaban :Titik acuannya diambil dari 0° . Atau tegak lurus dari sumber radiasi dengan phantom. Nilai faktor koreksinya dapat dilihat pada grafik variasi sudut dengan respon TLD-100

Nama Penanya : Darlina

Nama Penyaji : lin Kurnia

Pertanyaan : Pada penelitian ini dilakukan 3 macam pewarnaan, tetapi dalam penyajian hanya disimpulkan pada PS3 saja. Bagaimana dengan pewarnaan lainnya?yang mana yang paling memungkinkan untuk digunakan dalam pencegahan diagnosa kanker serviks di rumah sakit?!

Jawaban :Karena PS3 yang secara statistik berbeda nyata antara positif dan negatif dengan respon radioterapi.

Nama Penanya : Rizky J.S

Nama Penyaji : M Syaifudin

Pertanyaan : Bagaimana prospek pengembangan vaksin malaria di Indonesia?sudah sejauh mana dikembangkan di BATAN?

Jawaban :Prospeknya sangat cerah, karena kasus malaria masih sangat tinggi. Di BATAN saat ini sedang dikembangkan vaksin stadium darah dan sporozoit.

DAFTAR PESERTA UNDANGAN

No	Nama Peserta	Instansi
1	Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan	Deputi Bid. PDT
2	Ir. Adiwardojo	Deputi Bid. PTEN
3	Dr. Taswanda Taryo, M.Sc.Eng	Deputi Bid. PHLPN
4	Ir. Imam Kuntoro	PTBIN-BATAN
5	Drs. Djatmiko, M.Sc	PTNBR-BATAN
6	Dr. Setiyanto	PTRKN-BATAN
7	Drs. Karsono, M.Sc	PPIN-BATAN
8	Ir. Budi Briyatmoko, M.Eng	PTBN-BATAN
9	Drs. Setyono	PRPN-BATAN
10	Dr. Zainal Abidin	PATIR-BATAN
11	Ir. Ferly Hermana, M.M	PKTN-BATAN
12	Drs. Hendriyanto Hadi Tjahyono, M.Si	PUSDIKLAT-BATAN
13	Dr. Ir. Widi Setiawan	PTAPB-BATAN
14	Dr. Ir. Achmad Sarwiyana Sastratenaya	PPEN-BATAN
15	Drs. Alim Tarigan	PRSG-BATAN
16	Johan Baratha H., M.Sc	PPGN-BATAN
17	Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto	PTLR-BATAN
18	Dr. Abdul Mutalib	PRR-BATAN
19	Dr. Syahril, M.T	PDIN-BATAN
20	Ir. Sjahrudin	PSJMN-BATAN
21	Ir. Falconi Margono Sutarto	Ka. Biro Perencanaan-BATAN
22	Dr. Ferhat Aziz, M.Sc	Ka. Biro Kerja Sama, Hukum dan Humas

DAFTAR PESERTA UNDANGAN LINGKUNGAN PTKMR BATAN

1	Dr. Susilo Widodo	PTKMR-BATAN
2	Drs. Otto P. Ruslanto, M.T	PTKMR-BATAN
3	Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc	PTKMR-BATAN
4	dr. Fadil Nazir SpKN	PTKMR-BATAN
5	Drs. Syarbaini, M.Sc	PTKMR-BATAN
6	Drs. Gatot Wurdianto, M.Eng	PTKMR-BATAN
7	Dra. Nazaroh	PTKMR-BATAN
8	Ir. Bambang WO	PTKMR-BATAN
9	Dra. Nur Rohmah	PTKMR-BATAN
10	Dr. Dadong Iskandar	PTKMR-BATAN
11	dr. Maria Evalisa SpKN	PTKMR-BATAN
12	Rina Listiana Dewi, SE	PTKMR-BATAN
13	Drs. Abdul Waid	PTKMR-BATAN
14	Imawan Alfin, SH	PTKMR-BATAN
15	Achmad Chaerudin, Dipl.Kim	PTKMR-BATAN

DAFTAR PESERTA PENYAJI

Ali Arman	PATIR – BATAN
Melsy Putri Windayani	FMIPA – UNAND
Asep Setiawan	PTKMR - BATAN
Adi Wijayanto	PTLR - BATAN
Poppy Intan Tjahaja	PTNBR - BATAN
Darlina	PTKMR – BATAN
Hasnel Sofyan	PTKMR - BATAN
M. Syaifudin	PTKMR – BATAN
Drs. Sutarman	PTKMR – BATAN
Wijono	PTKMR - BATAN
Ellen Rhosa Rissi	Fisika - UNAND
Yana Sumpena	PTNBR- BATAN
Rizky Juwita Sugiharti	PTNBR-BATAN
Dr. Iin Kurnia	PTKMR-BATAN
Makhsun	PTKMR-BATAN
Ir. Pujadi	PTKMR-BATAN
Muji Wiyono, S.ST.	PTKMR-BATAN
Dra. Siti Nurhayati	PTKMR-BATAN
Sofiati Purnami, S.ST.	PTKMR-BATAN
Hermawan Candra, S.Si.	PTKMR-BATAN
Suyati	PTKMR-BATAN
Dr. Tiah Rachmatiah	Prodi Farmasi - ISTN
Irawan Sugoro	PATIR-BATAN
Dian Milvita	UNAND
Rasita	PTNBR - BATAN
Juni C.	PTNBR - BATAN

DAFTAR PESERTA PENDENGAR

1	Wibowo, S.Si.	PKTN-BATAN
2	Dra. Novi Muktiari	PKTN-BATAN
3	Isna Hastuti	PKTN-BATAN
4	Neneng Nur Aisyah	PTNBR-BATAN
5	Putu Sukma Buana	PTNBR-BATAN
6	Dian Pribadi Perkasa	PATIR-BATAN
7	Teguh Wahyono	PATIR –BATAN
8	Arief Adhar	PATIR-BATAN
9	Tri Purwanti	PATIR-BATAN
10	Jonner Sitompul	PTLR-BATAN
11	Bung Tomo, ST	PTLR-BATAN
12	Irwan Santoso, ST	PTLR-BATAN
13	Budiarto	PPEN-BATAN
14	Antonio Gogo	PTBN-BATAN
15	Drs. Martin MR	Badan Lingkungan Hidup
16	Marradona S.ST., M.Si.	Badan Lingkungan Hidup
17	Nelson Sitohang, SKM, M.Sc.PH	Badan Lingkungan Hidup
18	Beny Kurniawan	SMKN 2 Tangerang
19	Irwan Ferdiansyah	UGM
20	Muslich Riza	PT. Indofood Sukses Makmur
21	Rr. Bhintarti Suryohastari	UIN
22	Agung saron	PT. Bukit Makmur mandiri Utama
23	Jamila S. Indra	PT. Daksina Arga Perkasa
24	Melkianus Ulyreke	HAST Instructor -MTC
25	Heri Bako	PT. Mulya Gelas
26	Ofi Anthony	PT. Mulya Gelas
27	Nani Suryani, S.Sos.	BKHH-BATAN
28	Lia Mariasih	BKHH-BATAN
29	Ridwan Setiawan, A.MR.	RSCM
30	Elly Amalia, A.MR.	RSCM
31	Samsun, S.Si., M.Si.	ATRO
32	Arif Jauhari, S.Si., MKKK	ATRO
33	Dea Ryangga	RSPertamina
34	Emi Farida	Sima –Medan
35	Yulfiatri	Fisika-UI
36	Delinar	Fisika-UI
37	Laila Rizki	Fisika-UI
38	Adji Achmad Jaka Bramantya	UGM
39	Rully Hidayatullah	UGM
40	M. Sultan Iskandarsyah	UGM
41	Irwan Liapto S.	UGM
42	Putri Pratiwi	UNAND
43	Melisa Ramadhani	UNAND

44	Dila Nelvo Dasril	UNAND
45	Ifnia Widora	UNAND
46	Rico Adrial	UNAND
47	Anton Basri	UNAND
48	Thriandi Suandana	UNAND
49	Dra. Emlinarti	PTKMR-BATAN
50	Kristina Dwi Purwanti	PTKMR-BATAN
51	Drh. Sigit Wicaksono	PTKMR-BATAN
52	Eti Hartati	PTKMR-BATAN
53	Rofiq Syaifudin, S.Si.	PTKMR-BATAN
54	Egnes Ekaranti	PTKMR-BATAN
55	Tur Rahardjo, SP	PTKMR-BATAN
56	Fendinugroho	PTKMR-BATAN
57	Assef Firnando F.	PTKMR-BATAN
58	Teja K.	PTKMR-BATAN
59	Dra. Yanti Lusiyanti	PTKMR-BATAN
60	Sri Insani WW.	PTKMR-BATAN
61	Dyah Dwi Kusumawati, B.Sc.	PTKMR-BATAN
62	Nunung Nuraeni, M.Si.	PTKMR-BATAN
63	dr. Tatin Rustin Hartiarsah	PTKMR-BATAN
64	Wiwini Mailani	PTKMR-BATAN
65	Widodo	PTKMR-BATAN
66	Kusdiana	PTKMR-BATAN
67	Yahya Mustofa, A.Md.	PTKMR-BATAN
68	Holnisar	PTKMR-BATAN
69	Farida Tusafariah, M.Kes.	PTKMR-BATAN
70	Dra. Sri Subandini Lolaningrum	PTKMR-BATAN
71	Leli Nirwani, SP	PTKMR-BATAN
72	Rosdiani	PTKMR-BATAN
73	Sukijo	PTKMR-BATAN
74	Suratna	PTKMR-BATAN
75	Eko Pramono	PTKMR-BATAN
76	Sarjono	PTKMR-BATAN