

ISSN : 2477-0345

PROSIDING
Seminar Nasional Keselamatan,
Kesehatan, Lingkungan dan
Pengembangan Teknologi Nuklir I

Tema:
"Peranan Litbang Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
dalam Pemanfaatan Iptek Nuklir untuk Kesejahteraan"

Kawasan Nuklir Pasar Jum,at - Jakarta
25 Agustus 2015

Diselenggarakan oleh:



PTKMR-BATAN



KEMENKES-RI



Dep. Fisika - ITB



FKM - UI

PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
JAKARTA

Diterbitkan pada
Nopember 2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia yang diberikan kepada Panitia Penyelenggara, sehingga dapat diselesaikannya penyusunan Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir I dengan tema **“Peranan Litbang Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi dalam Pemanfaatan Iptek Nuklir untuk Kesejahteraan**, pada bulan Nopember 2015.

Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir kali ini dihadiri oleh 3 (tiga) pembicara tamu yaitu Mr. S. Somanesan dari Senior Principal Radiation Physicist, Departement of Nuclear Medicine & PET, Singapura General Hospital, Prince Jackson, Ph.D dari Diagnostic Imaging Physicist, Peter MacCallum Cancer Center, dan Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto dari Fisika, Institut Teknologi Bandung. Sebanyak 23 makalah dipresentasikan dalam Sidang Paralel dan 25 makalah dalam sidang Poster. Berdasarkan hasil presentasi dan kriteria penilaian Tim Editor, makalah yang dapat diterbitkan sebanyak 46 makalah yang terdiri dari Kelompok Keselamatan 25 makalah, Kesehatan 13 makalah dan Lingkungan 8 makalah.

Dalam menyelenggarakan seminar ini Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN bekerjasama dengan Kementerian Kesehatan RI, Departemen Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung dan Fakultas Kesehatan Masyarakat - Universitas Indonesia.

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

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

Jakarta, Nopember 2015

Panitia Penyelenggara
dan Tim Editor

SAMBUTAN

KEPALA PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Salam sejahtera bagi kita semua.

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, saya menyambut gembira atas penerbitan Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir I oleh Tim Editor dan Panitia Penyelenggara.

Melalui penerbitan ini, saya berharap Prosiding ini dapat dengan mudah dipahami oleh para pemerhati iptek nuklir di bidang teknologi keselamatan dan metrologi radiasi. Selain itu, saya juga berharap agar tulisan dan kajian ilmiah dalam Prosiding ini, yang merupakan output (luaran) dari para pejabat fungsional di BATAN dan pemerhati masalah keselamatan, kesehatan, lingkungan dalam pengembangan teknologi nuklir ini dapat menjadi acuan bagi para mahasiswa, guru, dosen, dan pembimbing, dan ilmuwan di luar BATAN, sehingga output kegiatan BATAN ini dapat dimanfaatkan dan dirasakan oleh masyarakat.


Akhirnya, saya berharap bahwa keberadaan Prosiding ini tidak sebatas memperkaya khasanah pengetahuan kita, namun juga dapat menjadi pedoman bagi PTKMR untuk mewujudkan visi BATAN, Unggul di Tingkat Regional. Untuk itu, saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Tim Editor dan Panitia Penyelenggara yang telah mencurahkan tenaga dan pikirannya, serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung penerbitan Prosiding ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jakarta, Nopember 2015

Kepala PTKMR,



Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc. 

**SUSUNAN TIM PENGARAH DAN EDITOR
SEMINAR NASIONAL
KESELAMATAN, KESEHATAN, LINGKUNGAN DAN
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR**

SUSUNAN TIM PENGARAH

Ketua :

Dr. Ir. Ferhat Aziz, M.Sc.

(Deputi Bidang Sains dan Aplikasi Teknologi Nuklir)

Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc.

(Kepala PTKMR – BATAN)

SUSUNAN TIM EDITOR DAN PENILAI MAKALAH

Ketua :

Drs. Mukhlis Akhadi, APU. (BATAN)

Wakil Ketua :

Drs. Bunawas, APU. (BATAN)

Anggota :

Drs. Nurman Rajagukguk (BATAN)

Dr. Mukh Syaifudin (BATAN)

dr. Fadil Nazir, Sp.KN. (BATAN)

Dr. Eko Pudjadi (BATAN)

Dra. Rini Heroe Oetami, MT. (BATAN)

Prof. Fatma Lestari, Ph.D (FKM-UI)

Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto (ITB-Bandung)

dr. Gani Witono, Sp. Rad. (KEMENKES-RI)

PANITIA PENYELENGGARA

Ketua : Wiwin Mailana, M.Farm., **Wakil Ketua :** Fendinugroho, S.ST., **Sekretaris :** Dian Puji Raharti, A.Md., **Bendahara :** Kristina Dwi Purwanti, **Seksi Persidangan:** Setyo Rini, SE., Wahyudi, S.ST., Teja Kisananto, A.Md., Viria Agesti Suvifan, Indri Trisianti, **Seksi Perlengkapan dan Dokumentasi :** Eka Djatnika Nugraha, A.Md., Prasetya Widodo, A.Md., Itong Mulyana, **Seksi Konsumsi :** Helfi Yuliati, A.Md., Eni Suswantini, A.Md. (SK. Kepala BATAN No. 67/KA/III/2015 tanggal 4 Maret 2015).

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
SAMBUTAN KEPALA PTKMR BATAN	ii
SUSUNAN TIM PENGARAH DAN EDITOR	iii
DAFTAR ISI	iv

Makalah Pleno

1. <i>Radiation Safety issues in Nuclear Medicine</i>	A-1
Mr. S Somanesan (Senior Principal Radiation Physicist, Dept. of Nuclear Medicine & PET, Singapore General Hospital)	
2. <i>Future Directions in Computation of Personalised Radiation Dosimetry</i>	B-1
Price Jackson, Ph.D (Diagnostic Imaging Physicist, Peter MacCallum Cancer Centre)	
3. <i>Monte Carlo Simulation for Dose Assessment in Radiotherapy and Radiodiagnostic</i>	C-1
Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto (Departemen Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung)	

Makalah Kelompok Keselamatan

1. Penentuan Spektrum Neutron di Fasilitas Kalibrasi PTKMR Menggunakan <i>Bonner Sphere Spectrometer</i>	1
Rasito T., Bunawas, J.R. Dumais, dan Fendinugroho	
2. Metode Kalibrasi Dosis Ekuivalen Perorangan, <i>Hp(10)</i> Dengan Pengukuran Langsung Berkas Radiasi Cs-137 Menggunakan Detektor Standar Sekunder Dosis Ekuivalen Perorangan	9
Fendinugroho dan Nurman Rajagukguk	
3. Pengembangan Kriteria Standar Desain Bungkusan Zat Radioaktif Dalam Mendukung Pengawasan Kegiatan Pengangkutan Zat Radioaktif	15
Nanang Triagung Edi Hermawan	
4. Penentuan Parameter Dosimetri Awal Tiga Buah Pesawat Teleterapi Co-60 Gamma Beam 100-80 <i>External Beam Therapy System</i>	23
Nurman Rajagukguk dan Assef Firmando Firmansyah	
5. Metode Ekstrapolasi Efisiensi Untuk Penentuan Aktivitas Radionuklida Lu-177	30
Hermawan Candra, Gatot Wurdianto, Holnisar	

6.	Tanggapan Surveimeter Neutron Terhadap Spektrum Campuran Energi Neutron	40
	Moch. Adnan Kashougi, Johan A.E Noor, Bunawas	
7.	Penentuan Efisiensi <i>Whole Body Counter (WBC) Dual Probe NaI(Tl)</i> Pada Lima Kelompok Umur	47
	Intan Permata Putri, Chomsin S. Widodo, Bunawas	
8.	Pemantauan Radiasi Neutron dan Gamma di Fasilitas <i>Cyclotron</i> Selama Produksi Fluor-18	53
	Rosa Dian Teguh Pratiwi, Chomsin S. Widodo, Bunawas	
9.	Perancangan Sistem Otomasi Pengukuran Tebal Bahan Berbasis Arduino	60
	Nugroho Tri Sanyoto	
10.	Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir	70
	Farida Tusafariah, Rr. Djarwanti RPS., Suhaedi Muhammad, Gloria Doloressa	
11.	Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi untuk Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka	78
	Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS, Farida Tusafariah	
12.	Pengaruh Suhu Sintesis Terhadap Respon Thermoluminesensi CaSO ₄	83
	Nunung Nuraeni, Dewi Kartikasari, Kri Yudi P.S., Eri Hiswara, Freddy Haryanto, dan Abdul Waris	
13.	Pembuatan <i>Thermoluminescence Dosimeter (TLD)</i> Serbuk CaSO ₄ : Tm Sebagai Proses Awal Produksi Disimeter Personal	89
	Mentari Firdha KP, Sutanto, Hasnel Sofyan, Eka Djatnika	
14.	Analisis Keselamatan Radiasi Fasilitas Ruang Kontener Co-60 dan Pesawat Sinar-X pada Laboratorium Kalibrasi PTKMR-BATAN Kantor Pusat	95
	Wijono dan Assef Firmando Firmansyah	
15.	Validasi Hasil Penentuan Dosis Tara Perorangan, Hp(10), untuk Sumber Radiasi Gamma Cs-137 di Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) PTKMR-BATAN	102
	C Tuti Budiantari dan Assef Firmando Firmansyah	
16.	Perkiraan Dosis dan Distribusi Fluks Cepat dengan Simulasi Monte Carlo MCNPX pada Fantom Saat Terapi Linac 15 MV	107
	Azizah, Abdurrouf, Bunawas	
17.	Pengujian Kurva Kalibrasi Neutron Dosimeter Perorangan TLD Harshaw pada Radiasi Campuran Gamma dan Neutron	113
	Arini Saadati, Chomsin S. Widodo, Nazaroh	

184	Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Termal pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV
190	Fatimah Kunti Hentihu, Johan A.E. Noor, Bunawas
130	Respon Film Garfchromic XR-QA2 Terhadap Radiasi Sumber Beta Sr-90, Kr-85, dan Pm-147
137	Nurul Hidayah, Chomsin S. Widodo, Bunawas
20	Respon Thermoluminescent Dosimeter BARC Terhadap Medan Radiasi Campuran Beta Gamma
143	Riza Rahma, Chomsin S. Widodo, Nazaroh
21	Perkiraan Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Kalibrasi Alat Ukur Radiasi Neutron PTKMR-BATAN dengan Aktivitas Keping Indium
149	Nur Khasanah, Chomsin S. Widodo, Bunawas
22	Penentuan Dosis Serap Air Berkas Elektron Energi Nomonal 6 MeV Menggunakan Fantom "Air Padar" RW3 dan Fantom Air
156	Sri Inang Sunaryati dan Nurman Rajagukguk
23	Perkiraan Distribusi Dosis Ekuivalen Foton Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV Dengan Target Abdomen
161	Adiar Febriantoko, Johan A.E. Noor, Hasnel Sofyan
24	Penentuan Dosis Fotonutron Pada Pasien Terapi Linac 15 MV Menggunakan TLD-600H dan TLD-100H
167	Muhammad Ibadurrhoman, Johan A.E. Noor, Hasnel Sofyan
25	Penentuan Calibration Setting Dose Calibrator Capintec CRC-7BT Untuk F-18
172	Sayono, Eko Pramono, Holnisar, Gatot Wurdianto
Makalah Kelompok Kesehatan	
172	Faktor Koreksi Solid Water Phantom terhadap Water Phantom pada Dosimetri Absolut Berkas Elektron Pesawat Linac
179	Robert Janssen Stevenly, Wahyu Setia Budi dan Choirul Anam
179	Reduksi Noise pada Citra CT Scan Hasil Rekonstruksi Metode Filtered Back-Projection (FBP) menggunakan Filter Wiener dan Median
188	Choirul Anam, Freddy Haryanto, Rena Widita, Idam Artif, Geoff Dougherty
188	γ -H2AX dan Potensinya untuk Biomarker Prediksi Toksisitas Radiasi pada Radioterapi
195	Iin Kurnia, Yanti Lusiyanti
4.	Perbandingan Kepadatan Parasit dan Eritrosit pada Dua Strain Mencit Pasca Infeksi <i>Plasmodium berghei</i> Stadium Eritrositik Iradiasi
	Teja Kismananto, Darlina, Septiana, Tur Rahardjo, dan Siti Nurhayati

5.	Daya Infeksi <i>Plasmodium berghei</i> Iradiasi Fraksinasi Dengan Laju Dosis Tinggi Pada Sel Darah Mencit	205
	Siti Nurhayati, Hartati Mahmudah dan Mukh Syaifudin	
6.	Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Epithermal Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV	215
	Nur Weni, Johan A. E. Noor, Bunawas	
7.	Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Cepat Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV	221
	Dyah Fathonah Septiani, Johan A. E. Noor, Bunawas	
8.	Penentuan Kadar Hormon Insulin Teknik Dengan Teknik <i>Immunoradiometricassay</i> dan Gula Darah Pada Sampel Darah Terduga <i>Diabetes Melitus</i>	229
	Kristina Dwi Purwanti, Fadil Nazir, Wiwin Mailana, Sri Insani Wahyu W	
9.	Penilaian Kadar hC-Peptide dan Gula Darah Sewaktu pada Pasien Terduga <i>Diabetes Melitus</i>	238
	Sri Insani WW, Fadil Nazir, Wiwin Mailana, dan Kristina Dwi P	
10.	Studi Efek Radiasi Akibat Paparan Medik	246
	Yanti Lusiyanti dan Darlina	
11.	Pemeriksaan <i>Prostatic Acid Phosphatase</i> (PAP) dan <i>Prostate Spesific Antigen</i> (PSA) Sebagai Penanda Metastasis pada Pasien Kanker Prostat	258
	Wiwin Mailana, Kristina Dwi Purwanti, Sri Insani WW, Prasetya Widodo	
12.	Respon Interferon Gamma Terhadap <i>Plasmodium falciparum</i> Radiasi pada Kultur Sel Limfosit Manusia	265
	Darlina dan Siti Nurhayati	
13.	Pengaruh Adjuvant Addavax Terhadap Histopatologi Hati dan Limpa Mencit Pasca Imunisasi Berulang dan Uji Tantang dengan <i>Plasmodium berghei</i> Iradiasi Gamma Stadium Eritrositik	273
	Tur Rahardjo, Siti Nurhayati, dan Dwi Ramadhani	

Makalah Kelompok Lingkungan

1.	Kajian terhadap Pelaksanaan Pemantauan Tingkat Radiasi Daerah Kerja di Fasilitas Radiasi PTKMR-BATAN	282
	B.Y. Eko Budi Jumpeno dan Egenes Ekaranti	
2.	Studi Awal Kurva Kalibrasi untuk Biodosimetri Dosis Tinggi dengan Teknik <i>Premature Chromosome Condensation</i> (PCC)	290
	Sofiati Purnami, Yanti Lusiyanti dan Dwi Ramadhani	
3.	Penentuan radioaktivitas ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam Bahan Pangan di Desa Botteng, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat	297
	Ceiga Nuzulia Sofyaningtyas, Eko Pudjadi, Wahyudi, Elistina	

4. Pengembangan Sistem Pemantauan ^{137}Cs di Tanah dengan Metode Monitor Mobile (Carborne Monitoring) dalam Mode Statis dan Dinamis 303
Pramudya Ainul Fathonah, Chomsin S. Widodo, Syarbaini
5. Faktor Transfer Cs-137 dari Tanah ke Terong (*Solanum melongena*) 309
Leli Nirwani dan Wahyudi
6. Laju Dosis dan Tingkat Radioaktivitas ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th dalam Sampel Tanah di Pulau Kundur- Provinsi Kepulauan Riau 315
Wahyudi, Muji Wiyono, Kusdiana dan Dadong Iskandar
7. Pemantauan Radioaktivitas Dalam Air Hujan Periode 2014 325
Leli Nirwani, R Buchari, Wahyudi dan Muji Wiyono
8. Pengaruh Iradiasi Gamma terhadap Zebrafish (*Danio rerio*) Stadium Larva di PTKMR-BATAN 333
Fatihah Dinul Qoyyimah, Yorianta Sasaerila, Tur Rahardjo, Devita Tetriana

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN ^{137}Cs DI TANAH DENGAN METODE MONITOR MOBILE (*CARBORNE MONITORING*) DALAM MODE STATIS DAN DINAMIS

Pramudya Ainul Fathonah¹, Chomsin S. Widodo¹, Syarbaini²

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
Jalan Veteran, Malang, Jawa Timur

²⁾ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jalan Lebak Bulus Raya no. 49, Jakarta Selatan
Email : mudyaaainul@yahoo.com

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN ^{137}Cs DI TANAH DENGAN METODE MONITOR MOBILE (*CARBORNE MONITORING*) DALAM MODE STATIS DAN DINAMIS. Faktor keselamatan pada kedaruratan radiasi harus diutamakan karena ada bahaya radiasi terhadap masyarakat dan lingkungan. Penelitian ini mengembangkan sistem pengukuran cepat monitor *mobile (carborne monitoring)* untuk mendeteksi radioaktivitas lingkungan secara terintegrasi serta dapat mengirim data secara *real time*. Pengukuran efisiensi menggunakan spektrometer gamma portabel dengan detektor NaI(Tl) dilakukan dengan tanah yang terkontaminasi ^{137}Cs . Ada dua cara yang digunakan dalam penentuan efisiensi detektor NaI(Tl) pada penelitian ini, yaitu dengan metode statis (detektor diam) dan metode dinamis (detektor bergerak). Metode dinamis digunakan empat variasi kecepatan, yaitu kecepatan 5 km/jam, 10 km/jam, 15km/jam, dan 20 km/jam. Hasil dari pengukuran diperoleh bahwa untuk metode statis diperoleh nilai efisiensi lebih besar daripada metode dinamis. Metode statis diperoleh efisiensi antara 0,285% sampai 0,324% dengan kesalahan relatif 11%, sedangkan pada metode dinamis diperoleh efisiensi antara 0,163% sampai 0,273% dengan kesalahan relatif 22%.

Kata kunci : detektor NaI(Tl), spektrometer gamma portabel, ^{137}Cs , carborne monitoring

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ^{137}Cs MONITORING SYSTEM IN SOIL WITH MOBILE MONITOR METHOD (*CARBORNE MONITORING*) ON STATIC AND DYNAMIC MODE. Safety factor in radiation emergencies should be prioritized because there is a danger of radiation on people and the environment. This study developed a quick mobile monitor measurement system (*carborne monitoring*) to detect radioactivity in the environment are integrated and able to send data in real time. Efficiency measurement of a portable gamma spectrometer with detector NaI(Tl) was done with ^{137}Cs contaminated soil. There are two methods used in determining the efficiency of the detector NaI(Tl) in this study, the static method (stationary detector) and dynamic methods (moving detector). The dynamic method was using four variations of speed which were 5 km/h, 10 km/h, 15km/h, and 20 km/h. The measurements showed that for static methods found greater value of efficiency than dynamic methods. The static method efficiency obtained was between 0.285% to 0.324% with 11% relative error, while the dynamic method efficiency obtained was between 0.163% to 0.273% with 22% relative error.

Keywords: detector NaI (Tl), a portable gamma spectrometer, ^{137}Cs , monitoring carborne

I. PENDAHULUAN

Pemantauan lingkungan bertujuan untuk menilai dipenuhinya kriteria dan melihat perubahan lingkungan sebelum dan sesudah kegiatan berjalan dengan sempurna serta mengadakan upaya perbaikan dan

pemeliharaan agar lingkungan tetap terjaga kelestariannya. Usaha dalam memantau lingkungan perlu suatu basis sebagai dasar atau pedoman guna melihat perubahan yang terjadi dalam waktu relatif singkat. Pemantauan lingkungan dilakukan di dalam

maupun di luar tapak yang melepaskan paparan ke manusia dan radionuklida di lingkungan [1].

Monitor *mobile* (*carborne monitoring*) merupakan cara yang efektif dilakukan dalam pemantauan kontaminasi radiasi di lingkungan. Pemantauan dengan monitor *mobile* adalah pemantauan yang dilakukan dengan menggunakan kendaraan lingkungan (mobil lingkungan) yang telah disusun lengkap dengan detektor portabel, di mana dalam pemantauan kontaminasi, mobil lingkungan akan dijalankan pada kawasan yang diduga terkena dampak kontaminasi radiasi yang salah satunya dimungkinkan karena kasus kedaruratan nuklir.

Sinar gamma adalah radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek (dalam mode Angstrom) yang dipancarkan oleh inti atom yang tidak stabil yang bersifat radioaktif. Setelah inti atom memancarkan partikel α , β^- (elektron), β^+ (positron), atau setelah peristiwa tangkapan elektron, inti yang masih dalam keadaan tereksitasi tersebut akan turun ke keadaan dasarnya dengan memancarkan radiasi gamma. Misalnya, peluruhan unsur ^{137}Cs menjadi ^{137}Ba melalui peluruhan β^- yang diikuti pemancaran radiasi gamma.



Detektor yang umum digunakan dalam spektroskopi gamma adalah detektor sintilasi NaI (Tl). Detektor ini terbuat dari bahan yang dapat memancarkan kilatan cahaya apabila berinteraksi dengan sinar gamma. Efisiensi detektor bertambah dengan meningkatnya volume kristal sedangkan resolusi energi tergantung pada kondisi pembuatan pada waktu pengembangan kristal. Sinar gamma yang masuk ke dalam detektor berinteraksi dengan atom-atom bahan sintilator menurut efek fotolistrik, hamburan *Compton* dan produksi pasangan, yang akan menghasilkan kilatan cahaya dalam sintilator. Keluaran cahaya yang dihasilkan oleh kristal sintilasi sebanding dengan energi sinar gamma. Kilatan cahaya oleh pipa cahaya dan pembelok cahaya ditransmisikan ke fotokatoda dari *photomultiplier tube* (PMT) kemudian digandakan sebanyak-banyaknya oleh bagian pengganda elektron pada PMT. Arus elektron yang dihasilkan membentuk

pulsa tegangan pada input penguat awal (*preamplifier*). Pulsa ini setelah melewati alat pemisah dan pembentuk pulsa dihitung dan dianalisis oleh *Multi Channel Analyzer* (MCA) dengan tinggi pulsa sebanding dengan energi gamma [2].

Sumber standar radioaktif adalah zat yang telah diketahui identitasnya, seperti jenis aktivitas, radionuklida, tanggal standardisasi, waktu paruh, dan probabilitas pancaran serta energi yang dipancarkannya. Sumber standar berbentuk titik atau *marinelli* yang biasanya digunakan untuk mengkalibrasi sistem pencacah spektrometer gamma dengan tujuan untuk menentukan karakteristik dari detektor NaI (Tl), sedangkan sumber standar berbentuk cair dalam wadah ampul, vial atau batang yang biasa digunakan untuk mengkalibrasi sistem pencacah kamar pengion [3]. Radioaktif ^{137}Cs diproduksi secara spontan ketika bahan radioaktif lainnya seperti uranium dan plutonium menyerap neutron dan menjalani fisi. ^{137}Cs adalah radionuklida yang umum diproduksi melalui proses fisi ketika terjadi kedaruratan nuklir, atau pemisahan, uranium dan plutonium terjadi dalam reaktor atau bom atom [4].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem pemantauan ^{137}Cs di tanah menggunakan metode monitor *mobile* (*carborne monitoring*) yang mampu mendeteksi radiasi di lingkungan serta dapat menentukan efisiensi detektor NaI(Tl) portabel untuk mendeteksi ^{137}Cs di tanah dengan metode monitor *mobile* (*carborne monitoring*).

II. METODE

Sampel sumber standart yang digunakan adalah tanah yang mengandung ^{137}Cs dan diambil dari kawasan BATAN Serpong, karena kawasan BATAN Serpong sering digunakan untuk uji coba radiasi. Sampel sumber standart yang digunakan merupakan salah satu limbah radioaktif. Cara mengetahui bahwa tanah tersebut mengandung ^{137}Cs adalah dengan mengukur energi tanah pada kawasan tersebut dengan digunakannya *surveymeter* dan diketahui bahwa energi yang dipancarkan oleh tanah

pada kawasan tersebut adalah 661 keV. Sampel standar dibuat dalam wadah silinder. Wadah tersebut berupa PVC dengan tinggi 3,4 cm dan diameter 12,1 cm.

Hal pertama yang dilakukan dalam persiapan sampel adalah mengeringkan tanah yang terkontaminasi ^{137}Cs di kawasan BATAN Serpong selama satu minggu. Setelah tanah yang terkontaminasi ^{137}Cs kering, dihaluskan dengan cara diaduk menggunakan molen selama 60 menit dengan tujuan untuk mendapatkan kehomogenan sampel. Kemudian dilakukan *grinding* diatas wadah kosong dengan ayakan *stainless steel* dengan ukuran *minus 100 mesh* agar tanah sampel memiliki tingkat kehalusan yang sama agar kehomogenan tanah semakin baik. Ukuran -100 mesh merupakan satuan besar kecilnya ukuran lubang pada alat *grinding*. Semakin kecil ukuran lubang, maka semakin kecil partikel-partikel pada tanah tersebut sehingga semakin mudah dalam membuat sampel menjadi homogen.

Setelah tanah sampel dihaluskan, tanah sampel dimasukkan dalam tabung silinder berupa PVC yang dilengkapi dengan tutup sebanyak sepuluh buah untuk dilakukan uji kehomogenan sampel dengan menggunakan detektor *HPGe (High Purity Germanium)* dengan cara dilakukan pencacahan pada setiap wadah sampel selama 600 detik. Proses pencacahan dilakukan dengan meletakkan tanah sampel sumber standard diatas detektor.

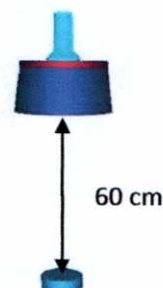
Tabel 1. Pengelompokan data berdasarkan aktivitas

Kelompok	Aktivitas (Bq)	Jumlah sampel sumber standard
1	6000 – 10.000	25
2	1.0000 – 14.000	33
3	14.000 – 18.000	40
4	18.000 – 22.000	28

Tanah sampel dimasukkan dalam wadah PVC sebanyak 200 buah, kemudian dilakukan pencacahan dengan *surveymeter* pada setiap tanah sampel. Pengukuran dengan *surveymeter* digunakan acuan ukuran pada

skala yang sama, agar aktivitas pada setiap wadah dihasilkan aktivitas yang hampir sama satu sama lain. Setelah dilakukan pengukuran dengan *surveymeter*, masing-masing wadah berisi tanah sampel diukur lagi dengan menggunakan detektor *HPGe* untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam pengukuran aktivitas tanah sampel. Setelah dilakukan pengukuran aktivitas pada masing-masing wadah sampel, dilakukan plot data berdasarkan aktivitas sampel dan dilakukan pengelompokan aktivitas tanah sampel berdasarkan kelinieran data. Setelah didapat data yang linier, didapatkan empat kelompok data dengan total 126 buah sampel sumber standard seperti pada Tabel 1 yang kemudian akan dilakukan uji coba untuk metode statis (detektor diam) dan dinamis (detektor bergerak).

Jarak antara detektor dan sumber standar yang ditentukan adalah berdasarkan jarak yang akan digunakan pada saat uji coba, di mana pada saat uji coba jarak antara detektor dan sumber standard adalah 60 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Selain itu juga dilakukan cacah latar belakang (*background*) pada lokasi yang akan digunakan untuk uji coba.



Gambar 1 Jarak detektor dengan sumber

Uji coba dilakukan dengan mengukur aktivitas radioaktif yang terdapat pada tanah sampel yang telah dimasukkan dalam wadah PVC dengan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor *Nal(Tl)* yang telah dirancang dalam sebuah mobil lingkungan milik PTKMR-BATAN, Jakarta Selatan. Detektor *Nal(Tl)* yang digunakan adalah dengan dimensi (10 x 10 x 40) cm. Detektor diletakkan dalam sebuah box dengan lubang ditengahnya, yang terdapat di bagian bawah

atau alas mobil lingkungan. Luas wilayah yang digunakan dalam uji coba ini adalah 68 cm².



Gambar 2. Mobil lingkungan ketika melewati sumber standar

Uji coba ini berlangsung dengan melewati mobil lingkungan diantara sumber standar yang telah disiapkan diantara ban mobil seperti yang terdapat pada Gambar 2, di mana di dalam mobil tersebut telah dilengkapi dengan detektor NaI(Tl) beserta laptop seperti pada Gambar 3.

Uji coba ini dilakukan dengan dua metode, yaitu metode statis dan metode dinamis, di mana uji coba statis adalah pada saat mobil lingkungan dalam posisi berhenti diatas sampel sumber standar pada masing-masing kelompok, sedangkan metode dinamis adalah pada saat mobil lingkungan dalam kondisi bergerak melintasi sumber standar yang telah diletakkan di bawah mobil lingkungan dengan variasi kecepatan 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam.



Gambar 3. Satu set pencacah didalam mobil lingkungan

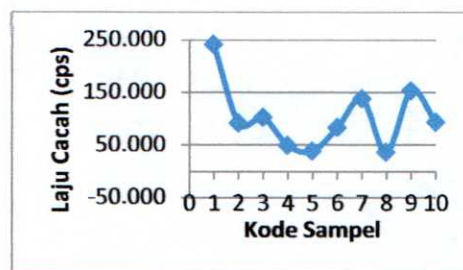
Perhitungan nilai efisiensi uji coba adalah sebagai berikut :

$$Efisiensi = \frac{cps}{aktivitas \cdot yield} 100\%$$

di mana cps (*counting per secon*) adalah laju cacah per detik yang dihasilkan dari pengukuran baik pada metode statis maupun metode dinamis, aktivitas adalah berdasarkan aktivitas sumber yang telah diketahui dengan pengujian, dan *yield* adalah limpahan energi, di mana pada penelitian ini digunakan sumber standard ¹³⁷Cs yang memiliki kelimpahan sebesar 84,6%.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi kehomogenan sampel sumber standar ¹³⁷Cs tersebut adalah tidak homogen seperti yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4. Hal ini berdasarkan laju cacah (cps) yang dilakukan pada 10 sampel, dengan aktivitas yang berbeda jauh berkisar antara 5000 Bq sampai 40000 Bq. Kehomogenan sampel dalam sampel sumber standar yang akan digunakan sulit diperoleh karena sampel sumber standar yang akan digunakan berupa padatan. Kehomogenan sampel sumber standar perlu diukur karena apabila didapat deviasi antara sampel satu dengan yang lainnya relatif kecil, maka tidak perlu dilakukan pengelompokan aktivitas sampel yang memerlukan waktu yang lama.



Gambar 4. Grafik Homogenitas Sampel

Setelah dilakukan uji homogenitas dan didapati bahwa tanah sumber standar adalah tidak homogen, maka dilakukan pengelompokan setelah dilakukan pengukuran aktivitas sampel dan didapat empat pengelompokan. Berdasarkan hasil pengukuran, didapati laju cacah untuk cacah latar (*background*) pada tempat tersebut adalah 321±16.

Efisiensi detektor, dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya cacah dengan

aktivitas mutlak sumber yaitu cacah pancaran radiasi yang dihasilkan oleh sumber ke segala arah (4π radian). Kemampuan detektor untuk menerima pancaran radiasi dapat dipengaruhi oleh jarak sumber radiasi dengan detektor, medium antara detektor dengan sumber radiasi dan besarnya volume aktif detektor (sintilator). Semakin besar volume aktifnya maka semakin banyak jumlah cacah radiasi yang dapat diterima oleh detektor. Penentuan efisiensi dilakukan dengan menghitung cacahan bersih dari hasil pencacahan.

Tabel 2. Data hasil eksperimen saat statis (Detektor diam)

Kelompok	Cacahan (cacah)	Efisiensi (%)
1	6888	0,324
2	8641	0,285
3	12679	0,317
4	12952	0,255

Tabel 3. Data Hasil Eksperimen Saat Dinamis (Detektor Bergerak)

Kecepatan (km/jam)	Cacahan (cacah)	Efisiensi (%)
5	245	0,163
10	252	0,214
15	211	0,196
20	238	0,273

Variasi kecepatan yang digunakan adalah variasi dengan kecepatan rendah, yaitu 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam, karena sampel sumber standard yang dideteksi memiliki aktivitas yang rendah. Hasil yang ditunjukkan pada kondisi statis (detektor diam) dan kondisi dinamis (detektor bergerak) menunjukkan hasil bahwa efisiensi yang dihasilkan antara kelompok satu dengan kelompok lainnya berbeda. Hal ini disebabkan karena nilai cacahan yang dihasilkan berbeda berdasarkan aktivitas masing-masing sampel sumber standard yang ditangkap oleh detektor. Efisiensi yang diperoleh juga dipengaruhi oleh luas penampang detektor, di mana aktivitas sampel sumber standard yang diserap oleh detektor tidak sama dalam setiap pengukuran, artinya tidak semua aktivitas yang dipancarkan sampel sumber standard mampu

diserap oleh detektor karena luas penampang detektor NaI(Tl) yang digunakan sangat kecil, yaitu $3''$. Selain itu, energi gamma dari ^{137}Cs adalah energi rendah yaitu 661 keV, jarak antara sumber dan detektor dengan pengaruh $1/r^2$, kolimator detektor merupakan tipe planar sehingga hanya 1/3 permukaan aktifnya yang terkena radiasi, dan kecepatan mobil makin cepat respon makin rendah. Hal ini diperbolehkan dan metode dapat digunakan selama kesalahan relatif yang diperoleh dalam kasus kedaruratan nuklir masih kurang dari 50%.

IV. KESIMPULAN

Metode monitor *mobile (carborne monitoring)* dengan detektor NaI(Tl) portabel dapat digunakan sebagai salah satu metode pengembangan sistem pemantauan ^{137}Cs di tanah. Nilai efisiensi pengukuran dari spektrometer gamma portabel dengan detektor NaI(Tl) untuk pemantauan radioaktif ^{137}Cs dengan medium tanah dipengaruhi oleh kecepatan *carborne monitoring* dan diperoleh hasil pada kondisi diam (statis) didapat efisiensi antara 0,285% sampai 0,324% dengan kesalahan relatif 11%, sedangkan pada kondisi bergerak atau berjalan (dinamis) didapat efisiensi antara 0,163% sampai 0,273% dengan kesalahan relatif 22%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhamad, Alfian. 2010. *Perangkat Lunak Resrad-Biota sebagai Alat Bantu dalam Pemantauan Lingkungan (Studi Kasus: Estimasi Radiologi Biota Di Sekitar Instalasi Nuklir Serpong)*. Jakarta : Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir PTRKN - BATAN 353 – 360.
2. Ardisasmita, M. Syamsa, 2000. *Pengembangan Spektrometerr Gamma dengan Sistem Identifikasi Isotop Radioaktif Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan*. Bandung : P2TIK-BATAN.
3. Nazaroh, Bunawas, Aura, H., 2003. *Pembuatan Sumber Standard ^{166m}Ho Marinelli untuk Pengukuran NORM* : Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan

Lingkungan pada Industri Non-Nuklir.
Jakarta, Buletin ALARA PTKMR-
BATAN.

4. EPA. 2002. *EPA Facts About Cesium-137*.
USA : Environmental Protection Agency
Press.

TANYA JAWAB

1. Penanya: Eko Jumpeno

Pertanyaan:

- Mengapa kecepatan yang digunakan 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam?
- Mengapa pada metode dinamis nilai efisiensinya naik turun?

Jawaban:

- Karena nilai aktivitas yang dicacah sangat kecil.
- Bias saja respon time detektornya rendah atau lambat sehingga kecepatan mobil tidak terlihat.

2. Penanya: Pimanih

Pertanyaan:

- Efisiensi pada kecepatan 0 km/jam, 5 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam kenapa naik turun ?
- Bagaimana bila kecepatan lebih dari 20 km/jam?

Jawaban:

- Kami melakukan penelitian melihat pada besarnya dosis, untuk laju dosis kami tidak mendata.
- Untuk kedepannya akan lebih dilakukan penelitian secara detail.