

ISSN: 1412 - 2499

PROSIDING

**SEMINAR NASIONAL
KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINGKUNGAN IV**

Tema:

" Upaya Sinergi dan Harmonisasi Iptek Nuklir dan Non-Nuklir untuk Peningkatan
Keselamatan dan Lingkungan "

**INTERNATIONAL SEMINAR
ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY**

Theme:

" Management and safety in various types of radiation "

DEPOK, 27 AGUSTUS 2008

Diselenggarakan oleh:



Pusat Teknologi Keselamatan
dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional



Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Indonesia

2008

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Laporan Ketua Panitia	vii
Sambutan Deputi Kepala Batan Bidang Penelitian Dasar Dan Terapan	ix
Susunan Panitia Seminar	xii

MAKALAH UNDANGAN

1. <i>K-3 sebagai Pertimbangan dalam Pembangunan Berkelanjutan</i> Dr. Harjono, Ketua Dewan K-3 Nasional	U-1
2. <i>Kebijakan Pengawasan Tentang Standar Keselamatan Dan Proteksi Radiasi Di Fasilitas Nuklir Dan Industri Non-Nuklir</i> Dra. Suryawati, M.Si., Badan Pengawas Tenaga Nuklir	U-7
3. <i>Heavy ion therapy for cancers and the project of Gunma University</i> Prof. Takashi Nakano, MD, Ph.D, Department of Radiation Oncology, Graduate School of Medicine, Gunma University Japan	U-21
4. <i>Current Research and Development on Health Effect of Radiation</i> Bambang Wispriyono, Ph.D, Dean of Public Health Faculty, Universitas Indonesia	U-33
5. <i>Radiation Protection of Patient in Diagnostic Radiology</i> Prof. Djarwani S. Soejoko, Physics Department, Faculty Mathematic and Sciences, Universitas Indonesia	U-42
6. <i>Quality of life in men treated carbon ion therapy of prostate cancer</i> Dr. Masaru Wakatsuki, Department of Radiation Oncology, Graduate School of Medicine, Gunma University, Japan	U-49
7. <i>Public Risk perception on health effects from non-ionizing radiation</i> Drs. Ridwan Z. Sjaaf, M.PH., Head of Department OHS, Faculty of Public Health, Universitas Indonesia	U-62

KELOMPOK KESEHATAN

1.	<i>Pemandulan Anopheles moccullatus sebagai vektor penyakit malaria dengan radiasi gamma Co-60</i>	
	Siti Nurhayati, Devita Tetriana, Ali Rahayu dan Budi Santoso	1
2.	<i>Efektivitas Prussian Blue dalam mengeliminasi Cs-137 dari tubuh kera ekor panjang pasca kontaminasi secara oral</i>	
	Tur Rahardjo, Mugiono, Devita Tetriana dan Muhammad Sanusi	10
3.	<i>Distribusi terimaan dosis radiasi pada kegiatan radiografi dental anak</i>	
	Dian Milvita, Ulfa Raudhah, Nunung Nuraini dan Suyati	24
4.	<i>Urgensi Compliance Test pada Radiodiagnostik</i>	
	Dyah Dwi K, Heru Prasetio, Helfi Yuliati dan Suyati	40
5.	<i>Profil Protein sel bakteri Klebsiella pneumonia K5 Hasil Inaktivasi Sinar Gamma</i>	
	Yuanita Windusari dan Irawan Sugoro	54
6.	<i>Pemanfaatan teknik Premature chromosome Condensation dan uji mikronuklei dalam dosimetri biologi</i>	
	Mukh Syaifudin	61
7.	<i>AgNOR sebagai marker proliferasi dalam penilaian respon awal radiasi pada kemoradioterapi kanker serviks</i>	
	Iin Kurnia, Budiningsih, Andrijono, Irwan Ramli dan Cholid Badri	81
8.	<i>Penggunaan iradiasi dengan berkas elektron energi rendah pada mortalitas serangga <i>Tripobulum castaneum</i> (Herbst) di dalam tepung terigu</i>	
	Rindy Panca Tanhindarto	92
9.	<i>Analisis Perbandingan Karakteristik Habitat Perkembangbiakan Nyamuk <i>Aedes</i> di daerah endemis dan non endemis Demam Berdarah Dengue (DBD)</i>	
	M. Hasyimi, Pangestu dan Astrid B. Utami	107
10.	<i>Sintesis hidrogel polietilen oksida (PEO) berikatan silang dengan cara induksi radiasi gamma dan immobilisasi antibiotic</i>	
	Erizal, Dewi S. P., dan A. Sudrajat	117

KELOMPOK KESELAMATAN DAN LINGKUNGAN

1.	<i>Pemanfaatan sludge limbah industri kertas sebagai bahan baku kertas kemasan</i>	
	Anggito P. tetuko, Deni S. Khaerudini, Muljadi, dan P. Sebayang	129
2.	<i>Faktor transfer Cs-137 dari tanah latosol ke cabe (Capsicum annum L.)</i>	
	Leli Nirwani, Wahyudi, dan Jumaher	143
3.	<i>Biodegradasi Benzena oleh Mutan Bakteri Pseudomonas sp dalam Mikrokosmos Air Tanah</i>	
	Fahrudin dan Dwi Andreas Santosa	152
4.	<i>Proteksi Radiologik Lingkungan</i>	
	Eri Hiswara	160
5.	<i>Kajian konsentrasi massa dari PM 2,5, Pm 10, dan gas pada kondisi udara ambien di daerah Gist, Gwangju, Korea Selatan</i>	
	Gatot Suhariyono, Young Joon Kim, dan Jin Sang Jung	169
6.	<i>Konsentrasi Aktivitas Uranium dan Thorium dalam Garnet yang Digunakan Sebagai Material Sandblasting pada Sebuah Industri di Daerah Cilegon</i>	
	Makhsun, Bunawas, dan Yus Rusdian Akhmad	187
7.	<i>Kajian Kualitas Udara Ruangan Gedung Kantor PT. X Tahun 2008</i>	
	Elisa Moetiara, Zulkifli Djunaedi, dan Fatma Lestari	198
8.	<i>Kebijakan Pengawasan TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials) Pada Industri Fosfat Tahun 2008</i>	
	Farida Tusafariah, Gloria Doloresa, Sjahrul Meizar N., dan Hendra	207
9.	<i>Analisis perubahan pemanfaatan lahan pertanian akibat pembangunan PLTN di kabupaten Jepara dengan metode input output</i>	
	Jupiter Sitorus Pane dan Heni Susiati	223

KELOMPOK POSTER:

1.	<i>Kajian Paparan Radiasi Retrospektif dengan Aberasi Kromosom</i> Zubaidah Alatas	242
2.	<i>Teknik Fish dengan Dual Probe untuk deteksi Kromosom Translokasi</i> Yanti Lusiyanti, Zubaidah Alatas dan Sofiaty Purnami	259
3.	<i>Pemantauan Tingkat Radiasi Gamma di Beberapa Pulau di Sulawesi</i> Sutarman, Syarbaini dan Kusdiana	273
4.	<i>Pengaruh Radiasi Gamma Terhadap Profil Protein Plasmodium berghei Terhadap Stadium Eritrositik</i> Devita Tetriana, Darlina, Armanu dan Mukh. Syaifudin	282
5.	<i>Penentuan Dosis Inaktif Eschericia Coli S1 Hasil Iradiasi Gamma</i> Irawan Sugoro dan Sandra Hermanto	292
6.	<i>Pemanfaatan Limbah Fired Scrap Porselin Sebagai Bahan Baku Pembuatan Badan Keramik Porselin dan Karakterisasinya</i> Muljadi	298
7.	<i>Pembakuan Proses Pembuatan dan Karakterisasi Senyawa Hidroksiapatit Sebagai Pengganti Tulang</i> Yessy Warastuti	305
8.	<i>Pemantauan Paparan Radiasi dan Radioaktivitas Lingkungan Sekitar Lokasi Penelitian TENORM PTKMR – BATAN</i> Muji Wiyono, Farida Tusafariah, Wahyudi dan Kusdiana	316
9.	<i>Pengujian Sistem Pencacah Proporsional 4π: Pencacahan Secara Absolut ^{36}Cl dan ^{90}Sr</i> Pujadi dan Holnizar	327
10.	<i>Penggunaan Metode Spektrometri Gamma Detektor HPGe dalam Penentuan Kandungan Radioisotop dalam TENORM</i> Wijono, Pujadi dan Hermawan Chandra	336
11.	<i>Analisa Double Peak Energi Gamma 244,7 KeV dan 1112,1 KeV pada Radionuklida ^{152}Eu untuk Kalibrasi Efisiensi Pada Spektrometer Gamma</i> Hermawan Chandra, Pujadi dan Gatot Wurdianto	348
12.	<i>Kalibrasi Dosimeter Farrmer Terhadap Dosimeter Standar Keithley di Laboratorium IAEA</i> Nurman Rajagukguk	360
13.	<i>Studi Pemanfaatan Biogas pada Pembuatan souh dengan Strategi Produksi Bersih</i> Akhmad Arslan dan Budiarto	370
14.	<i>Evaluasi Sistem Penanggulangan Kebakaran di Kapal Penumpang KM X di PT XY Tahun 2008</i> Cintha Estria dan Fatma Lestari	382

KELOMPOK INTERNATIONAL SEMINAR ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

1.	<i>Analysis of Radioactive Transportation Safety Regulation Implementation in Indonesia</i> Akhmad Busamah and Fatma Lestari	396
2.	<i>Comparison of IAEA Dosimetry Protocol TRS 398, TRS 381, TRS 277 for electron beam</i> Heru Prasetio and Djarwani S. Soejoko	404
3.	<i>Thermal Radiation Modeling at Oil and Gas Tank</i> Fatma Lestari	416
4.	<i>The Relationship of Electromagnetic Fields Exposure High Voltage Power Lines 500 kV to Hypersensitivity in Rural Communities (Jubang, Kendawa, KliKiran, Limbangan, Tegal Glagah) at Sub-Province Brebes, 2006</i> Defriman Djafri, BS.PH, MPH	421
	Daftar Nama Peserta	425

**LAPORAN KETUA PANITIA
SEMINAR NASIONAL KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINGKUNGAN IV
DAN INTERNATIONAL SEMINAR ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY
DEPOK, 27 AGUSTUS 2008**

Yang kami hormati,

Para pembicara undangan:

- Ketua Dewan K-3 Nasional, Bapak Dr. Haryono
- Kepala Bapeten, Bapak Dr. As Natio Lasman
- Prof. Dr. Djarwani Soejoko

Our distinguished guests:

- Prof. Takashi Nakano, MD., Ph.D
- Dr. Masaru Wakatsuki

Yth. Pembantu Rektor III UI dan Bapak/ibu pejabat di Fakultas Kesehatan Masyarakat UI

Yth. Bapak/ibu pejabat struktural dan fungsional di lingkungan BATAN dan dari luar BATAN

Para tamu undangan dan peserta Seminar yang berbahagia,

Assalamualaikum Wr.Wb.

Pada pagi hari ini, marilah kita panjatkan puji syukur kita kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita sehingga kita dianugerahi keselamatan dan kesehatan serta kesempatan sehingga dapat datang dalam lingkungan ilmiah di acara Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dan International Seminar on Occupational Health and Safety. Seminar ini merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi (PTKMR) – BATAN dan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Tema Seminar Nasional kali ini adalah “Upaya Sinergi dan Harmonisasi Iptek Nuklir dan Non-Nuklir untuk Peningkatan Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan”. Sedangkan tema Seminar Internasionalnya adalah “Radiation and Its Health Effect”.

Seminar ini bertujuan sebagai media temu ilmiah bagi para peneliti, akademisi, industri dan pemerhati iptek nuklir dan non-nuklir untuk menyebarluaskan informasi terkini mengenai perkembangan teknologi di bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Bapak, ibu dan hadirin yang kami hormati,

Pada seminar kali ini akan dipresentasikan 42 makalah yang terdiri dari 7 makalah undangan baik dari dalam maupun luar negeri, 33 makalah seminar nasional yang dipresentasikan secara oral dan poster serta 5 makalah seminar internasional. Peserta yang hadir pada seminar ini diperkirakan berjumlah 250 orang.

Pada kesempatan ini, atas nama panitia, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik. Seandainya terdapat kekurangan dalam penyelenggaraan seminar ini, mohon dibukakan pintu maaf yang sebesar-sebesarannya.

To our distinguished guests,
Thank you for your attendance and cooperation. We hope you can enjoy during you stay in Indonesia. Gorai itadaite arigatou gozaimasu. Atatakai kokoro yori, yoroshiku onegaishimasu.

Selanjutnya, kami mohon perkenan Bapak Deputi Kepala Batan untuk memberikan sambutan sekaligus membuka secara resmi seminar ini.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Ketua Panitia
Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV
International Seminar on Occupational Health and Safety

**SAMBUTAN DEPUTI KEPALA BATAN
BIDANG PENELITIAN DASAR DAN TERAPAN
PADA SEMINAR NASIONAL
KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINGKUNGAN IV
DAN
INTERNATIONAL SEMINAR ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY
DI GEDUNG FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS INDONESIA**

Yang saya hormati:

Para pembicara undangan:

- Ketua Dewan K-3 Nasional, Bapak Dr. Haryono
- Kepala Bapeten, Bapak Dr. As Natsio Lasman
- Prof. Djarwani Soejoko, Ph.D

Our distinguished guests:

- Prof. Takashi Nakano, MD., Ph.D
- Dr. Masaru Wakatsuki

Pembantu Rektor III UI dan pejabat di Fakultas Kesehatan Masyarakat UI

Para pejabat struktural dan fungsional di lingkungan BATAN dan dari luar BATAN

Hadirin para peserta Seminar yang berbahagia,

Assalamualaikum Wr. Wb.,

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua.

Puji syukur marilah kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga pada hari ini kita telah diberi kesehatan dan kesempatan untuk dapat berkumpul di sini dalam rangka menghadiri Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dan International Seminar on Occupational Health and Safety.

Seminar ini diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR)-BATAN dan Fakultas Kesehatan Masyarakat-Universitas Indonesia.

Selamat datang kami sampaikan kepada para wakil dari instansi penyelenggara, para pembicara undangan dan para peserta seminar yang telah hadir di sini untuk berpartisipasi aktif dalam diskusi, serta bertukar informasi mutakhir dalam bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Bapak, Ibu, hadirin yang kami hormati.

Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dan *International Seminar on Occupational Health and Safety* ini diadakan dengan tujuan untuk memberi kesempatan pada semua pihak yang terkait dengan masalah keselamatan, kesehatan dan lingkungan untuk membangun sistem komunikasi terpadu dalam memperluas wawasan di

bidang iptek keselamatan, kesehatan dan lingkungan. Diharapkan kemitraan antara pakar, peneliti, praktisi dan para pemangku kepentingan yang bergerak atau berkepentingan dengan bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan dapat lebih ditingkatkan lagi.

Sistim komunikasi yang terpadu ini akan dapat lebih meningkatkan sinergi secara sistematis dari berbagai potensi yang ada baik dari lembaga penelitian dan pengembangan, lembaga pengawas, maupun industri. Hal ini akan berdampak pada percepatan laju pembangunan nasional kita, pembangunan yang berkelanjutan menuju Indonesia yang bermartabat.

Bapak, Ibu, hadirin yang kami hormati,

Keselamatan dan kesehatan merupakan dua hal pokok yang saling berintegrasi. Selamat tapi tidak sehat tentu kita tidak dapat melakukan aktivitas dengan baik. Sedangkan sehat tetapi tidak selamat sudah barang tentu sehatnya tidak berarti lagi.

Tema Seminar Nasional kali ini adalah "*Upaya Sinergi dan Harmonisasi Iptek Nuklir dan Non-Nuklir untuk Peningkatan Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan*". Tema ini mengisyaratkan arti penting adanya upaya-upaya yang saling mendukung dan harmonisasi antara iptek nuklir dan non-nuklir dalam bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan dalam rangka meningkatkan kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat. Pemanfaatan sumber daya alam dan pertumbuhan industri baik dalam bidang nuklir maupun non-nuklir yang semakin berkembang pesat perlu diselaraskan dengan kesadaran dan kepedulian terhadap aspek keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Aspek keselamatan, kesehatan dan lingkungan pada beberapa industri masih terlihat belum adanya harmonisasi ditinjau dari segi nuklir dan non-nuklir. Untuk itu perlu ditingkatkan harmonisasi antara pembuat regulasi dalam bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan. Hal ini bertujuan agar terjadi keseragaman regulasi di Indonesia yang berdampak pada efektivitas pelaksanaannya di lapangan, misalnya regulasi keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan terhadap penanganan limbah yang mengandung campuran radioaktif dan juga B-3. Hal-hal seperti di atas itulah yang nantinya akan didiskusikan melalui pembicara undangan dari Ketua Dewan K-3 Nasional dan Kepala Bapeten.

Pada kesempatan Seminar Internasional ini mengambil tema "*Radiasi dan Efeknya terhadap Kesehatan*". Melalui tema ini akan didiskusikan tidak hanya radiasi nuklir saja, tetapi radiasi lain yang berasal dari sumber listrik tegangan tinggi, handphone, komputer, televisi dan sejenisnya. Dengan kajian-kajian ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan maka akan diperoleh kesepahaman bahwa dalam kehidupan sehari-hari, kita tidak dapat menghindari dari paparan radiasi, sehingga ketakutan yang tidak beralasan terhadap radiasi nuklir bisa dihilangkan. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini merupakan

forum yang baik untuk berdiskusi mengenai pemanfaatan nuklir dalam bidang kesehatan. Kedua pembicara tamu dari Jepang kali ini akan membahas pemanfaatan nuklir untuk terapi kanker. Sudah tidak asing lagi bagi kita di kota-kota besar, bahwa banyak sekali pasien yang sudah menjalani terapi seperti ini. Begitu juga pemanfaatan Sinar Rontgen untuk foto thorax yang pemakaiannya sudah meluas di masyarakat akan dibahas oleh Prof. Djarwani.

Bapak, Ibu, hadirin yang kami hormati,

Menyadari hal ini, forum sekarang ini diharapkan bermanfaat sebagai forum untuk berkumpul, berinteraksi dan bertukar informasi mengenai perkembangan iptek keselamatan, kesehatan dan lingkungan dewasa ini.

Saya yakin bahwa kontribusi saudara-saudara sekalian terutama pembicara undangan yang pakar dalam bidangnya, akan memberikan dampak yang positif bagi perkembangan iptek keselamatan, kesehatan dan lingkungan yang pada gilirannya akan berdampak yang sangat berarti bagi kualitas hidup masyarakat dan sekaligus bermanfaat bagi generasi mendatang.

To our distinguished guests: Mr. Takashi Nakano and Mr. Masaru Wakatsuki from Department of Radiation Oncology, Gunma University, Japan. On behalf of the National Nuclear Energy Agency (BATAN), we thank you for your visit and willingness to give presentations.

Welcome to the 4th National Seminar on Safety, Health and Environmental and International Seminar on Occupational Health and Safety. This is an annual event which regularly organized by Center for Technology of Radiation Safety and Metrology-Batan and Faculty of Public Health – Universitas Indonesia.

We hope that through this seminar, we can keep our collaboration well to obtain mutual benefit, especially in utilization of sciences and technology of radiation application in health areas. Again, thank you for your attendance and cooperation. We hope you can enjoy stay in Indonesia.

Selanjutnya sesuai dengan permintaan panitia seminar, maka dengan mengucapkan Bismillahirrahmanirrahim, saya nyatakan Seminar Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan ke-4 dan *International Seminar on Occupational Health and Safety* secara resmi dibuka.

Terima kasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Deputi Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional
Bidang Penelitian Dasar dan Terapan

Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan

SUSUNAN PANITIA

PENGARAH

1. Deputi Kepala BATAN Bidang PDT
2. Kepala PTKMR

PELAKSANA

- Ketua : Dr. Eko Pudjadi
Wakil Ketua : Drs. Iin Kurnia, M.Biomed
Sekretariat : 1. Drs. Abdul Wa'id
2. Wahyudi, S.ST
3. Wasdiyono, SE
4. Dra. Fatma Lestari, M.Si, Ph.D
Bendahara : Helfi Yuliaty, A.Md

SEKSI-SEKSI:

- Persidangan : 1. Affan Ahmad, MKKK
2. Setyo Rini, SE.
3. Agung Agusbudiman, A.Md
4. Nurhidayati, A.Md
5. Devita Tetriana, S.Si
6. Ir. BY. Eko Budi Jumpeno, M.Si
7. Hendra, SKM, MKKK
8. Elisa Moetiara, SKM

- Perlengkapan : 1. Emil Lazuardi, SE
2. Itong Mulyana
3. Misdar
4. Surwan

- Konsumsi : 1. Dra. Sri Subandini Lolaningrum
2. Dra. Darlina

- Dokumentasi : Toni Prihatna

TIM EDITOR

- Ketua : Drs. Bunawas, APU
Anggota : 1. Dr. Susilo Widodo
2. Dra. Zubaidah, M.Sc
3. Drs. Mukhlis Akhadi, APU
4. dr. Fadil Natsir, Sp.KN.
5. Drs. Syarbaini, M.Sc
6. Drs. Nurman Rajagukguk
7. Dr. Mukh. Syaifudin
8. Drs. Gatot Wurdianto, M.Eng
9. Dr. Ir. Sjahrul M. Nasri, MS in Hyg

DAFTAR PESERTA UNDANGAN BATAN

No	Nama	Jabatan
1	Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan	Deputi PDT
2	Ir. Falconi Margono, MM	Kepala BP
3	Dr. Ferhat Azis	Kepala BKHH
4	Ir. Iman Kuntoro	Kepala PTBIN
5	Dr. Widi Setiawan	Kepala PTAPB
6	Drs. Djatmiko, M.sc	Kepala PTNBR
7	Dr. Setiyanto	Kepala PTRKN
8	Drs. Alim Tarigan	Kepala PRSG
9	Johan Baratha H., M.Sc	Kepala PPGN
10	Ir. Budi Briatmoko, M.Eng	Kepala PTBN
11	Dr. Djarot Sulistio W.	Kepala PTLR
12	Drs. Setiyono	Kepala PRPN
13	Dr. Abdul Mutholib	Kepala PRR
14	Dr. Zainal Abidin, Dpl. Geo	Kepala PATIR
15	Ir. Ferly Hermana, MM.	Kepala PDIN
16	Ir. Sjahrudin	Kepala PSJMN

DAFTAR PESERTA UNDANGAN PTKMR-BATAN

No	Nama	Jabatan
17	Dr. Susilo Widodo	Kepala Pusat
18	Drs. Otto P. Ruslanto, M.T	Kabid. MR
19	Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc	Kabid. K2
20	Dra.Susyati, M.Apt.	Kabid. TNK
21	Drs.Syarbaini, M.Sc	Kabid. Dosimetri
22	Dra.Zubaidah Alatas, M.Sc	Kabid. Biomedika
23	Drs.Gatot Wurdianto, M.Eng	Kasub. Standardisasi
24	Dra.Nazaroh	Kasub. Kalibrasi
25	Ir. Bambang WO	Kasub. Instrumentasi
26	Dra.Nur Rohmah	Kasub PRKK
27	Dr. Dadong Iskandar	Kasub Lingkungan
28	dr.Maria evalisa	Kasub. Yankes
29	Rina Listiana Dewi, SE	Kabag. TU
30	Drs.Abdul Waid	Kasubbag. PKDI
31	Imawan Alfin, SH	Kasubbag. Keuangan
32	Achmad Chaerudin, Dipl.Kim	Kasubbag. Perlengkapan

DAFTAR PESERTA UNDANGAN FKM - UI

No	Nama	Jabatan
33.	Sunardji, SE., MM.	Wakil Rektor III - UI
34.	Bambang Wispriyono, Ph.D	Dekan FKM-UI
35.	Drs. Ridwan Z. Sjaaf, M.PH	Ketua Dept. K3 FKM-UI
36.	Dr. Ir. Sjahrul M. Nasri, MS in Hyg.	Universitas Indonesia
37.	Dr. Zulkifli Djunaedi, M.App.Sc.	Universitas Indonesia
38.	Dr. dr. L. Meily Kurniawidjaja, MSc., SpOk.	Universitas Indonesia
39.	Dr. Robiana Modjo, SKM, M.Kes.	Universitas Indonesia
40.	Dr. Chandra Satrya, M.App.Sc.	Universitas Indonesia
41.	dr. Izhar M. Fihir	Universitas Indonesia
42.	Drg. Baiduri, M.KKK	Universitas Indonesia
43.	Indri Hapsari S., SKM, M.KKK	Universitas Indonesia
44.	Syamsurizal, SKM, M.KKK	Universitas Indonesia
45.	Titis Pratiwi, SE. Ak.	Universitas Indonesia
46.	Donny Adam, SE. M.KKK	Universitas Indonesia
47.	Dr. Yoki Yulizar	Universitas Indonesia

DAFTAR PANITIA

No	Nama	Jabatan
47	Dr. Eko Pudjadi	PTKMR - BATAN
48	Drs. Iin Kurnia, M.Biomed	PTKMR - BATAN
49	Drs. Abdul Waid	PTKMR - BATAN
50	Wahyudi, S.ST.	PTKMR - BATAN
51	Wasdiyono, SE.	PTKMR - BATAN
52	Helfi Yuliati, A.Md.	PTKMR - BATAN
53	Affan Ahmad, M.KKK	PTKMR - BATAN
54	Setyo Rini, SE	PTKMR - BATAN
55	Agung Agus Budiman, A.Md.	PTKMR - BATAN
56	Nurhidayati, A.Md.	PTKMR - BATAN
57	Devita Tetriana, S.Si.	PTKMR - BATAN
58	Ir. Y. Eko Budi Jumpeno, M.Si.	PTKMR - BATAN
59	Emil Lazuardi, SE.	PTKMR - BATAN
60	Dra. Sri Subandini Lolaningrum	PTKMR - BATAN
61	Dra. Darlina	PTKMR - BATAN
62	Dra. Fatma Lestari, M.Si., Ph.D	FKM – UI
63	Hendra, SKM, M.KKK	FKM – UI
64	Elisa Moetiara, SKM.	FKM – UI

65	Duhita Pangesti Putri, SKM.	FKM – UI
No	Nama	Jabatan
66	Lillian Hana	FKM – UI
67	Muthia Ashifa, A.Md.	FKM – UI
68	Mila Tejamaya. S.Si., MOHS.	FKM – UI
69	Jefri Chandra, ST., AK3.	FKM – UI
70	Wahyu Aditya, ST.	FKM – UI
71	Sandi Ferdian, A.Md.	FKM – UI
72	Ali Taufik, SKM.	FKM – UI
73	Dadan Eswandi, S.Psi., M.Si.	FKM – UI
74	Supardjo	FKM – UI
75	Ike Pratiwi, A.Md.	FKM – UI

DAFTAR PESERTA PEMBICARA UNDANGAN

No	Nama	Jabatan
1	Dr. Harjono	Ketua Dewan K3 Nasional
2	Ir. Suryawati, M.Si.	BAPETEN
3	Prof. Takashi Nakano, MD, Ph.D	Gunma University
4	Dr. Masaru Wakatsuki	Gunma University
5	Bambang Wispriyono, Ph.D	Universitas Indonesia
6	Prof. Djarwani S. Soejoko	Universitas Indonesia
7	Drs. Ridwan Z. Sjaaf, M.PH.	Universitas Indonesia

DAFTAR NAMA PENYAJI

No	Nama	Instansi
1	Dra. Zubaidah Alatas, M.Sc	PTKMR – BATAN
2	Dra. Yanti Lusiyanti	PTKMR – BATAN
3	Drs, Sutarman, M.Kom	PTKMR – BATAN
4	Dra. Siti Nurhayati	PTKMR – BATAN
5	Devita Tetriana, S.Si	PTKMR – BATAN
6	Drs. Iin Kurnia, M. Biomed	PTKMR – BATAN
7	Drs. Achmad Arslan, M.Si	Dinas PU Kab. Serang
8	Drs. Erizal	PATIR – BATAN
9	Irawan Sugoro	PATIR – BATAN
10	Yuanita Windusari	UNSRI Palembang
11	Muljadi	FISIKA - LIPI
12	Anggito P. Tetuko	FISIKA – LIPI
13	Ir. Rindy Panca T., M.Si	PATIR – BATAN

14	Yessy Warastuti	PATIR – BATAN
No	Nama	Instansi
15	Muji Wiyono, S.ST	PTKMR – BATAN
16	Leli Nirwani	PTKMR - BATAN
17	Jupiter Sitorus Pane	PTRKN – BATAN
18	M. Hasyimi	DEPKES
19	Drs. Eri Hiswara, M.Sc. APU	PTKMR – BATAN
20	Ir. Gatot Suhariyono, M.Sc	PTKMR – BATAN
21	Maksun, S.Si	PTKMR – BATAN
22	Dr. M. Syaifudin	PTKMR – BATAN
23	Nunik Siti Aminah	Balitbangkes DEPKES
24	Fahrudin	FMIPA – UNHAS
25	Dian Milvita	FMIPA – UNAND
26	Ir. Pujadi	PTKMR – BATAN
27	Wijono, ST	PTKMR – BATAN
28	Hermawan Chandra, S.Si	PTKMR – BATAN
29	Heru Prasetio, M.Si	PTKMR – BATAN
30	Tur Rahardjo, SP	PTKMR – BATAN
31	Drs. Nurma Rajagukguk	PTKMR – BATAN
32	Dyah Dwi K.	PTKMR – BATAN
33	Cintha Estria	FKM UI
34	Farida Tusafariah	PTKMR – BATAN
35	Gloria Doloressa	FKM UI
36	Defriman Djafri	Universitas Andalas

DAFTAR NAMA PESERTA PENDENGAR

No	Nama	Instansi
1.	Riau Amorino	PTKMR – BATAN
2.	Eka Djatnika Nugraha	PTKMR – BATAN
3.	Drs. Diam Keliat	PKTN – BATAN
4.	Agustiar	PKTN – BATAN
5.	Deny Kartika, S.Si	PDIN – BATAN
6.	Ina M. Pieter	PDIN – BATAN
7.	Arie Budianti, SKM	PTLR – BATAN
8.	Tri Bambang L., ST	PTLR – BATAN
9.	Jamilah Hanum	PTLR – BATAN
10.	Ir. Budiarto, M.Sc	PPEN – BATAN
11.	Dewi Sekar P.	PATIR – BATAN
12.	Eti Hartati	PTKMR – BATAN

13.	Siti Aidah, A.Md	PTBN – BATAN
14.	Dra. Novi Muktiari	PKTN – BATAN
15.	Ir. Basri Abbas	PATIR – BATAN
16.	Nina Herlina, B.Sc	PT KMR – BATAN
17.	Widayati	Depkes
18.	Sri Insani WW	PTKMR – BATAN
19.	Farida Tusafariah, M.Kes.	PTKMR – BATAN
20.	Rofiq Syaifudin, S.Si	PTKMR – BATAN
21.	Pardi	PTKMR – BATAN
22.	Putri Surya Dinoto, ST	BAPETEN
23.	Diella Ayudhya S.	BAPETEN
24.	M. Alfiyan	BAPETEN
25.	Mukhlisin	BAPETEN
26.	Nikham	PATIR – BATAN
27.	Sri Sardini	PTKMR – BATAN
28.	Kusdiana	PTKMR – BATAN
29.	Suyati	PTKMR – BATAN
30.	Yurfida	PTKMR – BATAN
31.	Tutik Budiantari	PTKMR – BATAN
32.	Huriyatil Afiah	PTKMR – BATAN
33.	Hasnel Sofyan	PTKMR – BATAN
34.	Elistina	PTKMR – BATAN
35.	Tutik Indiyati	PTKMR – BATAN
36.	Rosdiani	PTKMR – BATAN
37.	Suratno	PTKMR – BATAN
38.	Christine	PTKMR - BATAN
39.	dr.Ivan Rizano Iswandi	FK. Unand
40.	Jasiman	PT. Indominko Mandiri
41.	Syaiful Anwar	PT. Indominko Mandiri
42.	Ellen Rhosa Rissi	UNAND
43.	Melsy Putri Windayani	UNAND
44.	Robiatul Adawiyah	FKIK – UIN
45.	Anisa Amalia	FKIK – UIN
46.	Dwi Ramadhani	PTKMR – BATAN
47.	Emlinarti	PTKMR – BATAN
48.	Erawan	PDIN - PTKMR
49.	Sahuri	Binawan Stikes
50.	Opi Anthoni	PT Muliaglass Float
51.	Nur Abadi	K3 Binawan
52.	Hery Bakoh Y.	PT Muliaglass Float
53.	Naila Khairiyah	Tranindo Pratama

54	Sandi F.	FKM UI K3
55.	Wawan Irawan	Pertamina
56.	Sri Widiawati	Tranindo Pratama
57.	Budiman Hariadi	Pertamina
58.	Renaldi	Pertamina
59.	Weny Y	PT Tricon
60.	Lillian Hana	FKM UI K3
61.	Meilisa Rahmadani	FKM UI K3
62.	Ivan Havosan	FKM UI K3
63.	Roslinormansyah	PT Saptaindra Sejati
64.	Aris Sanyoto	BAPETEN
65.	Henry Rasmeli	PT International Logging Ind.
66.	Furry Dyah Ratnasari Putri	PT Thyssenkrupp Elevator Ind.
67.	Isti Edvi Linawati	PT Wijaya Karya (Persero) Tbk
68.	M. Mushanif Mukti	Asosiasi Ahli K3 Konstruksi
69.	Rieka Idroes	EMP
70.	Anas Zaini Z. Iksan	Instruktur K3
71.	Zaki Muttaqin P.	PT Ansari Jaya Sakti (AJS)
72.	Mufthi G. Sukardi	Pertamina
73.	Erwin Yonathan	PT Medco Downstream Indonesia
74.	Sajidi Hadipoetro	DK3N/IAKKI
75.	Yohanes Tedeus	PT Mahkota Indonesia
76.	Dhanu Budhi Dharmika	Indelberg Indonesian Perkasa
77.	Bayu Dwiantoro	McCowell Dowell Indonesia
78.	Wagiran	PT Mahkota Indonesia
79.	Bambang Suhartanta	PT Mahkota Indonesia
80.	Rahmah	T Findeco Jaya
81.	Dian Indriatiningsih	PT Mahkota Indonesia
82.	Nurul Chotimah	PT United Tractors Pandu Engineering
83.	Andri Suyatna	K3 Stikes Binawan
84.	Soeprapto	A2K3
85.	Ade Surya F.	PT. Eka Muri
86.	Johanes Sudarsono	Lapindo Brantas, Inc.
87.	Inani	FKM UI
88.	Nana Nadiana	FKM UI
89.	Anjas Umaryadi	PT Rekayasa Industri
90.	Usap Sutisna	PT Rekayasa Industri
91.	Hendi Hidayat	PT Rekayasa Industri
92.	Marfuah	British Petroleum
93.	Cintha Estria	FKM UI
94.	Karlina Natassya	FKM UI

95.	Adita Rahmi	FKM UI
96.	Siti Rani	FKM UI
97.	Hendi Hidayat	PT Rekayasa Industri
98.	Ike Pujiriani	FKM UI
99.	Fathul Masruri Syaaf	FKM UI
100.	Syahrul M.	FKM UI
101.	Dieta Febriyanti	FKM UI
102.	Galih Ditya Saecaria	FKM UI
103.	Puspa Indah W.	FKM UI
104.	Faris	Binawan Institute of Health Science
105.	Hidayat Hadian Nurslanis	Binawan Institute of Health Science
106.	Rajib Azhari	Binawan Institute of Health Science
107.	Arief Basuki	Binawan Institute of Health Science
108.	Irawan Wahyudi	Binawan Institute of Health Science
109.	Rana Purnama Lahardi	Binawan Institute of Health
110.	Surya Trifianto	Binawan Institute of Health Science
111.	Fri Yandhani	Binawan Institute of Health Science
112.	Rusmulyadi	Binawan Institute of Health Science
113.	Herni Sumarni	FKM UI
114.	Ranty Ferlisa	FKM UI
115.	Anggun Permatasari	FKM UI
116.	Sekar Tina ANP	FKM UI
117.	Nia Kurniati	FKM UI
118.	Danang Kurniawan	PT Asialab Indonesia
119.	Ir. S. Mulyantony	PT Asialab Indonesia
120.	Safira Ruth Regar	FKM UI
121.	Dimas Bayu Aji	FKM UI
122.	R. Ristriana Rachmawati	FKM UI
123.	Rr. Ambar Sih Wardhani	FKM UI
124.	Nadya Vierdelina	FKM UI
125.	Diah Anisa S.	FKM UI
126.	Endi Ferdiansyah	FKM UI
127.	Fauzan Karim	FKM UI
128.	Ria Siti Rabiah	FKM UI
129.	Farah Fitriania	FKM UI
130.	Ambar Wahdini	FKM UI
131.	Garna Abdima	FKM UI
132.	Bimo Bakti S	FKM UI
133.	Mickle Taroreh, SKM	FKM UI
134.	Anwar Hassan	FKM UI
135.	Sukmawati Adnan P	FKM UI

136.	Ika Ratnawati, SKM.,M.KKK	FKM UI
137.	Dian Sustana S., ST. M.KKK.	FKM UI
138.	Sri Hariyani, SKM., M.KKK	FKM UI
139.	Dr. Trisnajaya, M.KKK	FKM UI
140.	Iqbalus, SE., M.KKK	FKM UI
141.	Sindy Muksindyah, S.ST., M.KKK	FKM UI
142.	Ir. Estu Prayogi, M.KKK.	FKM UI
143.	Eko Yulianto, M.KKK	FKM UI
144.	Ukie Ardianto, ST., M.KKK	FKM UI
145.	Afian Titon	FKM UI
146.	Irma Setiawaty, S.Sos.	FKM UI
147.	Sri Widayawati	Stikes Binawan
148.	Dr. Josep Dharmadi Buntoro	FK-UI
149.	Dr. Heppi Baral Nafy	FK – UI
150.	Syahrul Efendi P, SKM., M.KKK	Depkes
151.	Indah Ayu Permata Sari, SKM.	FKM UI
152.	Julia Rantetampang, SKM.	FKM UI
153.	Amelia	FKM UI
154.	Azil Awaludin	FKM UI
155.	DR. Drg. Theresia Ronny, M.PH.	FKM UI
156.	Dr. Siti Maryam	BSDM – BATAN
157.	Lili Minarni, AMK	BSDM – BATAN
158.	Sandra Hermanto, M.Si.	Biologi UIN
159.	Widayati	DEPKES
160.	Putri Suryo Dinoto, ST	BAPETEN
161.	Diella Ayudhya, ST.	BAPETEN
162.	Moekhamad Afijan	BAPETEN
163.	Dian Rousta F	Humas UI
164.	Rizki	RCTI
165.	Yuni Kusminanti, SKM, M.Si.	PLK-UI
166.	R. Buchari	PTKMR – BATAN
167.	Zainal Abidin, ST.	PT.IP Suralaya
168.	Ansor	PT. IP Suralaya
169.	Ir. Surip	BU - BATAN
170.	M. Shidiq, A.Md.	PDIN – BATAN
171.	Dr. Sri Nurwati	PTAPB – BATAN
172.	DR. Muhamad Sayad, M.Sc.	PKTN - BATAN
173.	Dr. Anton Ojong	BP – BATAN
174.	Eko Purwito Hidayat	BATAN
175.	Fachrul	BP - BATAN
176.	Maryanto HS	BATAN

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL KESELAMATAN, KESEHATAN DAN LINGKUNGAN - IV INTERNATIONAL SEMINAR ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY - I

Depok, 27 Agustus 2008

KATA PENGANTAR

Atas berkat Rahmat Allah Yang Maha Kuasa, kami dapat menyelesaikan Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dengan tema: "Upaya Sinergi dan Harmonisasi Iptek Nuklir dan Non-Nuklir untuk Peningkatan Keselamatan dan Lingkungan" serta Seminar International OHS bertema: "Radiation and Its Health Effect".

Seminar Nasional KKL-IV menyajikan 40 makalah: 7 makalah Undangan, 19 makalah Sidang Paralel serta 14 makalah dalam Sidang Poster. Sedangkan International Seminar OHS-I menyajikan 4 makalah Oral.

Distribusi makalah sebagai berikut:

Makalah Undangan:

- Dewan K-3 Nasional
- BAPETEN
- Gunma University, Japan
- Universitas Indonesia

Makalah peserta:

- PTKMR-BATAN : 19 makalah
- PATIR-BATAN : 4 makalah
- PTRKN-BATAN : 1 makalah
- Balitbangkes, Depkes : 1 makalah
- Puslit Fisika-LIPI : 2 makalah
- Dinas PU, Kab. Serang : 1 makalah
- Univ. Indonesia : 2 makalah
- Univ. Sriwijaya, Palembang : 1 makalah
- Univ. Andalas, Padang : 1 makalah
- Univ. Hasanudin, Makasar : 1 makalah

Makalah Seminar Internasional OHS:

- Depkes : 1 makalah
- BAPETEN : 1 makalah
- PTKMR-BATAN : 1 makalah
- Univ. Indonesia : 1 makalah

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.

Jakarta, Mei 2009

Panitia



Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional

PENGARAH :

1. Dr. Pramudita Anggraita - BATAN
2. Dr. Susilo Widodo - BATAN
3. Dra. Fatma Lestari, M.Si., Ph.D - UI

SUSUNAN TIM EDITOR DAN PENILAI MAKALAH

Ketua

Drs. Bunawas, APU

Anggota:

- Dr. Susilo Widodo - BATAN
- Dra. Zubaidah Alatas, M.Sc. - BATAN
- Drs. Mukhlis Akhadi, APU - BATAN
- Dr. Fadil Nasir, Sp.KN - BATAN
- Drs. Syarbaini, M.Sc. - BATAN
- Drs. Nurman Rajagukguk - BATAN
- Dr. Mukh. Syaifudin - BATAN
- Drs. Gatot Wurdianto, M.Eng. - BATAN
- Dr. Ir. Sjahrul M. Nasri, MS. - UI

ISSN : 1412 - 2499

K3 SEBAGAI PERTIMBANGAN DALAM PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN

Harjono

Ketua Dewan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional (DK3N)

ABSTRAK

Globalisasi mengubah perkembangan dunia usaha dan dunia kerja, dimana batas negara menjadi lebih “terbuka”. Persaingan bisnis dan pasar kerja menjadi lebih ketat serta berbagai ketentuan baru diberlakukan.

Salah satu faktor yang penting adalah K3, sedangkan kondisi K3 dunia maupun nasional belum juga membaik. Dunia kehilangan lebih dari 2 juta orang meninggal karena K3 dengan kerugian sebesar 4% GDP (1,25 triliun USD), sedangkan nasional karena K3 lebih dari 20 orang tiap 100.000 pekerja per tahun meninggal dan kehilangan produktivitas dunia usaha lebih dari Rp. 12 – 15 triliun.

Salah satu faktor yang penting untuk memelihara produktivitas, kesejahteraan pekerja dan kelangsungan dunia usaha adalah K3.

PENDAHULUAN

Globalisasi secara dramatis mengubah proses dan perkembangan dunia usaha dan dunia kerja, dimana berbagai ketentuan baru diberlakukan sehingga batas Negara menjadi lebih “terbuka”.

Dalam situasi demikian persaingan bisnis serta kesempatan kerja menjadi “tebuka”, sehingga mutu komoditas, harga, ketepatan penyerahan barang kepada pembeli sesuai kontrak menjadi sangat penting.

Hal ini bisa dicapai dan dipelihara bila manajemen dunia usaha, proses produksi, mutu kerja, dan profesionalisme serta kompetensi pekerja terpelihara sesuai perkembangan IPTEK. Dunia usaha dengan manajemen yang efisien,

produktif serta ditunjang dunia kerja yang ber-etos kerja yang baik diharapkan dapat bertahan dan berkembang dalam dunia dengan dinamika persaingan yang makin mengemuka.

Segala faktor yang dapat menghambat tercapainya kondisi dunia usaha dan dunia kerja yang sesuai dengan perkembangan globalisasi harus dikelola sebaik-baiknya termasuk faktor K3.

K3 harus dapat menunjang dunia usaha mencapai tingkat efisiensi dan produktivitas yang optimal sesuai perkembangan IPTEK, sedangkan bagi dunia kerja agar tercapai kondisi tanpa kecelakaan dan penyakit akibat kerja sehingga tercapai pekerja yang sehat sejahtera sampai masa purnabakti.

Kerja dan proses produksi yang dilaksanakan dengan prinsip K3 berarti kerja yang bermutu, kerja tanpa gangguan, kerja yang akan menghasilkan barang bermutu pula serta terpelihara citra perusahaan.

Globalisasi akan mengubah tatanan ekonomi dunia, dunia usaha berlomba mengembangkan teknologi yang lebih maju, sedangkan pekerja berlomba dari aspek kompetensi, budaya kerja yang lebih baik termasuk berbudaya K3 dalam berkarya.

I. Perkembangan K3 di dunia dan nasional

Dewasa ini kondisi K3 di dunia masih memperhatikan, dimana tiap tahun 2,2 juta orang meninggal karena K3, 270 juta orang mengalami kecelakaan kerja, 160 juta orang mengalami penyakit akibat kerja dan dunia menderita kerugian sebesar 1,25 triliun USD [4% GDP dunia]⁽¹⁾. Sebagian besar kejadian kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, dan hilangnya produktivitas tersebut terjadi di negara berkembang.

Sedangkan perlindungan pekerja secara global hanya mencakup 8% dari sekitar 3 milyar populasi pekerja⁽³⁾. Di Negara kita sesuai data dari PT. JAMSOSTEK (Persero) adalah⁽²⁾:

No	Thn	Kecelakaan.	Fatalitas	Cacat Permanen	Kompensasi
1	2002	103,804	1.903	10.345	158.045.163.678
2	2003	105,846	1.748	10.395	190.607.146.307
3	2004	95,418	1.736	9.106	192.461.450.125
4	2005	99,023	2.045	8.503	219.231.917.907
5	2006	90,071	1.597	7.566	196.483.059.029
6	2007	83,714	1.883	6.449	219.785.223.864

Dari data tersebut tiap 100 pekerja terjadi kematian karena faktor K3 20 orang sampai 23 orang sedangkan cacat menetap antara 100 orang sampai 138 orang.

Hal ini cukup memprihatinkan karena di negara tetangga kita setiap 100.00 pekerja per tahun terjadi kematian 3,5 orang di Singapore, 8,5 orang di Malaysia, 8,9 orang di Thailand, 2,5 orang di Jepang dan di Eropa 1,5 orang.

Sedangkan dari kompensasi yang dibayarkan oleh PT. JAMSOSTEK (Persero) rata-rata Rp. 200 milyar. Hal ini bila dianggap kerugian langsung, maka kerugian tidak langsung minimal Rp. 1 triliun. Dengan demikian sektor formal di negara kita kerugian atau hilangnya produktivitas adalah minimal Rp. 4 triliun sedangkan nasional diperkirakan antara Rp. 4 triliun sedangkan nasional diperkirakan antara Rp. 15 triliun.

Angka hilangnya produktivitas atau kerugian dunia usaha ini cukup besar khususnya bagi neraga kita.

II. K3 dan Pembangunan yang Berkelanjutan

Pembangunan nasional yang dilakukan secara berkelanjutan dalam segala sektor dan aspek kehidupan memerlukan strategi yang baik, khususnya untuk meng – antisipasi perkembangan aturan bisnis, aturan ketenaga kerjaan maupun perkembangan teknologi dan dan socio - ekonomi - kultural masyarakat dunia.

1. Masyarakat dunia yang disuarakan oleh Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) serta “World Economic Forum” meminta agar dunia usaha melaksanakan :

1.1. “**Global Compact**” yang terdiri dari “Human Right”, “Labour Standard”, “Sustainable Development”, dan “No Corruption”. Sebenarnya dasar dari semuanya faktor tersebut salah satunya adalah K3, baik untuk pekerja, pengusaha, maupun konsumen. Kerja harus dengan mutu yang baik berarti aman, sehat, produktif. Konsumen berhak atas barang bermutu sesuai peruntukannya serta aman dipergunakan. Karena itu semua barang harus dilengkapi MSDS, “**warning sign**”, dan label.

1.2. ILO menyarankan “**Decent Work**” atau kerja layak dari berbagai aspek dan dari aspek K3 “Decent Work” adalah “Safe Work”.

1.3. “**Corporate Social Responsibility**” dimana dengan CSR ini dunia usaha diminta untuk selalu memperhatikan juga kepentingan semua “stakeholders” terkait, yaitu pengusaha, pekerja, masyarakat konsumen, masyarakat sekitar perusahaan, maupun lingkungan.

Salah satu faktor dari CSR adalah HAM dan salah satu faktor dasar HAM adalah K3.

2. Dari aspek dunia usaha dan dunia kerja.

2.1. Agar perusahaan dapat beroperasi dan berkembang secara berkelanjutan diperlukan upaya yang optimal agar dapat memenangkan persaingan yang semakin ketat. Efisiensi dan produktivitas memerlukan manajemen yang handal serta dengan teknologi yang memenuhi berbagai keperluan bisnis maupun aturan nasional dan internasional. K3 adalah salah satu faktor yang harus selalu diimplementasikan

secara optimal karena adanya persyaratan nasional maupun internasional. Disamping itu K3 yang tidak baik dapat menyebabkan ekstra biaya berupa kerugian maupun citra perusahaan bagi konsumen. Malahan K3 dapat menyebabkan bencana bagi perusahaan seperti terjadi pada peristiwa di Bhopal, PT. Petrowi-dada, Anjungan Minyak Lepas Pantai Piper Alpha Laut Utara, dan sebagainya.

- 2.2. Dunia kerja menuntut kerja yang aman, sehat, tetapi harus produktif. Hal ini memerlukan tenaga kerja yang kompeten disertai budaya K3. Pendidikan, pelatihan, dan pengalaman sangat diperlukan tetapi harus ada peraturan dengan prosedur pengawasan yang efektif. Dengan kondisi ini diharapkan tercipta budaya K3 ditempat kerja maupun dalam kehidupan sehari-hari dimasyarakat. Dengan K3 yang baik akan tercapai masyarakat pekerja yang sejahtera, terhindar dari kecelakaan kerja, sehat, angka sakit (morbiditas) normal, angka absensi karena sakit normal,

jumlah pekerja dengan kecacatan (“disabled workers”) dapat dihindari.

3. Kepentingan masyarakat dengan K3 akan terlindungi hak-haknya untuk memperoleh barang yang aman dan sehat untuk dipergunakan. Konsumen paham cara pemakaian yang aman, cara mencegah kecelakaan dan bila terjadi kecelakaan atau keracunan paham cara pertolongan pertama dan kemana mencari pengobatan selanjutnya.

Dengan implementasi K3 secara benar sesuai standard dan peraturan yang berlaku, maka tenaga kerja dan masyarakat konsumen terlindungi, sedangkan dunia usaha terhindar dari berbagai ekstra kerugian atau ekstra biaya karena faktor K3 serta berbagai “business interruptions”. Dalam skala mikro perusahaan akan dapat tumbuh berkembang dengan memenangkan persaingan, sedang dalam skala makro dunia usaha dapat tumbuh kembang berkelanjutan sebagai bagian dari pembangunan nasional.

III. Implementasi K3 sesuai peraturan yang berlaku.

Negara kita telah mempunyai peraturan K3, baik yang di keluarkan oleh Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi (UU No. 1 tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 5 tahun 1996 tentang Sistem Manajemen K3, dan sebagainya) maupun yang dilakukan oleh berbagai Departemen (Departemen ESDM, Departemen Kesehatan, Departemen Pekerjaan Umum, BATAN dan sebagainya).

Selain itu dunia Internasional juga mengeluarkan berbagai ketentuan, misal ILO dengan ILO Guidelines on OSH-MS (2001) ISO dengan OHSAS 18000, dan sebagainya. Begitu pula ILO mengeluarkan berbagai Konvensi, Rekomendasi, Code of Practices, Technical Guidelines.

Pada dasarnya SMK3 dari berbagai pihak mengandung :

1. Komitmen dan kebijakan perusahaan terhadap implementasi K3.
2. Terbentuk organisasi K3 termasuk Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3) serta personil yang kompeten.
3. Identifikasi, evaluasi, monitoring dan control terhadap “potential

hazards”. Dengan ini diupayakan program pencegahan sehingga pekerja dan perusahaan terhindar dari berbagai kerugian karena K3.

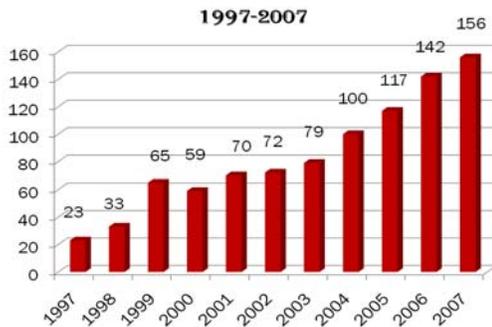
4. Perbaikan berkelanjutan sesuai perkembangan IPTEK, Standar K3, data K3, maupun perkembangan bisnis.
5. Dokumentasi :
 - Pembelian
 - Data K3
 - program
6. Pelatihan :
 - Pekerja baru maupun lama
 - Keadaan darurat
7. Emergency response preparedness.
8. Audit secara teratur baik audit internal maupun audit eksternal.

Dengan terintegrasinya manajemen K3 dalam manajemen perusahaan maka segala aktivitas perusahaan akan selalu didasar-kan K3 secara benar.

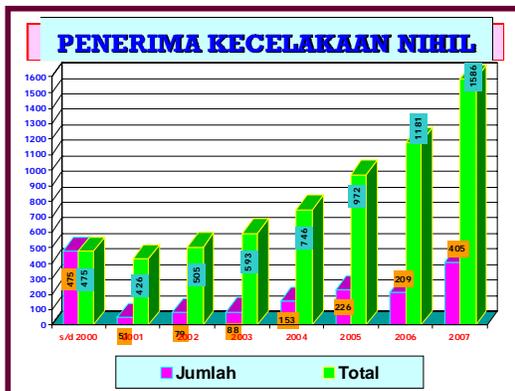
Perusahaan akan terhindar dari ekstra kerugian yang bersifat “tangible” maupun intangible” (yang keduanya akan mempengaruhi bisnis) maupun kerugian terhadap kesejahteraan dan produktivitas pekerja.

ILO Guidelines on OSH perlu keterlibatan pekerja.

Perusahaan yang disertifikasi SMK3⁽⁴⁾



Zero Accident⁽⁴⁾



IV. Kesimpulan

1. K3 bukanlah ekstra – biaya tetapi salah satu faktor untuk memelihara kerja yang aman, sehat, produktif, untuk kelangsungan dunia usaha dan kesejahteraan pekerja.
2. Diperlukan upaya terpadu dari berbagai pihak terkait untuk mencapai dunia usaha dan dunia kerja dengan budaya K3 sesuai standar K3 dan peraturan yang berlaku.

3. Dengan K3 terhindar berbagai kerugian bisnis maupun kerugian bagi kesejahteraan pekerja. K3 adalah salah satu faktor untuk kelangsungan pembangunan berkelanjutan.

REFERENSI

1. SAMEERA MAZIAD AL – TUWAIJRI, *ILO Guidelines on Occupational Safety and health management System (ILO – OSH-MS – 2001)*, Geneva, 2008.
2. PT. JAMSOSTEK (Persero), *Laporan Tahunan*, Jakarta, 2008.
3. JOACHIM BREUER, *Impact of Changing, Working Conditions on Workers Protection*, 2008.
4. DEPARTEMEN TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI, *Laporan Tahunan*, Jakarta, 2008.

KEBIJAKAN PENGAWASAN TENTANG STANDAR KESELAMATAN DAN PROTEKSI RADIASI DI FASILITAS NUKLIR DAN INDUSTRI NON-NUKLIR

As Natio Lasman dan Suryawati
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

ABSTRAK

Makalah menggambarkan pandangan Badan Pengawas Tenaga Nuklir –BAPETEN – mengenai kebijakan pengawasan terhadap standar keselamatan dan proteksi radiasi di fasilitas nuklir dan industri non nuklir penghasil produk samping bahan radioaktif, terkait dengan harmonisasi legal pada industri non-nuklir penghasil produk samping bahan radioaktif. BAPETEN memberikan perhatian pada keselamatan dan pada upaya sinergis dan harmonisasi iptek nuklir dan non nuklir serta kriteria pengawasan ketenaganukliran untuk peningkatan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan, serta tinjauan perkembangan masa depan proteksi dan keselamatan radiasi dengan terbitnya acuan proteksi radiasi internasional (ICRP 103 tahun 2007)

ABSTRACT

This paper describes the point of view of Nuclear Regulatory Agency related to the regulatory policy of safety and radiation protection standard in nuclear and non-nuclear industrial facility that result radioactive as a side product. BAPETEN gives the attention for the effort of synergy and harmonization nuclear and non-nuclear technology, along with nuclear regulatory criteria for the raising of occupational, public and environment safety and contemplation for the protection and radiation safety development in the future according to the international reference of radiation protection (ICRP No. 103, 2007)

I. Pendahuluan

Pandangan dari sisi pengawasan mengenai “Kebijakan standar keselamatan dan proteksi radiasi di fasilitas nuklir dan industri non-nuklir khususnya industri penghasil produk samping bahan radioaktif” sesuai dengan tema seminar “Upaya Sinergi dan Harmonisasi Iptek nuklir dan non-nuklir untuk peningkatan Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan”, merupakan lingkup dari penulisan ini. Sebelum membahas lebih lanjut, perlu

kiranya disampaikan pembatasan lingkup penyajian khususnya cakupan makna harmonisasi legal. Dua arti harmonisasi dapat dijumpai, pertama jika diartikan *harmonisasi secara teknik*, yaitu yang berkaitan dengan isi peraturan secara teknis, kedua *harmonisasi legal* ditujukan pada kerangka kerja legal (*pengaturan kewenangan*). Dengan demikian, sesuai dengan kewenangan BAPETEN, khususnya dalam pembahasan harmonisasi selanjutnya yang menjadi perhatian di sini adalah aspek

keselamatan dan proteksi radiasi di industri non-nuklir penghasil produk samping bahan radioaktif yang difokuskan pada harmonisasi legal antara bidang iptek nuklir dan non nuklir untuk peningkatan Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan di Industri non nuklir.

Dalam hal pengawasan *pemanfaatan tenaga nuklir*, sesuai dengan amanat dari Undang-undang No.10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, maka dapat ditegaskan bahwa harmonisasi legal antara bidang Iptek nuklir dan non-nuklir tidak memerlukan pembahasan lebih lanjut di sini karena merupakan bagian dari suatu kewenangan dari Badan Pengawas yakni BAPETEN. Tanpa memandang apakah termasuk kelompok dari iptek nuklir atau iptek non-nuklir, apabila bermaksud memanfaatkan sifat radiasi/nuklir bagi produk atau jasa, maka wajib dikenakan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang berlaku.

Pemanfaatan tenaga nuklir pada fasilitas nuklir dalam bentuk sumber radiasi (dapat berupa zat radioaktif atau peralatan yang dapat menghasilkan radiasi) di bidang kesehatan, industri, penelitian, pertanian dsb, telah dimanfaatkan secara luas. Pemanfaatan iptek / teknik nuklir di bidang industri non-nuklir atau teknologi radiasi telah banyak digunakan terutama untuk

memeriksa volume produk minuman dalam kemasan, kerapatan dan ketebalan kertas, kualitas pipa dan lain sebagainya. Sinar radiasi juga dapat digunakan sebagai teknik perunut, diagnosa proses industri, analisa komposisi dan uji bahan tidak merusak. Pemanfaatan ini diklasifikasikan, dalam bidang *radiografi industri* untuk mengecek kualitas suatu produk, termasuk bagasi di lapangan terbang, *teknik analisa* terhadap kandungan unsur dalam sampel material a.l pada pabrik semen, *logging* untuk eksplorasi minyak bumi, tingkat kepadatan tanah dan *gauging* untuk mengukur ketinggian atau laju aliran, serta densitas a.l. ketinggian cairan di pabrik minuman, densitas tembakau di pabrik rokok. Pemanfaatan sumber radiasi di bidang kesehatan a. l. radiografi medik untuk keperluan diagnosa atau terapi kanker, sterilisasi alat dan perlengkapan kedokteran, irradiasi untuk pengawetan makanan, pemanfaatan sumber terbuka (serbuk atau cairan) di bidang kedokteran nuklir untuk keperluan diagnostik. Pemanfaatan radiasi dalam bidang pertanian dan peternakan pemuliaan tanaman padi atau varietas unggul, radio vaksin, penggemukan (permentasi) sapi.. Di bidang penelitian tenaga nuklir adanya tiga reaktor riset masing- masing Reaktor Serba Guna di Serpong , Reaktor Kartini di

Jogyakarta dan Reaktor Triga di Bandung dan fasilitas penelitian di lingkungan BATAN dan Universitas. Selain pemanfaatan radiasi yang diuraikan diatas, juga tenaga nuklir dapat digunakan sebagai pembangkit listrik yang dikenal sebagai Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang saat ini di Indonesia dalam tahap penyiapan.

Pemanfaatan tenaga nuklir seperti halnya hasil teknologi lainnya harus dilakukan secara baik dan benar serta diawasi secara ketat oleh pemerintah sesuai dengan peraturan atau ketentuan yang berlaku. Pengawasan dilaksanakan BAPETEN untuk tujuan menjamin keselamatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir, dengan menggunakan tiga instrumen yaitu peraturan, perizinan dan inspeksi. Yang dilaksanakan melalui penyusunan dan pengembangan peraturan keselamatan nuklir, penerbitan izin bagi pemanfaat tenaga nuklir, pelaksanaan inspeksi oleh inspektur BAPETEN. Sampai Agustus 2008 jumlah izin pemanfaatan tenaga nuklir yang telah diterbitkan BAPETEN di bidang industri telah mencapai lebih dari 3000 izin pada 493 industri, di bidang kesehatan mencapai 3912 izin pada 1997 fasilitas sedangkan di bidang penelitian sebanyak 36 izin pada 14 instansi.

Namun demikian terdapat situasi, terutama pada industri non-nuklir, di mana bahan radioaktif dengan konsentrasi signifikan dijumpai pada proses kegiatan produksi sehingga diperlukan penanganan proteksi radiologik untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan walaupun mereka tidak bermaksud untuk memanfaatkan radiasinya. Bahan radioaktif tersebut berasal dari alam, dari batuan pada kerak bumi dan air tanah, dan terbawa atau terkonsentrasi dalam proses produksi secara tidak disengaja sebagai bagian dari bahan baku. Untuk situasi seperti ini keterkaitannya dengan harmonisasi legal antara iptek nuklir dan non-nuklir menjadi *penting* dibahas. Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material disingkat TENORM, antara lain yang terkandung pada pasir monasit produk ikutan pada tambang timah dan kerak air dari tambang/ kilang Migas, semakin diketahui luas menjadi target proteksi radiologik. Dalam pengaturan TENORM secara aman dan ekonomik, proteksi radiasi TENORM mempertimbangkan ciri-ciri dari TENORM yaitu keberadaannya di mana-mana, volumenya besar, dan konsentrasi aktivitasnya yang relatif rendah. Perlu diingat bahwa aktivitas kegiatan yang menggunakan atau menghasilkan TENORM di industri harus diproses sesuai

dengan kriteria keselamatan sehingga menjamin keselamatan para pekerja, masyarakat dan lingkungan dari potensi bahaya radiasi.

II. Kebijakan pengawasan

1. Kebijakan Pengawasan pada Fasilitas Pemanfaat Tenaga Nuklir

Kebijakan pengawasan tentang Standar Keselamatan dan Proteksi Radiasi di fasilitas nuklir tertuang dalam UU No. 10 1997 tentang Ketenaganukliran, dan strateginya tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan PP No. 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir. PP No. 33 tahun 2007 telah diharmonisasikan dengan dokumen IAEA; *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the safety Radiation Sources (BSS-115, 1996)* dan mempertimbangkan konsep dan kriteria yang tertuang dalam dokumen IAEA, RSG 1.7 *Application of the concepts of Exclusion, exemption and clearance*. Untuk implementasi dari standar keselamatan dan proteksi radiasi dituangkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN dengan standar dan kriteria keberterimaan yang didasari oleh TECDOC yang diterbitkan

IAEA, dengan melalui proses internalisasi yaitu kajian penerapannya di Indonesia, identifikasi/survei lapangan sehingga dalam penetapan nilai dan kriteria sesuai dengan kondisi Indonesia.

Kebijakan pada UU No. 10 1997 ps 16 menyatakan Setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Ketentuan mengenai hal ini diatur lebih lanjut dalam Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan Radiasi pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Pada PP No. 33 tahun 2007 pasal 2 mengatur Keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup, keamanan sumber radioaktif, dan inspeksi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Keselamatan Radiasi dimaksud disini meliputi pemanfaatan Tenaga nuklir dan Intervensi.

Pengaturan persyaratan keselamatan dan proteksi radiasi tertuang dalam pasal 4 PP No. 33 bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki izin pemanfaatan tenaga nuklir dan memenuhi persyaratan Keselamatan Radiasi. Persyaratan Keselamatan Radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir, meliputi; **persyaratan**

manajemen, persyaratan proteksi radiasi, persyaratan teknik dan verifikasi keselamatan. Pemenuhan terhadap persyaratan keselamatan radiasi harus di dokumentasikan di dalam program Jaminan Mutu. Ketentuan mengenai keseluruhan persyaratan ini diuraikan pada pasal-pasal berikutnya dalam PP ini.

Persyaratan manajemen antara lain meliputi penanggung jawab keselamatan yaitu pemegang izin dan pihak lain (PPR, pemasok dll), budaya keselamatan, pemantauan keselamatan. **Persyaratan proteksi radiasi** meliputi justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, limitasi dosis (NBD), optimasi proteksi dan keselamatan radiasi yang dilaksanakan melalui pembatas dosis (*dose constrain*), dan tingkat panduan untuk paparan medik (*guidance level*). **Persyaratan teknik** yang meliputi sistim pertahanan berlapis dan praktik rekayasa teruji. Sedangkan **verifikasi keselamatan** meliputi pengkajian keselamatan sumber, pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan, rekaman hasil verifikasi keselamatan. Kebijakan pengawasan tentang standar keselamatan dan proteksi radiasi dalam PP No. 33 ini yang telah diharmonisasikan dengan BSS-115. dijabarkan dalam Peraturan-peraturan Kepala BAPETEN.

2. Kebijakan Pengawasan pada Industri Non Nuklir

Kebijakan pengawasan tentang standar Keselamatan dan Proteksi Radiasi di Industri non nuklir penghasil produk samping bahan radioaktif (TENORM) dalam hal perlindungan masyarakat terhadap risiko radiologik yang berasal dari TENORM telah ditetapkan dan diperkuat dalam bentuk Peraturan Pemerintah yakni PP No. 33 Tahun 2007 diatur tentang Keselamatan Radiasi Pening dan Keamanan Sumber Radioaktif telah ditetapkan bahwa inisiasi penanganan TENORM didekati dengan menganut sistim keselamatan dan proteksi radiasi untuk **situasi intervensi** (pada Bab IV Intervensi), yaitu setiap tindakan untuk mengurangi atau menghindari paparan atau kemungkinan terjadinya paparan kronik dan paparan darurat. Situasi paparan kronik a.l meliputi ; paparan yang berasal dari NORM, paparan yang berasal dari TENORM. Setiap badan atau industri yang karena kegiatannya dapat menghasilkan produk samping berupa TENORM dan dinyatakan bahwa pada situasi paparan kronik yang ditimbulkan oleh TENORM dengan konsentrasi di atas Tingkat Intervensi, maka setiap orang atau badan yang karena kegiatannya ditetapkan

sebagai pihak bertanggungjawab, harus melaksanakan Intervensi terhadap terjadinya paparan yang berasal dari TENORM melalui tindakan remedial. Tindakan remedial menggunakan azas proteksi radiasi untuk situasi intervensi, yaitu melalui proses penilaian justifikasi dan optimisasi. Konsep Justifikasi mempertimbangkan manfaat yang dapat diperoleh dari suatu tindakan intervensi termasuk bahaya yang akan timbul, dan disertai optimisasi terhadap opsi intervensi yang telah dijustifikasi mengenai bentuk, skala, dan lamanya tindakan sedemikian rupa diperoleh manfaat sebesar-besarnya secara wajar berdasarkan kondisi sosial dan ekonomik. Intervensi tersebut dilaksanakan hingga mencapai di bawah Tingkat Intervensi. PP No. 33 ini telah diharmonisasikan dengan rekomendasi internasional BSS-115 dari IAEA dan Publikasi No. 60 dari ICRP. Kebijakan

proteksi radiasi berdasarkan ICRP dan IAEA tersebut telah diadaptasi menjadi kebijakan nasional untuk perlindungan pekerja, masyarakat dan kelestarian fungsi lingkungan hidup. Dengan demikian perlu dipertegas bahwa pemahaman terhadap kebijakan keselamatan dan proteksi radiasi TENORM yang telah diperkuat dalam bentuk peraturan perundangan tidak bertentangan dengan apa yang dimaksudkan oleh ICRP / IAEA.

Untuk memenuhi kebijakan di muka, harus disusun strategi dengan memperhatikan pedoman yang menyertainya dan/atau dari berbagai negara yang berbasis rekomendasi ICRP/IAEA tersebut berdasarkan kondisi Indonesia sehingga dapat memberikan tuntunan penerapan praktis bagi berbagai pihak yang berkepentingan. Regulasi TENORM dirangkum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Regulasi TENORM

Situasi pemaparan	Intervensi (PP No.33 Th 2007, Bab IV mengenai intervensi terhadap paparan kronik)	Practice
Persyaratan	<i>Existing source</i> (TENORM) melampaui <i>Intervention level</i>	<i>Exclusion, exemption, dan clearance level</i>
Tindakan	Remediasi/ pengendalian pengurangan sumber di suatu lokasi	Pengendalian penambahan sumber di suatu lokasi

<p>Jenis Tindakan (PERKA tentang Keselamatan radiasi dalam intervensi TENORM)</p>	<p>Tindakan remedial oleh penimbul TENORM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Menghilangkan sumber: clean-up</i>, dekontaminasi, dan pelepasan bersyarat/tanpa syarat - <i>Modifikasi pathways</i>: isolasi sumber dan penyempurnaan kondisi kerja - <i>Pembatasan personil</i>: jumlah individu terpapar dan <i>training</i> pekerja 		<p>Tindakan pasca remediasi (bila diperlukan) oleh pihak yang telah mempunyai kewenangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disposasi pada fasilitas berizin - Penggunaan bahan dalam rangka keuntungan ekonomik - Pengendalian fasilitas kerja TENORM dengan dosis individu melampaui kriteria dosis publik 0,3 mSv/tahun pasca tindakan remedial - Pelepasan ke lingkungan secara syah
<p>Kriteria keberterimaan (PERKA tentang Keselamatan radiasi dalam intervensi TENORM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Intervention level</i> (> 1 mSv/tahun), - <i>Action level</i> (> 0,5 uSv/jam, 1 Bq/g, 1 Bq/l dan 1 Bq/cm²), - dan '<i>reference level remedial</i>' (< 0,3 mSv/tahun) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pembatas dosis publik sumber tunggal (< 0,3 mSv/tahun) - Nilai Batas Dosis (NBD) publik multi-sumber (< 1 mSv/tahun) - Pembatas dosis pekerja sumber tunggal (optimal) - NBD pekerja multi-sumber (20 mSv/tahun) - <i>Exclusion, exemption, dan clearance level</i> (1 Bq/g) - <i>Authorized discharge limit</i> (optimal) 	

Strategi penanganan TENORM sedang diwujudkan dan diperkuat dalam bentuk PERKA BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Intervensi TENORM. Pada Tabel 1 disajikan secara ringkas mengenai regulasi TENORM. Dengan memperhatikan tabel itu, telah ditunjukkan bahwa kebijakan penanganan TENORM menuntut inisiasi dengan pendekatan proteksi radiasi dalam katagori **situasi intervensi** yakni melalui tindakan remedial yang dilaksanakan oleh penimbul TENORM. Pendekatan proteksi radiasi dalam katagori *practice* hanya diterapkan (jika diperlukan) pada tindakan tahap pasca remedial oleh pihak yang telah memperoleh kewenangan dari badan pengawas. Ditunjukkan pada tabel tersebut, bahwa pemahaman mengenai “intervensi dilaksanakan hingga mencapai di bawah Tingkat Intervensi” menurut PP. No. 33 diartikan sebagai mencapai di bawah *reference level* remedial 0,3 mSv/tahun untuk pemaparan publik dalam besaran dosis ekuivalen efektif total.

III. Harmonisasi Aspek Legal

BAPETEN memberikan perhatian pada keselamatan dan pada upaya sinergis dan harmonisasi iptek nuklir dan non nuklir serta kriteria pengawasan ketenaganukliran untuk peningkatan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan. Sebagaimana diamanatkan

oleh Undang-undang No 10 Tahun 1997, pengawasan ditujukan antara lain untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja, anggota masyarakat serta perlindungan terhadap fungsi lingkungan hidup. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut perlu diperhatikan prinsip proteksi radiasi dan standard yang sesuai dengan urusan TENORM.

Pertambangan umum (a.l. timah, minyak dan gas, granit) dan industri non nuklir (a.l. sandblasting, pabrik pupuk fosfat), tanpa disadari mempunyai potensi bahaya radiasi karena produk samping, limbah, dan menggunakan bahan baku proses yang mengandung radioaktif alam dapat menghasilkan TENORM ; yaitu radionuklida alam yang konsentrasinya atau potensi penerimaan paparannya meningkat oleh atau sebagai akibat dari kegiatan teknologi (a.l penambangan atau industri). Dengan adanya kegiatan ini TENORM dapat terdistribusi secara luas. Oleh karena itu aspek Keselamatan radiasi perlu diperhatikan agar potensi bahaya radiologik terhadap pekerja (masyarakat) dan lingkungan dapat dikendalikan. Untuk mengetahui berapa banyak kegiatan pertambangan dan industri non nuklir yang menghasilkan TENORM dengan kuantitas yang signifikan menurut sudut pandang

keselamatan radiasi. BAPETEN telah melakukan survey berskala nasional sejak tahun 2002 ~ 2007, dalam rangka perumusan kebijakan pengawasan TENORM di Indonesia yang sesuai dengan kondisi Indonesia. Diperoleh kesimpulan bahwa sejumlah pelaku pertambangan/industri berpotensi memerlukan pengawasan. Aspek keselamatan radiasi dan prinsip proteksi radiasi serta standard pengawasan untuk TENORM yang ditetapkan BAPETEN diharmonisasikan dengan ketentuan internasional.

BAPETEN dapat berperan aktif dalam harmonisasi legal persoalan TENORM antara bidang iptek nuklir dan non nuklir untuk mewujudkan ketertiban pengaturannya.

Aspek pengawasan keselamatan radiasi di industri non nuklir khususnya penghasil TENORM di Indonesia, juga merupakan amanat dari PP No. 27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah radioaktif, pasal 32 mengenai kewajiban analisis keselamatan radiasi bagi pertambangan non nuklir yang menghasilkan limbah atau produk samping radioaktif, yang kemudian telah diperkuat dengan PP 33 tentang Keselamatan Radiasi Peninggian dan keamanan sumber radiasi pada bagian intervensi sesuai dengan uraian pada

bagian kebijakan diatas. Kebijakan yang dilakukan BAPETEN yang diuraikan diatas dalam rangka upaya mengefektifkan pelaksanaan sistem pengawasan terhadap TENORM serta dengan pertimbangan adanya harmonisasi legal iptek nuklir dan non nuklir. Kebijakan pengawasan ini seharusnya harmonis dengan pengawasan dari aspek lain yang bersifat non radiologik, misalnya risiko B3 oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan BAPEDALDA. Selain itu BAPETEN terbuka untuk senantiasa memelihara hubungan dengan institusi terkait dalam rangka pengawasan terhadap keselamatan pemanfaatan TENORM untuk saling mendukung. Terutama dengan adanya peningkatan penggunaan material yang mengandung radioaktif alam, sehingga kebutuhan untuk menyakinkan kepedulian terhadap keselamatan dan keamanan yang memadai pada pemanfaat dan masyarakat dapat terlaksana, dan yang terpenting untuk menjamin keselamatan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan .

IV. Acuan terbaru Proteksi Radiasi Internasional

Rekomendasi terbaru ICRP No.103 tahun 2007 didasari oleh adanya keinginan untuk mengurangi kerumitan yang timbul sebagai konsekuensi dari evolusi proteksi radiologik yang mencakup pemaparan dari

seluruh sumber radiasi dengan cara yang lebih holistik. Secara umum, perubahan yang disampaikan pada rekomendasi terbaru Proteksi Radiasi pada ICRP no. 103 tahun 2007 meliputi dua ciri yakni yang pertama **bersifat teknikal** dan yang kedua bersifat **penyajian (penggantian istilah)**.

Dalam hal perubahan teknikal terjadi penyesuaian terhadap nilai untuk faktor pembobotan jaringan dan radiasi, namun tetap mempertahankan nilai batas dosis sama seperti pada rekomendasi sebelumnya. Sebagai contoh nilai faktor bobot jaringan untuk dada/payudara telah dinaikkan dari 0,05 menjadi 0.12 dan untuk gonad diturunkan dari 0,20 menjadi 0.05. Sedangkan pada faktor pembobotan radiasi telah terjadi penurunan nilai dari 5 menjadi 2 untuk proton dan telah disertakan partikel pion bermuatan dengan diberi nilai 2. Apabila nilai-nilai pada rekomendasi terbaru tersebut diadopsi, maka akan memerlukan penghitungan kembali dalam hal penentuan koefisien konversi dosis terkait (model dosimetri).

Dalam hal perubahan penyajian istilah, khususnya terkait dengan persoalan situasi pemaparan *intervention* (intervensi) yang berkaitan dengan penulisan ini, direkomendasikan bahwa dalam pendekatan proteksi radiologik agar mengganti katagori situasi pemaparan yang semula terdiri dari

dua katagori: **practice** (praktis) dan **intervention** (intervensi) menjadi tiga katagori: **planned** (direncanakan), **existing** (yang telah ada) dan **emergency** (darurat). Prinsip proteksi radiasi sebelumnya masih dipertahankan yakni *justification* dan *optimization* diterapkan secara universal untuk seluruh tiga katagori pemaparan; dan **dose limits** (NBD) hanya diterapkan pada katagori situasi pemaparan direncanakan (*planned*), tetapi tidak termasuk pemaparan medis untuk pasien. Dengan cara demikian, **pemahaman proteksi radiologik** mungkin telah dipertegas menjadi sebagai suatu upaya “menurunkan penerimaan dosis dari suatu sumber pemaparan yang secara wajar dapat dikendalikan, baik untuk sumber artifisial maupun alam mencakup pada seluruh katagori situasi pemaparan yaitu yang direncanakan, yang telah ada dan keadaan darurat”. Sedangkan rekomendasi sebelumnya sering dimaknakan sebagai “mengendalikan penambahan penerimaan dosis dari sumber yang (direncanakan) akan dimanfaatkan (*practices*) dan mengendalikan pengurangan penerimaan dosis dari sumber yang (tanpa direncanakan) telah ada (*intervention*)”.

Dengan penyajian istilah baru untuk sistem proteksi radiologik yakni untuk ketiga situasi *pemaparan*, maka perlu disampaikan keterkaitannya dengan istilah

dose constraints (pembatas dosis) dan *reference level* (*action level, intervention level, investigation level, recording level*, dll) yang selama ini telah diperkenalkan. Pembatas dosis berfungsi untuk membatasi ketidakadilan yang mungkin muncul sebagai hasil dari suatu keputusan bercirikan sosio-ekonomi ketika optimisasi proteksi dilaksanakan pada situasi *practice*. Dengan demikian pembatas dosis dimaksudkan untuk membatasi rentang pilihan yang selayaknya dipertimbangkan dalam proses optimisasi. Dalam hal paparan publik, pembatas dosis memberikan kemungkinan bahwa seorang anggota masyarakat dapat dipapari oleh berbagai sumber terpisah tetapi masih mempertahankan dalam batas keseluruhan nilai batas dosis (NBD). Pembatas dosis digunakan oleh Badan Pengawas sebagai basis dalam menetapkan *authorised limits* (*batas lepasan yang diizinkan*) untuk pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan. Dalam hal paparan pekerja, di mana pekerja biasanya hanya dipapari secara signifikan oleh satu sumber, pembatas dosis akan membantu untuk memfokuskan perhatian pada pengelolaan yang baik mengenai paparan pekerja dalam perancangan fasilitas dan perencanaan operasi. Rekomendasi ICRP terbaru ini mempertahankan istilah *dose constraint* dengan makna yang sama

untuk diterapkan pada situasi paparan direncanakan.

Istilah “*diagnostic reference level* (*tingkat panduan*)” sekarang digunakan dalam konteks optimisasi perlindungan terhadap pasien yang sedang mengalami paparan medik. Acuan ini dimaksudkan untuk berperan sebagai suatu nilai *benchmark* sehingga dosis yang diterima dari prosedur umum diagnostik dapat dibandingkan.

Rekomendasi ICRP ini menggunakan istilah “*reference level*” dalam konteks situasi paparan yang sedang berlangsung (*existing*) dan keadaan darurat (*emergency*) untuk membatasi penerimaan dosis atau risiko, sehingga apabila suatu perencanaan paparan membiarkan penerimaan dosis di atas nilai tersebut maka dinilai sebagai tindakan yang tidak benar/layak, dan apabila di bawah nilai itu optimisasi proteksi selayaknya dilaksanakan. Sama seperti untuk pembatas dosis, opsi-opsi yang menghasilkan nilai dosis lebih besar dari suatu *reference level* selayaknya ditolak pada tahap perencanaan. Dalam hal ini, rancangan PERKA TENORM telah menetapkan untuk paparan publik bahwa nilai *intervention level* dengan besaran dosis ekuivalen efektif total adalah 1 mSv/tahun dan nilai *reference level* untuk perencanaan

pemaparan pasca tindakan remedial adalah 0,3 mSv/tahun, sedangkan untuk *action level* dalam besaran laju dosis, konsentrasi aktivitas, dan kontaminasi permukaan berturut turut ditetapkan 0.5 mikrosievert/jam, 1 Bq/g (untuk setiap radionuklida anggota dari turunan uranium dan torium), dan 1 Bq/cm². Dengan demikian apabila rekomendasi terbaru diadopsi, maka hanya memerlukan penyesuaian istilah terutama untuk situasi pemaparan *intervention* yang telah diganti menjadi situasi pemaparan *existing* dan *emergency*, sedangkan situasi pemaparan *practices* menjadi pemaparan direncanakan (*planned*).

V. Penutup

- Telah disampaikan pandangan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dari sisi pengawasan terhadap kebijakan pengawasan terhadap Standar keselamatan dan proteksi radiasi di Fasilitas Nuklir dan Industri Non Nuklir penghasil produk samping bahan radioaktif alam juga kaitan harmonisasi legalnya.
- Perhatian BAPETEN terhadap keselamatan radiasi di industri non nuklir dalam rangka memberikan dukungan tercapainya kesehatan dan kesejahteraan bagi masyarakat.

Diwujudkan dalam pengaturan TENORM ; Kebijakan dan Strategi proteksi radiologik untuk menangani persoalan TENORM telah diperkuat dengan penerbitan PP No.33 tahun 2007 dan penyusunan Peraturan Kepala BAPETEN (PERKA) tentang Keselamatan Radiasi dalam Intervensi TENORM. untuk pelaksanaan operasionalnya. Rangkuman pendekatan Keselamatan dan Proteksi Radiasi telah dibahas dan disajikan secara sistematik dalam makalah ini .

- Misi BAPETEN dalam pengawasan TENORM; agar BAPETEN dan pihak industri dapat menjamin bahwa aktivitas kegiatan yang menggunakan atau menghasilkan TENORM di industrinya sesuai kriteria keselamatan sehingga menjamin perlindungan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan, selain itu untuk menyakinkan pemerintah dan masyarakat bahwa adanya produk samping atau material ikutan yang mengandung radioaktif alam pada industri non-nuklir dalam batas keselamatan dan aman.
- Dalam acuan proteksi radiologi rekomendasi terbaru ICRP No. 103 tahun 2007 tidak terdapat perubahan fundamental, kecuali dalam hal saran penggantian istilah untuk **kategori situasi pemaparan** yang semula terdiri dari

practice (praktis) dan *intervention* (intervensi) diganti menjadi situasi *planned* (direncanakan), *existing* (yang telah ada) dan *emergency* (darurat). Prinsip proteksi radiasi yaitu jastifikasi dan optimisasi masih dipertahankan untuk seluruh tiga situasi pemaparan, sedangkan prinsip limitasi tetap sama seperti sebelumnya hanya ditujukan untuk situasi *planned* (istilah lama *practices*). Dengan demikian regulasi/ peraturan TENORM terkait yang berbasis pada rekomendasi ICRP No. 60 tidak akan memerlukan perubahan besar dengan terbitnya ICRP 103.

VI . Daftar Pustaka

1. UNDANG –UNDANG No. 10 Tahun 1997 Tentang *Ketenaganukliran*
2. PERATURAN PEMERINTAH No. 33 Tahun 2007 Tentang *Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*.
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources* , SS-115, Vienna, 1996.
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Extent of Environmental Contamination by Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) and Technologically Options for Mitigation*, IAEA-Technical Report Series (TRS) No. 419, Vienna, 2003.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Radiation Protection and the management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry*, IAEA – SRS No. 34 Vienna, 2003.
6. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR. Laporan Hasil Kajian ; *Pengkajian Pengawasan tentang Keselamatan Radiasi terhadap TENORM di Industri*, Pusat Pengkajian Sistim dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Desember 2006
7. UNITED NATION SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR 2000 Report), *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, United Nations.
8. IAEA, *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*, No. RS-G1.7, Vienna, 2004.
9. J. VAN DER STEEN, A.W. VAN WEERS NRG, *Radiation Protection in NORM Industries*; IRPA 11 Refresher Course 5A, Madrid, 27 Mei 2004.
10. TOSHISO KOSAKO, NOBUYUKI SUGIURA, HIDENORI YONEHARA,

- Development of Radiation Protection
on TENORM, Japan Journal Health
Physic 3, March 2005.*
11. ICRP 2007 Recommendations of the
International Commission on
Radiological Protection ICRP
Publication 103.
 12. PART N, *Regulation and Licensing of
The Technologically Enhanced
Naturally Occuring Radioactive
Materials (TENORM) Implementation
Guidance for Regulation and Licensing
of TENORM*, Part N of the Suggested
State Regulations for Control of
Radiation (SSRCR) Vol. 1, April 2004.
 13. *Kerangka Acuan Seminar Nasional IV
Keselamatan, Kesehatan dan
Lingkungan*, Agustus 2008.

HEAVY ION THERAPY FOR CANCERS AND THE PROJECT OF GUNMA UNIVERSITY

Takashi Nakano, MD, PhD

Professor of Radiation Oncology Department, Graduate school of Medicine
Gunma University

In 1994 a Phase I/II clinical study on carbon ion radiotherapy was initiated at NIRS in Chiba, Japan using carbon beams generated by HIMAC, the heavy ion accelerator dedicated to medical use. Carbons have the most optimal properties for cancer treatment because of the superior dose conformity and strong cell killing effect which are characteristic properties of high-LET radiation,. The purpose of the clinical study was to investigate the efficacy of carbon ion radiotherapy against a variety of tumors as well as to develop effective techniques for delivering an efficient dose to the tumor. The RBE of carbon ions was estimated to be 2.0 to 3.0 along the SOBP for acute skin reactions. As of August 2006, a total of 2,867 patients had been entered into Phase I/II or Phase II studies and analyzed for toxicity and local tumor response. The results have shown that carbon ion radiotherapy has the potential ability to provide a sufficient dose to the tumor with acceptable morbidity in the surrounding normal tissues. Tumors that appear to respond favorably to carbon ions include locally advanced tumors and those with histologically non-squamous cell type of tumors such as adenocarcinoma, adenoid cystic carcinoma, malignant melanoma, hepatoma, and bone/soft tissue sarcoma. The efficacy of treatment regimens with small fractions in short treatment times has been confirmed for almost all types of tumors in carbon ion radiotherapy.

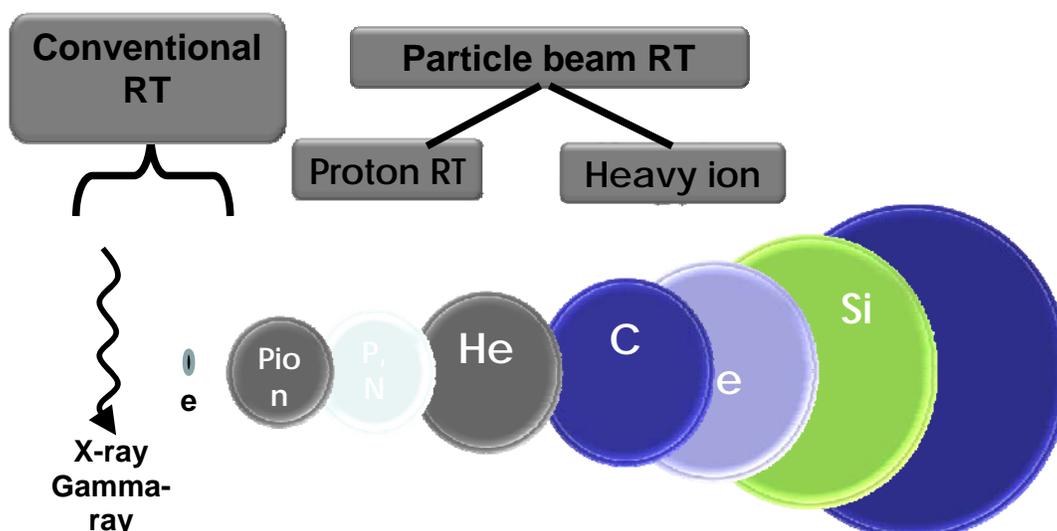
Gunma University has focused on the heavy-ion radiotherapy which is function-conservative and less-invasive cancer-treatment engaging improvement of patient QOL and social rehabilitation, and has prepared to install a heavy ion treatment system in our campus from 2001, the first such university facility in Japan.

Gunma University Heavy Ion Medical Center (GHMC) was established on June 1st, 2005, with a mission to promote heavy-ion beam cancer therapy based on radiation biology and clinical studies. A further aim is to promote the development of a cadre of specialists with professional skills in this innovative field of medicine. The heavy ion radiotherapy facility will provide a comprehensive cancer treatment system centered around heavy-ion radiotherapy at the University Hospital, carry out comparative clinical trials using other

treatment approaches and also combinations of them. In addition, we will conduct research on applying indications of heavy-ion radiotherapy to small-sized cancers, benign tumors such as pituitary tumors, and also to cerebrovascular disease, by developing high precision carbon-ion micro-surgery techniques.

The cancer treatment facility in GHMC will be the smallest of its kind in Japan. It is approximately 45 m x 65 m and 15 m high, including a synchrotron with a 20 m diameter to accelerate carbon ions up to 70% of light speed. Patients are irradiated in three treatment rooms. This facility will be the first compact heavy-ion irradiation system for wide-spread use. The research and development has been promoted mainly by NIRS. Gunma University began construction of the facility in 2006 and clinical trials are scheduled to begin in fiscal 2010 under a joint project with Gunma Prefecture. It is hoped the facility will be a centerpiece in the cooperation with medical institutions in the region, in order to establish an advanced and integrated medical care system for cancers in the Gunma medical district. The Center will serve as a model for implementing regional heavy-ion treatment centers throughout Japan.

Classification of radiotherapy



Heavy particles are defined as particles whose molecular weight are larger than that weight of Helium

Heavy ion has two major advantage over X-rays !

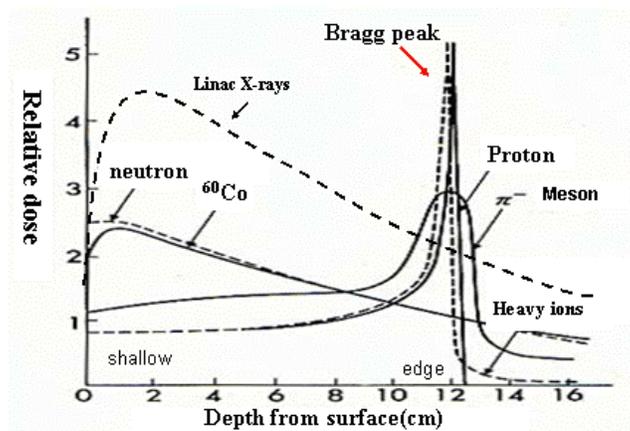
Physical aspect:

- ✚ Superior dose-accumulation to X-rays

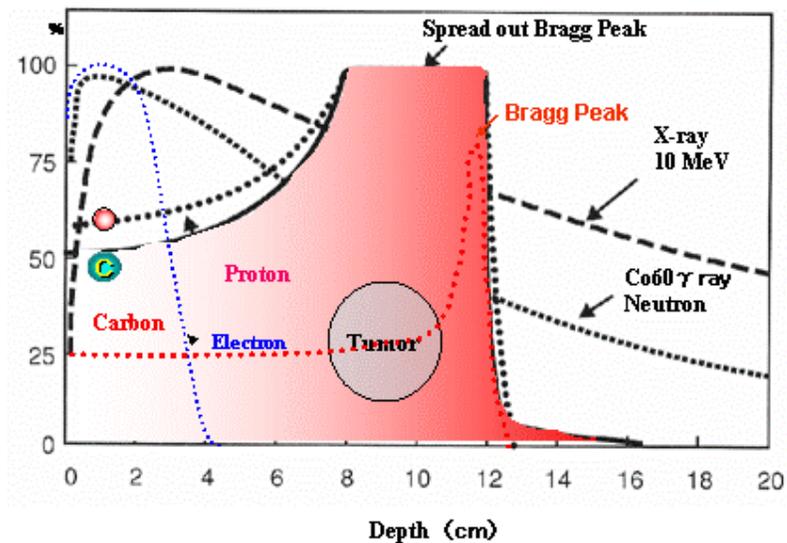
Biological aspect:

- ✚ Stronger cell killing power than X-rays

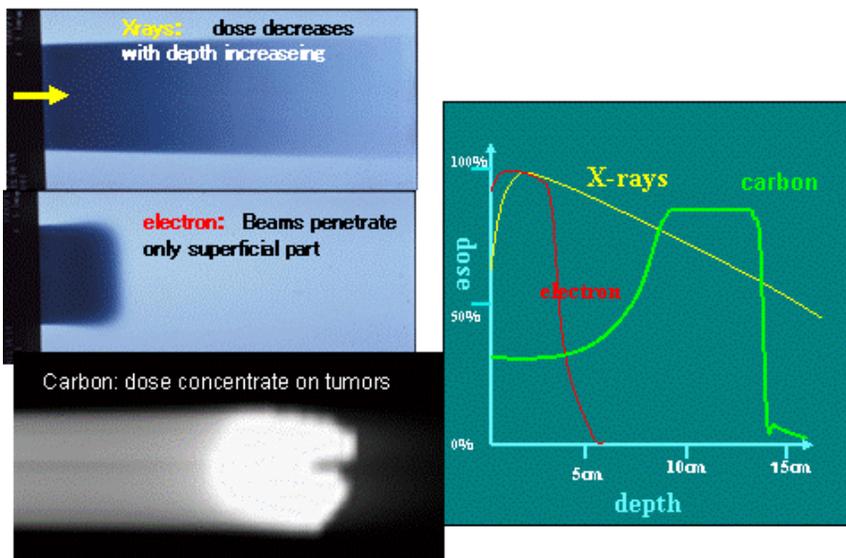
Characteristics of Particles for Medical Use



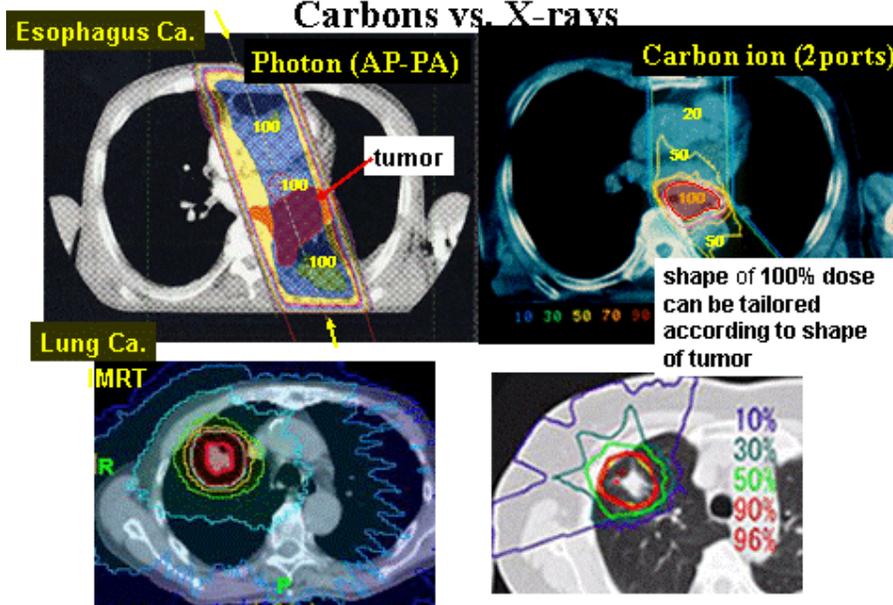
Dose Distributions of Various Particles



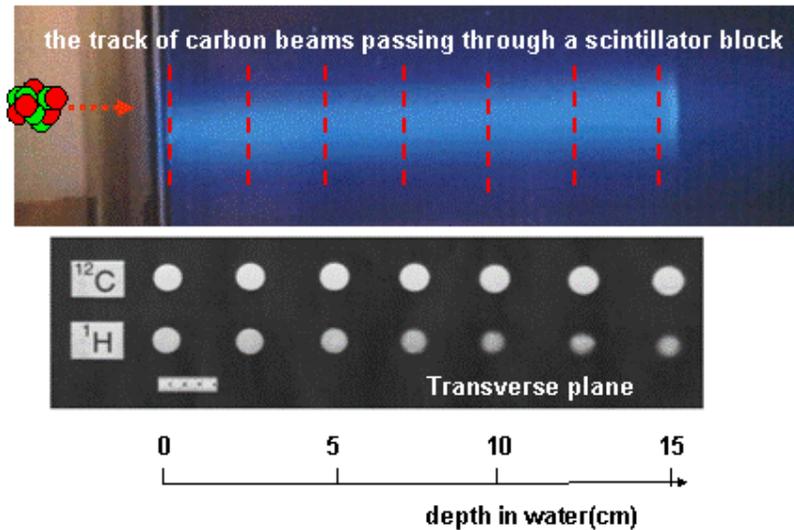
Dose distribution of X-rays, E-beams, Carbons



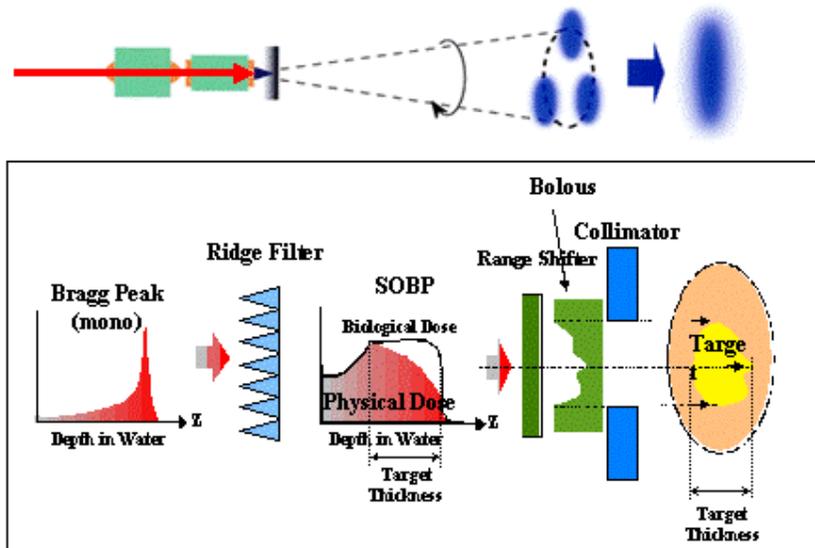
Comparison of Dose Distribution Carbons vs. X-rays



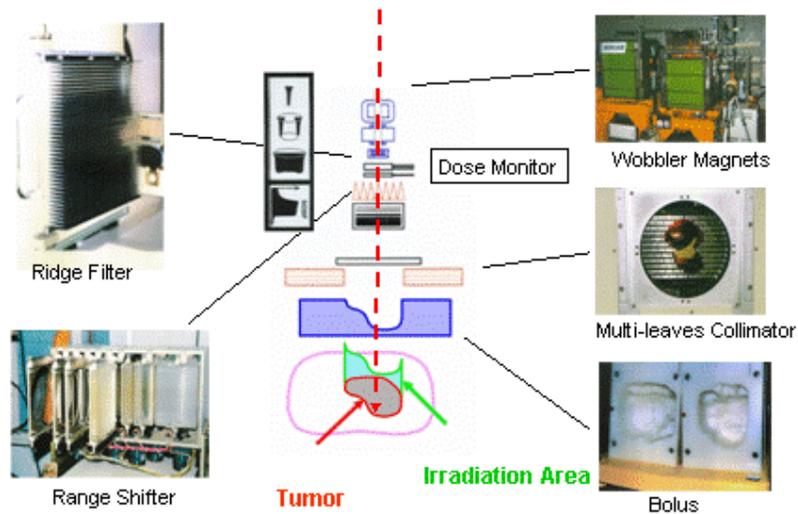
Comparison of penumbra Carbon vs Proton



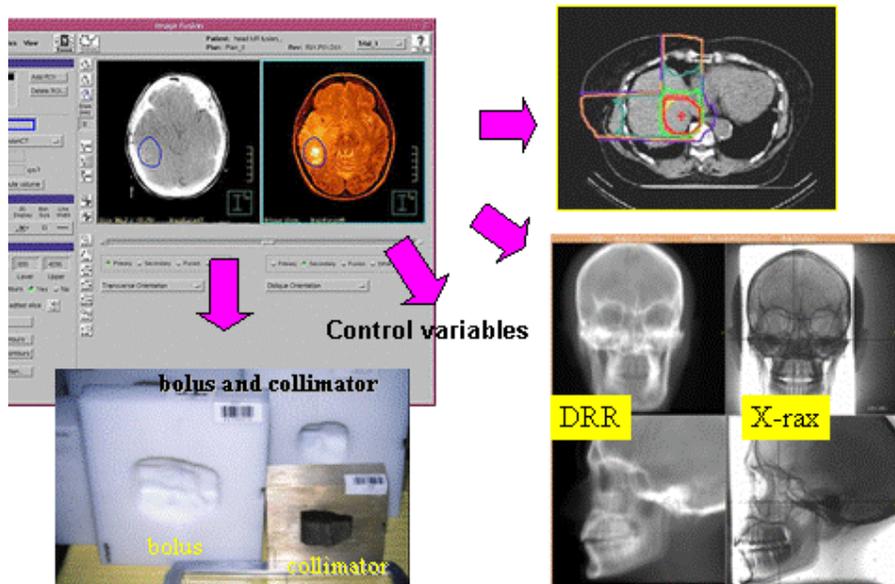
SOBP Creation by Wobblers Magnets & Ridge Filter of HIMAC



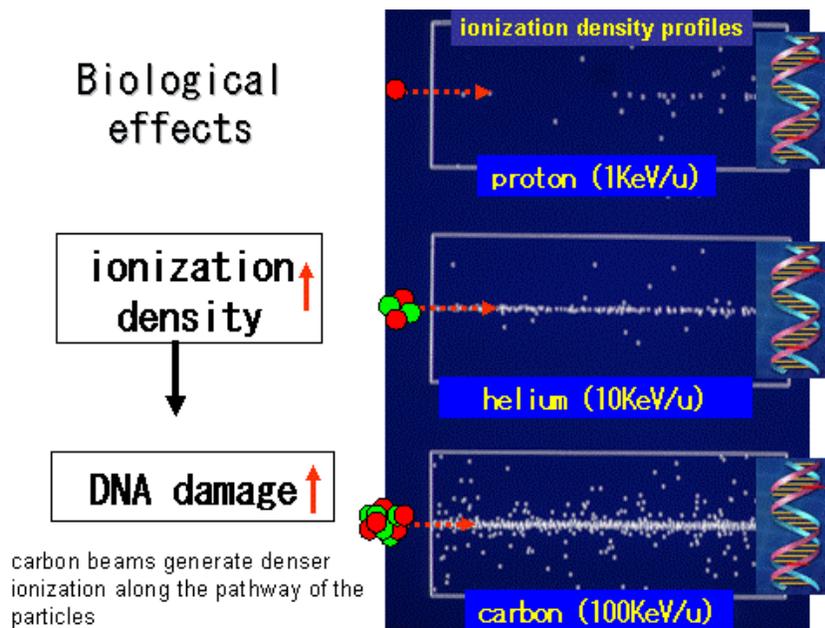
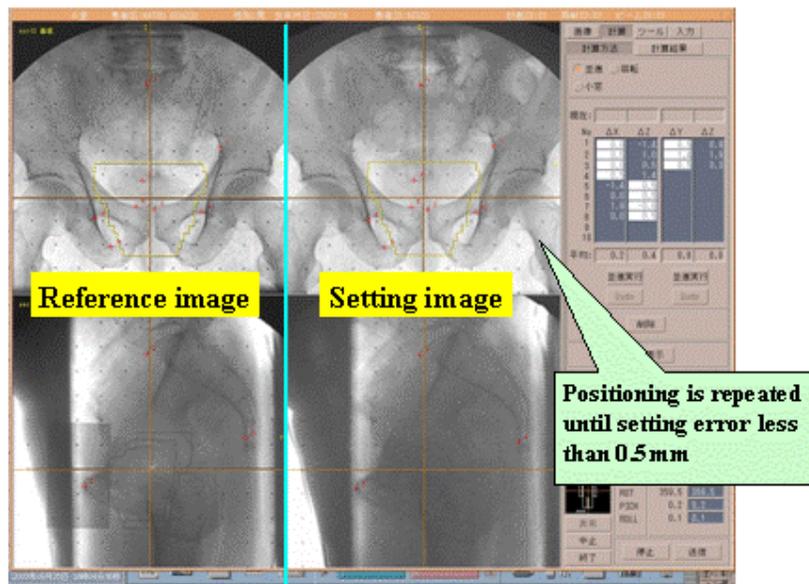
Apparatus of HIMAC Beam Port



Treatment Planning System



Patient setting with X-ray setting system



Microscopic dose localization photons and carbons

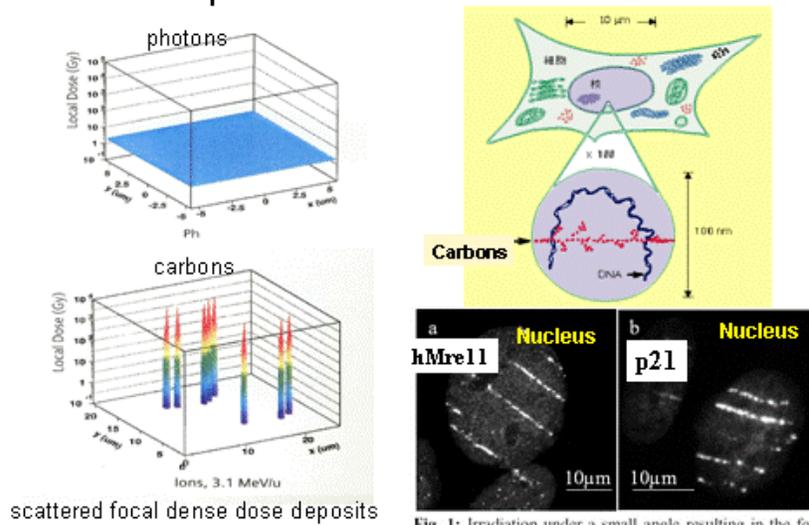
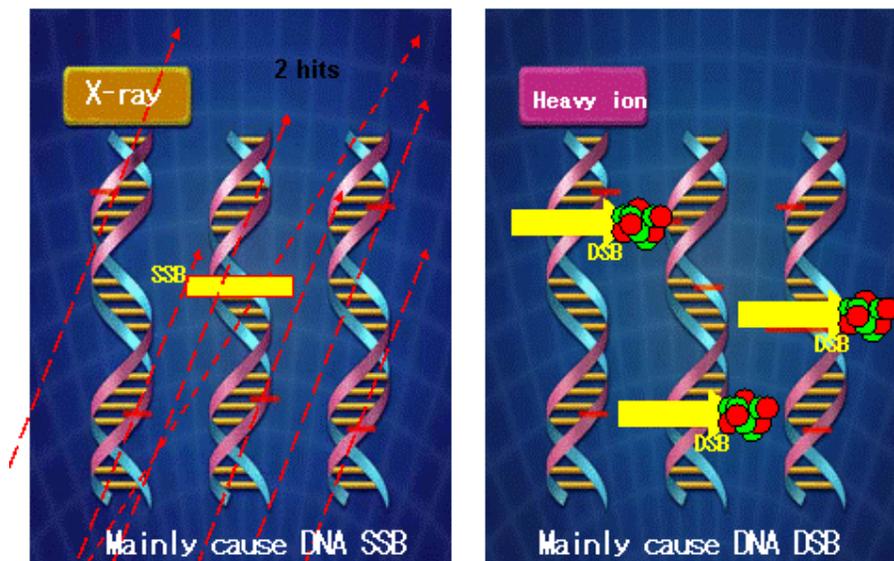
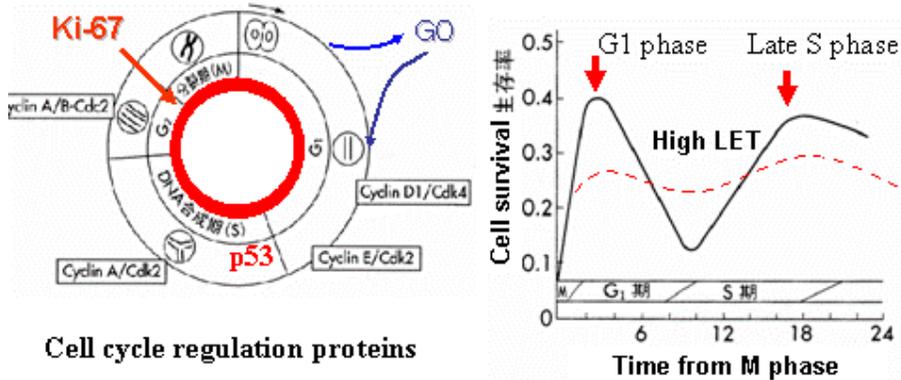


Fig. 1- Irradiation under a small angle resulting in the foc...

DNA damage caused by X-rays and Heavy ions

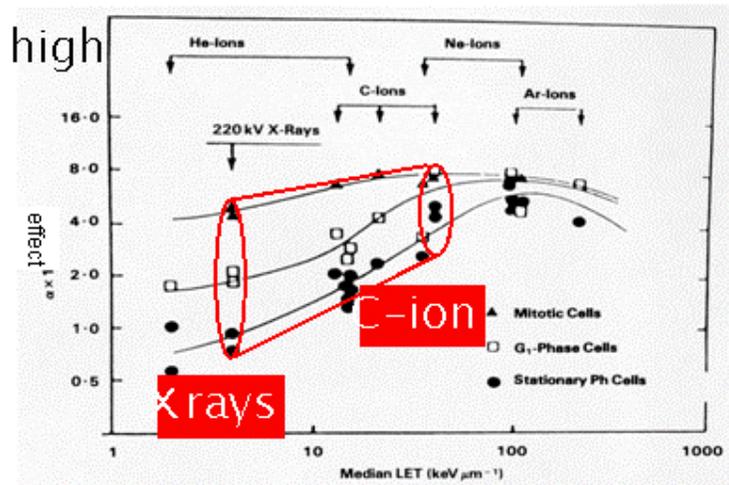


Radiation sensitivity by cell cycle



Cell cycle regulation proteins

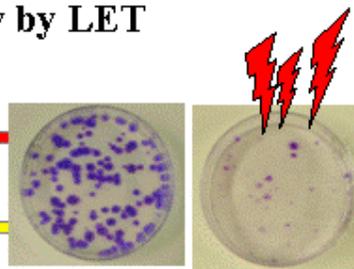
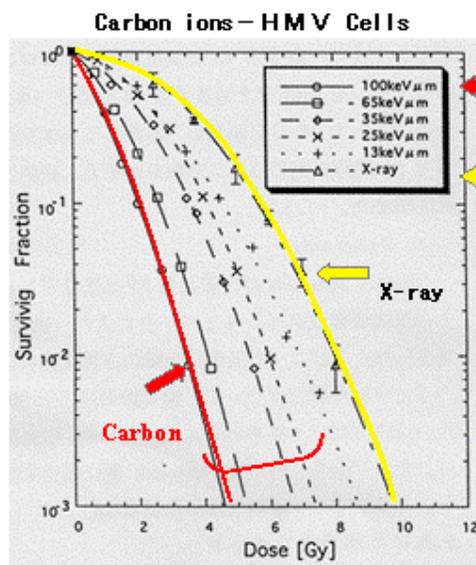
Difference of Radiation sensitivity by cell age



J.D.Chapman, Radiation. Biology in cancer research

Difference of radiation sensitivity of carbons is smaller than x-ray

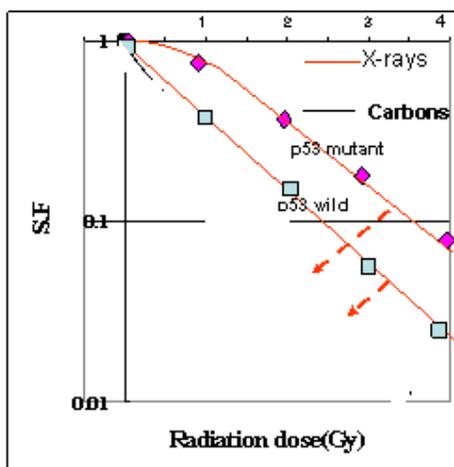
Radiation sensitivity by LET



*High LET Effect
 Biological effect is 2-3 times
 stronger than X-rays

Radiation sensitivity of carbons and X-rays by p53 status

NMT-1: Ovarian cancer cell line
 established by M.Nozaki



- ◆ NMT-1 : p53 wild type
 (Radiosensitive) RBE = 1.41
- ◆ ■ NMT-1R: p53 mutant type
 (Radioresistant) RBE = 2.16

R.B. response to carbon is
 same between NMT-1 and
 NMT-IR

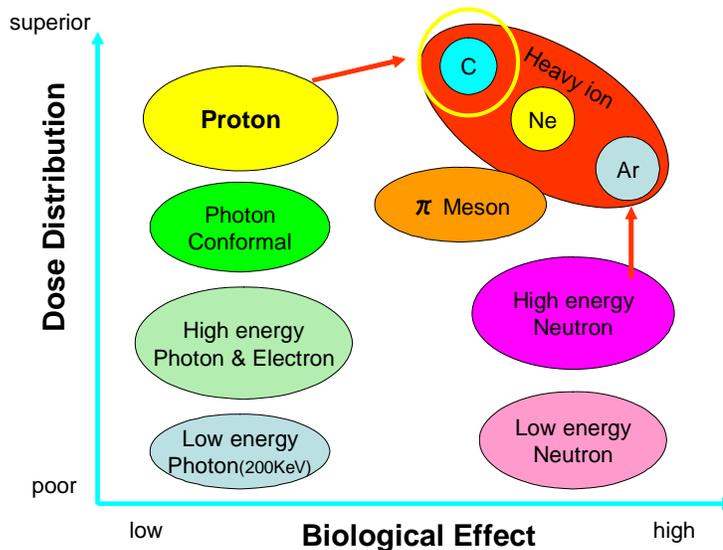
R.B. response to carbons is
 independent of p53 status

T.Takahashi

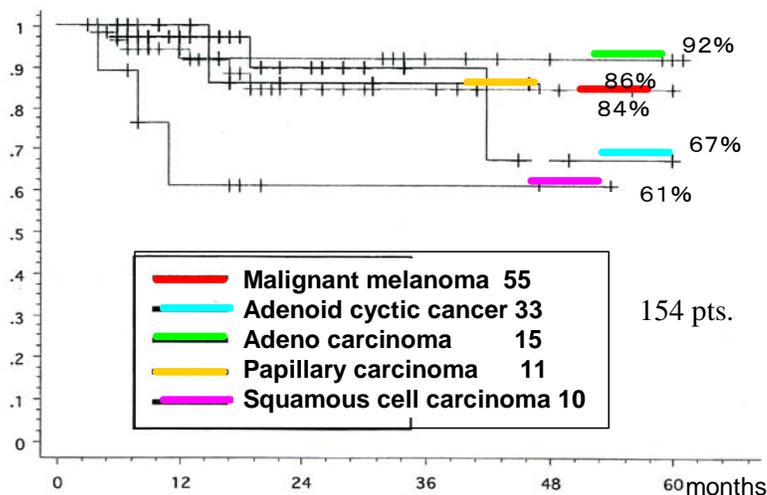
Biological Benefits of High-LET Particles

- **Decreased oxygen enhancement ratio (Low OER),**
→ may be effective to hypoxic tumor
- **Diminished capacity of sublethal and potentially lethal damage repairs (Low recovery)**
→ may be effective to highly repairable tumor
- **Diminished cell cycle dependent radio-sensitivity (Cell age independency)**
→ may be effective to slow growing tumor
- **Less benefit of fractionated treatment**
can decrease no. of fraction and treatment time
→ ideal for rapidly proliferative tumor
→ can decrease patient load → in out patient clinic
→ can treat more patients than proton treatment

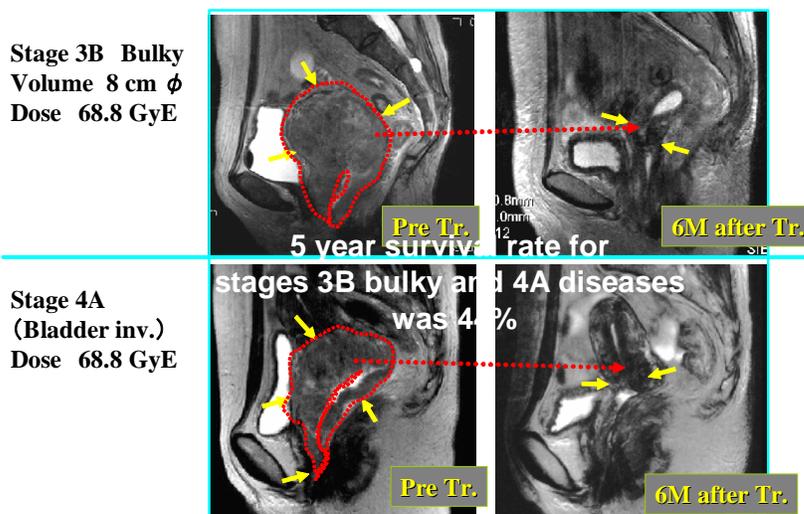
Characteristics of Various Particles



Heavy ion therapy for Head and Neck Cancer Phase II (1997-2003) Local control rate



Carbon Beam Therapy for Advanced Cervical Cancer



**CURRENT RESEARCH AND DEVELOPMENT ON HEALTH EFFECTS OF
RADIATION
(REVIEW PAPER)**

Bambang Wispriyono* and Fatma Lestari**

* Dean of Faculty of Public Health, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424, Indonesia

** Occupational Health and Safety Department, Faculty of Public Health, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424, Indonesia

ABSTRACT

The health effects from radiation exposure may cause adverse health effects including cancer, genetic mutation, chromosome changes and reproductive health. This paper highlight the current research and development on health effects based on review paper submitted to the International Seminar on Occupational Health and Safety 2008, and information retrieved from published papers.

Keywords: safety regulation for radioactive transport, risk identification, radioactive transportation.

**Review on OHS International Seminar
on health effects of radiation**

The health effects from radiation exposure may cause adverse health effects including cancer, genetic mutation, chromosome changes and reproductive health. In this seminar, several current researches related to radiation and health effects including nuclear radiation, radiation generated from mobile phone, computer as well as high voltage radiation will be discussed. The scientific and technology development in the area of nuclear and non-nuclear radiation has to be in conjunc-

tion with the awareness of occupational health and safety aspects.

The harmonization between those areas are currently has not fully achieve particularly in the area of nuclear and non-nuclear. In order to improve this, it is necessary to build a communication forum to find the solution for today's problems and next generation.

This forum is expected to be a place where the scientific communication can be achieve between the researchers, scientists, industry and observer in the area of nuclear and non

nuclear radiation. This seminar also intended to provide opportunities for those related parties to exchange current information, research and development within these areas.

This OHS International Seminar will be part of several activities during the 43rd Anniversary of Public Health Faculty. It is organized together with 4th National Seminar on Environmental Health and Safety with the event organizer Faculty of Public Health Universitas Indonesia, OHS Department, and Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN. There are 41 (forty one) papers are presented from various institutions including Department of Man Power, Department of Health, Universities, Industries, OHS Associations, students and other relevant stakeholders.

Effects generated from High Voltage Powerlines to the community are also discussed.

How does radiation cause health effects?^{1,2}

Radioactive materials that decay spontaneously produce ionizing radiation, which has sufficient energy to strip away electrons from atoms (creating two charged ions) or to break some chemical

bonds. Any living tissue in the human body can be damaged by ionizing radiation in a unique manner. The body attempts to repair the damage, but sometimes the damage is of a nature that cannot be repaired or it is too severe or widespread to be repaired. Also mistakes made in the natural repair process can lead to cancerous cells. The most common forms of ionizing radiation are alpha and beta particles, or gamma and X-rays.

Early Radiation Effects

If received at high enough doses, the first effects of radiation are the killing of cells and tissues. Illnesses collectively called “acute radiation syndrome” may occur a few days after exposure to high-dose radiation (1 Sv or more). Principal signs and symptoms are diarrhea from damage to the intestines, reduced blood cell counts and bleeding from damage to bone marrow, hair loss due to damaged hair-root cells, and temporary male sterility.

Radiation Effects on a Cell^{1,2}

When a cell absorbs radiation, there are four possible effects on the cell. First, the cell may suffer enough damage to cause loss of proper function, and the cell will die. Second, the cell may lose its

ability to reproduce. Third, the cell's genetic code (i.e., the DNA) may be damaged such that future copies of the cell are altered, which may result in cancerous growth. Finally, the absorption of radiation by a cell may have no adverse effect.

Cells are made up of molecules. Cell damage may be caused by interaction of radiation with these molecules. If radiation strikes a molecule crucial to the cell's function, such as DNA, damage to the cell is likely to be greater than if the radiation strikes a less crucial molecule such as water.

Some cells are more likely to be affected by radiation than others. Cells that multiply rapidly are the most susceptible. Cells can often repair radiation damage, but if the cell multiplies (splits into two identical cells) before it has had time to repair the most recent radiation damage, the new cells might not be accurate copies of the old one. Some examples of rapidly multiplying cells are those in a fetus and cancer cells.

Health Effects of Radiation

Health effects of radiation are divided into two categories: threshold effects and non-threshold effects. Threshold effects appear after a certain level of radiation

exposure is reached and enough cells have been damaged to make the effect apparent. Non-threshold effects can occur at lower levels of radiation exposure.

Threshold effects occur when levels of radiation exposure are tens, hundreds, or thousands of times higher than background, and usually when the exposure is over a very short time, such as a few minutes. Some examples of observed threshold effects and the doses which cause them are presented in Table 1. Dose is measured in rem or millirem. (1,000 millirem = 1 rem).

Table 1. Threshold Effects	
Dose (in rem)	Effects
5 to 20	Possible latent effects (cancer), possible chromosomal aberrations
25 to 100	Blood changes
More than 50	Temporary sterility in males
100	Double the normal incidents of genetic defects
100 to 200	Vomiting, diarrhea, reduction in infection resistance, possible bone growth retardation in children
200 to 300	Serious radiation sickness, nausea
More than 300	Permanent sterility in females
300 to 400	Bone marrow and intestine destruction
400 to 1000	Acute illness and early death (usually within days)

Non-threshold effects can occur at any level of radiation exposure, but the risk of harmful health effects generally increases with the amount of radiation absorbed. The most studied non-threshold effect is cancer. These studies are somewhat complicated by the facts that (1) not all cancers are caused by radiation, (2) exposure to a particular dose may cause cancer in one person but not another, and (3) the cancer often doesn't appear until many years after the exposure to radiation. It is currently impossible to determine which cancers are caused by radiation and which are caused by other carcinogens in our environment.

Susceptibility to radiation-induced cancer depends on a number of factors such as the site of exposure in the body, sex, and age. Sites in the body where cells rapidly grow and multiply, and those where radioactive materials tend to concentrate, are more susceptible to cancer than others. For example, the breast and thyroid gland have relatively high susceptibilities to radiation-induced cancer, while the kidney and nerve cells have lower susceptibilities.

Radiation Effects on Populations

Because it is impossible to predict the effect of low levels of radiation on any

one person, studies of the human health effects of radiation are usually done by trying to predict how many people in a large population might be affected. The result of such a study is usually a prediction of how many people in a population of 100,000 or a million may get cancer due to a specific radiation exposure. The predicted cancers due to this specific radiation exposure are in addition to cancers that would normally be expected in the selected population.

The number of additional cancers expected in a population is calculated in two steps. First, the dose (in rems) to an average person in a population is multiplied by the number of persons in that population. The answer is given in person-rems. Then that answer is divided by the number of person-rems that produce one cancer in the population. The final result is the number of additional cancers expected.

Possible Health Effects of Radiation Exposure on Unborn Babies³

With recent discussion about the possibility of a terrorist attack involving radioactive materials, some people may be concerned about radiation exposure to unborn babies. The Centers for Disease Control and Prevention (CDC) has

prepared this fact sheet to help you understand the possible health effects to your unborn baby from exposure to radiation.

Prenatal Radiation Exposure

The exposure of an unborn baby to radiation is referred to as prenatal radiation exposure. This can occur when the mother's abdomen is exposed to radiation from outside her body. Also, a pregnant woman who accidentally swallows or breathes in radioactive materials may absorb that substance into her bloodstream. From the mother's blood, radioactive materials may pass through the umbilical cord to the baby or concentrate in areas of the mother's body near the womb (such as the urinary bladder) and expose the unborn baby to radiation.

The possibility of severe health effects depends on the gestational age of the unborn baby at the time of exposure and the amount of radiation it is exposed to. Unborn babies are less sensitive during some stages of pregnancy than others. However, unborn babies are particularly sensitive to radiation during their early development, between weeks 2 and 15 of pregnancy. The health consequences can be severe, even at radiation doses too low

to make the mother sick. Such consequences can include stunted growth, deformities, abnormal brain function, or cancer that may develop sometime later in life. However, since the baby is shielded by the mother's abdomen, it is protected in the womb from radioactive sources outside the mother's body. Consequently, the radiation dose to the unborn baby is lower than the dose to the mother for most radiation exposure events.

Pregnant women should consult with their physicians if they have any concern about radiation exposure to their unborn baby.

Increased Cancer Risk **Radiation exposure before birth can increase a person's risk of getting cancer later in life.**

Unborn babies are especially sensitive to the cancer-causing effects of radiation. However, the increased risks depend on the amount of radiation to which the baby was exposed and the amount of time that it was exposed. For example, if the radiation dose to the unborn baby was roughly equivalent to 500 chest x-rays at one time, the increase in lifetime cancer risk would be less than 2% (above the normal lifetime cancer risk of 40 to 50%).

Other Risks from Radiation Exposure
Health effects other than cancer from radiation exposure are not likely when the dose to the unborn baby is very low.

Most researchers agree that babies who receive a small dose of radiation (equal to 500 chest x-rays or less) at any time during pregnancy do not have an increased risk for birth defects. The only increased risk to these babies is a slightly higher chance of having cancer later in life (less than 2% higher than the normal expected cancer risk of 40 to 50%).

During the first 2 weeks of pregnancy, the radiation-related health effect of greatest concern is the death of the baby.

The unborn baby is made up of only a few cells during the first 2 weeks of pregnancy. Damage to one cell can cause the death of the embryo before the mother even knows that she is pregnant. Of the babies that survive, however, few will have birth defects related to the exposure, regardless of how much radiation they were exposed to.

Large radiation doses to the unborn baby during the more sensitive stages of development (between weeks 2 and 15 of pregnancy) can cause birth defects, especially to the brain.

When an unborn baby is exposed to large doses of radiation (above the dose received from 500 chest x-rays) during the more sensitive stages of development (especially between weeks 8 and 15 of pregnancy), the health consequences can be severe, especially to the brain. Babies exposed to the atomic bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki during the 8- to 15-week stage of pregnancy were found to have a high rate of brain damage that resulted in lower IQs and even severe mental retardation. They also suffered stunted growth (up to 4% shorter than average people) and an increased risk of other birth defects.

Between the 16th week of pregnancy and birth, radiation-induced health effects (besides cancer) are unlikely unless the unborn baby receives an extremely large dose of radiation.

In the 16- to 25-week stage of pregnancy, health consequences similar to those seen in the 8- to 15-week stage could occur, but only when the doses are extremely large (more than about 5,000 chest x-rays received at one time). At this dose level, the mother could be showing signs of acute radiation syndrome, which is sometimes known as radiation sickness.

After the 26th week of pregnancy, the radiation sensitivity of the unborn baby is similar to that of a newborn.

At the 26th week of pregnancy, the unborn baby is fully developed though not fully grown. Unborn babies exposed to radiation in the womb during this stage of pregnancy are no more sensitive to the effects of radiation than are newborns. This means that birth defects are not likely to occur, and only a slight increase in the risk of having cancer later in life is expected.

Hiroshima and Nagasaki Bomb⁴

Through interviews with survivors shortly after the bombings, researchers estimated that the distance from the bombsites at which 50 percent of people survived to be 1,000 to 1,200 meters (about two-thirds to three-fourths of a mile) in Hiroshima and 1,000 to 1,300 meters in Nagasaki. As methods for estimating individual radiation have improved, researchers later estimated the bone marrow dose at which 50 percent of people survived (LD₅₀) to be about 3.5–4.5 Sv. The closer people were to the bombsites, the greater the dose of radiation, as well as the severe effects of

the blast and heat, and there is no information on classification of immediate deaths.

The immune system is also vulnerable to radiation immediately after exposure. In people who received large doses of A-bomb radiation, two vital parts of the immune system—lymphocytes and bone marrow stem cells—were severely damaged. Two months after exposure, marrow stem cells recovered and death due to infection generally ended. Studies in recent years have indicated some longer-lasting radiation effects on the immune system, though much smaller than described above.

Radiation's Link To Cancers

Excess cancer risk is a delayed effect of radiation exposure, although it is not possible to distinguish whether a cancer in a particular person is caused by radiation or other factors. In contrast to early effects of radiation that kill cells and damage tissues, late radiation effects result from genetic changes in living cells. One of the most important findings is that exposure to radiation increases rates of most types of cancer, basically in proportion to radiation dose.

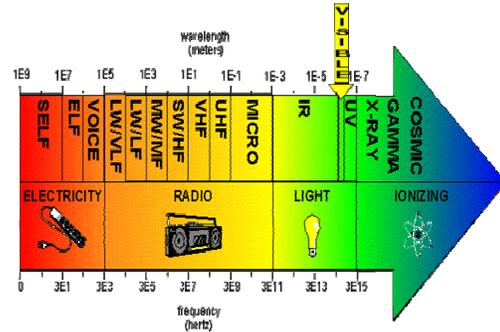
The exact mechanisms that lead to cancer are not clear, but it is believed that the

process requires a series of mutations accumulated over periods of years. Because it takes many years before a cell and its descendants acquire a sufficient number of changes to result in clinical disease, excess cancers attributable to radiation (except leukemia) are often not evident until decades after exposure.

Non-ionizing Radiation⁵

Non-ionizing radiation is electromagnetic radiation that does not have sufficient energy to remove electrons from the outer shells of atoms. Types of non-ionizing radiation are: ultraviolet (UV), visible light, infrared (IR), microwave, radio (and television), and extremely low frequency (ELF, sometimes referred to as EMF or ELF-EMF).

Non-ionizing radiation is produced by a wide variety of products in the home and in the workplace, from lasers to power lines, tanning beds to household appliances, cellular phones to radios.



The primary health effect from high exposure levels of non-ionizing radiation arises from heat generation in body tissue. Worldwide, scientists have conducted years of research looking for other potential health effects and many of these efforts are ongoing. In spite of this, we know less about non-ionizing radiation than we do about ionizing radiation. Most of the health effects that have been observed occur at much higher levels than those to which most people are exposed.

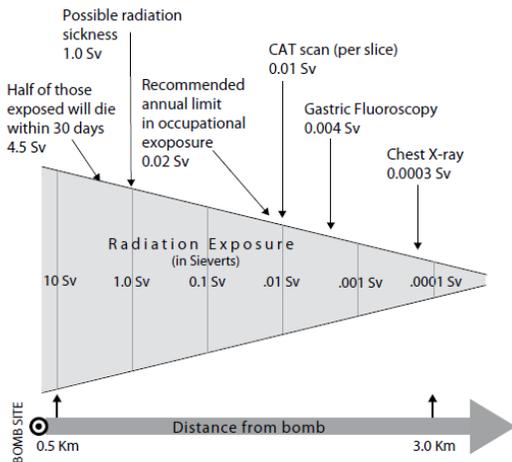


Figure 1. The chart shows the approximate radiation exposure (in Sieverts) in relation to a person's distance from the bombsite and provides a comparison with other radiation exposures.

References

1. Radiation facts and health effects. Available at: <http://www.metrokc.gov/health/radiation/facts.htm>

2. US-EPA. Radiation and Health.
Available at: http://www.epa.gov/rpdweb00/understand/health_effects.html
3. Audeen W. Fentiman, Mitchell Smith
Joyce E. Meredith. What Are the
Health Effects of Ionizing Radiation?
Available at: http://www.ag.ohio-state.edu/~rer/rerhtml/rer_24.html
4. Possible Health Effects of Radiation
Exposure on Unborn Babies.
<http://www.bt.cdc.gov/radiation/prenatal.asp>
5. National Academy of Sciences. 2003.
Health effects of Radiation. Available
at: www.nationalacademies.org/brer
6. Non-ionizing Radiation. Available at:
www.radiationcontrol.utah.gov/DRC_nion.htm

RADIATION PROTECTION OF PATIENT IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Djarwani S. Soejoko

Physics Department, Faculty of Mathematics and Sciences, University of Indonesia
djarwani@fisika.ui.ac.id

ABSTRACT

Diagnostic radiology represents the largest source of man-made radiation exposure to population. According to Basic Safety Standards medical exposure should be justified and optimized. Justified is related with a net benefit, whereas optimization means patient dose should be as low as possible to minimize deterministic and stochastic effect of ionizing radiation. Dose reference levels (DRLs) or dose guidance levels should be established and used for optimization. Rapid development in diagnostic radiology in the country is identified by the installment of several advanced technological equipment, and extending new procedures in practices. However this country has not yet established national DRLs. Therefore it is proposed to have a team work who will responsible to determine and maintain national DRLs.

INTRODUCTION

To work with ionizing radiation in medical practices is specific. Just like two sides of coin, at one side it is so effective for diagnosis and therapy of diseases, while on the other side it can make hazardous to health. However the benefits to patients from properly procedures have promoted the widespread use of ionizing radiation in medical radiology. In general the application of ionizing radiation can be classified into 3 areas. The most well known is diagnostic radiology which involves with X rays for imaging. Nuclear medicine uses radio-pharmaceuticals for diagnostic imaging and internal radiotherapy as well. The

third area is radiotherapy where ionizing radiations are used for treatment of cancer by either external therapy or brachytherapy. Here in this opportunity the center of discussion will be in diagnostic radiology.

Exposure from medical procedures contribute a largest proportion of annual dose to population than any other form of man -made radiation. Moreover the major man-made sources of radiation come from diagnostic radiology. An example of annual dose to UK population is illustrated in Table 1.

Estimation of UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) in 2000, the worldwide annual per caput effective

Table 1. Annual contribution to dose to the UK population from different sources of radiation (NRPB 1994) [1].

Source	Percentage (%)
<i>Natural</i>	
Cosmic rays	10
Gamma rays from ground and buildings	14
Internal from food and drink	11.5
Radon and thoron	50
<i>Man made</i>	
Medical	14
Other (nuclear discharges, occupational, fall out)	0.5

Table 2. Worldwide doses from ionizing radiation in 2000 [2, 3]

Source	Worldwide annual per caput effective dose (mSv)
Natural background	2.4
Diagnostic medical examinations	0.4
Atmospheric testing	0.005
Chernobyl accident	0.002
Nuclear power production	0.0002

dose from diagnostic medical examinations is shown in Table 2.

Basic Safety Standards state that medical exposures should be justified and optimized [4]. Medical exposure for diagnostic is justified if there will be a net benefit. Optimized means that the patient dose should be as low as possible in order to minimize deleterious effect of radiation with the image quality is good enough to give diagnosis information. According to Medical Exposure Directive 97/43/Euratom, diagnostic reference level

should be established and used, as an aid of optimization [5].

Why patient doses in diagnostic radiology should be given special attention? Because at least one third of all patients who need medical treatment also require diagnostic medical imaging to obtain a correct diagnosis for leading to a given eventual treatment [6]. Rapid development of equipment and techniques in diagnostic radiology is inclined to increase patient dose. The collective effective dose to population from diagnostic X ray examinations is

estimated more than 90% of the dose from all diagnostic medical examinations [7].

Radiation protection of patients in diagnostic radiology

Regulation of radiological protection is based not only on scientific knowledge of harmful effects, but also on ethical values and principles [8]. Moreover it is stated that evolution of radiological protection during twentieth century can be divided into 3 stages:

1. *Until 1950s*, when scientific community has already recognized biological effect of ionizing radiation, particularly carcinogenic and hereditary effect, radiation protection was based on how to protect individuals from deterministic injury, and keeping the dose below the threshold values. Population health care is not yet considered, low doses were considered beneficial.
2. *From 1950s*, particularly at the end of the 1970s, besides deterministic effect, stochastic effect was also considered, radiation protection paid attention on individual as a member of society, and leading to principles of justification and optimization. Patient protection was already considered,

however the implementation was still optional in medical field.

3. *Since 1990*, protection individuals and human rights have been reflected in either legal aspects or science. The ICRP is revising recommendations, stated that all individuals have the right equally to be protected from ionizing radiation to a certain dose level. This principle gave the impact to the regulation of patient protection.

The Council of the European Union (MED 97/43, 1997) introduced the concept of diagnostic reference levels (DRL) as a tool for optimizations and quality assurance, requiring regular assessment of patient dose and comparison with the DRLs [7]. In BSS this DRLs is called guidance levels of dose and also recommended to be revised as technology improved [4]. Moreover for member of state countries that do not have national reference levels for radiography and fluoroscopy it is recommended to use the provided values in BSS. These guided values are only appropriate for standard adult patients, therefore in applying these values size and age patient should be considered. It should be noted that the guided levels of dose for procedures using new

technology are not yet available in BSS. The procedures that included in the new technology techniques are mostly digital imaging, computed and digital radiography, digital fluoroscopy, digital mammography, and interventional radiology.

Biological effect from low level dose of ionizing radiation

It is already well known that biological effect of ionizing radiation can be categorized as deterministic and stochastic effect. Deterministic effects require a threshold dose before biological effects can be detected. These are due to cell killing, therefore if the small amounts cells are killed there will no significant clinical effect. On the contrary if there are enough amount killed cells, the obvious clinical effect can be observed. For examples of these effects are skin erythema, epilation, and opacification of the lens of the eye. The threshold dose is at about 150 mGy [1], and at higher dose the deterministic effect is a direct function of dose. Further it is stated that threshold doses for the sensitive deterministic effects are above the doses received by patients in conventional radiography. However there have been reported to FDA (Food and Drug Administration) between January 1992

and October 1995 the incidents of radiation-induced skin injuries in patients from interventional procedures [9].

Stochastic effects are due to DNA damage and inducing neoplasm or hereditary diseases. This effect is dealing with probability at low doses, it is estimated that even a single ionizing radiation may capable of interacting with DNA. The severity of the effect is dose independent whereas their frequency is linearly increased with the dose [1, 10]. Moreover the mean latent period, the time from exposure to clinical appearance is 7 – 10 years for leukemia and about 20 years for solid tumor [10]. The potential for increased stochastic effects may be a major issue of public health [11].

Patient Dose from Diagnostic radiology in Indonesia

Development of diagnostic radiology equipment in the country is promising. Recently several hospitals, either government or private hospitals in big cities, have installed equipment for implementation of up to date technology that most of which are provided with computers. For examples various type of Computed tomography (CT), such us spiral CT, multi slice CT, and double source CT. There are also other digital

radiography and fluoroscopy, such as computed radiography, digital mammography, digital fluoroscopy, and digital angiography.

There are more than 5000 X ray units in the country, and out of which not less than 550 units are in Jakarta. Most of diagnostic radiology procedures are conventional radiography which result low dose to patient. Only few percent procedures are digital and interventional radiology which are conducted with advanced technology equipment and involve with high dose to patients.

Cardiology and interventional radiology are procedures that develop rapidly in the country. These procedures are specific, there is no different between diagnostic and therapy. Since these procedures are minimally invasive, high society demands increase the number of patients. In addition, these procedures are conducted either by radiologists or non-radiologists. However these procedures are high risk from radiation protection point of view for either patient or staff members. Of course the other clinical specialities other than radiologists maybe have not been informed about justification and optimization in these interventional procedures. It is our tasks to disseminate this information that

justification and optimization requirements in their practices are involving public health either today or the future of population.

Until recently we do not have national dose reference level, even for conventional radiography and fluoroscopy. Therefore for optimization it is recommended to apply BSS dose guided levels. Of course patient doses represented by entrance surface dose (ESD) for several procedures have been measured sporadically; however these small data are not enough for determining the national dose reference levels. For having national dose reference levels, it is necessary to have a national team work from multidiscipline. This team will continuously update either annual DRL or additional values from new procedures in practices.

REFERENCES

1. DENDY P. P. AND HEATON B, *Physics for Diagnostic Radiology*, Institute of Physics Publishing, London 1999.
2. SHRIMPTON P. C., The role of United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation in relation to medical radiation exposures, *Proceedings on Inter-*

- national Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Malaga, Spain 26 – 30 March 2001, p 71-76.*
3. METTLER F. A., Radiological risks associated with the various uses of radiation in medicine within the context of their associated benefits, *Proceedings on International Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Malaga, Spain 26 – 30 March 2001, p119-127.*
 4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. International Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, Safety Series 115, Vienna, 1996.
 5. FAULKNER K., BOSMANS H., O'BRIEN R., WHITAKER C. J., Editorial, Optimization of dose and performance in interventional and digital imaging, *Radiation Protection dosimetry*, vol. 117, No. 1-3, 2005, p 1-2,.
 6. OSTENSEN H., Global view on the radiological protection of patients: The World Health Organization position, *Proceedings on International Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Malaga, Spain 26 – 30 March 2001, p 67-70.*
 7. SERVOMAA A., Current level of radiation dose to patients, *Proceedings on International Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Malaga, Spain 26 – 30 March 2001, p 129 – 143.*
 8. AZUARA J. A., Opening Address, *Proceedings on International Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Malaga, Spain 26 – 30 March 2001, p 7-9.*
 9. T. B. SHOPE, Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy, *Imaging and Therapeutic Technology*, Vol. 16, No. 5, 1996.
 10. REHANI M. M., Protection of Patients in General Radiography, *Proceedings on International Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic*

- and Inter-ventional Radiology,
Nuclear Medicine and Radiotherapy,
Malaga, Spain 26 – 30 March 2001, p
169-178.*
11. EFSTATHOPOULOS E. P.,
BROUNTZOS E. N.,
ALEXOPOULOU E., ARGENTOS
S., KALEKIS D. A., RAPTOU P. D.,
KELEKIS N. L., Patient radiation
exposure measurements during
interventional procedures: A
prospective study, *Health Physics*,
Vol. 1, No, 1, p36 – 40, 2006.

QUALITY OF LIFE IN MEN TREATED WITH CARBON ION THERAPY FOR PROSTATE CANCER

Masaru Wakatsuki

Department of Radiation Oncology, Graduate School of Medicine, Gunma University

Purpose:

To prospectively assess patient quality of life (QOL) after carbon ion radiotherapy (C-ion RT) for prostate cancer using established questionnaires.

Methods and Material:

The subjects were 150 patients who underwent C-ion RT. Of these, 25 patients with low-risk prostate cancer received C-ion RT alone, while the remaining 125 patients with a high-risk tumor also received androgen deprivation therapy. QOL was assessed using the self-administered Functional Assessment of Cancer Therapy-Prostate (FACT-P) questionnaire in all patients three times. In addition, the University of California, Los Angeles, Prostate Cancer Index (UCLA-PCI) was conducted in the low-risk patients to assess urinary, bowel and the sexual function in detail.

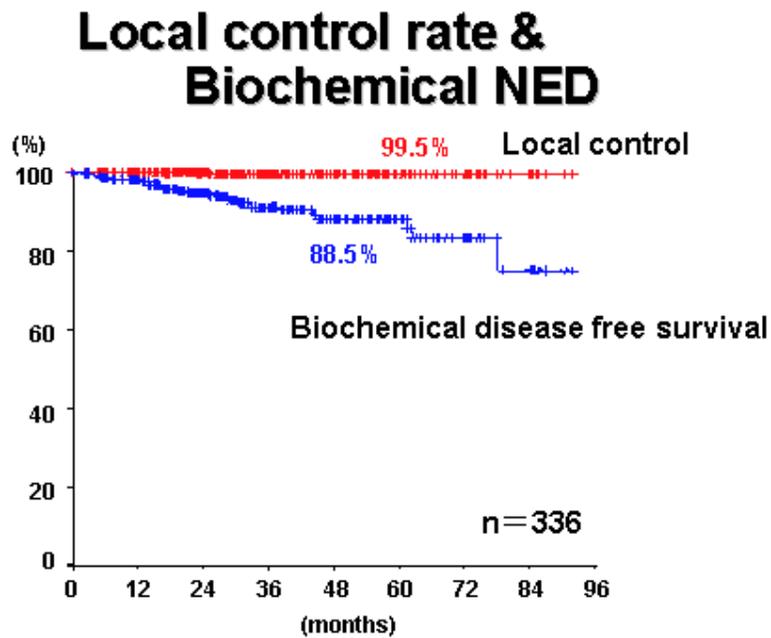
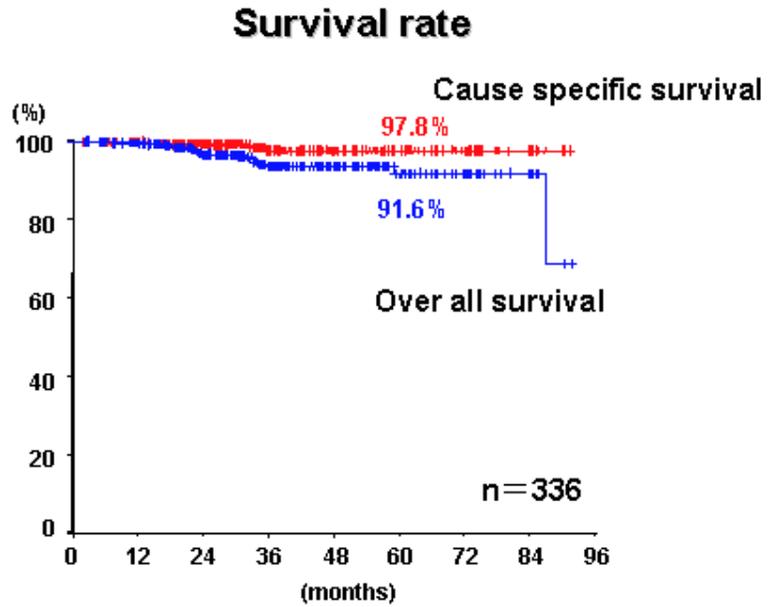
Results:

FACT-General (FACT-G) and FACT-P scores at 12 months after treatment averaged over all 150 patients showed no significant change compared to those before C-ion RT. In the FACT-P subscales, emotional well-being increased significantly just after and 12 months after treatment. In contrast, physical well-being (PWB) and social/family well-being (S/FWB) decreased significantly at 12 months after treatment, while the prostate cancer subscale (PCS) decreased significantly just after treatment. Average scores for FACT-G, FACT-P, PWB, S/FWB and PCS for the 125 patients receiving hormone therapy showed substantial detrimental changes at 12 months. In contrast, those of the 25 low-risk patients who had no hormone therapy showed no significant change. Similarly no significant change in the average of the UCLA-PCI scores in the low-risk patients was seen at 12 months, although bowel and sexual function showed a transient decrease just after C-ion RT.

Conclusions:

Average QOL parameters reported by patients with localized prostate cancer treated with C-ion RT, in the absence of hormone therapy, showed no significant decrease 12 months after C-ion RT.

BACKGROUND



Comparison to other modalities (high risk patients)

Institutes	RTx	Dose	No. of pts.	Biochemical NED (iPSA>20)
MDAnderson CC. ¹⁾	Conventional	67-77Gy	197	51 %
Fox Chase CC. ²⁾	3DCRT	≥76Gy	232	26-63 %
Cleveland CF. ³⁾	IMRT	70Gy/28f	100	70 %
Loma Linda U. ⁴⁾	Proton	75CGE	901	45 %
NIRS	Carbon	66.0GyE	147	87 %

1) IJROBP 48(2); p507-512, IJROBP 48(3); p635-642, 2000

2) IJROBP 46(4); p823-832, 2000

3) IJROBP 63(5); p1463-1468, 2005

4) IJROBP 59(2); p348-352, 2004

Late morbidity

Institutes	RTx	Dose	No. of pts.	Morbidity ≥ G2	
				Rectum	GU
MDAnderson CC. ¹⁾	Conventional	67-77Gy	189	14.8 %	8.5 %
Fox Chase CC. ²⁾	3DCRT	≥76Gy	232	11.0 %	7.0 %
Cleveland CF. ³⁾	IMRT	70Gy/28f	100	5.0 %	8.0 %
Loma Linda U. ⁴⁾	Proton	75CGE	901	3.5 %	5.4 %
NIRS	Carbon	66.0GyE	287	2.1 %	7.0 %

1) IJROBP 48(2); p507-512, IJROBP 48(3); p635-642, 2000

2) IJROBP 46(4); p823-832, 2000

3) IJROBP 63(5); p1463-1468, 2005

4) Strahlenther Oncol 176; p3-8, 2000

Purpose

- Carbon ion radiotherapy is better biochemical NED than the other modalities, and is about equal to or less than the other modalities in late morbidities.
- In particular, investigation of **HRQOL** is an important part of feasibility and usefulness assessments of novel treatment modalities.

METHODOLOGY

- We conducted a prospective study of HRQOL according to our phase II study protocol to assess the usefulness of **carbon ion radiotherapy (C-ion RT)** in the treatment of prostate cancer.
- **QOL** was investigated using the Functional Assessment of Cancer Therapy for Prostate Cancer Patients (**FACT-P**) questionnaire in all patients, and additionally with the University of California, Los Angeles, Prostate cancer index (**UCLA-PCI**) in the low-risk group.
- The questionnaires were self-administered by the patients three times, **before C-ion RT, just after C-ion RT, and 12 months after C-ion RT.**

About FACT-P

- **FACT-P**, a validated questionnaire which has been frequently used to assess **QOL** in men with clinically localized and advanced prostate cancer, consists of the FACT-general questionnaire (**FACT-G**) and the Prostate Cancer Subscale (**PCS**).
- **The FACT-G** is a 29-item self-report questionnaires that measures general QOL in cancer patients via four subscales for physical well-being (**PWB**), functional well-being (**FWB**), social/family well-being (**S/FWB**), and emotional well-being (**EWB**)

FACT SCALE

(No. of items)

- | | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| ①. PWB (7) | physical condition, side effect etc. |
| ②. S / FWB (9) | correlation of friends, family etc. |
| ③. EWB (6) | nerves, sad etc. |
| ④. FWB (7) | work, enjoy life etc. |
| ⑤. PCS (12) | pain, urination, erection etc. |

(ranges of scores 0·4 / item)

Higher score indicates better results.

Patients' clinical characteristics

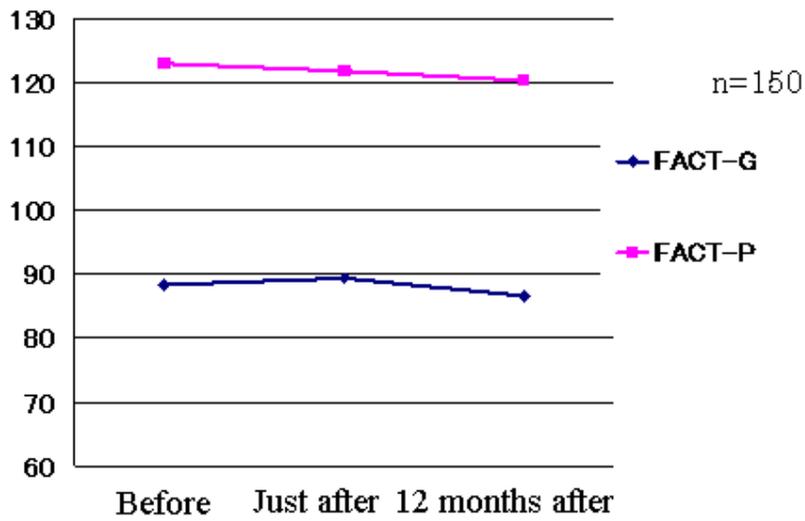
Median age (years)	69 (53-83)
Median PSA at diagnosis (ng/mL)	16.6(3.4-260)
	Number of patients
Clinical tumor classification (UICC 1997)	
T1c	46
T2a	25
T2b	20
T3a,b	59
Gleason score	
≤6	45
7	70
≥8	35
hormone therapy	
(+)	125
(-)	25

FACT-G and subscales in all patients

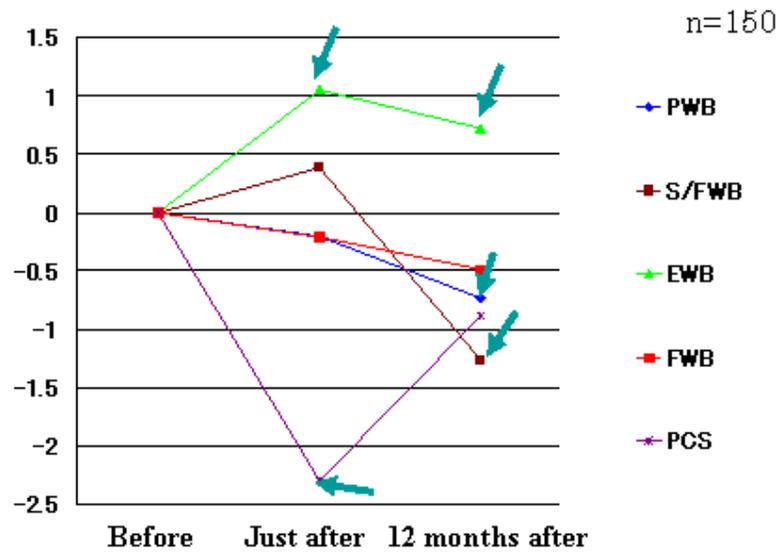
	Before C-ion RT	Just after	12months
FACT-G	88.3 ± 14.2	89.3 ± 14.9	85.5 ± 16.2
FACT-P	123.1 ± 18.5	121.8 ± 19.6	120.4 ± 21.1
PWB	24.9 ± 3.3	24.7 ± 3.3	24.2 ± 4.0*
FWB	21.2 ± 5.9	21.0 ± 5.9	20.7 ± 6.6
S/FWB	23.3 ± 7.0	23.6 ± 7.2	22.0 ± 8.1*
EWB	19.0 ± 4.1	20.0 ± 3.8*	19.7 ± 3.9*
PCS	34.8 ± 6.2	32.5 ± 6.9*	33.9 ± 6.8

* P <0.05

FACT-G, FACT-P



subscales in all patients



Results 1

FACT-G and subscales in all patients

- **FACT-G** and **FACT-P** scores at just after and 12 months after treatment averaged over all 150 patients showed **no significant change** compared to those before C-ion RT.
- In the FACT-P subscales, **EWB scores** increased significantly just after and 12 months after treatment. In contrast, **PWB** and **S/FWB scores** decreased significantly at 12 months after treatment, while **PCS score** decreased significantly just after treatment.

Discussion 1

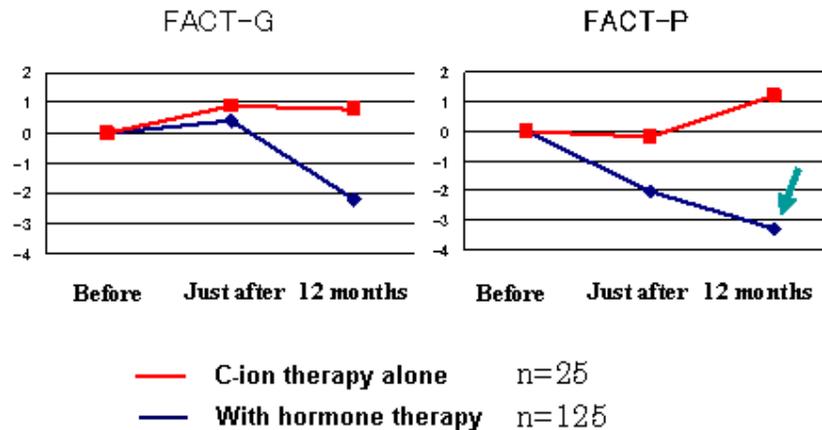
- **EWB scores** increased significantly after C-ion RT in this study. **EWB scores** shows increased in the other studies, such as prostate cancer received brachytherapy study and head and neck cancer received chemoradiotherapy study. These results suggest that curative radiation therapy improves EWB in several cancers.
- **PWB** and **PCS scores** decreased significantly after C-ion RT in our study. We thought that these results caused the hormonal therapy.

FACT-G and subscales in the patients with or without hormonal therapy

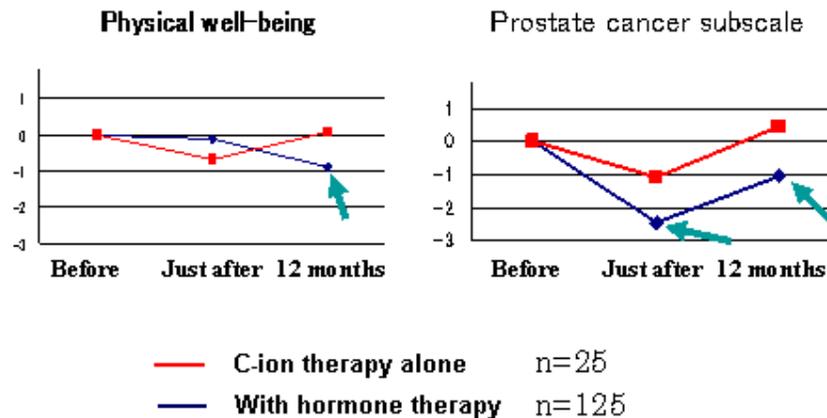
	C-ion therapy alone			With hormonal therapy		
	Before C-ion RT	Just after	12 months	Before C-ion RT	Just after	12 months
FACT-G	88.4 ± 13.2	89.2 ± 11.3	89.1 ± 13.6	86.1 ± 19.4	85.5 ± 21.2	83.9 ± 21.7*
FACT-P	122.6 ± 19.8	122.4 ± 16.6	123.8 ± 20.3	120.0 ± 26.1	118.0 ± 28.4	116.7 ± 29.1*
F/WB	25.2 ± 3.6	24.6 ± 3.0	25.3 ± 3.7	24.8 ± 3.2	24.7 ± 3.3	23.9 ± 4.0*
F/WB	21.3 ± 4.8	20.9 ± 4.4	21.4 ± 5.5	20.7 ± 6.6	20.3 ± 6.8	20.1 ± 7.3
S/FWB	22.9 ± 6.0	23.5 ± 6.2	21.9 ± 6.1	22.7 ± 7.7	22.9 ± 8.1	21.3 ± 8.8
E/WB	19.0 ± 4.0	20.3 ± 3.1	20.5 ± 3.5	19.0 ± 4.1	20.0 ± 3.8	19.7 ± 3.9
PCS	34.2 ± 7.7	33.1 ± 7.2	34.6 ± 7.8	33.9 ± 8.0	31.5 ± 8.7*	32.9 ± 8.8*

* p < 0.05 + p < 0.1

FACT-G and FACT-P in the patients with or without hormonal therapy



subscales in the patients with or without hormonal therapy

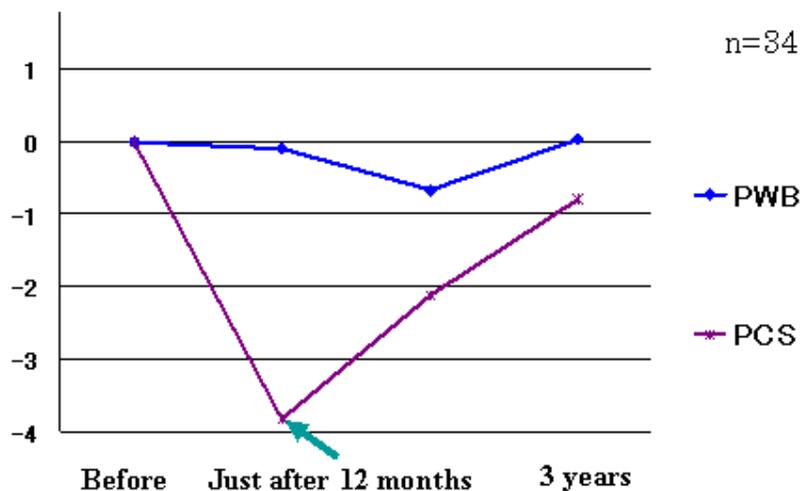


Result 2

FACT-G and subscales in the patients with or without hormonal therapy

- Average scores for **FACT-G**, **FACT-P**, **PWB**, and **PCS** scores for the 125 patients receiving hormone therapy showed **substantial detrimental changes** at 12 months.
- In contrast, all scores for the 25 low-risk patients who had no hormone therapy showed **no significant change**.

PWB and PCS scales in the patients with hormonal therapy



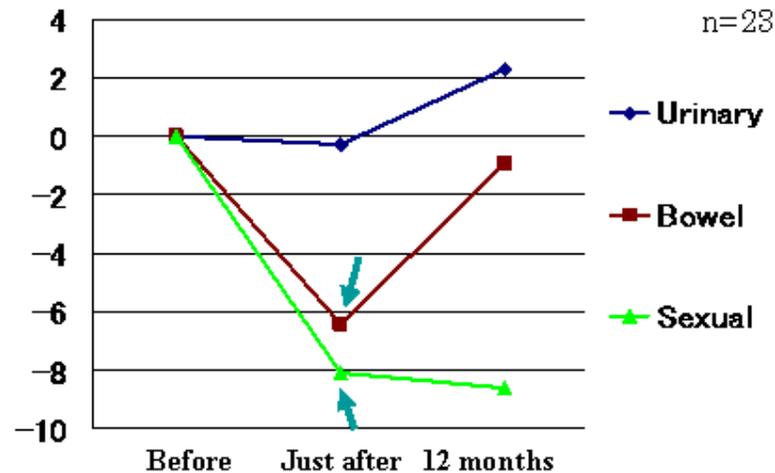
UCLA-PCI in the patients received C-RT alone

	Before C-ion RT	Just after	12 months
Urinary function	82.5 ± 19.7	82.0 ± 23.5	86.1 ± 19.8
Urinary bother	79.2 ± 27.3	70.0 ± 28.5	78.1 ± 27.9
Bowel function	90.3 ± 12.1	84.0 ± 12.1*	89.6 ± 12.1
Bowel bother	95.8 ± 15.9	85.4 ± 19.4*	90.6 ± 17.8
Sexual function	38.9 ± 21.3	31.0 ± 20.2*	30.7 ± 22.7
Sexual bother	72.9 ± 20.7	82.3 ± 27.1	71.8 ± 36.4

* p < 0.05

N=25

UCLA-PCI in the patients received C-RT alone



Result 3

UCLA-PCI in the patients received C-RT alone

- **UCLA-PCI** scores show similar results for FACT-P result in the patients received C-RT alone. **No significant changes** in the average of the UCLA-PCI scores were seen at 12 months.

CONCLUSION

- We investigated the change of QOL in the patients received with Carbon-ion radiotherapy for prostate cancer.
- Average over all patients, C-ion RT produced no significant change in FACT-G or FACT-P scores.
- For patients receiving hormone therapy the average FACT-G, FACT-P, PWB, and PCS scores at 12 months after C-ion RT tended to be lower than those reported prior to C-ion RT.
- In contrast, these average scores tended to remain stable or increase in patients receiving C-ion RT therapy alone.
- Similarly no significant change in the average of the UCLA-PCI scores in patients receiving C-ion RT therapy alone were seen at 12 months.
- Average QOL parameters reported by patients with localized prostate cancer treated with C-ion RT, in the absence of hormone therapy, showed no significant decrease 12 months after C-ion RT.
- With regard to HRQOL at least, these results suggest that the duration of adjuvant hormone therapy should be shortened in patients receiving C-ion RT combined with hormone therapy
-

RISK PERCEPTION

Ridwan Z Syaaf

Faculty of Public Health, Department of Occupational Health and Safety
University of Indonesia

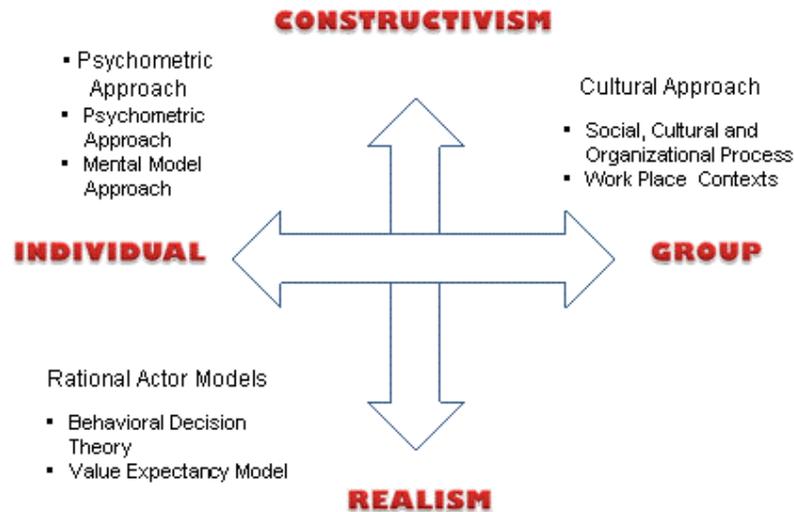
BACKGROUND

WHY?

- Perceived Risk vs Actual Risk
- Risk Perception vs At-Risk Behavior
- Compliance Behavior
- Risk Communication

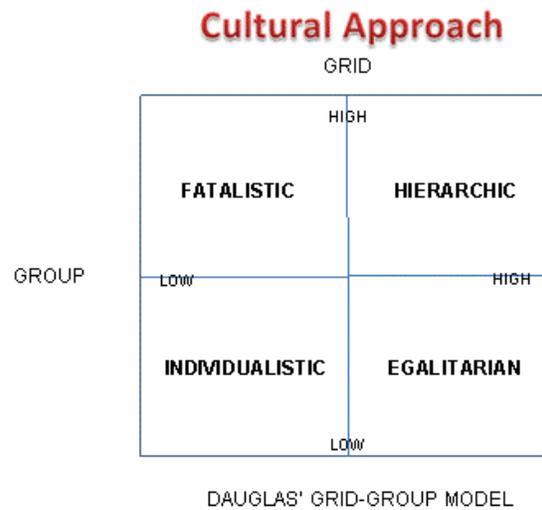
HOW PEOPLE PERCEIVED RISK?

Please see in followed figure.



PSYCHOMETRIC APPROACH:

- Voluntary vs Involuntary
- Immediately vs delayed
- Known vs not known
- Chronic vs chatastropic
- Common vs dread
- Fatal vs non fatal
- Control vs Uncontrol



RISK COMMUNICATION

- Individual
- Sociocultural

----- 000 -----

**PEMANDULAN *Anopheles macullatus* SEBAGAI VEKTOR PENYAKIT MALARIA
DENGAN RADIASI GAMMA Co-60**

Siti Nurhayati**, *Devita Tetriana**, *Ali Rahayu dan *Budi Santoso*****

***)** Pustek Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

****)** Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi

ABSTRAK

PEMANDULAN *Anopheles macullatus* SEBAGAI VEKTOR PENYAKIT MALARIA DENGAN RADIASI GAMMA Co-60. Pengendalian nyamuk *Anopheles sp* sebagai vektor penyakit malaria dapat dilakukan dengan Teknik Serangga Mandul (TSM). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis radiasi yang efektif memandulkan salah satu vektor penyakit malaria yaitu *Anopheles macullatus*. Iradiasi gamma dilakukan terhadap 100 ekor nyamuk jantan stadium dewasa masing-masing dosis 0, 90, 100, 110, dan 120 Gy dengan laju dosis 108,959 Krad/jam. Setelah diiradiasi nyamuk dikawinkan dengan betina normal dengan jumlah yang sama dan diamati jumlah telur yang dihasilkan, prosentase penetasan telur untuk setiap dosis radiasi, dan kelangsungan hidup nyamuk. Dari hasil pengamatan diperoleh data bahwa dosis radiasi 90 Gy dapat memandulkan 65%, 100 Gy memandulkan 77%, 110 Gy memandulkan 97%, dan 120 Gy memandulkan 99% dibandingkan dengan kontrol. Keturunan yang dihasilkan dari perkawinan antara nyamuk jantan yang diiradiasi 110 dan 120 Gy dengan nyamuk betina normal tidak dapat diikuti perkembangan hidupnya karena mengalami kematian. Dari hasil litbang ini disimpulkan bahwa dosis radiasi 110 Gy dianggap sebagai dosis yang paling efektif untuk memandulkan nyamuk *Anopheles macullatus* sebagai vektor penyakit malaria. Hasil penelitian ini masih harus didukung dengan penelitian lanjutan mengenai daya saing kawin dan bionomik nyamuk pasca iradiasi.

Kata kunci : malaria, Anopheles sp., TSM, sinar gamma

ABSTRACT

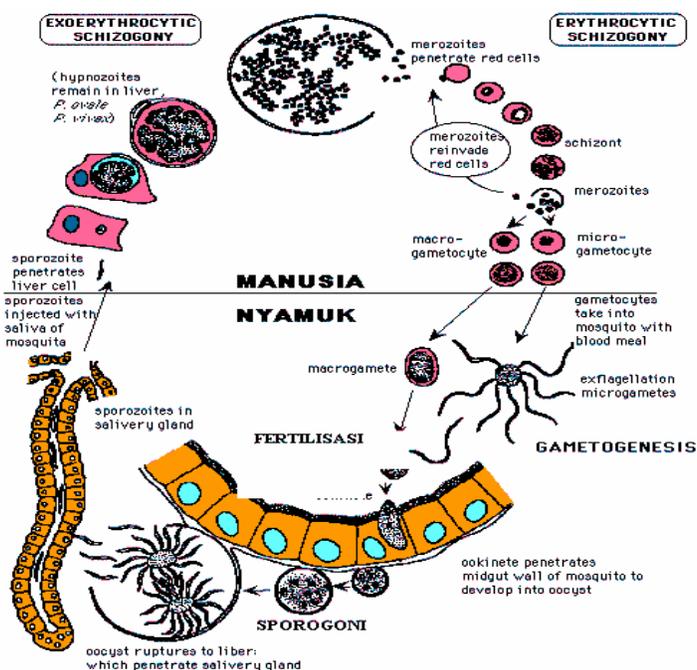
STERILIZING *Anopheles macullatus* AS MALARIAL DISEASE VECTOR WITH GAMMA RADIATION OF Co-60. Controlling *Anopheles sp* mosquito as malarial disease can be carried out by Sterile Insect Technique (SIT). This research aimed to determine the effective dose of radiation for controlling one of malarial disease vectors. Gamma irradiation to 100 male mosquitos/doses of adult stadium was done with doses of 0, 90, 100, 110 and 120 Gy at a dose rate of 108,959 Krad/hour. After irradiation, mosquito was mated with normal female at the same number and the number of egg resulted, the percentage of hatch for each radiation dose and their survival were observed. The results showed that irradiation dose of 90 Gy could sterilized 65%, 100 Gy sterilized 77%, 110 Gy sterilized 97% and 120 Gy sterilized 99% compared to control. The first generation resulted from the mating of 110 and 120 Gy irradiated male with normal female could not be followed their subsequent living because they were already dead. From this research it can be summarized that irradiation dose of 110 Gy can be assumed as most effective dose for sterilizing *Anopheles macullatus* as malaria vector. This result should be supported by further research on mating competitiveness and bionomic of irradiated mosquito.

Keywords : malaria, Anopheles sp., SIT, gamma rays.

PENDAHULUAN

Penyakit malaria disebabkan oleh adanya infeksi parasit *Plasmodium sp* yang dapat ditularkan dari orang sakit ke orang yang sehat melalui gigitan nyamuk betina *Anopheles sp* sebagai vektornya. Tercatat ada 4 spesies parasit penyebab penyakit malaria, yaitu *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium vivax* dan *Plasmodium falciparum*. *Plasmodium falciparum* adalah parasit yang paling ganas, karena

dapat menyebabkan kematian terutama anak-anak balita dan ibu hamil. Siklus hidup *Plasmodium* penyebab penyakit malaria meliputi siklus aseksual dan seksual (Gambar 1). Parasit atau sporozoit yang ditularkan lewat nyamuk biasanya masuk ke dalam hati dan berubah menjadi merozoit, masuk ke aliran darah, menginfeksi dan berkembang biak sehingga merusak sel darah merah dan menyebabkan demam pada penderita (masa inkubasi)^{1,2}.



Gambar 1. Siklus hidup Plasmodium penyebab penyakit malaria².

Pemberantasan penyakit malaria dilakukan dengan cara pengobatan terhadap penderita dan penanggulangan vektornya. Dengan demikian pemberantasan vektor merupakan usaha yang sangat penting di dalam program penganggulangan penyakit malaria tersebut. Penyakit malaria merupakan penyakit yang sampai saat ini masih menjadi masalah utama kesehatan masyarakat di dunia dan Indonesia karena belum bisa ditangani secara tuntas^{3,4}. Penyakit malaria ini tidak hanya menyerang daerah tropis, tetapi juga menyerang daerah sub tropis di seluruh dunia. Kematian banyak terjadi pada negara-negara yang menjadi daerah endemik malaria, antara lain negara-negara asia tenggara termasuk Indonesia, India, Meksiko, Haiti, Amerika tengah dan negara-negara di Afrika⁵. Sebagai negara endemik, masalah malaria di Indonesia sering dialami oleh para penduduk yang tinggal di areal persawahan dekat dengan hutan. Peningkatan kasus malaria setiap tahun yang terjadi di daerah Indonesia bagian timur antara lain diakibatkan oleh adanya pembukaan daerah baru yang tidak terkontrol.

Departemen Kesehatan Republik Indonesia melaporkan 5 juta penduduk

menderita malaria di seluruh wilayah Indonesia dan lebih kurang 700 orang meninggal dunia setiap tahunnya. Program pemberantasan penyakit malaria selain dengan cara pengobatan terhadap penderita, dilakukan pula dengan cara pemberantasan vektornya. Pemberantasan terhadap vektor malaria yang selama ini dilakukan antara lain dengan cara penyemprotan menggunakan insektisida. Pemberantasan malaria di Indonesia merupakan bagian dari program pemberantasan penyakit tular vektor yang hingga saat ini masih bermasalah karena belum bisa ditangani dengan tuntas. Hal tersebut ditandai dengan masih tingginya kasus malaria baik di Jawa maupun di luar Jawa, bahkan di beberapa daerah dilaporkan adanya kejadian luar biasa malaria³.

Upaya pemberantasan malaria telah lama dilakukan, namun hasilnya masih belum sesuai dengan harapan. Kendala umum yang dijumpai dalam pemberantasan malaria ini antara lain disamping kualitas pemberantasan khususnya dalam penyemprotan rumah belum sesuai dengan syarat-syarat yang ditentukan. Upaya pemberantasan juga belum didasarkan pada pengetahuan bionomik vektornya sehingga tindakan yang dilakukan tidak efektif dan efisien

belum tepat sasaran, belum tepat waktu dan cara, jenis dan dosis insektisida juga tidak tepat. Pengendalian vektor dengan cara konvensional menggunakan insektisida diketahui kurang efektif karena dapat mengakibatkan matinya flora maupun fauna *non target*, timbulnya pencemaran lingkungan dan resistensi terhadap insektisida tertentu bahkan sering terjadi resistensi silang (*cross resistance*), yang mengurangi efektifitas pengendalian. Karena upaya pengendalian malaria belum memberikan hasil yang memadai, maka diperlukan cara lain untuk membantu pemberantasan vektor malaria, antara lain dengan Teknik Serangga Mandul (TSM)⁶.

Teknologi nuklir merupakan salah satu teknologi yang mengalami kemajuan pesat dalam pemanfaatannya pada berbagai sektor seperti bidang pertanian dan kesehatan. Teknologi Nuklir adalah teknologi yang memanfaatkan radiasi/radioisotop untuk memecahkan masalah penelitian dan pengembangan karena memiliki sifat kimiawi dan sifat fisis yang sama dengan zat kimia biasa namun mempunyai kelebihan sifat fisis yaitu dapat memancarkan radiasi⁷. Radiasi gamma dan neutron dapat dimanfaatkan untuk pengendalian vektor penyakit melalui

teknik TSM. Faktor yang berpengaruh terhadap proses kemandulan pada nyamuk ialah terjadinya infekunditas (tidak dapat menghasilkan telur), inaktivasi sperma, mutasi letal dominan, aspermia, dan ketidakmampuan kawin dari serangga betina atau jantan⁸.

Radiasi dapat mengurangi produksi telur yang disebabkan karena tidak terjadinya proses oogenesis sehingga tidak terbentuk oogenia atau telur. Aspermia dapat menyebabkan kemandulan karena radiasi merusak spermatogenesis sehingga tidak terbentuk sperma. Inaktivasi sperma juga dapat menyebabkan kemandulan karena sperma tidak mampu bergerak untuk membuahi sel telur. Faktor penyebab kemandulan yang lain ialah ketidakmampuan kawin, hal ini karena radiasi merusak sel-sel somatik saluran genetalia interna sehingga tidak terjadi pembuahan sel telur⁹.

Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh berbagai dosis radiasai sinar gamma terhadap kemandulan nyamuk *Anopheles macullatus* sebagai vektor penyakit malaria, sehingga dapat diputus rantai perkembangan penyakitnya.

BAHAN DAN TATA KERJA

1. Rearing (pemeliharaan nyamuk)

Rearing nyamuk dilakukan di laboratorium kelompok Hama, Bidang Pertanian PATIR-BATAN, Pasar Jum'at. Nyamuk *Anopheles macullatus* dalam perkembangannya mengalami metamorfose sempurna, mulai dari stadium telur, jentik, pupa (hidup di air) dan dewasa yang hidup beterbangan. Sebelum dilakukan iradiasi, disiapkan stadium nyamuk (pupa/ dewasa) jantan dengan jumlah masing-masing dosis 100 ekor.

2. Irradiasi gamma

Masing-masing sampel nyamuk ditempatkan dalam wadah plastik/vial berukuran tinggi 7 cm dan diameter 4 cm dengan sedikit air, diisi nyamuk jantan sebanyak 100 ekor. Irradiasi sinar gamma dilakukan pada dosis 0, 90, 100, 110 dan 120 Gy dengan 3 ulangan, menggunakan Pesawat Gamma Cell-220 pada laju dosis 108,959 krad/jam. Setelah nyamuk jantan diiradiasi kemudian dimasukkan ke dalam kurungan dan ditambahkan nyamuk betina normal dengan jumlah yang sama supaya terjadi perkawinan.

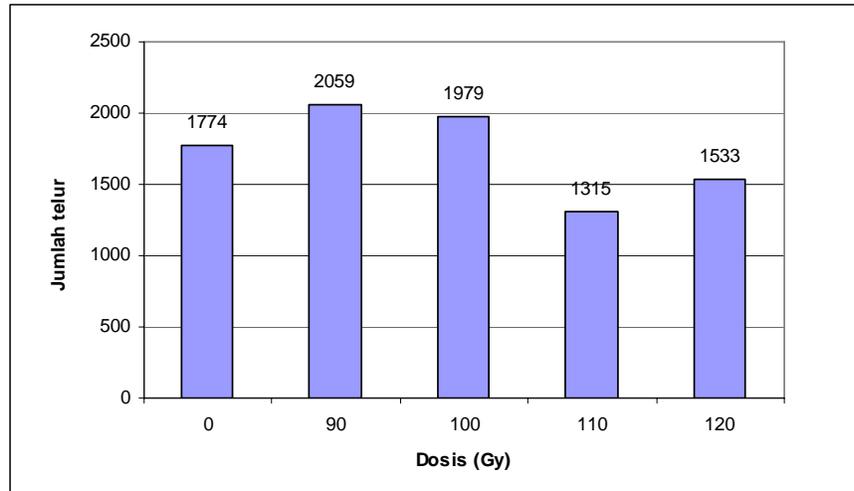
3. Pengamatan

Pengamatan dilakukan terhadap setiap stadium nyamuk sampai 30 hari

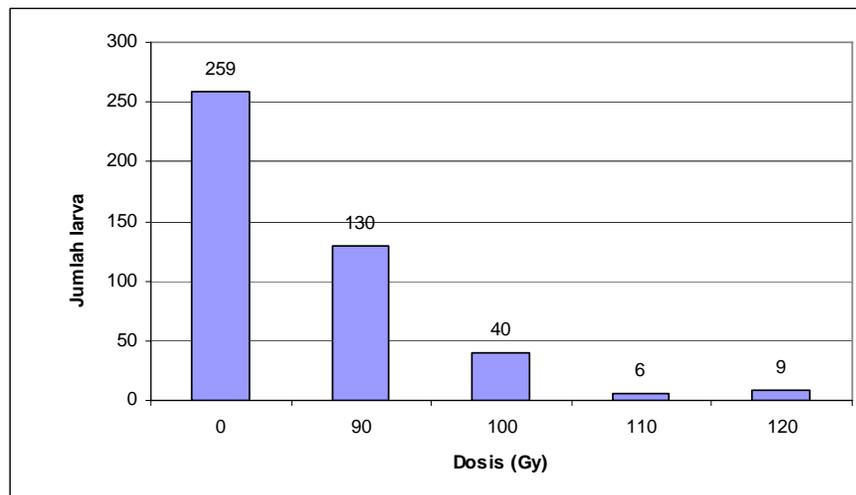
pasca irradiasi meliputi perkembangan hidup, jumlah telur setiap dosis perlakuan, prosentase penetasan telur menjadi jentik (tingkat sterilitas), dan kelangsungan hidup keturunan nyamuk pasca irradiasi dibandingkan nyamuk kontrol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pengaruh radiasi terhadap kemandulan nyamuk jantan *Anopheles macullatus* bertujuan untuk mendapatkan dosis radiasi gamma yang menyebabkan kemandulan paling tinggi. Gambar 2 menyajikan hasil pengaruh iradiasi gamma terhadap jumlah telur dimana terlihat untuk dosis 90 dan 100 Gy jumlah telurnya relatif lebih tinggi daripada dosis radiasi yang lainnya. Jumlah telur terendah terjadi pada dosis 110 Gy dan tertinggi pada dosis 90 Gy. Jumlah larva yang terbentuk menurun dengan bertambahnya dosis radiasi kecuali dosis 120 Gy. Tanpa iradiasi (kontrol), jumlah larva yang terbentuk jauh lebih tinggi jumlahnya dari yang diiradiasi (Gambar 3).



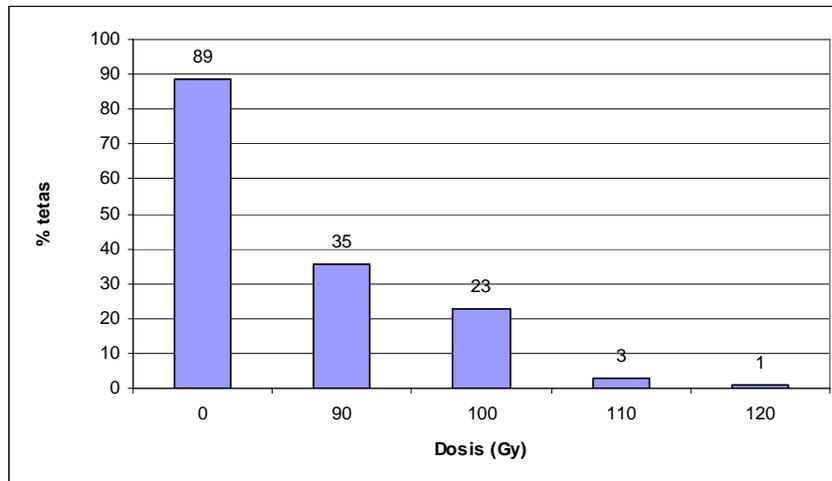
Gambar 2. Pengaruh iradiasi terhadap jumlah telur



Gambar 3. Pengaruh iradiasi terhadap jumlah larva yang terbentuk

Demikian halnya dengan jumlah penetasan telur yang menurun dengan bertambahnya dosis iradiasi. Irradiasi gamma menyebabkan penurunan yang sangat drastis terhadap presentase penetasan telur, dosis 90 Gy mampu

menurunkan persentase penetasan telur hingga lebih dari 50%, bahkan untuk dosis 110 Gy mampu menurunkan persentase penetasan telur hingga 96 % (Gambar 4).



Gambar 4. Persentase penetasan telur pasca irradiasi

Hasil analisis statistik dengan uji Duncan diketahui bahwa dosis radiasi sangat berpengaruh terhadap jumlah telur, jumlah larva dan persentase penetasan. Untuk ketiga parameter tersebut, dosis 110 Gy berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol (0 Gy). Dosis 110 Gy menyebabkan kemandulan maksimum dibandingkan dosis 90 dan 100 Gy.

Untuk mendapatkan vektor penyakit malaria yang mandul, radiasi dapat dilakukan pada stadium pupa maupun dewasa¹⁰. Pada penelitian ini dilakukan irradiasi pada stadium dewasa yang sehari sebelumnya telah diseleksi dari stadium pupa untuk menjamin bahwa nyamuk yang akan diiradiasi belum melakukan perkawinan. Hasil yang

diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa dosis 110 Gy sudah dapat memandulkan 100% nyamuk vektor malaria *Anopheles macullatus*.

Teknik serangga mandul yang mulai dikembangkan sejak tahun 1950 digunakan untuk mengendalikan hama serangga melalui "pengaturan kelahiran". TSM terutama teknik jantan mandul menggunakan radiasi sinar gamma untuk menghasilkan individu yang steril. Dari teknik ini diharapkan jantan mandul akan mengawini betina normal tetapi tidak dihasilkan telur atau telur yang dihasilkan tidak dapat berkembang¹¹.

Serangga yang dilepaskan ke lapangan dengan perbandingan tertentu antara jumlah serangga mandul dan normal¹². Penelitian TSM di lapangan

yang telah berhasil dilakukan adalah *A. quadrimaculatus* (Florida, USA) dan *A. albimanus* (El Salvador, USA). Di Indonesia, TSM ini belum digunakan untuk mengendalikan 24 spesies *Anopheles* yang merupakan vektor malaria.

Faktor yang dianggap menyebabkan kemandulan pada serangga yang diirradiasi adalah mutasi lethal dominan. Dalam hal ini inti sel telur atau inti sperma mengalami kerusakan sebagai akibat radiasi sehingga terjadi mutasi gen. Mutasi lethal dominan tidak menghambat proses pembentukan gamet jantan maupun betina, dan zigot yang terjadi juga tidak dihambat, namun embrio akan mengalami kematian. Prinsip dasar mekanisme kemandulan ini untuk selanjutnya dikembangkan sebagai dasar teknik pengendalian vektor penyakit, seperti malaria, DBD dan filariasis yang disebut Teknik Serangga Mandul¹³. TSM menjadi salah satu alternatif pilihan cara yang dapat dipilih dan dipertimbangkan, karena lebih aman, apesies spesifik, tidak menimbulkan resistensi dan pencemaran lingkungan.

KESIMPULAN

Irradiasi gamma relatif efektif untuk memandulkan nyamuk. Dosis

irradiasi 90 Gy dapat memandulkan 65%, 100 Gy memandulkan 77%, 110 Gy memandulkan 97% dan 120 Gy memandulkan 99% dibandingkan dengan kontrol. Keturunan yang dihasilkan dari perkawinan antara nyamuk jantan yang diirradiasi 110 dan 120 Gy dengan nyamuk betina normal tidak dapat diikuti perkembangan hidupnya karena mengalami kematian. Sehingga dosis radiasi 110 Gy dianggap sebagai dosis yang paling efektif untuk memandulkan nyamuk *Anopheles macullatus* sebagai vektor penyakit malaria. Penelitian ini masih harus didukung dengan penelitian daya saing kawin pasca iradiasi dan bionomik nyamuk vektornya.

DAFTAR PUSTAKA

1. HARIJANTO, P.N., Malaria : Epidemiologi, Patogenesis, Manifestasi Klinik dan Penanganan, EGC, 2000.
2. VICKERMAN and COX., Merozoite Formation in the Erythrocytic Stages of the Malaria Parasite *Plasmodium vinckei*. *Trans.R.Soc. Trop.Med.Hyg.* 61: 303-312. 1967
3. ANONIM, *Pedoman Survei Entomologi Malaria*. Ditjen Pemberantasan Penyakit Menular dan Penye-

- hatan Lingkungan, Depkes-RI 2001.
4. *Pengembangan Gebrak Malaria di Indonesia: Rencana strategis 2001-2005 berdasarkan 46,2 persen dari jumlah penduduk, 1998.*
 5. MOLINEAUX, L. The Epidemiology of Human Malaria as an Explanation of its Distribution. Including Some Implications for its Control. In: Wernsdorfer WH and Mc Gregor IA (eds). *Principles and Practice of Malariology*. Edinburgh: Churchill Livingstone, (II) 913-989. 1988.
 6. SURVEI KESEHATAN RUMAH TANGGA (SKRT). Multiple Indicator Cluster Survey Report on the Education and Health of Mothers and Children. *UNICEF – Indonesia 2001*.
 7. SUTRISNO, S. Status dan Pengembangan Teknik Nuklir untuk Pengendalian Hama di Indonesia. *Upacara Pengukuhan Jabatan Ahli Peneliti Utama Bidang Biologi. PATIR – BATAN*. Jakarta, 1998.
 8. LACHANGE, L.E., SCHMITH, C.H. and BUSHILAND, R.C., Radiation Induced Sterilization, Dalam : Kilgore, W.W., and Dout, R.L., *Pest control : Biological and Physical and Selected Chemical Methods.*, hlm. 149-196. Academic Press, New York & London, 1997.
 9. KNIPLING, E.F., Possibilities of Insect Control or Eradication Through the Use of Sexuality Sterile, *J. Econ. Entomol.* 48, 459-462, 1955.
 10. MICHELLE, E.H HELINSKI, PARKER, G.A., KNOLS BART G.J., Radiation-Induced Sterility for Pupil and Adult Stages of the Malaria Mosquito *Anopheles arabiensis* . *Malaria Journal*. 2006.
 11. ABEKU, T.A., Response to malaria epidemics in Africa, *Emerging Infectious Diseases Vol. 13, No.5*, pp. 681- 686, 2007.
 12. DYCK, A., HENDRICHS, J; ROBINSON. AS. *The Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.
 13. HENNEBERRY, T.J. Developments in Sterile Insect Release Research for the Control of Insect Populations, *Proc. of FAO/IAEA, Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology*, Univ. of Florida, 213–223. 1979.

**EFEKTIVITAS PRUSSIAN BLUE DALAM MENGELIMINASI Cs-137
DARI TUBUH KERA EKOR PANJANG PASCA KONTAMINASI Cs-137 SECARA
ORAL**

*Tur Rahardjo**, *Muhammad Sanusi***, *Hermawan Chandra**,
*dan Devita Tetriana**

*) Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN Jakarta

***) Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Syarif Hidayatullah, Jakarta

ABSTRAK

EFEKTIVITAS PRUSSIAN BLUE DALAM MENGELIMINASI ^{137}Cs DARI TUBUH KERA EKOR PANJANG PASCA KONTAMINASI SECARA ORAL ^{137}Cs adalah salah satu radionuklida hasil fisi yang paling beresiko pada suatu kecelakaan reaktor nuklir karena mempunyai fision yield tinggi dan berumur panjang. Pada penelitian ini telah dilakukan eliminasi ^{137}Cs dari dalam tubuh kera ekor panjang menggunakan PB sebagai dekontaminan. Kera diberi kontaminan ^{137}Cs 1 $\mu\text{Ci/ml}$. Kemudian di berikan pula dekontaminan PB secara oral 3 kali sehari selama 3 hari berturut-turut mulai dari hari ke 0(6 jam) pasca pemberian kontaminan sampai dengan hari ke 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28 dan 35. Dosis PB diberikan sebanyak 400, 450 dan 500 mg/ekor sehingga dosis totalnya adalah 3600, 4050 dan 4500 mg/ekor. Kera yang tidak diberi PB bertindak sebagai kontrol. Pengamatan ekskresi ^{137}Cs dilakukan pada feces, dan urin pada hari-hari ke 0 (6 jam), 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28 dan 35 pasca kontaminasi. Efektivitas PB dalam menekan akumulasi radionuklida dievaluasi dengan menentukan aktivitas dalam darah. Sampel direndam dalam asam nitrat, kemudian dicacah aktivitas ^{137}Cs -nya dengan spektrometer gamma menggunakan detektor semikonduktor Germanium berkemurnian tinggi (HP-Ge) pada energi 661,607 keV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga dosis PB mampu meningkatkan pengeluaran ^{137}Cs melalui feses dan urin sampai hari ke-35 masing-masing sebesar 15,298%, 9,216% dan 11,831%, sedangkan kontrol hanya sebesar 6,395 % dan dari ketiga dosis PB dosis 3600 mg/ekor paling besar mengekskresikan ^{137}Cs dibandingkan dengan dosis 4050,4500 mg/ekor dan kontrol. Dengan demikian pemberian PB secara oral terbukti efektif mengeliminasi ^{137}Cs dari dalam tubuh kera ekor panjang. Ketiga dosis PB terlihat efektif menekan akumulasi dalam darah.

Kata kunci : ^{137}Cs , Prussian Blue, kera ekor panjang

ABSTRACT

EFFECTIVITY OF PRUSSIAN BLUE IN ELIMINATING Cs-137 BODY OF LONG TAIL MONKEY POST ORAL CONTAMINATION. ^{137}Cs is one of the most important nuclear fission elemental products that contaminated the environment after the nuclear accident such as Chernobyl reactor. Radioactively cesium agent that entered to the body can be eliminated by *Prussian Blue* (PB) decontaminant based on its binding capability in gastrointestinal lumen as a stable complex form and then excreted from the body. In this research long tail monkey (*Macaca fascicularis*) was administered with 1 $\mu\text{Ci/ml}$ of ^{137}Cs compound orally and then PB was given orally three times a day for 3 days consecutively from day 0 (abruptly after contamination), days 1 and 2. Doses of PB were 400, 450 dan 500 mg/monkey so the total doses were 3600, 4050 and 4500 mg/monkey. Monkey with no administration of PB served as control. The observation of the ^{137}Cs

excretion was done in faecal, and urine in days of 0 (6 hours), 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28 and 35 post contamination, and the effectivity of PB in reducing tyhe accumulation of radionuclide was evaluated by determining the activity in the blood. Samples were immersed in nitric acid and then the activity of ^{137}Cs was counted with gamma spectrometer using detector of high purified Germanium (HP-Ge) semiconductor at 661,607 keV. The results showed that three doses of PB all can increased the excretion of ^{137}Cs through faecal and urine up to day 35 of which each was 15.298%, 9.216% and 11.831%, whereas control only excreted 6.395%. It was known that the administration of PB orally was proven effective in eliminating cesium-137 from the body of long tail monkey. All doses of PB were seen effective in supressing the accumulation in blood.

Keywords : Cs-137, Prussian Blue, long tail monkey

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan pemanfaatan teknologi nuklir untuk kesejahteraan manusia seperti di bidang industri, kesehatan, pembangkit energi, pangan dan pertanian, maka semakin besar kemungkinan terjadinya kontaminasi lingkungan dan manusia oleh suatu radionuklida¹. Radionuklida dapat masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernafasan, saluran pencernaan bersama makanan dan atau melalui lukaterbuka kulit². Jika dosis yang masuk ke dalam tubuh berlebihan maka dapat menyebabkan efek yang serius seperti kematian karena akan mempengaruhi fungsi organ setelah terakumulasi di dalam organ sasaran tersebut³.

Pada kasus kecelakaan radiasi penanganan medis terhadap kerusakan/luka yang mengancam jiwa individu terpajan harus diprioritaskan dan diikuti

dengan prosedur dekontaminan yang sesuai. Pada kasus kecelakaan nuklir kontaminasi pada tubuh manusia dapat terjadi secara eksterna maupun interna dengan efek dan bahaya yang ditimbulkan beraneka ragam. Kontaminasi interna dapat menjebabkan efek tertunda apabila pajanan kontaminasi relatif lama. Apabila bahan radionuklida masuk ke dalam tubuh, dimana sel dan jaringan tubuh merupakan objek pajanan langsung radiasi pengion yang dipancarkan¹.

^{137}Cs yang merupakan salah satu kontaminan zat radioaktif hasil fisi di dalam tubuh manusia mempunyai toksisitas yang cukup tinggi dan diserap oleh seluruh organ tubuh khususnya ginjal, otot, hati, paru, jantung dan limpa². Disamping itu kontaminan zat radioaktif hasil fisi ini mempunyai sifat menjerupai

kalium sehingga mudah diserap oleh siklus rantai makanan manusia. Dari suatu penelitian dilaporkan bahwa fraksi serapan rerata subyek yang menelan cesium klorida (^{137}Cs) adalah sebesar 0,99. Selain itu ^{137}Cs termasuk radionuklida yang mudah larut dan segera diserap oleh saluran cerna serta terdistribusi merata di seluruh tubuh³. Prosedur utama dalam penanganan kontaminasi interna pada tubuh manusia adalah penanganan keadaan ini segera dengan melakukan tindakan dekontaminasi yang sesuai dan tepat untuk memperkecil efek biologi yang akan timbul.

Bahan radioaktif yang masuk kedalam tubuh dapat dieliminasi secara alamiah setelah terendap dalam organ atau jaringan selama waktu tertentu atau dikeluarkan dengan suatu dekontaminan. Bahan radioaktif yang masuk tubuh akan bersirkulasi ke seluruh tubuh dan dieliminasi dari tubuh atau berpindah ke organ atau jaringan semula atau organ lain yang mempunyai kemampuan untuk itu⁴. Sebagai langkah antisipasi penting dalam penanganan korban pada keadaan kecelakaan nuklir adalah proses dekontaminasi yakni mengeluarkan kontaminan dari tubuh tanpa

tumbuh-tumbuhan dan hewan dalam menimbulkan efek negatif dengan cara mengeblok (*blocking*) dan mengikat (*embedding*) zat radioaktif yang selanjutnya dieliminasi dari tubuh^{5,6}.

Prussian blue, $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ (PB) mempunyai sifat katalis atau tidak diserap oleh saluran pencernaan bahan ini dapat membantu mengeluarkan zat radioaktif tertentu dan non radioaktif thalium (bahan dasar dalam racun tikus) dari dalam tubuh manusia yang terkena kontaminasi secara interna. PB sangat efektif digunakan untuk menangani pasien yang terkontaminasi ^{137}Cs pada insiden di Goiania, Brazil tahun 1987. Penggunaan PB secara oral dapat menangkap Cesium di dalam lambung, mengganggu reabsorpsinya dari gastrointestinal dan meningkatkan ekskresi. Menurut Voel⁴, PB dapat meningkatkan ekskresi ^{137}Cs dari tubuh dengan cara pertukaran ion ketika diberi PB 1 gr secara oral 3 kali sehari selama 2-3 minggu untuk dapat mereduksi waktu paro biologi ^{137}Cs sampai sepertiga dari nilai normal⁷. Menurut Stather pemberian PB 10 gr/l dalam air minum dapat mengurangi deposit ^{137}Cs dari tubuh tikus putih sebesar 34%. Sedangkan pada manusia pemberian PB selama 7 hari dapat mengekskresi ^{137}Cs sekitar 97% dan tanpa perlakuan PB hanya

dapat mengekskresi ^{137}Cs sekitar 16%. PB lumen saluran pencernaan dan membentuk senyawa stabil untuk menghentikan distribusi ^{137}Cs dan mengeluarkan ^{137}Cs dari dalam tubuh dalam bentuk feses^{8,9}. Dalam penelitian ini disajikan hasil uji efektivitas PB dalam mengeliminasi ^{137}Cs dari tubuh Macaca pasca kontaminasi oral.

BAHAN DAN METODE

Dalam penelitian ini digunakan hewan uji kera ekor panjang (*Macaca fascicularis*) sebanyak 12 ekor, berumur ± 5 tahun dengan berat badan $\pm 7,5$ kg yang diperoleh dari Bagian Primata IPB – Bogor. Hewan dipelihara dan dikarantina dalam kandang hewan Lab Biomedika selama waktu tertentu, diberi makanan dan minuman serta dicek kesehatannya oleh dokter hewan. Kontaminan yang digunakan adalah ^{137}Cs konsentrasi 1 $\mu\text{Ci/ml}$ dalam bentuk cesium nitrat dan dekontaminan yang digunakan adalah

mempunyai fungsi mengikat ^{137}Cs dalam *Prussian Blue* atau ferroferrisianida buatan *Aldrich Chemical Company Inc., Milwaukee WIS 53233, USA*). Kandang hewan uji dibuat dari besi berukuran tinggi 90 cm dan lebar 60 cm), dilengkapi dengan tempat pakan berupa mangkuk terbuat dari *stainless steel* dan tempat minum. Di bawah kandang diberi penampung feses dan urin berupa ember (*metabolism cage*).

Sebanyak 12 ekor kera dibagi dalam 4 kelompok masing-masing 3 ekor. Kera di timbang berat badannya, diukur suhu badannya, denyut nadi, denyut jantung, keberadaan bulu dan turgor atau kelenturan otot. Masing-masing kelompok di beri radionuklida ^{137}Cs (1 $\mu\text{Ci/ml}$) secara oral. Kemudian diberikan PB secara oral 3 kali sehari selama 3 hari ber turut-turut yaitu mulai hari ke 0 , 1, dan ke 2. Adapun pemberian PB divariasikan seperti Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Variasi dosis Pb untuk masing-masing kelompok

Kelompok	Dosis PB setiap pemberian (mg/ekor)	Total dosis PB (mg/ekor)
I (3 ekor)	400	3600
II (3 ekor)	450	4050
III (3 ekor)	500	4500
Kontrol (3 ekor)	-	-

Pengamatan aktivitas ^{137}Cs dalam darah, feces, dan urin kera dilakukan pada hari-hari ke 0 (6 jam), 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28 dan 35 setelah pemberian cesium nitrat.

Sebelum dilakukan pencacahan ^{137}Cs , urin, feces dan darah ditempatkan dalam wadah plastik dan ditambahkan asam nitrat, pencacahan ^{137}Cs dilakukan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor semikonduktor Germanium berkemurnian tinggi (HP-Ge) pada energi 661,607 keV. Data yang diperoleh dianalisa dengan metoda statistik untuk mengetahui perbedaan yang nyata antara kandungan ^{137}Cs dalam darah kera, waktu pemberian *Prussian Blue* dan waktu pengamatan terhadap darah, feces dan urin. Analisa statistik yang digunakan adalah Analisis Variansi dengan disain eksperimen faktorial a x b x c melalui pola Rancangan Acak Lengkap (RAL). Apabila terdapat perbedaan yang nyata dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf kepercayaan $\alpha=5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

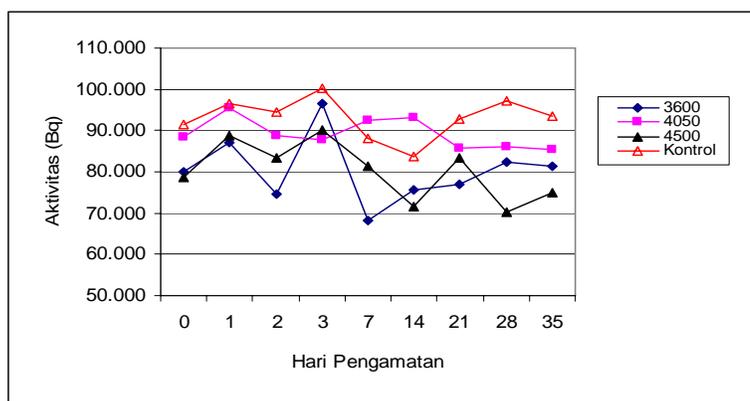
Aktivitas ^{137}Cs dalam darah kera

Hasil pengamatan kandungan ^{137}Cs dalam darah kera pasca pemberian dekontaminan *Prussian Blue* (PB)

dengan dosis 3600, 4050, dan 4500 mg/ekor maupun kontrol disajikan dalam Gambar 1. Terjadi peningkatan aktivitas ^{137}Cs dalam darah kera pada hari ke 1 sampai hari ke 14 pasca pemberian PB kemudian menurun sampai hari ke 35. Pluktuasi yang cukup besar terjadi pada hari ke 2 hingga hari ke 7 untuk kelompok kera dosis 3600 mg/ekor. Tampak pada Gambar 1 bahwa aktivitas ^{137}Cs dalam darah pada kelompok kera yang diberi PB menunjukkan aktivitas ^{137}Cs dalam darah lebih rendah dari pada control. Dengan demikian PB terlihat efektif menekan akumulasi ^{137}Cs dalam darah. Dari ketiga perlakuan pemberian PB tampak dosis PB 4500 relatif lebih rendah aktivitas ^{137}Cs dalam darah dibandingkan dengan dosis PB 3600 dan 4050 mg/ekor. Terjadi peningkatan aktivitas dalam darah pada hari ke-1, yang kemudian menurun pada hari ke dua dan naik kembali pada hari ke-3 pasca kontaminasi serta menurun kembali pada hari-hari sesudahnya. Pada Tabel 2 tampak dari ketiga perlakuan dosis total PB yang telah diberikan (3600, 4050 dan 4500 mg/ekor) diketahui bahwa dosis 4500 mg/ekor relatif lebih mampu menekan kandungan ^{137}Cs dalam darah kera dibandingkan dengan dosis yang

lainnya. Kenaikan dan penurunan ^{137}Cs yang terserap dalam darah tidak dikeluarkan dan terakumulasi dalam darah kemudian bersirkulasi keseluruh tubuh kemudian desorap kembali dan berpindah dari satu jaringan ke jaringan lain. Menurut Swindon, 1991 Bahan radioaktif yang masuk kedalam tubuh dapat dieliminasi secara alamiah atau terendap selama waktu tertentu dalam berbagai organ atau jaringan. Zat radioaktif yang terendap selanjutnya akan

aktivitas ^{137}Cs dalam darah menunjukkan meninggalkan organ atau jaringan, bersirkulasi keseluruh tubuh kemudian dieliminasi dari tubuh atau diambil kembali oleh organ aemula atau lainnya yang mempunyai kemampuan untuk itu. Berdasarkan hasil analisis ragam (uji statistik) aktivitas ^{137}Cs dalam darah menunjukkan terdapat perbedaan yang sangat nyata antara hari pengamatan dan antar dosis pemberian PB.



Gambar 1. Aktivitas ^{137}Cs dalam darah kera diberi PB dan kontrol.

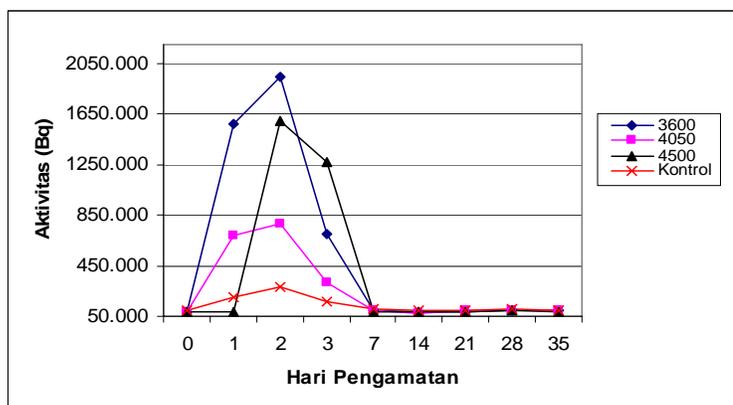
Aktivitas ^{137}Cs dalam feses

Hasil pengujian efektivitas PB dalam mengekskresi ^{137}Cs melalui feses disajikan pada Gambar 2. Terlihat pada Gambar 2, bahwa aktivitas ^{137}Cs dalam feses pada kera ekor panjang untuk kelompok yang diberi PB lebih tinggi

daripada kelompok yang tidak diberi dekontaminan PB (kontrol), terutama untuk dosis total 3600 mg/ekor (Gambar 2). Hal ini berarti bahwa radionuklida ^{137}Cs dapat terikat oleh PB dalam saluran pencernaan, sehingga dapat dikeluarkan melalui feses dengan jumlah relatif besar.

Tabel 2. Hasil rerata persentase ekskresi dan aktivitas ^{137}Cs harian dalam darah kera hari ke 0(6jam) sampai hari ke 35 pasca pemberian kontaminan ^{137}Cs dan dekontaminan PB

Hari Pengamatan	Presentase ekskresi dan aktivitas ^{137}Cs (Bq) melalui feces							
	PB (3600)		PB (4050)		PB (4500)		Kontrol	
	%	Aktivitas	%	Aktivitas	%	Aktivitas	%	Aktivitas
0 (6 jam)	0,216	79.856	0,239	88.354	0,212	78.575	0,247	91.337
1	0.219	87.138	0.258	95.338	0,240	88.926	0,260	96.355
2	0.201	74.635	0.240	88.745	0.225	83.269	0,256	94.552
3	0.260	96.505	0.237	87.756	0.243	89.973	0,271	100.092
7	0.104	68.096	0,250	92.340	0,219	81.212	0,230	88.194
14	0.205	75.776	0,252	93.224	0,193	71.420	0,226	83.617
21	0.208	75.990	0,232	85.860	0,226	83.488	0,251	92.926
28	0.223	82.391	0,233	86.114	0,190	70.255	0,263	97.309
35	0,220	81.492	0,231	85.301	0,203	75.016	0,253	93.608
Total	1.936	722.879	1.939	803.029	1,951	722.135	2.265	837.990



Gambar 2. Aktivitas ^{137}Cs dalam feces kera setelah pemberian *Prussian Blue*.

Pada hari pertama untuk pemberian PB dosis 3600 mg, aktivitas ^{137}Cs dalam feces mengalami kenaikan sangat besar yaitu 4,265%, sedangkan pemberian dosis 4050 mampu mengekskresi sebesar 1,851 % (Tabel 3). Hal ini berbeda dengan kera yang tidak diberi PB (kontrol) yang hanya mengekskresi

sebesar 0,547%. Namun untuk dosis 4500 mg, pada hari pertama ekskresi cesium menunjukkan kenaikan hanya sebesar 0,215%. Hal ini mungkin disebabkan oleh karena pemberian PB tidak langsung dicerna oleh sistem tubuh kera sehingga menyebabkan tidak adanya penurunan aktivitas ^{137}Cs pada hari pertama.

Pada hari ke-2 menunjukkan ekskresi paling tinggi yaitu sebesar 5,260% untuk dosis PB 3600 mg, demikian pula dengan pemberian dosis lainnya yang mampu mengekskresi Cs-137 sebesar 2,105% untuk dosis 4050, dan sebesar 4,317% untuk dosis 4500 mg. Hasil tersebut sangat berbeda dengan kontrol yang hanya mampu mengeluarkan ekskresi ¹³⁷Cs dalam feses sebesar 0,762%. Hasil uji statistik untuk ketiga dosis PB yang diberikan menunjukkan perbedaan yang tidak nyata dengan tanpa diberi PB.

Radionuklida ¹³⁷Cs yang dikeluarkan melalui feses pada hari ke-3 sampai hari ke-7 pasca pemberian PB terlihat sudah mengalami penurunan. Untuk dosis PB 3600 pada hari ke-3 yaitu sebesar 1,906%, sedangkan untuk dosis 4050 dan 4500 masing-masing sebesar 0,871% dan 3,428 %. Untuk kera yang tidak diberi PB (kontrol), ekskresinya sebesar 0,448%. Kemudian pada hari ke-7 pasca pemberian ¹³⁷Cs ekskresi yang dikeluarkan lewat feses pada dosis 3600 yaitu sebesar 0,271 %, dosis 4050 sebesar 0,267%, dan dosis 4500 dapat mengeluarkan ¹³⁷Cs sebesar 0,237%. Hasil ini cenderung lebih kecil untuk perlakuan dosis yang lainnya. Tetapi hasil tsb sangat berbeda nyata dengan kera yang tidak diberi PB (kontrol) yang hanya

mampu mengeluarkan sebesar 0,290%. Hingga hari ke-7, ekskresi radionuklida ¹³⁷Cs dari tubuh kera melalui feses untuk dosis PB 3600 adalah sebesar 11,947%, dosis 4050 sebesar 5,325%, dan dosis 4500 sebesar 8,428% (direpresentasikan dlm aktivitas). Sedangkan yang tidak diberi perlakuan PB (kontrol) hanya mampu mengeluarkan radionuklida dalam tubuh kera melalui feses yaitu sebesar 2,312% (Tabel 3).

Ekskresi ¹³⁷Cs melalui feses hingga hari ke-35 terlihat tinggi pada kelompok kera yang diberi PB dengan dosis 3600 adalah sebesar 12,913%, untuk dosis 4050 sebesar 6,328%, dan dosis 4500 yaitu sebesar 9,362%. Sedangkan pada kelompok kera tanpa diberi perlakuan PB (kontrol) menunjukkan aktivitas ¹³⁷Cs paling rendah yaitu sebesar 3,385%. Menurut Melo dkk,(1994) bahwa PB berfungsi mengikat ¹³⁷Cs dari lumen saluran pencernaan dengan membentuk senyawa stabil, kemudian menghentikan distribusi ¹³⁷Cs didalam tubuh dan meningkatkan pengeluaran ¹³⁷Cs dari tubuh dalam bentuk feses⁹. Berdasarkan hasil analisis ragam aktivitas ¹³⁷Cs dalam feses menunjukkan bahwa dari keempat perlakuan yang telah diberikan yaitu 3600, 4050, 4500 dan 0 (kontrol) tidak terdapat perbedaan yang sangat nyata.

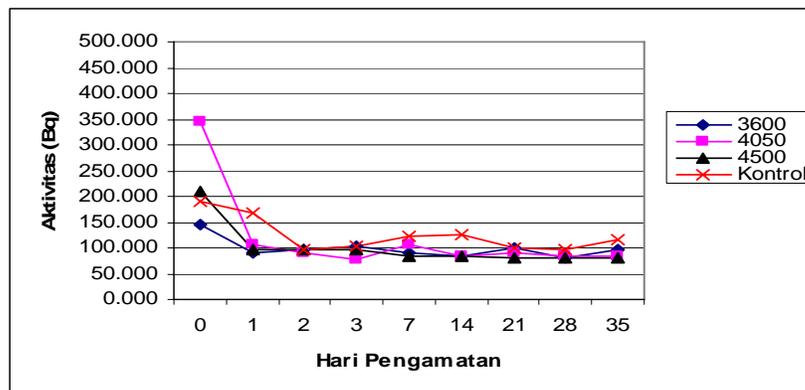
Tabel 3. Hasil rerata persentase ekskresi dan aktivitas ^{137}Cs harian dalam feses kera hari ke 0(6jam) sampai hari ke 35 pasca pemberian kontaminan ^{137}Cs dan dekontaminan PB

Hari Pengamatan	Presentase ekskresi dan aktivitas ^{137}Cs (Bq) dalam feces							
	PB (3600)		PB (4050)		PB (4500)		Kontrol	
	%	Aktivitas (Bq)		Aktivitas (Bq)		Aktivitas (Bq)		Aktivitas (Bq)
0 (6 jam)	0,243	89.959	0,232	85.812	0,235	86.775	0,262	97.035
1	4,265	1578.069	1,851	884.784	0,215	79.583	0,547	202.716
2	5,260	1946.335	2,105	778.749	4,317	1597.158	0,762	282.307
3	1,906	705.395	0,871	322.147	3,428	1266.278	0,448	165.831
7	0,271	100.471	0,267	98.776	0,237	87.664	0,290	107.661
14	0,216	79.966	0,209	77.275	0,224	83.021	0,269	99.796
21	0,234	86.645	0,272	100.719	0,234	86.625	0,249	92.377
28	0,266	98.611	0,271	100.220	0,245	90.790	0,290	107.544
35	0,250	92.540	0,251	92.697	0,227	83.892	0,262	97.255
Total	12,661	4777.990	6,078	2341.175	9,135	3463.766	3,117	1252.522

Aktivitas ^{137}Cs dalam darah urin

Hasil pengamatan ekskresi ^{137}Cs melalui urin kera ekor panjang pasca pemberian dekontaminan PB dengan dosis 3600, 4050 dan 4500 mg/ekor maupun kontrol disajikan dalam Gambar 3. Seperti yang terlihat pada Gambar 3 bahwa kera yang diberi dekontaminan 3600, 4050, dan 4500 mg/ekor dan kontrol berbeda pada pengamatan 6 jam pasca pemberian PB memperlihatkan hasil ekskresi yang cukup tinggi sampai hari ke 14 pasca pemberian dekontaminan kemudian menurun sampai hari ke 35.

Pada perlakuan secara oral dekontaminan PB dosis 3600 pada hari ke-1 pasca pemberian radionuklida ^{137}Cs terlihat mengalami penurunan yaitu sebesar 0,241%, sedangkan dosis 4050 pada hari pertama mampu mengekskresi ^{137}Cs sebesar 0,291%, dan untuk dosis 4500 mampu mengekskresikan ^{137}Cs yaitu sebesar 0,258%. Untuk ketiga dosis dekontaminan yang telah diberikan, tidak ada perbedaan yang sangat nyata antara kera yang diberi dekontaminan PB dengan kera yang tidak diberi PB (kontrol) dimana ^{137}Cs yang diekskresikan hanya sebesar 0,449%.



Gambar 3. Aktivitas ^{137}Cs dalam urin kera setelah pemberian *Prussian Blue*.

Untuk hari ke-2 pasca pemberian radionuklida ^{137}Cs ke dalam tubuh, masing-masing kelompok kera memperlihatkan hasil yang cukup signifikan, yaitu untuk dosis 3600 mampu mengekskresikan ^{137}Cs sebesar 0,260%. Hasil tersebut sangat berbeda dengan dosis PB lainnya dimana PB 4050 mg mampu mengeluarkan Cs-137 dalam urin sebesar 0,242%, namun dosis 4500 hanya bisa mengekskresikan ^{137}Cs sebesar 0,265%.

Untuk hari ke-3 sampai hari ke-7 memperlihatkan bahwa PB dosis 3600 mampu mengeluarkan ^{137}Cs dari dalam tubuh kera melalui urin sebesar 1,167%, dan dosis PB 4050 sebesar 1,673%, kemudian untuk dosis 4500 sebesar 1,352% (Tabel 4).

Selanjutnya untuk hari ke-14 sudah memperlihatkan penurunan aktivitas

^{137}Cs . Tampaknya hal ini berhubungan dengan waktu paro biologik cesium yang hanya sampai 14 hari [Ekman dkk dalam 9]. Sedangkan ekskresi ^{137}Cs melalui urin dari hari ke-0 atau 6 jam pertama setelah perlakuan sampai hari ke-35 terlihat bahwa pada perlakuan dosis PB 3600 mampu mengeluarkan radionuklida ^{137}Cs dari dalam tubuh kera melalui urin yaitu sebesar 2,385%, sedangkan pada dosis PB 4050 sebesar 2,889%, untuk dosis 4500 mampu mengeluarkan sebesar 2,469%. Dari ketiga dosis perlakuan yang telah diberikan, diketahui bahwa kera yang tidak diberi perlakuan PB (kontrol) menunjukkan angka yang lebih tinggi (yaitu sebesar 3,010%) daripada kera yang diberi perlakuan PB (Tabel 4).

Diketahui juga bahwa pengeluaran ^{137}Cs lebih banyak diekskresikan melalui feces daripada melalui urin. Dari ketiga

Tabel 4. Hasil rerata persentase ekskresi dan aktivitas ^{137}Cs harian dalam urin kera hari ke 0(6jam) sampai hari ke 35 pasca pemberian kontaminan ^{137}Cs dan dekontaminan PB.

Hari Pengamatan	% ekskresi dan aktivitas ^{137}Cs (Bq) dalam urin							
	PB (3600)		PB (4050)		PB (4500)		Kontrol	
	%	Aktivitas (Bq)	%	Aktivitas (Bq)	%	Aktivitas (Bq)	%	Aktivitas (Bq)
0 (6 jam)	0,390	144,452	0,932	345,006	0,567	209,980	0,512	189,441
1	0,241	89,450	0,291	107,927	0,258	95,688	0,449	166,295
2	0,260	96,324	0,242	89,865	0,265	98,321	0,258	95,477
3	0,276	102,120	0,208	77,178	0,262	96,965	0,277	102,342
7	0,247	91,501	0,284	105,102	0,230	85,147	0,332	122,777
14	0,225	83,569	0,228	84,663	0,230	85,272	0,338	125,126
21	0,266	98,561	0,247	91,417	0,218	80,890	0,266	98,396
28	0,217	80,499	0,223	82,591	0,214	79,218	0,260	96,257
35	0,259	95,977	0,229	85,027	0,222	82,219	0,318	117,677
Total	2,381	882,454	2,884	1068,775	2,466	913,700	3,010	1113,788

dosis yang diberikan (3600, 4050, 4500), diketahui bahwa perlakuan 4050 mampu mendekontaminasi ^{137}Cs dalam urin kera paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Berdasarkan hasil analisis ragam aktivitas ^{137}Cs dalam urin menunjukkan bahwa di antara keempat perlakuan dosis PB yang telah diberikan tidak ada perbedaan yang sangat nyata⁷

Dari ketiga sampel (darah, feses dan urin), diketahui bahwa aktivitas total ^{137}Cs yang terkandung dalam feses dan urin untuk hari pertama pengamatan yaitu hari ke-0 atau 6 jam sampai hari terakhir pengamatan yaitu hari ke-35 setelah pemberian aktivitas ^{137}Cs ke dalam tubuh

kera ekor panjang diketahui bahwa pada sampel feses untuk pemberian dosis PB 3600 sebesar 12,913%, dosis 4050 sebesar 6,328%, untuk dosis 4500 yaitu sebesar 9,362%. Dari ketiga dosis perlakuan PB yang telah diberikan tersebut sangat berbeda sekali dengan yang dikeluarkan oleh kontrol yang hanya mengeluarkan sebesar 3,385%. Hal ini berarti bahwa kera yang diberi perlakuan PB dapat mengeluarkan radionuklida ^{137}Cs lebih besar daripada kera yang tidak diberi PB (kontrol). Sedangkan hasil yang didapatkan dari sampel urin pada perlakuan dosis PB 3600 yaitu sebesar 2,385%, dosis 4050 sebesar 2,889%, dan dosis 4500 yaitu

sebesar 2,469%, sedangkan hasil yang dikeluarkan oleh kera tanpa perlakuan PB mampu mengeluarkan radionuklida ^{137}Cs dalam urin yaitu sebesar 3,385% (Tabel 5).

Dari pengamatan yang telah dilakukan diketahui bahwa kera yang tidak diberi PB (kontrol) dalam sampel urin menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada dengan kera yang diberi perlakuan PB. Hal ini kemungkinan karena terjadi efek fisiologis PB terhadap tubuh kera dimana pada hari pertama pasca pemberian radionuklida ^{137}Cs dan pemberian dekontaminan PB kera kontrol

banyak mengkonsumsi air sedangkan kera yang diberi perlakuan PB bersifat sebaliknya yaitu tidak banyak mengkonsumsi air minum dan makanan. Sehingga kera kontrol yang lebih banyak mengkonsumsi air minum dan makanan akan lebih banyak pula mengeluarkan urin dan menyebabkan proses pelarutan didalam tubuhnya lebih cepat, sehingga pengeluaran kontaminan radionuklida ^{137}Cs dalam tubuh kera kontrol melalui urin relatif lebih tinggi.

Untuk pengeluaran kontaminasi radionuklida ^{137}Cs total dari dalam tubuh kera ekor panjang melalui feces dan

Tabel 5. Prosentase Ekskresi ^{137}Cs dalam Feses dan Urin

Prosentase pengeluaran ^{137}Cs dalam feses dan urin Pada hari Ke-0 (6 jam) sampai hari ke-35				
	3600	4050	4500	Kontrol
Darah	1.936 %	1.939 %	1.951 %	2.265%
Feses	12,913 %	6,328 %	9,362 %	3,385 %
Urin	2,385 %	2,889 %	2,469 %	3,010 %
Total	15,298 %	9,216 %	11,831 %	6,395 %

urin, pemberian dosis PB 3600 mampu mengeluarkan sebesar 15,298%, dosis 4050 mampu mengeluarkan ^{137}Cs sebesar 9,216%, dan dosis PB 4500 mampu mengeluarkan ^{137}Cs sebesar 11,831%. Pada kera kontrol (tanpa pemberian PB) hanya mampu mengeluarkan

radionuklida ^{137}Cs dalam tubuh kera melalui feses dan urin sebesar 6,395% (Tabel 5). Kontaminan radionuklida ^{137}Cs yang terserap ke dalam darah tidak dikeluarkan dan hanya terakumulasi di dalam darah, kemudian bersirkulasi di dalam organ tubuh dan diserap

kembali oleh organ tubuh yang lain, disebabkan sifat cesium yang mudah larut di dalam tubuh. Dengan demikian selama periode tertentu ada kemungkinan cesium berpindah dari satu jaringan ke jaringan yang lain.

Berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Stather¹⁰ yang menunjukkan bahwa ¹³⁷Cs lebih banyak dikeluarkan melalui urin daripada melalui feces setelah injeksi ¹³⁷Cs dimana perbandingannya adalah 8,75 : 1 (urin : feces). Hal ini disebabkan karena perbedaan cara pemberian radionuklida dimana pada penelitian ini pemberian ¹³⁷Cs dan PB dilakukan secara oral, sehingga ¹³⁷Cs yang diberikan sudah diikat terlebih dahulu oleh dekontaminan PB di dalam saluran pencernaan untuk kemudian dikeluarkan melalui feces.

Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Stather¹⁰ yang menyatakan bahwa pemberian PB 10 gr/L air minum dapat mengurangi deposit ¹³⁷Cs dalam tubuh tikus sebesar 34%. Sedangkan pada manusia, pemberian PB selama 7 hari dapat mengekskresikan ¹³⁷Cs sekitar 97%, sedangkan bila tanpa perlakuan Prussian Blue, ¹³⁷Cs hanya dapat diekskresikan sekitar 16%. PB berfungsi mengikat ¹³⁷Cs dari lumen

saluran pencernaan dengan membentuk senyawa yang stabil, kemudian menghentikan distribusi ¹³⁷Cs di dalam tubuh dan meningkatkan pengeluaran ¹³⁷Cs dari tubuh dalam bentuk feces.

KESIMPULAN

Pemberian PB dengan dosis 3600, 4050 dan 4500 mg/ekor melalui oral dapat meningkatkan pengeluaran radionuklida ¹³⁷Cs dari dalam tubuh kera melalui feces dan urin dari hari ke-0 (6 jam) sampai hari ke-35. Untuk dosis 3600 mg/ekor dalam feces 12,913 % dan urin sebesar 2,385 % total eksresi sebesar 15,298%, kemudian untuk dosis 4050 mg/ekor pada feces sebesar 6,328 %, dalam urin sebesar 2,889 % dan total eksresi sebesar 9,216% dan dosis 4500 mg/ekor dalam feces sebesar 9,362 % dalam urin 2,469 % dan total eksresi untuk dosis 4500mg/ekor sebesar 11,831%. Prosentasi ini lebih besar dibandingkan dengan kontrol yang mengeluarkan radionuklida ¹³⁷Cs dari dalam tubuh kera melalui feces 3,385 % dan urin 3,010 % total eksresi hanya sebesar 6,395 %. Dari ketiga dosis PB dosis 3600 mg/ekor yang paling besar mengekskresi ¹³⁷Cs dibandingkan dengan dosis 4050 dan 4500 mg/ekor.

DAFTAR PUSTAKA

1. NCRP Report No. 65, Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides, *National Council on Radiation Protection and Measurement*, Bethesda, MD, hal. 23-24 dan 77-78, 1979.
2. SWINDON, T. N., Manual on the Medical Management of Individuals Involved in Radiation Accidents, Australian Radiation Laboratory, Victoria, 1991.
3. LE GALL, B., TARAN, F., RENAULT, D., WILK, J.C. and ANSOBORLO, E., Comparison of Prussian Blue and apple-pectin efficacy on Cs-137 decorporation in rats, *Biochimie*, 88 (11), 1837-1841, 2006.
4. ANONIMUS, Influence of Prussian Blue on Metabolism of Cs-137 and Rb-86 9n Rats, *Health Physics*, Pergamon Prees, Oxford Vol. 22 : 1-18, 1972.
5. DURBIN, P.W., KULLGREN, B., XU, J. and RAYMOND, K.N., Multidentate hydroxypyridinonate ligands for Pu (IV) chelation in vivo: Comparative efficacy and toxicity in Mouse of ligands containing 1,2-HOPO or Me-3,2-HOPO, *Int. J. Radiat. Biol.*, 76, 199-214, 2000.
6. SITI NURHAYATI. Uji Toksisitas Dekontaminan Prussian blue Pada Kera Ekor Panjang (*Macaca fascicularis*) Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan X di Jakarta, 2004.
7. FLIEDNER, T.M., DORR, H.D., and MEINEKE, V., Multi-organ involvement as a pathogenic principle of the radiation syndromes: a study involving 110 case histories documented in SEARCH and classified as the bases of haematopoietic indicators of effect, *British Journal of Radiology*, 27 (supplement), 1-8, 2005.
8. HUA, T.M. FEN, G.Y., YAO, S.C., QING, Y.C., and CHANG, W.D., Measurement of internal contamination with radioactive caesium released from the Chernobyl accident and enhanced elimination by Prussian blue, *J. Radiol. Prot.* 8, 25-28, 1988.
9. THOMPSON, D.F. and CALLEN, E.D., Soluble or insoluble Prussian Blue for radiocesium and thallium poisoning?. *The annals of Pharmacotherapy*, 38(9), 1509-1514,
10. STATHER, J.W., Influence of Prussian Blue on Metabolism of Cs-137 and Rb-86 in Rats, *Health Physics*, Vol. 22, 1972.

DISTRIBUSI TERIMAAN DOSIS RADIASI PADA KEGIATAN RADIOGRAFI *DENTAL ANAK*

*Dian Milvita**, *Ulfa Raudhah**, *Nunung Nuraini***, dan *Suyati***

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas-Padang

** Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

DISTRIBUSI TERIMAAN DOSIS RADIASI PADA KEGIATAN RADIOGRAFI *DENTAL ANAK*. Telah dilakukan penelitian pengukuran dosis radiasi organ kritis pada pasien anak yang menjalani pemeriksaan radiografi *dental* dengan teknik intraoral dan teknik ekstraoral. Organ-organ kritis yang diukur adalah, target penyinaran (gigi), tiroid dan timus. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dosimeter TLD-100 dan hasilnya dikaitkan dengan parameter sinar-X. Dari hasil penelitian diketahui bahwa, pada teknik intraoral, dosis radiasi terbesar terdapat pada target penyinaran dibanding tiroid dan timus sedangkan pada teknik ekstraoral dosis radiasi terbesar terdapat pada tiroid dibanding target penyinaran dan timus. Pengaruh hubungan parameter sinar-X (tegangan tabung, arus tabung, waktu penyinaran dan jarak penyinaran) terhadap distribusi dosis radiasi, didapatkan hasil yang kurang baik.

Kata kunci: ekstraoral, intraoral, radiasi, radiografi *dental*, sinar-X.

ABSTRACT

The Research of measuring radiation dose of the critical organs of the children patients who did the dental radiography check up with intra-oral and extra-oral technique using dosimeter TLD-100 and watch the X-ray parameter (cylinder voltage, cylinder current, exposure time, exposure distance) effect. The critical organs measured are the teeth, thyroid and thymus. It's known that the highest radiation dose for intra-oral technique was teeth and for extra-oral technique was thyroid. The effect of X-ray parameters relation to the radiation dose distribution, the result obtained was not so good.

Key words: extra-oral, intra-oral, radiation, dental radiography, X-ray.

PENDAHULUAN

Teknik nuklir memiliki peran yang cukup penting dalam mengatasi masalah kesehatan di berbagai belahan dunia. Dalam bidang kedokteran, pemanfaatan teknik nuklir meliputi tindakan-tindakan radio-diagnostik, radioterapi dan kedokteran

nuklir. Untuk melaksanakan kegiatan radiodiagnostik diperlukan suatu sumber radiasi yang mempunyai daya tembus untuk membedakan kerapatan berbagai jaringan dalam tubuh manusia yang dilewatinya, salah satu sumber radiasi tersebut berasal dari pesawat sinar-X.

Penemuan sinar-X mampu memberikan informasi mengenai tubuh manusia dengan mudah tanpa perlu melakukan operasi bedah, oleh karena itu sinar-X mempunyai peranan besar dalam kegiatan medis. Data statistik menunjukkan bahwa sekitar 50 % keputusan medis harus didasarkan pada diagnosa sinar-X, bahkan untuk beberapa negara maju, angka tersebut bisa lebih besar lagi. Penggunaan radiasi dalam bidang radiodiagnostik mencakup kegiatan yang cukup luas dan terus menunjukkan peningkatan dari waktu ke waktu. Hal ini terlihat dengan adanya pelayanan radiodiagnostik di puskesmas tingkat kecamatan dan pelayanan kesehatan di tingkat klinik. Berbagai jenis pemeriksaan dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan radiodiagnostik seperti pengambilan foto dada, rongga perut, pinggul, kaki, tangan, kepala maupun gigi.

Penggunaan radiasi dalam kegiatan radiografi *dental* merupakan hal yang penting dalam membantu dokter gigi untuk mendiagnosa kelainan yang diderita pasien gigi. Jenis teknik pengambilan radiografi *dental* terdiri dari teknik intraoral dan teknik ekstraoral. Teknik intraoral adalah teknik penyinaran dilakukan pada bagian gigi tertentu, yang sedang mengalami kerusakan

atau perawatan sedangkan teknik ekstraoral adalah teknik penyinaran dengan pengambilan foto keseluruhan, baik rahang atas maupun rahang bawah menggunakan tabung sinar-X dan film yang bergerak mengelilingi kepala pasien.

Pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi *dental* terdiri dari berbagai usia, mulai dari usia anak-anak sampai dewasa. Anak bukanlah orang dewasa dalam bentuk kecil. Terdapat perbedaan fisik fisiologi maupun psikologis antara anak dengan orang dewasa. Salah satu fisik fisiologi anak yang sangat mempengaruhi peran dalam perkembangan dan pertumbuhannya adalah tiroid dan timus. Tiroid memiliki fungsi untuk membantu dan mengatur metabolisme tubuh serta proses pertumbuhan, sedangkan timus memiliki fungsi untuk pertahanan tubuh terhadap infeksi¹. Fungsi organ-organ tubuh anak sebenarnya sangat belum matang, demikian pula dengan fungsi pertahanan tubuh yang belum sempurna, serta sel-sel dalam tubuhnya masih dalam tahap pertumbuhan. Apabila sel-sel tersebut terpapar radiasi, akan sangat mudah rusak dan akan mempengaruhi pertumbuhan

selanjutnya. Untuk itu tindakan radiografi *dental* pada anak perlu mendapat perhatian yang serius karena dari kegiatan tersebut ada organ-organ yang terkena paparan radiasi yang sebetulnya tidak dikehendaki dan sedapat mungkin dihindari.

Pengukuran dosis radiasi pasien radiografi *dental* menggunakan TLD-100 pernah dilakukan di Poliklinik Gigi Universitas Tri Sakti Jakarta oleh Helfi Yuliati dan kawan-kawan. Pesawat sinar-X yang digunakan yaitu merk Castellini untuk foto gigi teknik intraoral dan pesawat sinar-X merk Odontrama untuk foto gigi teknik ekstraoral. Penelitian tersebut dilakukan pada pasien foto gigi teknik intraoral usia 20 tahun sampai 49 tahun dengan jumlah pasien sebanyak sebelas orang dan pasien foto gigi teknik ekstraoral usia 29 sampai 40 tahun dengan jumlah pasien lima orang. Pengukuran dilakukan pada mata, tiroid, rahang bawah, *kalvaria*, *spina servikalis* dan gonad. Sumber radiasi yang digunakan dalam kegiatan radiografi adalah sinar-X. Hasil penelitian menunjukkan bahwa organ mata dan tiroid menerima dosis radiasi yang paling besar dibandingkan dengan organ lainnya².

Pengukuran dosis radiasi pasien radiografi *dental* menggunakan TLD-100

juga pernah dilakukan di salah satu rumah sakit Kota Padang oleh Amelya Kusumawati. Penelitian tersebut dilakukan dengan teknik yang sama tetapi pengukurannya pada organ yang berbeda yaitu pada mata dan tiroid, dengan usia pasien foto gigi teknik intraoral 17 tahun sampai 60 tahun dan pasien foto gigi teknik ekstraoral dengan usia 18 tahun sampai 68 tahun, jumlah pasien masing-masing teknik adalah 10 orang. Pesawat sinar-X yang digunakan yaitu model Sundex M-60 buatan Jepang untuk foto gigi teknik intraoral dan pesawat sinar-X merk FIAD buatan Jepang untuk foto gigi teknik ekstraoral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiroid menerima dosis radiasi lebih besar dibandingkan pada organ mata³.

Dalam penelitian ini, dilakukan penelitian yang sama tetapi dengan lokasi penelitian yang berbeda, pengukuran dosis radiasi yang berbeda serta usia pasien yang berbeda. Adapun tempat penelitian dilakukan pada salah satu poliklinik gigi yang berada di Kota Padang, titik pengukuran diletakkan pada target penyinaran, tiroid dan timus dengan menggunakan pesawat sinar-X CCX Digital Trophy type 7086 No

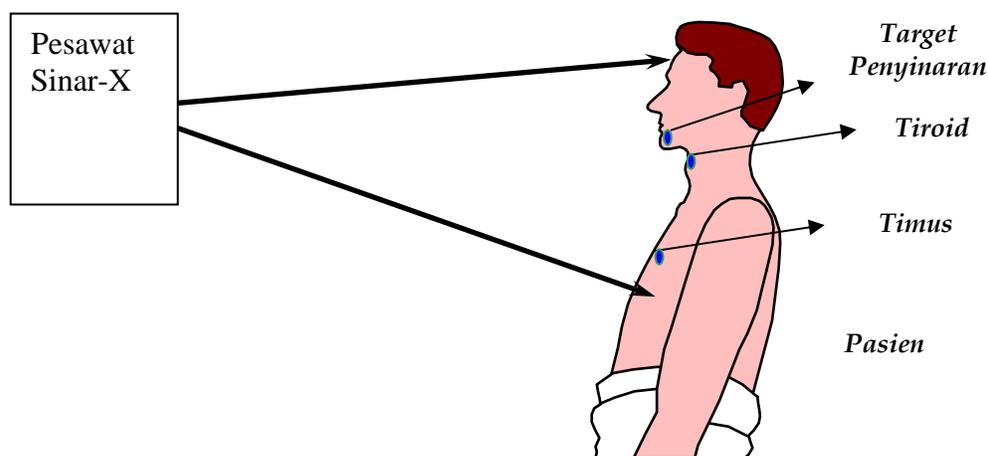
328170 untuk radiografi *dental* teknik intraoral dan pesawat sinar-X merk orthopantomograph OP 100 type OC100 4-1-2 untuk radiografi *dental* teknik ekstraoral.

TATA KERJA

Pengukuran dosis radiasi dilakukan dengan cara menempelkan TLD-100 sesaat sebelum dilakukan radiografi *dental*. Pendataan kondisi pasien pada saat penyinaran meliputi: nama dan usia. Pendataan kondisi alat meliputi: penggunaan tegangan, arus tabung, waktu penyinaran, jarak sinar- X terhadap target penyinaran. Pendataan untuk TLD meliputi nomor TLD-100 yang

digunakan, posisi TLD, sedangkan teknik penyinaran dilakukan dengan dua teknik yaitu: teknik penyinaran intraoral dan teknik penyinaran ekstraoral (*panoramic*), ditunjukkan pada Gambar 2.

Kemudian TLD - 100 ditempelkan pada permukaan kulit pasien, yaitu pada target penyinaran, tiroid dan timus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, langkah selanjutnya pasien disinari oleh sumber radiasi Sinar-X. Setelah semua TLD-100 disinari maka proses selanjutnya dilaksanakan di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Jakarta.



Gambar 1. Posisi TLD-100 di tubuh pasien



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Proses Tindakan Teknik Intraoral (b) Proses Tindakan Teknik Ekstraoral

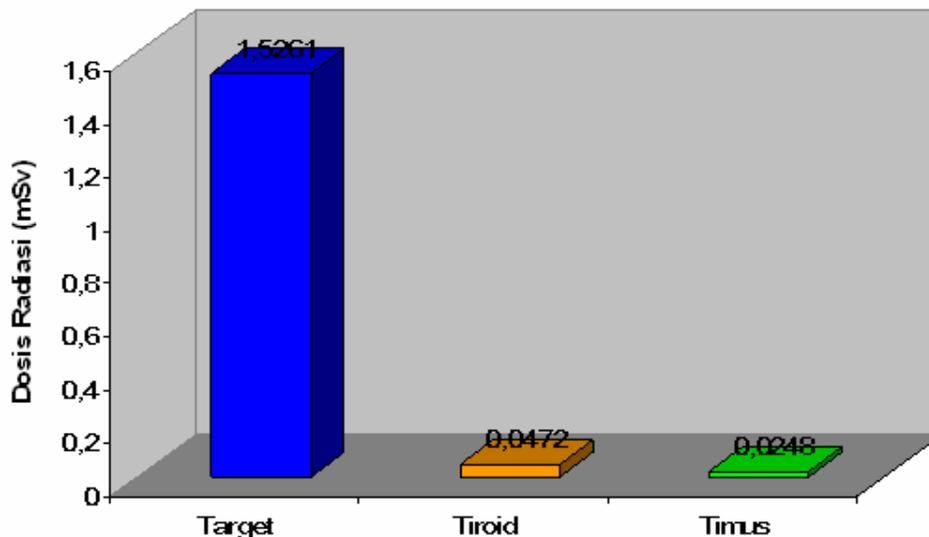
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran terimaan dosis radiasi diberikan pada Gambar 3 dan 4. Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan terimaan dosis radiasi anak pada kegiatan radiografi *dental* yang dilakukan pada bagian target penyinaran, tiroid dan timus. Hasil yang didapatkan pada teknik intraoral yaitu dosis tertinggi terdapat pada target penyinaran dan selanjutnya diikuti oleh tiroid dan timus, dikarenakan faktor jarak maka sumber radiasi terbesar didapatkan pada target penyinaran sehingga dosis terkecil didapatkan oleh timus yang memiliki jarak lebih kurang 20 cm sampai 25 cm dari *focal spotnya*. Hal yang seharusnya diperhatikan dan mengikuti

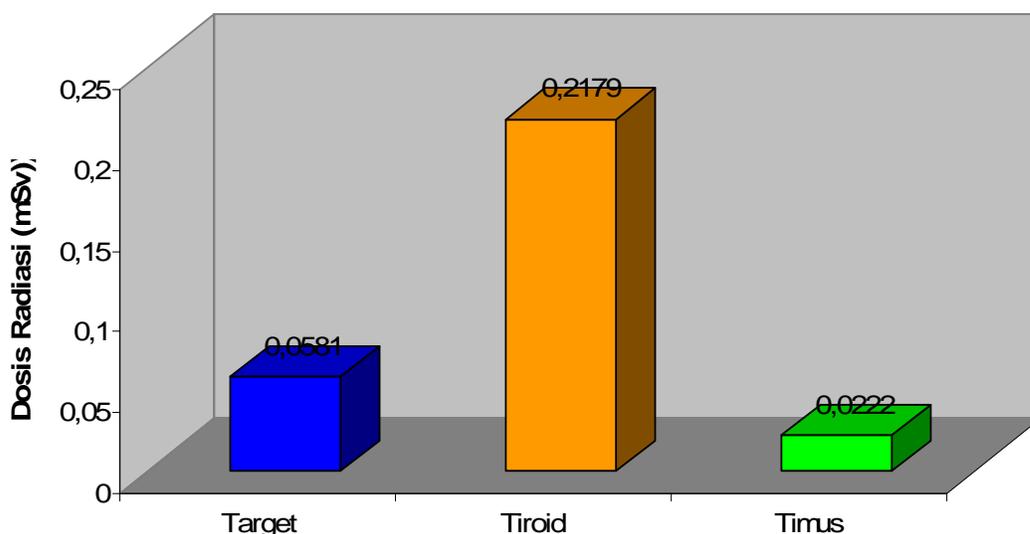
ketentuan yang berlaku adalah bahwa tiroid dan timus tidak dibenarkan untuk mendapatkan dosis radiasi karena daerah tersebut bukan merupakan daerah penyinaran dan daerah tersebut memiliki peranan yang sangat penting bagi perkembangan dan pertumbuhan anak. Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan dosis radiasi pada bagian target penyinaran, tiroid dan timus. Dapat dilihat dosis radiasi yang diterima tiroid lebih besar dibandingkan dengan target penyinaran, hal ini akibat tabung sinar-X pada alat ekstraoral berputar sampai 180° bergerak dari kiri ke kanan, maka bagian target penyinaran hanya sebentar disinggahi oleh sinar-X. Pada target

penyinaran, TLD diletakkan di dagu tengah sedangkan pada tiroid, TLD diletakkan dibagian tiroid sebelah kanan, sehingga tiroid menerima dosis radiasi yang lebih besar dibandingkan dengan dagu tengah karena perlambatan putaran dari proses awal hingga berhenti ke bagian sebelah kanan memerlukan waktu yang relatif lebih lama. Jika dibandingkan antara target penyinaran

dan timus maka terimaan dosis radiasi pada target penyinaran lebih tinggi dibandingkan pada bagian timus hal tersebut karena letak bagian timus dari sinar-X memiliki jarak lebih kurang 20 cm sampai 25 cm dari target penyinaran, sehingga dosis yang diterima lebih kecil dibandingkan target penyinaran.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Dosis Radiasi di Target Penyinaran, Tiroid dan Timus Pada Radiografi *Dental* Teknik Intraoral



Gambar 4. Grafik Perbandingan Dosis Radiasi di Target Penyinaran, Tiroid dan Timus Pada Radiografi *Dental* Teknik Ekstraoral

Parameter pesawat sinar-X sangat berperan penting terhadap besar atau kecilnya dosis radiasi yang diterima oleh pasien. Dari parameter inilah dapat diketahui kelayakan pesawat sinar-X yang digunakan untuk menghasilkan gambar yang baik dengan dosis sekecil mungkin. Beberapa parameter yang mempengaruhi dosis radiasi pada pesawat sinar-X untuk radiografi *dental* yaitu: tegangan tabung, arus tabung, waktu penyinaran dan jarak penyinaran. Pada teknik intraoral tegangan tabung sebesar 70 kV dan arus tabung sebesar 8 mA telah diatur secara otomatis pada pesawat sinar-X sehingga tidak dapat dilihat hubungan yang

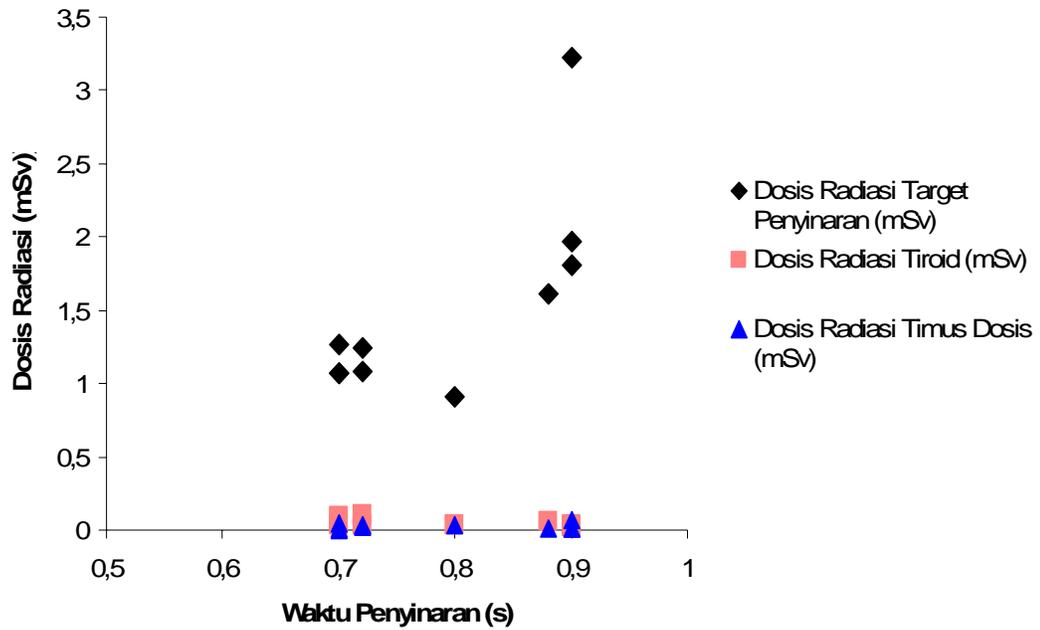
signifikan antara dosis radiasi terhadap tegangan tabung dan arus tabung.

Pada teknik intraoral dapat dilihat hubungan antara dosis radiasi terhadap waktu penyinaran dan jarak penyinaran. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Menurut hasil penelitian Milvita,dkk⁴ dan Susanti⁵ parameter tabung sinar-X (waktu penyinaran, arus tabung, tegangan tabung dan jarak penyinaran) sangat mempengaruhi dosis radiasi yang dilepaskan oleh alat yang menghasilkan sinar-X, untuk waktu penyinaran dari hasil penelitian mereka disimpulkan bahwa semakin bertambahnya waktu penyinaran maka dosis radiasi

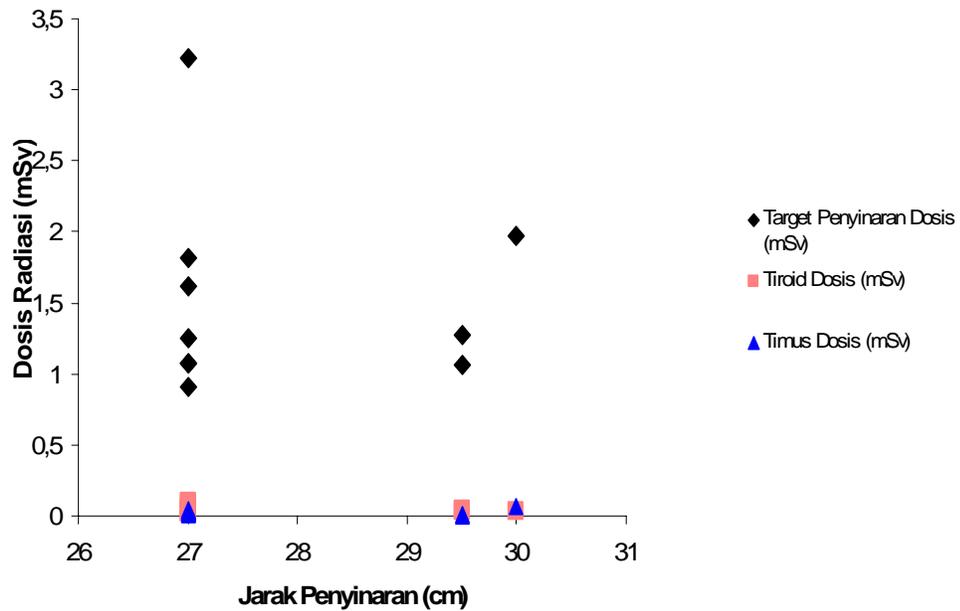
akan meningkat. Dari hasil yang didapatkan hubungan dosis radiasi terhadap waktu penyinaran sangat beragam terlihat dari Gambar 5. Pada target penyinaran dan timus didapatkan hasil yang hampir sama dengan kesimpulan penelitian Milvita dan Susanti. Sedangkan pada tiroid didapatkan hubungan yang tidak sesuai dengan kesimpulan dari penelitian Milvita dan Susanti. Secara teori dosis radiasi sebanding dengan waktu penyinaran⁶. Namun hasil yang diperoleh sangat bervariasi, hal ini dapat dipengaruhi oleh kondisi alat yang kurang baik (rusak), sehingga didapatkan hubungan antara waktu penyinaran terhadap distribusi dosis radiasi yang tidak stabil. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan pada alat agar alat tetap menjalani program jaminan kualitas yang wajib dimiliki oleh pihak rumah sakit yang dilengkapi instalasi radiodiagnostik. Selain itu, dosis hamburan juga mempengaruhi hasil yang diperoleh, dimana dosis hamburan sangat dipengaruhi oleh geometri permukaan obyek yang diukur dosis radiasinya, sehingga dosis radiasi yang diukur oleh TLD memiliki nilai yang sangat bervariasi, seperti pada tiroid yang memiliki hubungan yang tidak baik terhadap waktu penyinaran⁷.

Hubungan dosis radiasi terhadap jarak penyinaran pada target penyinaran, tiroid dan timus ditunjukkan pada Gambar 6. Secara teori semakin jauh jarak penyinaran maka jumlah dosis radiasi yang diterima semakin kecil⁷. Dari hasil yang didapatkan belum terlihat hubungan yang sesuai dengan teori yang ada pada dosis radiasi terhadap jarak penyinaran yang ditinjau dari seluruh pasien, hal ini dipengaruhi oleh target penyinaran yang hampir sama pada seluruh pasien sehingga jarak penyinaran tidak bervariasi.

Jika ditinjau hubungan dosis radiasi pada masing-masing pasien terhadap jarak antara target penyinaran ke tiroid dan timus didapatkan hasil yang sesuai pada teori yang berlaku, hanya ada beberapa pasien yang tidak memiliki hubungan yang baik, hal ini dikarenakan letak target penyinaran berada pada gigi graham ke-2, sehingga letak *focal spotnya* berkisar antara 30⁰ hingga 60⁰ ke bawah yang menyebabkan dosis radiasi pada timus lebih besar dibandingkan dengan tiroid.



Gambar 5. Grafik Hubungan Dosis Radiasi Terhadap Waktu Penyinaran



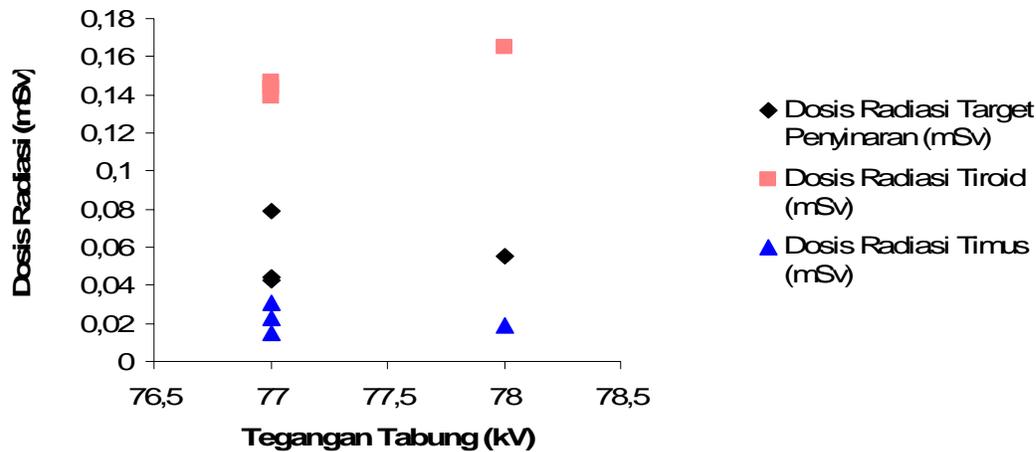
Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Dosis Radiasi Terhadap Jarak Penyinaran

Pada teknik ekstraoral tidak dapat dilihat hubungan dosis radiasi terhadap jarak penyinaran karena proses kerja tabung sinar-X pada teknik ekstraoral berbeda dibandingkan teknik intraoral dimana kerja tabung sinar-X berputar sampai 180° pada bagian kepala sehingga tidak dapat dihitung jarak penyinarannya. Hubungan antara dosis radiasi terhadap tegangan tabung dipisahkan menjadi dua bagian yaitu pada arus tabung 15 mA dan 16 mA yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

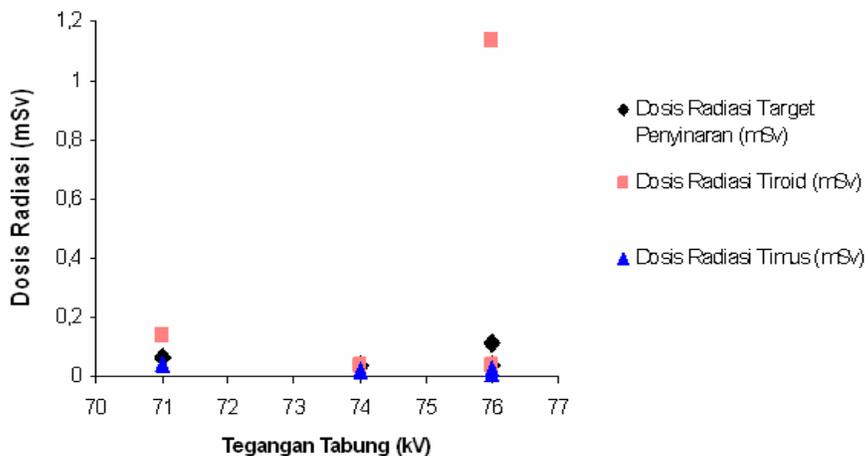
Hubungan dosis radiasi terhadap tegangan tabung dengan arus 15 mA pada target penyinaran, tiroid dan timus ditunjukkan pada Gambar 7. Hubungan dosis radiasi terhadap tegangan tabung dengan arus 16 mA pada target penyinaran, tiroid dan timus ditunjukkan pada Gambar 8.

Menurut kesimpulan dari penelitian Susanti, jika tegangan tabung meningkat maka dosis radiasi yang terpapar akan meningkat. Dari hasil penelitian, jika ditinjau hubungan antara tegangan tabung terhadap tiroid didapatkan korelasi yang baik, karena letak tiroid berada pada permulaan dan pemberhentian putaran tabung sinar-X sehingga dosis radiasi yang

terserap oleh TLD sebanding dengan tegangan tabung yang dikeluarkan oleh alat. Tapi jika ditinjau dari hubungan antara tegangan tabung terhadap dosis radiasi pada target penyinaran dan timus didapatkan korelasi yang kurang baik. Hal ini dikarenakan oleh dosis hambur yang mempengaruhi pengukuran dosis radiasi pada TLD. Dosis hambur sangat dipengaruhi oleh geometri permukaan obyek yang diukur dosis radiasinya, dengan kata lain bentuk atau geometri dari tubuh pasien mempengaruhi terimaan dosis radiasi pasien tersebut dan letak target penyinaran berada pada dagu tengah sedangkan timus berada jauh dari focal spot sehingga dosis hambur sangat mempengaruhi dosis yang terserap pada TLD. Berdasarkan hasil yang diperoleh perlu dilihat layak tidaknya tegangan tabung yang dikeluarkan pada alat sinar-X ekstraoral ini dengan melakukan *compliance test* pada alat agar dapat memenuhi standar minimum fungsi alat untuk memperoleh korelasi yang baik antara tegangan tabung terhadap dosis radiasi pada target penyinaran, tiroid dan timus.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Dosis Radiasi Terhadap Tegangan Tabung Dengan Arus Tabung 15 mA



Gambar 8. Grafik Hubungan Dosis Radiasi Terhadap Tegangan Tabung Dengan Arus Tabung 16 mA

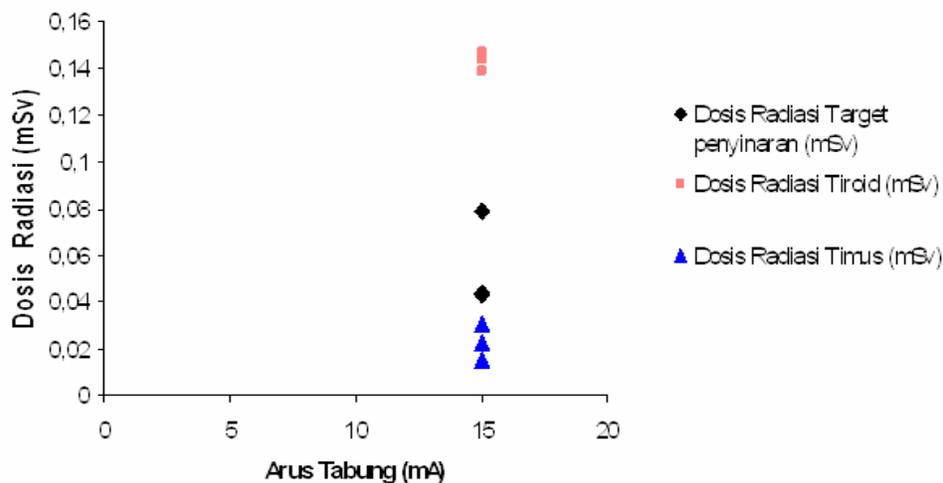
Hubungan antara dosis radiasi terhadap arus tabung dan waktu penyinaran dipisahkan menjadi dua bagian yaitu pada tegangan tabung 77 kV dan 76 kV untuk arus tabung dan pada tegangan tabung 77 kV

arus tabung 15 mA dan tegangan tabung 76 kV arus tabung 16 mA untuk waktu penyinaran, yang ditunjukkan pada Gambar 9, 10, 11 dan 12.

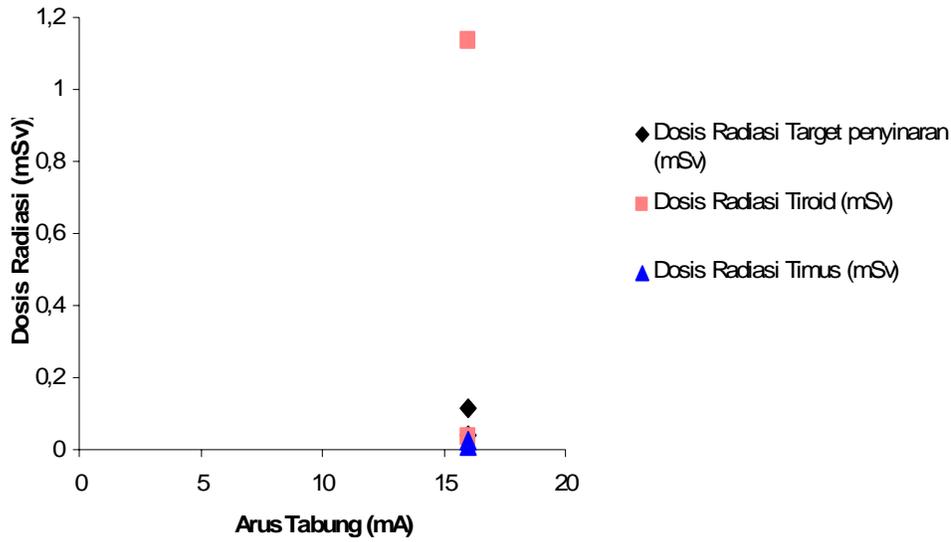
Secara teori, semakin tinggi nilai arus tabung maka dosis radiasi semakin meningkat, karena arus tabung menunjukkan elektron yang digunakan, semakin besar arus tabung maka semakin besar intensitas radiasi yang akan dihasilkan, begitu pula dengan waktu penyinaran, semakin lama waktu penyinaran yang dihasilkan oleh sinar-X maka dosis radiasi yang terpapar semakin besar⁷. Dari hasil yang diperoleh belum dapat diketahui korelasi yang jelas antara variasi arus tabung dan waktu penyinaran terhadap terimaan dosis radiasi pasien, karena arus tabung dan waktu penyinaran yang didapatkan memiliki nilai yang sama. Untuk melihat layak tidaknya arus tabung dan waktu penyinaran yang dikeluarkan

pada alat perlu dilakukan *compliance test* untuk melihat kelinieran antara arus tabung dan keakuratan waktu penyinaran terhadap dosis radiasi pada alat tersebut.

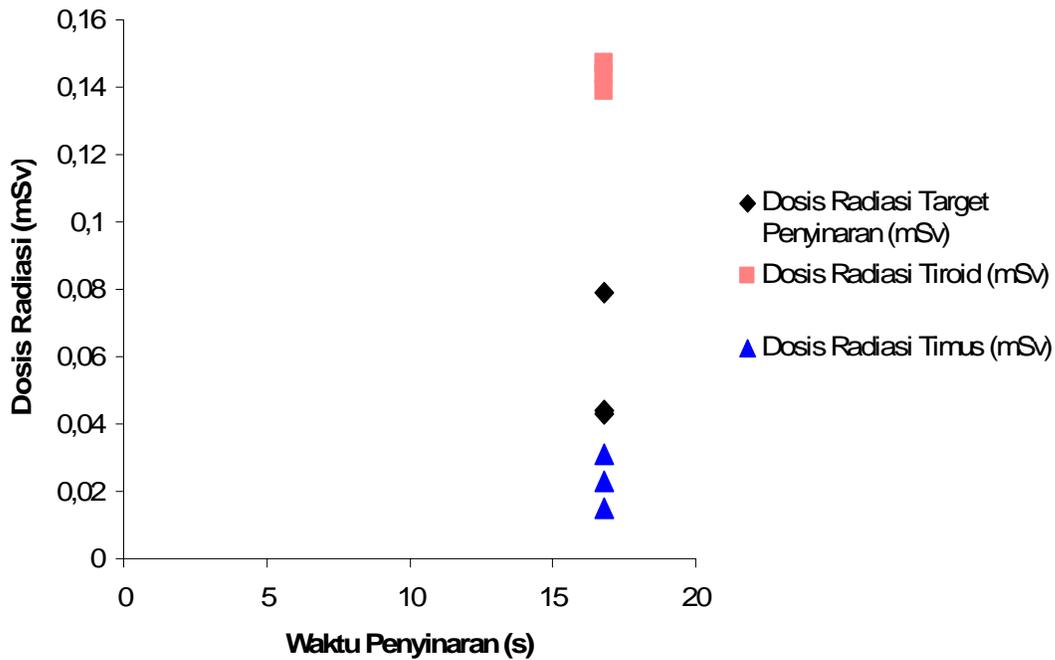
Dari Gambar 9, 10, 11 dan 112 dapat dilihat bahwa dosis radiasi bervariasi terhadap Arus tabung dan waktu penyinaran yang memiliki nilai sama. Hal ini dikarenakan dosis radiasi yang terukur dipengaruhi oleh dosis hambur sehingga didapatkan dosis radiasi yang bervariasi. Selain itu, hasil yang variatif ini akibat dari susunan tubuh pasien yang memiliki susunan tubuh yang kompleks sehingga penyerapan sinar-X nya berbeda-beda⁸.



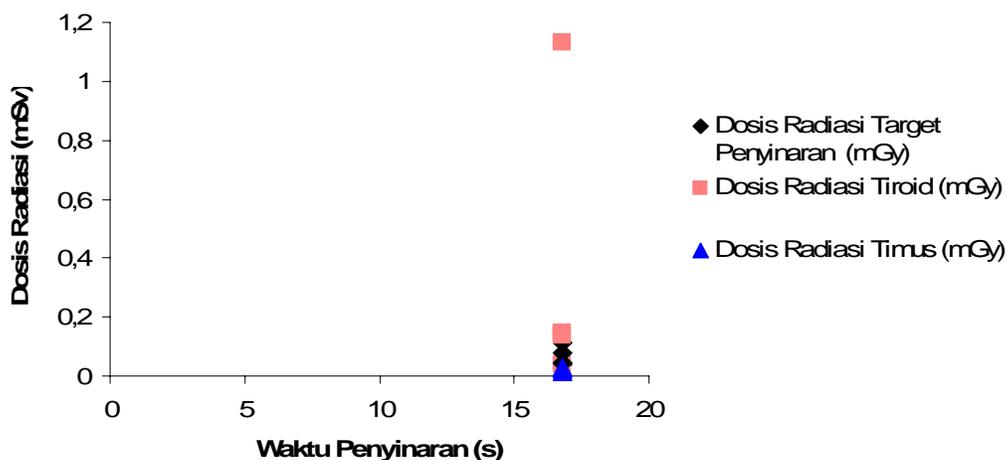
Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Dosis Radiasi Terhadap Arus Tabung Dengan Tegangan Tabung 77 kV



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Dosis Radiasi Terhadap Arus Tabung Dengan Tegangan Tabung 76 kV



Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Dosis Terhadap Waktu Penyinaran Dengan Tegangan Tabung 77 kV Arus Tabung 15 mA.



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Dosis Terhadap Waktu Penyinaran Dengan Tegangan Tabung 76 kV Arus Tabung 16 mA

Pada penelitian ini diperoleh sistem proteksi radiasi terhadap pasien yang menjalani radiografi *dental* kurang berjalan dengan baik, hal ini dapat dilihat dari tidak adanya pemakaian apron (baju timah hitam/timbal/Pb) bagi pasien yang sedang menjalani radiografi *dental*. Pemakaian apron (baju timah) pada pasien berfungsi untuk melindungi pasien terhadap radiasi yang tidak diinginkan. Terdapat berbagai jenis baju pelindung timah⁹, yaitu:

1. Baju pelindung timah (apron) untuk seluruh tubuh (*whole body*), apron ini melindungi tubuh dari bahu sampai tungkai bawah. Apron ini digunakan baik untuk operator maupun pasien.

2. Apron kelenjar tiroid (tiroid *shield*), untuk melindungi kelenja, berguna untuk mengurangi daya tembus radiasi ke arah kelenjar tiroid.
3. Apron untuk kelenjar gonad, apron ini disebut sebagai gonad opron, berguna untuk melindungi .

Selama pengambilan data, beberapa pasien anak-anak harus melakukan penyinaran ulang hingga tiga kali karena sedang melakukan perawatan gigi, tetapi tidak dilakukan pemakaian apron pada pasien tersebut.

Penyinaran ulang seharusnya tidak boleh terjadi pada pasien khususnya anak-anak akan tetapi jika pengambilan gambar tidak baik, gambar kabur dan

tidak mempunyai manfaat diagnosa, maka perlu dilakukan pemeriksaan ulang, sebenarnya hal tersebut dapat dihindari dengan memakai berbagai alat bantuan, alat tersebut harus digunakan secara efektif dan aman untuk melindungi seluruh tubuh atau sebagian tubuh yang akan diradiograf. Alat bantuan yang dapat digunakan dalam melakukan radiografi *dental* teknik intraoral yaitu alat bantu pemegangan film, sebaiknya film tidak langsung dipegang dengan menggunakan tangan pasien, operator maupun dokter gigi karena akan menyebabkan penyinaran pada tangan dan mungkin juga pada bagian tubuh lainnya. Sebaiknya dilakukan penggunaan *film holder* dengan jenis logam dan lubang segi empat untuk tempat arah sinar, dengan menggunakan alat tersebut dapat mengurangi pancaran radiasi pada pemotretan gigi namun, jika mendapat suatu masalah dalam pemegangan film, maka film harus di pegang oleh pasien atau seseorang yang pekerjaannya tidak berhubungan dengan sinar-X dan umurnya sudah tidak mampu menghasilkan keturunan⁹.

Penyinaran ulang dilakukan karena pasien melakukan gerakan bisa disengaja maupun tidak disengaja, gerak yang tidak disengaja karena otot yang bergerak secara

refleks sebenarnya dapat dikurangi dengan mengurangi waktu penyinaran dan perlunya komunikasi yang baik antara operator, dokter gigi dan pasien sehingga pasien lebih siap untuk melakukan radiografi *dental* ini.

Selain hal-hal tersebut proteksi radiasi yang perlu diperhatikan yaitu kamar yang digunakan untuk radiografi *dental*. Adapun tempat dan lokasi ruangan harus memenuhi standar internasional yaitu diharapkan radiasi tidak menembus ruangan lain, dengan demikian ruangan radiasi tersebut sebaiknya dikelilingi oleh halaman atau jalan bebas yang tidak dilalui. Lebih baik tidak berada di tingkat atas (sebaiknya di ruang bawah atau tingkat satu atau paling bawah dari bangunan) agar radiasi berkurang. Penempatan pesawat sinar-X diatur sedemikian, agar sinar radiasi berarah ke tempat yang aman yaitu ke halaman yang bebas penghuni⁹.

Pada radiografi *dental* anak baik secara teknik intraoral maupun teknik ekstraoral tidak ditemui batasan dosis radiasi yang diperbolehkan untuk anak baik dari UNSCEAR (*United Nations Scientific Comitte on The Effects of Atomic Radiation*), IAEA maupun pihak-

pihak yang berwenang seperti BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir), untuk itu diharapkan kepada pihak yang berwenang untuk mengeluarkan peraturan tentang batasan dosis radiasi yang diperbolehkan pada kegiatan radiografi *dental* anak.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian distribusi terimaan dosis radiasi pada kegiatan radiografi *dental* anak diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Hasil distribusi terimaan dosis radiasi yang terbesar pada teknik intraoral didapatkan pada target penyinaran .
2. Hasil distribusi terimaan dosis radiasi yang terbesar pada teknik ekstraoral didapatkan pada tiroid .
3. Hubungan antara dosis radiasi dengan parameter-parameter sinar-X (tegangan tabung, arus tabung, waktu penyinaran dan jarak penyinaran) tidak diperoleh korelasi yang baik.
4. Sistem proteksi radiasi pada radiografi *dental* anak belum dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. EDWARDS,C.SHERER,S.dan RITENOUR, R. *Perlindungan Radiasi bagi Pasien dan Dokter Gigi*,Widya Medika, Jakarta,1990.

2. YULIATI, H., AKHADI, M., DWI K D.,SUYATI, *Penerimaan Dosis Radiasi oleh Pasien Foto Gigi Intraoral dan Ekstraoral di Poliklinik Gigi Universitas Trisakt*. Prosiding SNFUA, Padang 10 September 2005. Hal 172-178.
3. KUSUMAWATI, A., *Analisa penerimaan dosis radiasi organ mata dan tiroid pasien foto gigi Menggunakan TLD-100*, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, 2006.
4. MILVITA,D., SISMAR dan PRASETIO, H. *Pengujian Kualitas Tegangan Kerja Pesawat Radiodiagnostik Pada Beberapa Rumah Sakit di Sumatera Barat*, Prosiding Seminar Nasional KKL II, Serpong, 19 Desember 2006, Hal 47-51.
5. SUSANTI.,L, *Implementasi Compliance Test Pada Beberapa Model Pesawat Radiodiagnostik Sinar-X Di Kota Padang*, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Madang, 2007.
6. MELGAR.J, *Radiation Doses In Dental Panoramic Tomography* Hospital Universitario de Salamanca (Spain), 2001.
7. AKHADI, M., *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta, 2000.
8. JAUHARI, A. *Berkas Sinar-X dan Pembentukan Gambar*. [http://puskaradim.blogspot.com/2008/01/berkas-sinar-X-dan Pembentukan-gambar.html](http://puskaradim.blogspot.com/2008/01/berkas-sinar-X-dan-Pembentukan-gambar.html), 11 Maret 2008).
9. LUKMAN, D, *Dasar-dasar Radiologi dalam Ilmu Kedokteran Gigi*. Widya Medika. Jakarta, 1989

URGENSI COMPLIANCE TEST PADA RADIODIAGNOSTIK

Dyah Dwi Kusumawati, Heru Prasetyo, Helfi Yuliati dan Suyati

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

URGENSI COMPLIANCE TEST PADA RADIODIAGNOSTIK. Pemanfaat sinar-X di bidang medik memegang peranan cukup besar dalam penegakan diagnosa penyakit. Pengelolaan sistem radiodiagnostik memerlukan jaminan kualitas (QA dan QC) pada setiap bagian sistem untuk memenuhi asas proteksi radiasi, khususnya jastifikasi dan optimisasi. *Compliance Test* pada peralatan radiodiagnostik terbukti dapat meningkatkan kualitas citra dan menekan terimaan dosis pasien antara 10 – 60%, sehingga perlu dilakukan untuk mencapai optimisasi proteksi. Parameter uji *Compliance Test* yang perlu diterapkan minimal adalah akurasi dan reproduibilitas kV, waktu dan keluaran, HVL, kebocoran tabung dan kesesuaian berkas sinar-X dan kolimator. Untuk CT scan *Compliance Test* minimal antara lain CTDI udara uji kualitas citra. Dijelaskan sekilas tentang kompetensi PTKMR dalam pelaksanaan uji.

Kata kunci : *Compliance Test*, radiodiagnostik

URGENCY OF COMPLIANCE TEST IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY.

Application of X-ray in medical field take a part in straightening of diagnosa disease significantly. Management of diagnostic radiology system requires quality guarantee (QA and QC) in each part of system to fulfill radiation protection priciple, especially justification and optimization. Compliance Test at diagnostic equipments has been provided increasing of image quality and depress receiving patient dose between 10 - 60%, so it was required in purpose of optimization protection. The parameters that need to be complied were accuracy and reproducibility of kV, exposed time and output, HVL, X-ray tube leakage of tube and beam light collimator alignment. In CT scan equipment test of CTDI in air and image quality should be at less complied. This paper briefly presented of PTKMR competence in holding the test.

Keyword : *Compliance Test*, diagnostic radiology

PENDAHULUAN

Pemanfaatan radiasi pengion atau sinar-X untuk kesehatan telah lama berkembang dan akan terus berkembang di masa-masa mendatang. Di bidang kedokteran penggunaan pesawat sinar-X pada instalasi radiologi hingga saat ini

menjadi sangat berarti dalam menunjang penegakan diagnosa suatu penyakit oleh dokter/radiolog. Hal ini terbukti dengan penyebaran kepemilikan pesawat sinar-X, baik di rumah sakit-rumahsakit, klinik-klinik layanan kesehatan maupun di puskesmas kelas tertentu di seluruh

Indonesia. Tidak salah bila dikatakan bahwa lebih dari 50% keputusan medik ditentukan melalui tindakan radio-diagnostik.

Dalam penggunaan sinar-X untuk tujuan radiodiagnostik aspek keselamatan dan kesehatan harus diperhatikan sesuai dengan prinsip proteksi radiasi, khususnya asas justifikasi dan optimisasi sebagaimana tertuang dalam BSS-115¹, demikian juga dalam PP no.63/ 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion². Ketika seseorang harus menjalani pemeriksaan dengan sinar-X maka praktisi harus men-justifikasi sebelumnya bahwa hal tersebut benar-benar dibutuhkan dan memberi manfaat yang besar. Pada pelaksanaan pemeriksaan penguasa instalasi sinar-X dan pelaksana lapangan berkewajiban mengoptimalkan kondisi penyinaran pesawat sinar-X untuk menghasilkan citra film yang baik secara medis, namun dengan dosis radiasi serendahmungkin yang dapat dipertanggungjawabkan sebagai jaminan perlindungan terhadap pasien.

Hal yang terakhir saat ini agak terabaikan. Pihak penguasa instalasi seringkali hanya menitik beratkan pada terbentuknya citra diagnostik yang baik, namun upaya perlindungan pasien

terhadap dosis radiasi yang boleh jadi masih dapat ditekan kurang diperhatikan. Kemungkinan hal ini disebabkan belum adanya payung hukum yang mengatur tentang perlunya jaminan kualitas dan kendali kualitas (QA dan QC) pada perangkat pencitraan sinar-X maupun dosis acuan pada pemeriksaan dengan sinar-X.

Dalam asas optimisasi proteksi memuat tentang pentingnya program jaminan kualitas (QA) yang harus dilakukan oleh penguasa instalasi radiasi, termasuk pemilik pesawat sinar-X. Hal ini sangat penting artinya karena pada dasarnya terbentuknya efek citra film yang prima dengan dosis radiasi yang terkendali akan dihasilkan oleh pesawat sinar-X yang memiliki jaminan kinerja dengan akurasi yang baik. Pengujian terhadap fungsi atau kinerja pesawat sinar-X (*Compliance Test*) yang terprogram dengan baik merupakan upaya mencapai jaminan kualitas untuk hasil akhir yang optimal.

LANDASAN HUKUM

Indonesia sebagai negara anggota IAEA, dalam melaksanakan kegiatan yang berhubungan dengan ketenaga nukliran harus patuh pada peraturan internasional yang dikeluarkannya.

Undang-Undang Ketenaganukliran di Indonesia pun didasarkan pada aturan internasional ini (UU No.10 / 1997), dan pelaksanaan undang-undangnya diatur dalam Peraturan Pemerintah RI dengan memperhatikan kebijakan-kebijakan yang dikeluarkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir sebagai kepanjangan tangan pemerintah. Dalam hal-hal tertentu yang belum diatur oleh UU negara, kita harus mengacu pada aturan internasional.

BATAN sebagai pelaksana kegiatan pemanfaatan dan litbang iptek nuklir tentunya harus berpedoman pada UU di atas. Khusus untuk bidang Keselamatan dan Kesehatan acuan yang digunakan adalah PP no.63/2000 atau yang telah diamandemen menjadi PP no.33/ 2007.

Pada PP no.33/2007 Bab 3 Pasal 3 dan 6 menyatakan bahwa pemanfaatan radiasi harus memenuhi prinsip Keselamatan dan Kesehatan yaitu memberi manfaat sebesar mungkin, dosis yang diterima pasien, pekerja dan lingkungan serendah mungkin, memenuhi jaminan kualitas dan terkendali. Khusus untuk pemanfaatan radiasi dalam radiodiagnostik, BAPETEN melengkapi peraturan di atas dengan dikeluarkannya Keputusan Ka.Bapeten No. 01-P/Ka-BAPETEN/I-03

tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik. Dalam lampiran keputusan tersebut pada Bab IV mengenai Jaminan Kualitas (QA) dinyatakan bahwa tujuan pokok QA adalah akurasi dan ketepatan waktu diagnosis, sehingga dapat menekan dosis, meningkatkan kualitas citra dan menekan biaya³.

Jelas bahwa program Jaminan Kualitas dan Kendali Kualitas merupakan hal yang sangat penting sebagai salah satu upaya proteksi terhadap pasien. Diantara program QA dan QC yang berpengaruh pada kualitas citra dan dosis pasien adalah pengujian fungsi pesawat sinar-X radiodiagnostik (*Compliance Test*). Tujuan dari pengujian fungsi pesawat sinar-X adalah menjamin bahwa setiap parameter penyinaran pada pesawat teruji akurasi dan kedapatulangan fungsinya sesuai dengan spesifikasi alat, dan bila terjadi penyimpangan harus berada dalam nilai batas toleransi yang disepakati.

UJI FUNGSI PESAWAT SINAR-X DAN FASILITAS RADIODIAGNOSTIK

PTKMR adalah salah satu Unit Kerja BATAN yang mempunyai visi dan misi mengarah pada Litbang Iptek bidang

Keselamatan Radiasi dan aplikasi teknologi bidang kesehatan. Sasaran utama kegiatan Litbang PTKMR di antaranya adalah menjadikan Laboratorium Keselamatan Radiasi dan Aplikasi Teknologi Nuklir sebagai fasilitas acuan nasional dan merupakan pusat rujukan (*Center of Excellence*) untuk bidang Kesehatan dan Kedokteran.

Saat ini PTKMR telah memiliki Laboratorium Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan (LKKL) yang telah terakreditasi, dan bertugas melakukan pelayanan jasa pengujian. Salah satu unit pelayanan dari LKKL adalah Unit Fisika Medik yang dipercaya melakukan kegiatan Uji Fungsi pada Pesawat Radiodiagnostik, yang meliputi pesawat Sinar-X konvensional, dental, mamografi, flouroskopi maupun tomografi.

Dalam menjalankan kegiatannya Unit Fisika Medik juga merujuk pada SK Ka-Bapeten no. 01-P/Ka.Bapeten/I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik. Prosedur Pengujian Pesawat Sinar-X yang dilakukan oleh unit Fisika Medik – LKKL diadopsi dari *Radiation Safety Act 1975, Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Test 2000* yang diterbitkan oleh pemerintah Australia Barat⁸, dipadukan dengan

protokol Jaminan Kualitas pada IAEA – TECDOC - 1423 tentang *Optimization of the Radiological Protection of Patients Undergoing Radiography, Flouroscopy and Computed Tomography* dimana Indonesia (PTKMR-BATAN) merupakan salah satu negara partisipan dalam proyek riset terkoordinasi tersebut⁵. Sedangkan batas toleransi dari parameter uji diambil dari *Diagnostic X-Ray Unit QC Standards in BC*⁹.

Pemeriksaan kesehatan menggunakan sinar-X, baik dalam radiodiagnostik konvensional maupun intervensional, menurut ketentuan hukum harus menitikberatkan perlindungan terhadap pasien. Sebagaimana diketahui pemeriksaan dengan sinar-X menimbulkan dua konsekuensi, yaitu :

- pencitraan objek yang diperiksa
- dosis radiasi yang diterima objek.

Dua hal di atas erat kaitannya dengan kondisi/pengaturan parameter penyinaran pada pesawat sinar-X yang dipakai.

Perlu diketahui bahwa setiap pesawat sinar-X masing-masing memiliki karakter yang berbeda, sehingga citra/image dengan kualitas yang baik secara medis belum tentu dapat dihasilkan oleh dua alat yang berbeda

sekalipun kondisi penyinarannya sama. Demikian juga dengan dosis pasien yang dapat berbeda untuk menghasilkan kualitas citra yang sama. Banyak faktor yang menentukan kualitas citra maupun dosis pasien.

Sebagai upaya optimisasi proteksi maka jaminan kualitas pada fungsi atau kinerja sistem fasilitas radiodiagnostik ikut menentukan hasil akhir yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan yaitu kualitas citra yang baik dan dosis pasien yang cukup rendah. Untuk itu pengujian terhadap fungsi pesawat sinar-X dan fasilitas radiodiagnostik perlu dilakukan oleh pemilik fasilitas secara berkala dan terencana, agar setiap parameter penyinaran teruji akurasinya sehingga memberikan rasa puas dan aman pada pengguna jasa layanan. Pengujian dapat dilakukan oleh pemilik fasilitas atau melalui bantuan pihak yang berkompeten di bidang tersebut³.

Parameter uji kV dan HVL menentukan daya tembus berkas sinar-X yang keluar dari tabung dan menimbulkan dosis radiasi sehingga memberi efek kontras pada citra film. Waktu penyinaran yang tinggi menyebabkan peningkatan dosis pasien dan pada kondisi tertentu menimbulkan degradasi kualitas *image*. Sedangkan uji

reproduksibilitas kV, waktu dan keluaran radiasi menentukan konsistensi citra dan dosis pada suatu kondisi penyinaran yang sama. Untuk menjamin akurasi posisi target penyinaran pada citra film perlu dilakukan uji kesesuaian dan kelurusan berkas radiasi terhadap kolimasi cahaya serta uji *focal spot*. Objek *step wedge* dapat digunakan untuk uji resolusi kekontrasan film pada penyinaran tanpa filter maupun dengan filter dengan tujuan penurunan dosis pasien. Pengujian kebocoran tabung akan menjamin keamanan (*safety*) baik pasien maupun operator^{7,10,11}.

Hasil pengujian fungsi pesawat sinar-X dapat dijadikan data pendukung dalam upaya optimisasi proteksi disamping data-data lain seperti analisa kualitas citra, analisa film tertolak dan analisa dosimetri pasien. Sebagai gambaran pada Tabel 1 di bawah ini disajikan hasil riset terkoordinasi IAEA yang terangkum dalam IAEA – TECDOC - 1423, khususnya dari negara Indonesia⁵. Hasil tersebut menunjukkan bahwa program jaminan kualitas memberikan dampak positif pada tujuan pokok tindakan radiodiagnostik, dan uji fungsi pesawat sinar-X menjadi salah satu komponen penentunya.

Tabel 1. Peningkatan kualitas pada radiodiagnostik sebelum dan sesudah melakukan program jaminan kualitas.

Tindakan QA/QC		Pemeriksaan/ proyeksi	Sebelum QA	Sesudah QA	Prosentase penurunan (%)
Analisa Film Tertolak ^{a)}			7,1 %	3,7 %	47,9
Analisa kualitas citra ^{b)}			84,5 %	93,5 %	10,7 ^{c)}
Dosis Pasien (mGy)	Dosis acuan ^{d)}				
	0,4	Chest / PA	0,62	0,32	48,2
	5	Skull / PA	3,5	2,7	22,9
	3	Skull / Lat	3,6	2,6	27,8
	10	Lumbar SpineAP	5,8	2,3	60,3
	30	Lumbar Spine/Lat	9,3	4,6	50,5
	10	Pelvis / AP	3,7	1,4	62,2

- a) prosentase film yang tertolak terhadap jumlah penggunaan film
 b) penilaian didasarkan pada kriteria kualitas citra dari European Commission
 c) peningkatan prosentase berarti peningkatan kualitas citra
 d) level panduan dari BSS-115 untuk ukuran manusia acuan 70kg

Dari tabel 1 terlihat bahwa analisis film tertolak mampu menurunkan jumlah film tertolak secara signifikan (hampir 50%) setelah melakukan tindak lanjut hasil QA, yang berarti penurunan terhadap dosis pasien yang seharusnya tidak perlu diterima. Menurut alasan penolakannya, 70% film tertolak karena alasan terlalu gelap atau terlalu terang. Kedua hal tersebut lebih dipengaruhi oleh kondisi penyinaran (kV, mAs dan HVL). Sedangkan 25% dari penolakan film karena alasan posisi target kurang tepat atau bergerak sehingga secara medis tidak memenuhi persyaratan diagnosis.

Hal ini dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian berkas radiasi dengan kolimasi cahaya. Penelitian lebih lanjut mengenai hal ini di beberapa rumahsakit propinsi memberikan data film tertolak pada angka yang berorientasi antara 2% - 10% dari film yang digunakan⁶.

Tindakan menaikkan penggunaan kV dan filter memberikan kontribusi yang signifikan pada peningkatan kualitas citra dan penurunan dosis yang diterima pasien ($\pm 50\%$). Selain itu penggunaan film dan kaset yang sensitif juga memberikan pengaruh yang cukup baik dan dapat menurunkan dosis hingga

60%, namun dari sisi ekonomi perlu dipertimbangkan mengingat harganya relatif lebih mahal⁵.

Dari penjelasan di atas dapat dipastikan bahwa pengujian fungsi pesawat sinar-X radiagnostik menjadi suatu keharusan yang harus dilaksanakan oleh setiap pemilik fasilitas untuk meningkatkan proteksi. Hasil pengujian harus memenuhi suatu nilai standar atau batas toleransi tertentu untuk dianggap layak beroperasi. Penyimpangan hasil uji dari batas toleransi yang dijadikan acuan, dapat dijadikan pedoman bagi pemilik fasilitas untuk mengambil tindakan yang terbaik.

Adapun keuntungan dari dilakukannya pengujian fungsi pesawat sinar-X ini dilihat dari sisi manajemen dan ekonomi antara lain adalah:

- Pemilik fasilitas memiliki data uji akurasi untuk semua parameter dan kondisi penyinaran yang terarsip dan terpelihara
- Operator/radiografer akan paham karakteristik pesawat yang dimilikinya, sehingga memperkecil pengulangan, dapat menentukan kondisi penyinaran yang optimal secara radiografi diagnosis sesuai dengan

geometrik pasien dan saling menguntungkan baik pada kualitas citra maupun pada dosis pasien yang rendah

- Kasus gagal dalam pencitraan (rejected film) karena berbagai faktor menyebabkan pemborosan listrik, bahan, waktu, tenaga dan lain-lain yang akan meningkatkan biaya operasional, tidak perlu terjadi
- Seringnya terjadi pengulangan dalam penyinaran menyebabkan umur tabung berkurang, kemungkinan gangguan operasional lebih besar
- Kinerja peralatan terpelihara dan semua pekerjaan tertelusur akurasi
- Hasil yang cepat dan akurat pada diagnosa memberi rasa aman pada pasien karena mendapat dosis radiasi yang semestinya
- Nama baik institusi terangkat, meningkatkan omset pelayanan fasilitas

PARAMETER TEKNIS UJI

Ada sejumlah parameter pengujian yang perlu dilakukan untuk suatu fasilitas radiodiagnostik, baik konvensional maupun intervensional. Menurut sistemnya pengujian pesawat sinar-X dapat dibagi menjadi 4 bagian, yaitu :

- Pengujian sistem tabung sinar-X dan panel kontrol
- Pengujian kolimator berkas
- Pengujian sistem pencitraan
- Dosimetri pasien

a. Pengujian sistem tabung pesawat sinar-X dan panel kontrol terdiri dari:

1. Akurasi Tegangan Tabung Pesawat Sinar-X
2. Akurasi Waktu Eksposi Pesawat Sinar-X
3. Konsistensi / Linieritas Keluaran atau Laju Dosis Radiasi Berkas Sinar-X
4. Reprodusibilitas Tegangan Tabung, Waktu Eksposi dan Keluaran Radiasi Pesawat Sinar-X
5. Kualitas Berkas Pesawat Sinar-X (HVL)
6. Kebocoran Tabung Pesawat Sinar-X

b. Pengujian kolimasi berkas terdiri dari :

1. Kesesuaian Kolimasi Cahaya dan Ketegaklurusan Berkas Sinar-X
 2. Pengujian kualitas citra (*image*)
 3. Pengujian ukuran *focal spot*
- c. Pengujian sistem pencitraan
1. Pengujian kualitas sistem proses film
 2. Pengujian kualitas film, kaset dan grid
 3. Pengujian *view box*
 4. Pengujian Resolusi (*High Contrast & Low Contrast*)
 5. Linieritas & homogenitas *CT number*
- d. Pengujian dosis pasien
1. Dosis pasien untuk berbagai pemeriksaan dan proyeksi
 2. CTDI udara dan CTDI phantom

Bila memungkinkan pemilik fasilitas sangat dianjurkan untuk melakukan seluruh uji fungsi parameter, namun pada tahap awal minimal pengujian yang harus dilakukan adalah akurasi kV dan waktu; linieritas keluaran; kedapatulangan kV, waktu dan keluaran; kualitas berkas; kelurusan dan kesesuaian berkas; dan kebocoran tabung sinar-X. Pengujian fungsi pesawat sebaiknya dilakukan pada saat fasilitas baru diinstal, kemudian

secara periodik dilakukan pengujian ulang minimal sekali dalam satu tahun. Selain itu sebaiknya pengujian juga dilakukan setelah fasilitas menjalani perbaikan atau menunjukkan gejala penyimpangan fungsi suatu parameter. Satu hal yang perlu mendapat perhatian adalah bila terjadi peristiwa luar biasa

yang dapat mempengaruhi kinerja alat, seperti banjir dan gempa, pemilik fasilitas dapat juga berinisiatif melakukan pengujian.

Adapun nilai standar atau batas toleransi pengujian yang menjadi acuan Unit Fisika Medik – LKKL – PTKMR adalah seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas toleransi untuk pengujian pesawat sinar-X radiodiagnostik di Unit Fisika Medik – LKKL – PTKMR.

No.	Parameter Pengujian	Batas Toleransi
1.	Akurasi tegangan	$(kV_{panel} - kV_{terukur})/kV_{panel} = \pm 10\%$
2.	Akurasi waktu	$(kV_{panel} - kV_{terukur})/kV_{panel} = \pm 10\%$
3.	Linieritas output	Koefisien linieritas $\frac{ X1 - X2 }{(X1 + X2)} \leq 0,1$ dimana X1 dan X2 sensitifitas paparan (mGy/mAs) dari dua pengukuran berturutan
4.	Reprodusibilitas kV, waktu dan output	Koefisien variasi (C) $\leq 5\%$ $C = \frac{S}{X} = \frac{1}{X} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}$
5.	Kualitas berkas (HVL)	- pesawat diagnostik konvensional 70 kV \geq 2,1 mm Al dan 80 kV \geq 2,3 mm Al. - pesawat <i>dental</i> : 50 kV \geq 1,5 mm Al dan 60 kV \geq 1,8 mm Al - mammografi (kVp/100) \leq HVL \leq (kVp/100 + c) dengan c=0,12 untuk kombinasi target/filter Mo/Mo
6.	Kesesuaian dan kelurusan berkas	- Perbedaan ukuran berkas cahaya dan berkas sinar-X $\leq 2\%$ SID - Akurasi dimensi bidang sinar-X $\pm 2\%$ SID - Perbedaan titik pusat bidang sinar-X dengan titik pusat berkas cahaya $\leq 2\%$ SID
7.	Kebocoran tabung	≤ 1 mGy/jam atau 115 R/jam pada jarak 1 meter dari fokal spot; kecuali pesawat sinar-X <i>dental</i> $\leq 0,25$ mGy/jam atau 28.5 mR/jam pada jarak 1 meter fokal spot
8.	Dosis pasien	Sesuai tingkat panduan pada BSS-115

PERALATAN UJI DI PTKMR

Saat ini PTKMR memiliki beberapa alat ukur untuk pengujian fungsi sinar-X yang sebagian telah terkalibrasi secara tertelusur sebagai jaminan kualitas pengujian. Di antara peralatan tersebut dan kegunaannya adalah :

1. *Non-invasive beam analyzer* fungsi ganda untuk pengujian kV, waktu dan keluaran
2. Detektor *non-invasive* fungsi tunggal untuk pengujian kV atau waktu atau keluaran sinar-X
3. Detektor termoluminesensi (TLD) untuk pengujian kebocoran tabung sinar-X dan dosis pasien
4. Alat baca TLD untuk evaluasi dosis
5. Alat uji kelurusan berkas dan kesesuaian kolimasi cahaya dengan berkas sinar-X
6. Filter Al dengan berbagai ketebalan untuk uji kualitas berkas sinar-X
7. Alat uji *focal spot* untuk menentukan ukuran focal spot
8. *Step wedge* untuk uji kualitas citra
9. Sensitometer, densitometer dan termometer digital untuk uji kualitas sistem pemroses film
10. Detektor *Pen Dose* untuk uji kualitas berkas dan pengukuran *air kerma dose*

11. Fantom dengan berbagai jenis dan ukuran untuk simulasi dosis pasien dan uji kualitas citra

12. Waterpass, meteran dll

PENGALAMAN PENGUJIAN OLEH PTKMR.

Sejak tahun 1995 PTKMR dengan peralatan yang dimiliki telah mulai melakukan uji pesawat sinar-X radiagnostik pada beberapa rumahsakit kelas A, rumahsakit daerah, klinik swasta dan puskesmas di beberapa kota besar di Indonesia. Pengujian umumnya dilakukan dalam rangka kegiatan litbang iptek nuklir di bidang kesehatan dan kedokteran. Pada pengujian telah melibatkan beberapa rumahsakit yang memiliki fasilitas radiologi dengan berbagai tipe dan umur pesawat sinar-X dari berbagai merk. Pada prakteknya di lapangan pesawat sinar-X yang dipakai di rumahsakit menunjukkan tahun pembuatan yang cukup variatif, yaitu mulai dari tahun 1960 sampai dengan tahun 2006. Hasil litbang sebagian besar telah dipublikasikan baik dalam bentuk makalah ilmiah maupun sebagai data masukan untuk IAEA-TECDOC 1423 dan UNSCEAR.

Secara umum hasil uji pesawat sinar-X yang telah dilakukan masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan, namun pada parameter dosis pasien masih banyak pasien yang menerima dosis diatas batas toleransi yang direkomendasikan. Untuk beberapa pesawat sinar-X yang mempunyai umur relatif tua ada beberapa parameter uji yang tidak dapat dilakukan sesuai spesifikasi alat, dengan pertimbangan menjaga kelangsungan operasional alat. Sebagai contoh beberapa pesawat tua (> 20 tahun) hanya mengoperasikan peralatannya pada pengatur kV dan mA/mAs yang sangat terbatas, sehingga pihak *tester* harus menyesuaikan diri demi keuntungan bersama. Selain itu ditemukan pula beberapa kasus pada pesawat *mobile* buatan dalam negeri yang menunjukkan kebocoran tabung melebihi batas toleransi.

Penggunaan alat pemroses film manual pada rumahsakit-rumahsakit kecil kadangkala dapat menghasilkan pencitraan yang tidak optimal, sehingga tidak dapat dianalisis dengan baik. Namun pada fasilitas yang memiliki

tenaga terlatih di bidang ini hal tersebut tidak menjadi masalah.

Sebagai gambaran terimaan dosis pasien yang diterima pasien yang menjalani pemeriksaan dengan sinar-X pada tabel 3 disajikan data dosis pasien (ESD) rerata dari berbagai jenis pemeriksaan dan proyeksi yang berbeda. Dosis merupakan nilai rerata dari sejumlah pasien dari beberapa rumahsakit di kota-kota propinsi di Indonesia. Nilai deviasi yang cukup besar menggambarkan dosis pasien yang terukur cukup bervariasi, dan memberikan gambaran bahwa sebagian dosis terukur melebihi tingkat panduan yang direkomendasikan dan diacu oleh PTKMR.

Pada tabel 4 disajikan beberapa contoh hasil uji fungsi pesawat sinar-X radiodiagnostik yang pernah dilakukan oleh Unit Fisika Medik – LKKL – PTKMR.

Tabel 3. Dosis pasien (ESD) rerata radiodiagnostik hasil pengujian di Indonesia

No.	Jenis pemeriksaan/proyeksi	Dosis pasien (ESD) rerata (mGy)
1.	Chest / PA	0,33 ± 0,21
2.	Lumbar Spine / AP/PA	6,98 ± 4,08
3.	Lumbar Spine / Lat	17,33 ± 10,17
4.	Pelvis	4,98 ± 3,20
5.	Skull	4,02 ± 3,81
6.	Mammography	8,84 ± 4,93
7.	Dental Intraoral	4,89 ± 5,24
8.	Dental Panoramic	1,24 ± 1,68

Tabel 4. Gambaran hasil uji fungsi pesawat sinar-X yang telah dilakukan oleh PTKMR

No.	Model/no.seri pesawat	akurasi		linier output	Kedapat- ulangan			HVL mmAl	Kesesuaian/ kelurusan	Kebocoran tabung
		kV	s		kV	s	output			
1	4803404X1953 /1179-S20L	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	3345233/ 380254	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	SNB 364033	+	-	X	+	+	+	+	-	+
4	Surgico Flouro Mode	+	X	+	+	X	+	+	X	+
5	N100HF/ MO164	+	+		+	+	+	+	+	-
6	DX-068dental	X	X	X	+	+		-	X	X
7	R27/170/283	>80 (-)		+	+	+	+	+	+	X
8	FG-GT22/ 06027	+		+	+	+	+	+	+	X
9	DRX-1603B	+	+	+	+	+	+	-	+	X
10	N100HF/ PDR40 0020	+	X	+	+	+	+	+	+	-

Keterangan : + hasil uji di dalam batas toleransi; - hasil uji di luar batas toleransi; X uji tidak dilakukan

KESIMPULAN

Dalam pemanfaatan radiasi dan pengembangan iptek nuklir perlu diperhatikan tiga azas proteksi radiasi yaitu: Azas jastifikasi, azas optimisasi dan azas pembatasan dosis perorangan. Khusus untuk radiodiagnostik azas optimisasi harus lebih mendapat perhatian agar pasien menerima radiasi sesuai dengan manfaat yang sebesar-besarnya.

Data lapangan menyebutkan bahwa uji fungsi memberi kontribusi yang cukup signifikan pada pencitraan yang berkualitas dan penurunan dosis pada pasien. Untuk mencapai optimisasi proteksi perlu dilakukan upaya-upaya yang mengarah pada tindakan peningkatan jaminan kualitas dan kendali kualitas (QA dan QC) yang terprogram secara baik. Salah satu tindakan jaminan kualitas adalah dengan melakukan pengujian fungsi pesawat sinar-X (*compliance test*) untuk setiap parameter yang mempengaruhi kualitas citra dan dosis pasien.

Unit Fisika Medik – LKKL – PTKMR BATAN telah memiliki pengalaman, kemampuan yang handal dan terakreditasi dalam melakukan uji fungsi pesawat sinar-X radiodiagnostik yang meliputi dignostik konvensional,

dental, mamografi, flouroskopi dan tomografi. Dengan SDM dan peralatan yang dimiliki Unit Fisika Medik – LKKL – PTKMR BATAN siap melakukan pelayanan uji fungsi pesawat sinar-X radiodiagnostik di semua rumahsakit di Indoneia.

DAFTAR PUSTAKA

1. FAO, IAEA, ILO, OECD Nuclear Energy Agency, PAN American Health Organization, WHO, International Basic Safety Standards for Protection againts Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series N0. 115, IAEA, Vienna , 1996
2. PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA, Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion, Peraturan Pemerintah No. 63 tahun 2000 (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2000 No. 136, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3992), Indonesia, 2000
3. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik, Keputusan Kepala BAPETEN No. 01-P/Ka-BAPETEN/I-03, Jakarta, 2003.

4. IAEA-TECDOC-1423, Optimization of the Radiological Protection of Patients Undergoing Radiography, Fluoroscopy and Computed Tomography, IAEA, Vienna, 2004
5. IAEA-TECDOC-1447, Optimization of the Radiological Protection of Patients : Image Quality and Dose in Mammography, IAEA, Vienna, 2005
6. KUSUMAWATI, D. D., et. al., Survei Film Tertolak : Sebagai Indikator Optimisasi Proteksi dalam Kegiatan Radiodiagnostik, Prosiding Seminar Fisika Nasional 2005, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Andalas, Padang, 2005
7. PRASETIO, H, Optimisasi Pemanfaatan Radiasi dalam Bidang Radiodiagnostik, Prosiding Seminar Fisika Nasional 2005, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Andalas, Padang, 2005
8. RADIATION SAFETY ACT 1975, Diagnostic x-Ray Equipment Compliance Testing, Health Department of Western Australia, Australia, 2000
9. BC CENTRE FOR DISEASE CONTROL, Diagnostic X-Ray Unit QC Standards in British Columbia, Radiation Protection Service, Canada, 2004
10. RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, Quality Control and Radiation Protection of the Patient in Diagnostik Radiology and Nuclear Medicine, Nuclear Tecnology Publishing, 1993
11. SPRAWLS, PERRY, Jr., Physical Principles of Medical Imaging, Medical Physics Publishing, Medison, Winsconsin, 2000

PROFIL PROTEIN SEL BAKTERI *Klebsiella pneumonia* K5 PASCA INAKTIVASI SINAR GAMMA

I. Sugoro* dan Y. Windusari**

* Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN

** Jurusan Biologi – Universitas Sriwijaya Email: ywindusari@yahoo.com

ABSTRAK

PROFIL PROTEIN SEL BAKTERI *Klebsiella pneumonia* K5 PASCA INAKTIVASI SINAR GAMMA. *Klebsiella pneumoniae* merupakan salah satu bakteri coliform penyebab mastitis. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui profil protein *K. pneumoniae* K5 pasca iradiasi sinar gamma sebagai bahan vaksin mastitis inaktif. Kultur sel *K. pneumoniae* (10^{13} sel/ml) diiradiasi dengan dosis sebesar 600 dan 800 Gy (laju dosis 1089,59 Gy/jam). Kultur sel dianalisis terhadap kandungan protein intraselular, ekstraselular dan total dengan metode Lowry. Profil protein dianalisis dengan menggunakan SDS-PAGE dengan konsentrasi gel 10% dan standar berat molekul kisaran 10 – 220 kDa. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dosis iradiasi tidak mempengaruhi kadar protein intraselular, ekstraselular dan total, serta profil protein sel *K. pneumoniae*. Antigen pada kisaran berat molekul 35, 36 dan 60 kDa terdeteksi dan mengalami peningkatan intensitas pasca iradiasi.

Kata kunci : Vaksin, Protein, Klebsiella pneumoniae K5, sinar gamma.

ABSTRACT

PROFILE PROTEIN OF *Klebsiella pneumonia* K5 AFTER INACTIVATION BY GAMMA RAYS. *Klebsiella pneumoniae* is one of the coliform bacteria caused mastitis. The experiment has been conducted to determine the protein profile of *Klebsiella pneumoniae* K5 which has been irradiated by gamma rays as inactive mastitis vaccine. Cells culture (10^{13} cells/ml) was irradiated by doses 0, 600 and 800 Gy (doses rate was 1089.59 Gy/hours). The cell cultures were analyzed for the intracellular, extracellular and total protein by Lowry method. The protein profiles were analyzed by SDS-PAGE with 10% gel concentration and the standard of molecular weight was 10 – 220 kDa. The results showed that the different irradiation doses hasn't significant on the protein concentration of intracellular, extracellular and total, and so has the protein profile of *K. pneumoniae*. The antigen of 35, 36 and 60 kDa has detected and the intensity has increased after irradiation.

Keywords : Vaccine, protein, Klebsiella pneumoniae K5, gamma rays.

PENDAHULUAN

Susu merupakan komoditas utama pada usaha ternak sapi perah rakyat. Produksi susu dapat terganggu apabila

kondisi ambung bagian dalam dari susu sapi perah mengalami peradangan akibat infeksi oleh mikroba yang dikenal sebagai mastitis. Ada 3 faktor penyebab

yang mempermudah terjadinya mastitis, yaitu kondisi sapi sebagai inang, kondisi lingkungan yang buruk dan mikroorganisme sebagai agen penyebab penyakit¹. Penyakit mastitis dapat disebabkan oleh bakteri coliform, seperti *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, dan *Yersinia enterocolitica*. Penyakit mastitis dapat dicegah dengan pemberian vaksin. Vaksin digunakan untuk mencegah masuknya mikroorganisme patogen yang merugikan, sehingga cara ini banyak digunakan oleh para peternak sapi².

Sampai saat ini, sebagian besar vaksin masih impor dengan kisaran pasar 60 – 70 %. Oleh karena itu upaya pengembangan bahan vaksin di dalam negeri memiliki nilai strategis dan peluang bisnis. Ketergantungan akan vaksin impor dapat berakibat pada menurunnya cadangan devisa negara dan juga dapat memungkinkan masuknya penyakit hewan melalui kontaminasi agen penyakit pada vaksin yang diimpor. Hal lebih berbahaya lagi adalah timbulnya efek mutasi pada vaksin aktif yang dapat mengakibatkan terjadinya penyakit baru³.

Vaksin dapat diperoleh dengan cara konvensional, baik secara kimia maupun

pemanasan. Alternatif lainnya dengan menggunakan radiasi sinar gamma untuk menginaktivasi sel bakteri. Metode inaktivasi dengan sinar gamma memiliki efektifitas dalam peningkatan respon imun dibandingkan dengan teknik konvensional, seperti pemanasan. Pemanasan mengakibatkan matinya aktivitas metabolisme dan replikasi, sedangkan iradiasi hanya menyebabkan hilangnya kemampuan replikasi, tetapi metabolisme tidak. Selain itu kerusakan yang ditimbulkan radiasi terhadap antigen tidak menyeluruh seperti halnya pemanasan³.

Dalam percobaan ini akan digunakan bakteri *K.pneumoniae* hasil isolasi dari susu sapi perah terinfeksi mastitis. Percobaan sebelumnya menunjukkan, bahwa isolat bakteri ini dapat diinaktivasi dengan radiasi gamma pada kisaran dosis di atas 600 – 1000 Gy⁴. Salah satu bagian sel bakteri yang berperan sebagai faktor virulensi adalah protein⁵. Berdasarkan hal di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan dan profil protein bakteri *K. pneumoniae* hasil inaktivasi sinar gamma.

TATA KERJA

Iradiasi *Klebsiella pneumoniae* dengan Sinar Gamma

Kultur pada fase mid log disentrifugasi 10.000 rpm dan dibilas dengan larutan NaCl 0,85% 40 ml sebanyak 2 kali. Pelet yang diperoleh diencerkan hingga diperoleh jumlah sel 10^8 sel/ml dan ditempatkan di dalam vial gelas sebanyak 10 ml. Selanjutnya diiradiasi gamma dengan dosis 0, 600, dan 800 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 inaktivasi⁴.

Pengukuran Protein Sel *Klebsiella pneumoniae* dengan Metode Lowry.

Kultur hasil iradiasi diukur kandungan protein ekstraselular dan intraselular. Contoh untuk mengetahui kandungan protein ekstraselular langsung menggunakan kultur hasil iradiasi, sedangkan untuk protein intraselular dipecah terlebih dahulu dengan melarutkan kultur hasil iradiasi sebanyak 0,5 ml ke dalam aseton (1 : 1) dan disonikasi selama 10 menit⁴. Selanjutnya sebanyak 0,5 ml sampel ditambahkan 2,5 ml larutan Lowry I dan dibiarkan selama 10 menit. Kemudian ditambahkan 0,25

ml larutan Lowry II dan dibiarkan selama 30 menit. Dibaca dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 700 nm⁵. Hasil kandungan protein masing-masing dosis yang diperoleh dianalisis statistik dengan bantuan program SPSS 11.5.

Karakteristik Profil Protein Bakteri *Klebsiella pneumoniae*.

Profil protein dianalisis dengan menggunakan metode elektroforesis satu dimensi SDS-PAGE dengan sistem buffer Laemmli dan konsentrasi gel poliakrilamid 10% (BioRad). Kultur hasil iradiasi sebanyak 20 µl ditambahkan 10 µl aseton dan disonikasi selama 15 menit. Kemudian ditambahkan buffer sampel Laemmli sebanyak 20 µl dan dipanaskan selama 15 menit dalam air mendidih. Setelah itu disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 5 menit. Sebanyak 5 µl filtrat sampel dan standar dimasukkan ke dalam kolom gel dan dielektroforesis pada kondisi 200 V dan 40 mA selama ± 100 menit (Atto). Gel diwarnai dengan commassie R-250 (BioRad) selama 24 jam lalu didestaining dengan destaining solution commassie R-250 (BioRad) selama 2 jam atau sampai pita terlihat jelas. Hasil yang diperoleh dianalisis untuk menentukan jumlah pita dan

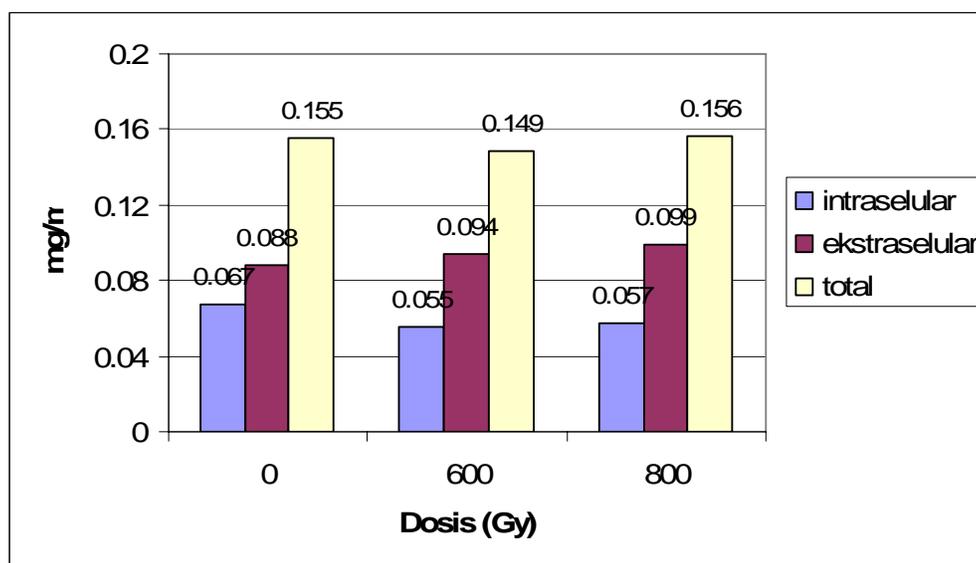
intensitas dengan bantuan program Lab Image 2006.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Protein Sel *Klebsiella pneumoniae* Hasil Iradiasi Gamma

Iradiasi dengan dosis berbeda pada kultur bakteri menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi protein ekstraselular sel bakteri *K. pneumoniae* dibandingkan kontrol, sedangkan protein intraselular mengalami penurunan (Gambar 1). Konsentrasi

protein total pada dosis 600 Gy mengalami penurunan, sedangkan pada dosis 800 Gy mengalami peningkatan kembali. Akan tetapi, secara statistik konsentrasi protein intraselular, ekstraselular dan total tidak menunjukkan adanya pengaruh nyata dosis iradiasi ($\text{Sign } F \leq \alpha = 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa kandungan antigen protein pada sel *K. pneumoniae* tidak mengalami perubahan secara total, tetapi hal tersebut perlu dilihat lebih dalam dengan melihat profil proteinnya.



Gambar 1. Konsentrasi Protein *K. pneumoniae* Hasil Iradiasi

Konsentrasi protein ekstraselular mengalami peningkatan, karena dinding sel bakteri merupakan bagian terluar sel yang akan mengalami dampak dari

radiasi paling tinggi, sehingga protein yang terdapat pada dinding sel akan mengalami perubahan komformasi sehingga sisi aktifnya terbuka. Dinding

sel bakteri Gram negatif terdiri dari lapisan luar dan lapisan dalam. Pada lapisan luar terdapat LPS, protein, lipoprotein, dan molekul lain yang banyak mengandung gula, sedangkan lapisan dalam terdiri dari protein dan lipoprotein yang saling berikatan⁷.

Konsentrasi protein intraselular mengalami penurunan akibat radiasi, karena adanya kemungkinan kerusakan struktur protein, tertutupnya sisi aktif protein oleh senyawa alain atau terganggunya sintesis protein. Akan tetapi hal ini perlu diteliti kembali lebih dalam, karena kondisi sel inaktif tidak berarti mati seluruh aktivitasnya. Inaktif terjadi karena kehilangan kemampuan replikasi tetapi metabolisme tetap berjalan.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi protein intraselular, ekstraselular dan total *Escherichia coli* mengalami perubahan secara acak tetapi secara statistik tidak dipengaruhi dosis iradiasi. Adapun kisaran dosis yang digunakan adalah (0 – 1000 Gy)⁸. Konsentrasi masing-masing protein dapat meningkat melalui sintesis atau melalui pelepasan selular yang nyata akibat kerusakan jaringan sel. Iradiasi dapat mempengaruhi molekul protein, terutama konfigurasinya. Konfigurasi 3

dimensi molekul protein menjadi terbuka dan siap melakukan suatu reaksi. Selain itu, penyebab lainnya adalah kerusakan DNA yang menyebabkan terganggunya sintesis protein⁹.

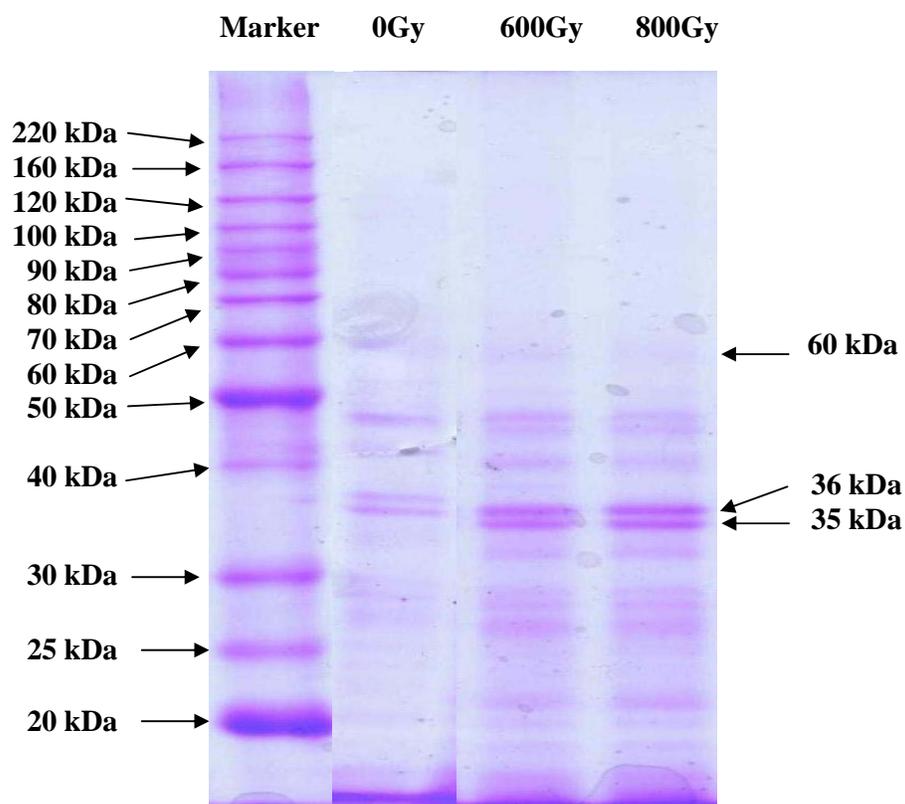
Profil Protein Sel *Klebsiella pneumoniae* Hasil Iradiasi Gamma

Hasil elektroforesis SDS-PAGE protein sel *Klebsiella pneumoniae* menunjukkan pola yang hampir sama (Gambar 2). Hasil dari analisa LabImage menunjukkan protein dari sel *Klebsiella pneumoniae* pada dosis 0 Gy (kontrol) memiliki jumlah pita sebanyak 12 buah, sedangkan protein sel yang diiradiasi memiliki jumlah pita sebanyak 17 buah untuk dosis 600 dan 800 Gy. Selain itu, intensitas pita-pita setelah diiradiasi cenderung meningkat. Hal ini terjadi karena adanya perubahan yang diakibatkan oleh iradiasi gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi protein, degradasi protein, maupun perubahan DNA. Perubahan DNA dapat menyebabkan sintesis protein tertentu meningkat atau dihasilkannya protein baru.

Protein yang terdenaturasi mengalami dua kemungkinan, yaitu pengembangan rantai peptida dan pemecahan protein menjadi unit yang

lebih kecil tanpa disertai pengembangan molekul. Terjadinya kedua jenis denaturasi ini tergantung pada keadaan molekul. Yang pertama terjadi pada rantai polipeptida, sedangkan yang kedua terjadi pada bagian-bagian molekul yang bergabung dalam ikatan sekunder¹⁰.

Selain terjadinya denaturasi protein, kemungkinan lainnya adalah terjadi degradasi protein. Degradasi protein dapat menyebabkan protein tersebut kehilangan fungsinya sebagai protein dan degradasi struktur dapat berasal dari hilangnya gugus samping¹¹.



Gambar 2. Profil Protein *Klebsiella pneumoniae* K5 Hasil Iradiasi Gamma

Antigen protein bakteri *Klebsiella pneumoniae* pada berat molekul sekitar 35, 36 dan 60 kDa mengalami perubahan jumlah dengan peningkatan dari intensitas warna. Hal ini memperkuat

hasil konsentrasi protein dengan metode Lowry (Gambar 1), dimana kadar protein hasil iradiasi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa iradiasi gamma

sebagai metode untuk inaktivasi berpotensi besar dalam pembuatan vaksin, karena komposisi protein tetap walaupun intensitasnya cenderung meningkat. Dengan demikian, penggunaan dosis iradiasi yang tidak terlalu tinggi cukup efektif dalam menginaktivasi sel bakteri tanpa harus menghilangkan kemampuan antigeniknya, khususnya protein.

KESIMPULAN

Iradiasi pada dosis inaktif 600 dan 800 Gy tidak mempengaruhi kadar protein intraselular, ekstraselular dan total serta profil protein *K. pneumoniae*. Antigen pada kisaran berat molekul 35, 36 dan 60 kDa terdeteksi dan mengalami peningkatan intensitas pasca iradiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUGORO, I. Pengontrolan Penyakit Mastitis dan Manajemen Pemerahan Susu. Artikel PATIR BATAN. 2: 20 – 22 (2004).
2. RUEGG, P. Evaluating the Effectiveness of Mastitis Vaccines. University of Wisconsin – Madison (2001).
3. TETRIANA, D DAN SUGORO, I. . Aplikasi Tehnik Nuklir dalam Bidang Vaksin. Buletin ALARA. Jakarta. 2: 1 – 8 (2007).
4. SUGORO, I., WINDUSARI, Y., DAN TETRIANA, D. Dosis Inaktif dan Kadar Protein Klebsiella pneumoniae K5 Hasil Iradiasi Gamma. Jurnal Teknologi Isotop dan Radiasi, PATIR – BATAN. (2008) (in process)
5. GOFFAUX. Secretion of Virulence Factors by Escherichia coli. Laboratoire de Bacteriologie, Faculte de Medecine Veterinaire, Universite de Liege. Belgium. 181-202 (1999).
6. ALEXANDER, R. & J. M. GRIFFITHS. Basic Biochemical Methods. Second Edition. Wiley - Liss A John Wiley and Sons, Inc. New York. x + 345 hlm (1993).
7. SUMARSIH, I. Diktat Kuliah Mikrobiologi Dasar. Jurusan Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian UPN "Veteran". Yogyakarta.(2003).
8. IKMALIA, HERMANTO, S. DAN SUGORO, I. PROFIL PROTEIN Escherichia coli HASIL INAKTIVASI SINAR GAMMA. Prosiding Seminar Nasional Biokimia, Universitas Indonesia, Jakarta (2008).
9. DARUSSALAM, M. 1996. Radiasi dan Radioisotop : Prinsip Penggunaannya dalam Biologi, Kedokteran dan Pertanian. Tarsito. Bandung.
10. WINARNO, H. Lipid A-Pusat Aktif Endotoksin, Struktur Kimia dan Bioaktivitasnya. Jurnal Cermin Dunia Kedokteran. 103: 59-62. (1995).
11. SYAIFUDIN, M. Indikator Biokimia Sel terhadap Radiasi Pengion. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Jakarta. 4: 125-131. (2005).

PEMANFAATAN TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION* DAN UJI MIKRONUKLEI DALAM DOSIMETRI BIOLOGI

Mukh Syaifudin

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

PEMANFAATAN TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION* DAN UJI MIKRONUKLEI DALAM DOSIMETRI BIOLOGI. Radiasi dapat menyebabkan berbagai macam kerusakan pada kromosom yang mengakibatkan perubahan genetik yang bersifat stabil. Dalam mendeteksi perubahan tersebut ditemui permasalahan yang sulit sehingga dikembangkan beberapa teknik dan uji menggunakan sel limfosit darah perifer sebagai petunjuk seluler. Salah satu teknik sitogenetik tersebut adalah *premature chromosome condensation* (PCC) yang dapat diinduksi dengan penggabungan sel atau secara kimia. Metode ini menarik dan tidak memerlukan metafase dalam memvisualisasi bahan genomik sel. Karena metode ini tidak tergantung pada siklus sel, kromosom dapat dikondensasi dan divisualisasi pada setiap tahap dalam siklus sel. Oleh karena itu sensitivitas dan batas deteksi dalam pengkajian dosis radiasi dengan metode PCC ini lebih tinggi daripada teknik sitogenetik yang lain khususnya untuk dosimetri biologi pada korban yang terkena pajanan radiasi dosis tinggi. Di lain pihak, uji mikronuklei dapat digunakan dalam memperkirakan besarnya pajanan radiasi, tetapi karena bersifat tidak stabil dengan waktu setelah pemajanan maka bukan merupakan dosimetri biologi yang baik untuk beberapa bulan setelah pajanan atau untuk pengkajian pajanan kronik dan berulang. Pencacahan sejumlah sel secara cepat untuk mendapatkan perkiraan dosis yang akurat tetap menjadi kendala yang sulit dan hal ini dapat diatasi dengan mikronuklei. Kesederhanaan, kecepatan dan potensi untuk diotomatisasi adalah kelebihan dari uji ini diantara sekian banyak uji lain yang secara rutin digunakan. Teknik PCC dan uji mikronuklei ini dibahas secara mendetail dalam tinjauan ulang ini.

Kata kunci: teknik premature chromosome condensation, mikronuklei, dosimetri biologi

ABSTRACT

THE UTILIZATION OF *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION* TECHNIQUE AND MICRONUCLEI ASSAY IN BIOLOGICAL DOSIMETRY.

Radiation could induce a wide variety of chromosomal lesions which may results in stable genetic alterations. In the detection of these alterations some difficult problems were found so that several techniques are developed by using peripheral blood lymphocytes as cellular surrogates. One of some techniques developed is *premature chromosome condensation* (PCC) that can be induced by fusion or chemical addition. This method is attractive and not needs metaphases to visualize the genomic material of the cells. Because the method is independent of the cell cycle, chromosomes can be condensed and visualized in any phase of the cell cycle; therefore, the sensitivity and the upper limit of radiation dose assessment with this method is higher than other cytogenetic techniques especially for biological dosimetry of highly irradiated individuals. On the other hand, micronuclei assay produces a reliable estimation of dose of radiation exposure, but it is unstable with time after exposure and thus not useful for biological dosimetry more than a few months after exposure or for assessing chronic or multiple exposures. Scoring sufficient cells in a short time to enable accurate dose estimation is still a difficult task and this can be accomplished with micronuclei. Simplicity, rapidity and potential for automation are advantages of this assay

over other routinely used assays. Both PCC techniques and micronuclei assay are discussed in detail in this review.

Keywords: premature chromosome condensation technique, micronuclei, biological dosimetry

PENDAHULUAN

Radiasi dapat menyebabkan berbagai macam efek pada target yang dikenainya. Untuk organisme hidup, hal ini terjadi terutama pada komponen inti sel yakni kromosom yang mengandung sebagian besar asam deoksiribonukleat (DNA) pembawa informasi genetik yang sangat penting. Efek radiasi pada sel bersifat random. Artinya, jenis dan jumlah radiasi yang sama dapat mengenai sel yang sama beberapa kali namun menghasilkan efek yang berbeda. Pada umumnya semakin besar radiasi mengenai sel maka akan semakin besar kemungkinan efek yang muncul. Jika sejumlah besar sel terkena radiasi maka sel organisme tersebut dapat terluka atau mati. Seluruh makhluk hidup senantiasa terkena pajanan radiasi latar belakang (*background*). Sebagian besar sel memiliki kemampuan untuk memperbaiki beberapa kerusakan akibat radiasi pada tingkat tertentu. Efek dari dosis radiasi yang sama dengan latar belakang tidak mungkin dapat diukur pada satu individu saja sehingga efek tersebut seringkali dinilai pada suatu populasi daripada per-

individu.¹ Ketika sel menyerap radiasi, maka terdapat empat kemungkinan efek pada sel tersebut. Pertama, sel menjadi cukup terluka yang menyebabkan hilangnya fungsi normal dan sel akan mati. Kedua, sel kemungkinan kehilangan kemampuannya untuk bereproduksi. Ketiga, kode genetik (DNA) yang dikandungnya dapat terluka sedemikian sehingga salinan baru akan berubah yang menyebabkan munculnya kanker. Dan yang ke empat, penyerapan radiasi oleh sel tidak menyebabkan efek apapun.² Interaksi ini masih terus dikembangkan dengan meninjau efek yang terjadi pada sel yang tidak terkena pajanan langsung yang disebut "*bystander effects*".

Kecelakaan radiasi dapat terjadi dimana saja, di rumah sakit, industri, laboratorium, atau dalam perjalanan suatu sumber. Karena pajanan radiasi berhubungan dengan risiko kerusakan sel yang akan berdampak pada kesehatan seseorang yang terkena pajanan maka diperlukan suatu petunjuk praktis bagi dokter atau paramedis dalam menangani korban kecelakaan radiasi.

Penanganan medik yang efektif pada kecelakaan yang melibatkan pajanan radiasi akut dan berlebihan diperlukan catatan medik berkesinambungan, melakukan uji efek radiasi yang tepat, dan menentukan dosis yang tercatat pada dosimeter serta menentukan tingkat radioaktivitas dalam rangka memberikan informasi diagnostik guna penentuan dosis untuk pencatatan proteksi personil. Beberapa parameter generik dan pendekatan respon-dini meliputi pengukuran radioaktivitas dan memonitor korban yang terkena pajanan, mengamati dan mencatat tanda-tanda awal (prodromal) dan munculnya eritema, melakukan pencacahan sel darah lengkap terutama hitung jenis sel darah putih, dan uji sitogenetik aberasi kromosom menggunakan uji disentrik sebagai “*gold standard*” dan atau uji translokasi untuk waktu yang lama setelah pajanan untuk menentukan besarnya dosis.³

Dengan terus berkembangnya pemanfaatan teknologi nuklir dalam segala aspek kehidupan manusia, maka dosimetri atau penentuan dosis merupakan hal yang sangat penting dalam proteksi radiologik. Pemonitoran ruang kerja dan dosimetri personil pada dasarnya digunakan untuk mengantisipasi

terjadinya pemajanan berlebihan atau untuk menjadi bukti ketika seseorang melakukan tindakan komplain sehubungan dengan pemajanan radiasi berlebihan yang dialaminya. Pada awalnya hal ini didasari dengan pembatasan dosis yang didukung oleh tidak adanya perubahan yang terjadi pada diri personil melalui pengkajian yang orisinal dengan pemantauan fisik. Akan tetapi tidak satupun hal ini dapat membuktikan keabsahan dan semuanya bisa berjalan ke arah yang salah. Seseorang yang terkena pajanan radiasi dapat saja terjadi saat tanpa adanya monitor dan atau monitor personil menerima dosis ketika tidak digunakan. Dalam situasi demikian maka dosimetri biologi menjadi penting. Dosimetri biologi sebagai salah satu sarana harus ditetapkan sendiri untuk masing-masing laboratorium dalam rangka pengendalian pajanan. Dosimetri ini mempunyai peranan sangat penting ketika terjadi kecelakaan.⁴ Dua diantara sekian banyak jenis dosimetri biologi adalah aberasi kromosom yang dapat ditentukan dengan teknik *premature chromosome condensation* (PCC) dan mikronuklei (MN) yang keduanya akan dibahas dalam makalah ini.

DOSIMETRI BIOLOGI

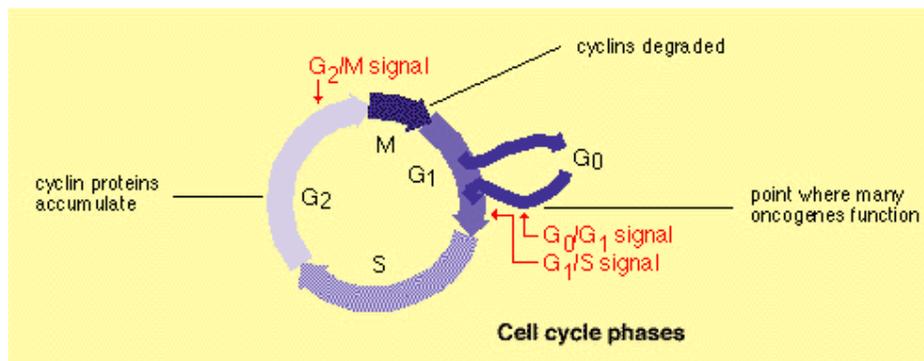
Prinsip dosimetri biologi adalah menentukan dosis (serap) radiasi dengan mengukur perubahan yang terjadi akibat radiasi pada tubuh manusia. Dosimetri ini memiliki sejumlah aplikasi. Salah satu yang paling menonjol adalah dalam kasus kecelakaan radiasi yang tidak disertai dengan dosimetri fisik. Kadangkala metode dosimetri fisik harus dilengkapi atau didukung oleh uji biologik, sebagai contoh terjadinya pajanan sebagian tubuh (parsial) dengan dosimetri fisik diluar area radiasi. Cek silang dosis yang diukur secara fisik memang diperlukan pada kondisi tertentu. Akan tetapi, jika dosis ditentukan secara biologik, variabilitas biologik akan mempengaruhinya, karena diyakini untuk individu yang radiosensitif akan memiliki efek yang lebih besar pada materi biologiknya daripada ukuran rata-rata. Metode fisik sama sekali tidak sesuai untuk maksud ini⁵. Dosis serap merupakan besaran fisik paling penting untuk mengevaluasi potensi respon biologik sebagai akibat pajanan terhadap radiasi pengion. Dosimetri fisik pada umumnya dilakukan dengan menggunakan peralatan yang sensitif terhadap efek fisik dari radiasi pengion. Akan tetapi dalam banyak kasus yang melibatkan pajanan akibat kecelakaan secara nyata

atau terduga, seseorang tersebut tidak menggunakan dosimeter, dan karena itu dosimetri fisik tidak dapat mewakili. Dalam situasi demikian maka studi efek biologik dini yang diinduksi oleh radiasi pengion telah diusulkan baik sebagai pelengkap maupun metode alternatif untuk penentuan dosis.⁶

Untuk materi biologik, sel darah perifer merupakan salah satu diantara berbagai macam materi yang dapat dimanfaatkan dengan sel limfosit menjadi andalan utama karena berbagai kelebihanannya. Materi biologi yang lain yang dapat digunakan meliputi sel *stem* (induk), kuku, gigi, rambut, sperma dan urin. Limfosit manusia adalah sel yang memiliki masa hidup panjang serta mudah diperoleh dari sampel darah. Karena sebagian besar dalam keadaan tidak membelah, maka mereka pada umumnya pada keadaan fase sel G₀ yakni fase sebelum replikasi DNA (Gambar 1). Sel ini dapat distimulasi secara *in vitro* untuk melakukan pembelahan mitotik dengan memberi suatu protein phytohemagglutinin (PHA) dan dapat dihentikan pada metafase pertama dengan menggunakan senyawa colcemid setelah 45 jam dikultur pada 37°C. Slide kemudian dibuat, dikeringkan dan diwarnai dengan Giemsa atau dengan

suatu pelacak (*probe*) *Fluoresence in situ hybridization* (FISH) dan dihitung kelainan dalam sel yang terjadi. Untuk mengetahui ada tidaknya sel yang berasal

dari metafase kedua maka dapat digunakan BrdU yakni pewarnaan fluoresen plus Giemsa (FPG).⁷



Gambar 1. Fase G₀ dari siklus sel yang menunjukkan fase dimana sebagian besar sel limfosit berada pada fase ini.

Dalam penentuan dosis, ditemui beberapa masalah antara lain kemungkinan tingginya dosis radiasi yang menyebabkan berkurangnya jumlah limfosit secara drastis sehingga perkiraan dosisnya kurang tepat. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan teknik *premature chromosome condensation* (PCC). Masalah lain muncul yakni perlunya memperoleh informasi dosis dalam waktu yang dapat diterima. Hal ini selain dapat diatasi dengan teknik PCC, juga dapat diatasi dengan uji mikronuklei (MN) yang keduanya akan dibahas dalam paragraf-paragraf berikut ini. Adalah merupakan hal yang penting untuk Akan tetapi uji ini memerlukan waktu beberapa minggu yang merupakan waktu

menetapkan dosis serap sebelum munculnya tanda-tanda klinis. Hal ini penting untuk menentukan pengobatan dan pengkajian proses kesembuhannya.

PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION (PCC)

Satu tujuan penting dalam penelitian onkologi radiasi adalah pengembangan teknik dan uji atau kombinasi uji untuk perkiraan respon sel tumor dan sel normal terhadap radiasi yakni radiosensitivitas intrinsiknya. Uji ini dapat dilakukan dengan uji koloni yang sangat berhubungan erat dengan keluaran radioterapi.

yang cukup lama bagi pasien kanker. Oleh karena itu perlu dikembangkan

teknik yang digunakan secara rutin dalam klinis. Uji ini juga harus dapat memberikan ukuran langsung atau tidak langsung kematian sel, dimana radiosensitivitas kromosom merupakan satu titik akhir dalam radiosensitivitas intrinsik seluler. Para peneliti kemudian mengembangkan aberasi kromosom metafase dengan teknik konvensional, akan tetapi ditemui kesulitan dalam memperoleh jumlah sel metafase yang cukup karena tertundanya siklus sel atau kematian sel inter-fase setelah radiasi. Permasalahan ini dapat diatasi dengan mempelajari aberasi sel inter-fase secara langsung. Teknik ini disebut PCC yang menggunakan penghambat pospatase. Karena prosedurnya sederhana dan menghasilkan sel dalam keadaan *non cycling*, sehingga unggul untuk menentukan kerusakan kromatin akibat berbagai macam kualitas radiasi karena seseorang dapat mengamati kromatin tanpa adanya efek penundaan siklus sel yang tergantung pada LET dan kematian inter-fase. Teknik PCC juga sangat bermanfaat untuk mengukur patahan kromatid dalam semua fase siklus sel, khususnya fase G2.⁸

Teknik PCC konvensional dilakukan dengan penggabungan (fusi)

sel berinti satu dari darah perifer dengan sel *Chinese Hamster Ovary* (CHO) mitotik dengan bantuan polietilen-glikol (PEG) atau virus Sendai akan menyebabkan terjadinya kondensasi (percepatan) kromosom prematur pada sel interfase. PEG atau virus berfungsi merubah permeabilitas membran sehingga mudah terjadi fusi. Membran inti akan terlarut dengan cepat dan setelah kondensasi kromatin selesai maka 46 kromatid tunggal akan terlihat. Efek radiasi sendiri akan terbentuk sebagai *fragment* dan oleh karena itu bahan kromatid yang melebihi 46 dihitung untuk memperkirakan besarnya kerusakan sitogenetik. Berbeda dengan uji aberasi kromosom atau mikronuklei dalam limfosit, di sini tidak diperlukan stimulasi pembelahan sel untuk mengevaluasi kerusakan sel. Teknik ini mampu menghindari masalah variabilitas stimulasi dan analisisnya jauh lebih cepat. Hasilnya dapat diperoleh dalam 2 jam setelah pengambilan darah.⁹

Selain menggunakan sel CHO yang tekniknya sulit dan rumit serta hasilnya terkadang tidak baik,

maka para peneliti mengembangkan teknik PCC yang distimulasi dengan senyawa kimia. Teknik PCC menggunakan senyawa kimia pertama kali diperkenalkan oleh Kanda R dkk¹⁰ di Jepang yang mengkombinasi induksi kondensasi kromosom prematur dengan asam okadaik atau calyculin A dan penyederhanaan pewarnaan Giemsa. Metode ini mampu mengatasi tiga kendala utama dosimetri biologik konvensional dengan analisis disentrik pada dosis tinggi yakni : a, limfopenia yang disebabkan oleh kematian sel akan menurunkan jumlah limfosit, b, “*arrest*” siklus sel akibat radiasi menyebabkan rendahnya indeks mitotik, dan c, penjujukan hasil disentrik pada dosis tinggi menurunkan presisi perkiraan dosis. Oleh karena itu indeks mitotiknya akan

rendah dan jumlah sel kompeten yang memberikan hasil nyata secara statistik yang didasarkan pada penghitungan paling tidak 100 sel sangat sukar dilakukan pada dosis yang demikian tinggi. PCC yang diinduksi secara kimia secara efisien dapat diperoleh bahkan pada sel yang terkena pajanan hingga 40 Gy.¹¹ Selain dapat digunakan untuk paparan dosis tinggi hingga 40 Gy, teknik ini lebih cepat dan sederhana, dalam waktu 4-6 jam sudah dapat diketahui besarnya dosis. Dengan memfokuskan pada PCC-*ring*, Kanda R¹⁰ mengklaim bahwa hasil PCC berbanding lurus dengan dosis radiasi hingga 20 Gy dan lebih baik daripada disentrik untuk dosis lebih dari 10 Gy. Contoh hasil analisis dengan teknik PCC dengan calyculin A diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh hasil uji *Premature Chromosome Codensation* (PCC) untuk mendeteksi patahan kromosom (tanda panah). PCC adalah metode yang menghindari *cell-cycle checkpoints*.

Seperti disebutkan di atas bahwa untuk pajanan radiasi dosis tinggi (lebih dari 10 Gy), uji aberasi kromosom tidak sepenuhnya dapat digunakan karena berkurangnya jumlah sel limfosit secara drastis dalam darah sebagai akibat respon fisiologik. Namun tidak demikian halnya dalam penelitian Wojcik A dkk¹² yang mampu menganalisis aberasi kromosom dan mikronuklei (MN) pada pasien kanker yang menerima dosis hingga 100 Gy akibat kecelakaan. Penentuan dosis yang cepat pun menjadi hal yang penting dalam kasus kecelakaan radiasi. Hal ini dapat diatasi dengan teknik PCC.⁸ Dengan PCC, untuk pajanan 40 Gy, sekitar 2% indeks PCC (15% untuk 15 Gy) masih dapat diperoleh untuk analisis sebaran kromosom.

Blakely WF dkk¹³ dari *Armed Forces Radiobiology Research Institute* (AFRRI) di Amerika Serikat juga sedang mengembangkan teknik PCC menggunakan senyawa kimia komersial untuk mengukur aberasi kromosom akibat radiasi pada sel interfase. Metode ini menggunakan suatu senyawa untuk menginduksi PCC dalam limfosit darah perifer manusia yang berada pada fase "istirahat" (G_0). Kemudian *probe* atau pelacak *DNA whole-chromosome* yang

spesifik digunakan dengan teknik FISH untuk mendeteksi sel aberan secara cepat dengan rentang dosis yang luas. Dalam penelitiannya mereka mengembangkan uji *polymerase chain reaction* (PCR) *real-time fluorogenic 5'-nuclease* atau TaqMan untuk mengidentifikasi *bio-marker* molekuler yang responsif terhadap radiasi seperti ekspresi gen sasaran dan mutasi DNA. Tujuannya adalah menetapkan sistem uji yang cepat, tepat dan handal yang dapat digunakan secara praktis pada berbagai skenario pajanan. Metodologi yang memiliki sejumlah aplikasi ini bersama dengan *software* diagnostik saat ini sedang dikembangkan untuk kedaruratan dan kepentingan pembacaan medik.

Teknik PCC telah digunakan oleh Kanda R dkk¹⁰ untuk mengevaluasi dosis yang diterima oleh tiga korban kecelakaan radiasi di Tokaimura Jepang yang melibatkan dosis tinggi radiasi sinar gamma dan neutron (3,0-24,5 Gy). Peneliti tersebut menggunakan bentuk spesifik aberasi kromosom sebagai *PCC-ring* karena frekuensi bentuk cincin ini lebih tinggi akibat pajanan neutron daripada sinar gamma, meskipun bentuk cincin ini bukan merupakan aberasi spesifik untuk neutron. Penelitian intensif

saat ini sedang dikembangkan untuk mengidentifikasi bentuk kromosom spesifik, disertai biomarker molekuler untuk mengatasi keterbatasan ini. Dengan melihat morfologi PCC kita juga bisa mengetahui fase sel. Morfologi PCC menunjukkan fase siklus sel dari sel interfase pada saat penggabungan. Sebagai contoh sel dari fase G1 akan menunjukkan kromatid tunggal per kromosom dan sel dari G2 menunjukkan dua kromatid per kromosom, sedangkan sel dari fase S akan menunjukkan PCC yang hancur/lebur.

Teknik PCC yang dikombinasi dengan teknik FISH juga dapat digunakan untuk mengetahui sensitivitas cell lines terhadap radiasi. Sasai K dkk¹⁴ dari *Department of Radiation Oncology, Stanford University School of Medicine, California, USA*, membuktikan hal ini dengan menggunakan sel fibroblast manusia normal, ataxia-telangiectasia, fibrosarkoma dan melanoma. Sel diiradiasi dengan rentang dosis tertentu kemudian daya tahan hidup sel dan patahan kromosom nomor 4 yang dipulas dengan FISH diuji segera atau 24 jam setelah diiradiasi. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah patahan kromosom sebanding dengan dosis radiasi untuk semua jenis sel yang diuji. Patahan

kromosom juga bertahan hingga 24 jam setelah iradiasi yang menunjukkan radiosensitivitas sel sehingga hubungan antara aberasi kromosom dan daya tahan hidup sel terlihat sama untuk *cell line* yang berbeda. Dengan demikian pencacahan kromosom dengan teknik FISH dan PCC dalam interfase sangat berguna untuk memperkirakan radiosensitivitas sel secara *in situ*.

MIKRONUKLEI

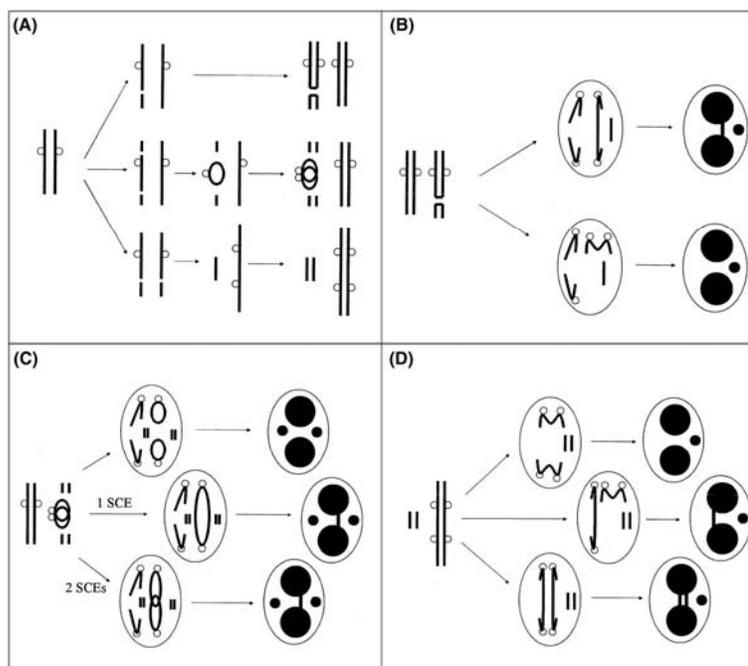
Selain aberasi kromosom yang dapat dideteksi dengan teknik PCC, teknik uji lain yang juga dapat digunakan dalam biosimetri adalah uji mikronukleus yang mana sitokinesis selnya diblok dengan suatu senyawa kimia. Teknik ini dapat untuk mengidentifikasi *fragment* (patahan) atau kadangkala kromosom utuh yang tidak tersegregasi secara benar saat proses mitosis menjadi inti anak. Mikronuklei keluar ke sitoplasma sebagai suatu bentuk kromatin yang diskret yang terlihat berada didekat dua inti anak (binukleat). Keunggulan utama dari uji ini adalah waktu prosesnya dimana mikronuklei dapat dihitung dengan cepat dan sangat sesuai untuk deteksi awal pada sejumlah besar korban kecelakaan radiasi.¹⁵ Teknik pengeblokan yang dimaksudkan untuk memperoleh mikronuklei ini telah diper-

kenalkan lebih dari 30 tahun lalu, tepatnya tahun 1975.⁸ Proses atau mekanisme pembentukan mikronuklei dijelaskan dalam Gambar 3 yang diadopsi (dengan ijin) dari Thomas P. dkk.¹⁶ Jadi MN adalah bentukan kecil di luar inti yang terpisah dari yang utama dan terbentuk selama pembelahan sel oleh kromosom atau fragment kromosom yang terlambat. Karena berhubungan dengan aberasi kromosom, MN telah digunakan sejak tahun 1937 sebagai indikator pajanan genotoksik berdasarkan pada studi radiasi oleh Brenneke dan Mather.¹⁷ Sejak saat itu banyak studi lain dilakukan pada sel tumbuhan, hewan dan manusia, baik secara *in vitro* maupun *in vivo*. Penelitian frekuensi MN juga mendukung asumsi bahwa MN ini merupakan produk awal proses karsinogenik pada manusia.

Uji MN sitokinesis-blok (CB) *in vitro* limfosit darah manusia telah digunakan secara luas untuk pengkajian kerusakan kromosom yang diakibatkan oleh radiasi pengion atau senyawa kimia.¹⁸ MN yang diinduksi radiasi menunjukkan ketergantungannya pada dosis dan kualitas radiasi, dengan demikian MN dapat digunakan sebagai dosimeter biologi untuk maksud proteksi radiasi.¹⁹ Penghitungan MN yang sederhana dibandingkan disentrik dan

kemungkinan untuk menghitung secara otomatis menjadikan tes ini sangat atraktif (menarik) jika sejumlah besar sel harus dihitung yakni untuk skrining rutin para pekerja yang terpajan dosis rendah di ruang kerjanya atau dalam kasus kecelakaan radiasi.²⁰ Skrining orang yang terpajan radiasi dosis rendah lebih jauh memerlukan sensitivitas uji yang tinggi. Untuk maksud ini, terdapat permasalahan mendasar yakni variabilitas yang tinggi diantara frekuensi MN yang terjadi secara spontan.²¹

Pada Gambar 3, proses pembentukan mikronuklei secara mendetail adalah sebagai berikut. (A) Atas, *double-strand DNA break* (DSB) terjadi pada satu kromosom yang tetap ada sampai setelah replikasi. *Misjoining* ujung patahan akan mengarah ke pembentukan kromatid disentrik dan satu fragment asentrik. (Tengah) Dua DSB terbentuk pada kedua sisi sentromer dari satu kromosom. Ujung patahan yang *misrepaired* menghasilkan kromatid cincin dan dua *fragment* asentrik yang selanjutnya direplikasi. (Bawah) DSB terbentuk pada dua kromosom homolog atau non-homolog. *Misjoining* ujung patahan mengarah ke pembentukan kromatid disentrik dan fragment asentrik yang kemudian direplikasi.



Gambar 3. Proses pembentukan awal mikronuklei disertai *nucleoplasmic bridge* (NPB) yang diterangkan secara lebih jelas dalam teks.¹⁶

(B) (Atas) Sentromer dari kromatid disentrik bergerak ke arah kutub yang berlawanan pada anafase membentuk NPB dan *fragment* kromatid asentrik yang tertinggal membentuk MN. (Bawah) Sentromer kromatid disentrik keduanya bergerak ke arah kutub yang sama dan tidak terbentuk NPB, akan tetapi *fragment* kromatid asentrik yang tertinggal membentuk MN.

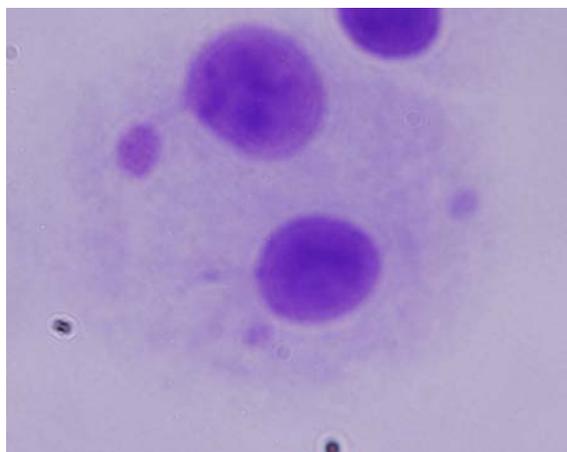
(C) (Atas) Kromatid cincin disegregasi secara normal tetapi *fragment* asentrik gagal pada anafase membentuk MNi. (Tengah) Dua kromatid cincin, setelah selesai satu SCE, ditransformasi ke dalam kromatid cincin disentrik besar

yang mengarah ke pembentukan NPB ketika sentromer bergerak ke arah kutub berlawanan pada anafase. *Fragment* asentrik yang menyertainya gagal pada anafase membentuk dua mikronuklei. (Bawah) Dua kromatid cincin, setelah selesai 2 SCE, berturut-turut mengarah ke pembentukan NPB ketika sentromer bergerak ke arah kutub berlawanan dari sel pada anafase. *Fragment* asentrik yang menyertainya gagal pada anafase membentuk dua MNi. (D) (Atas) Sentromer kromatid disentrik bergerak ke arah kutub yang sama dan tidak ada NPB yang terbentuk. (Tengah) Sentromer dari NPB. (Bawah) Sentromer dari kedua

kromatid disentrik bergerak ke kutub berlawanan menyebabkan pembentukan dua NPBs. Pada masing-masing kejadian tersebut satu MN terbentuk dari gagalnya *fragment* kromosom asentrik menyertai kromosom disentrik.¹⁶

Meninjau awal mula MN muncul, telah diketahui dengan baik bahwa sebagian besar MN akibat radiasi terutama berasal dari fragmen kromosom asentrik yang merupakan hasil patahan kromosom. Sejumlah kecil MN akibat radiasi dapat berasal dari kromosom utuh yang gagal (*lag*) setelah anafase disebabkan karena beberapa kelainan pada tingkat spindle atau protein kinetochore. Contoh hasil uji mikronuklei disajikan dalam Gambar 4. Di lain pihak, teknik pengeblokan sitochalasin-B untuk

menginduksi mikronuklei juga menjadi andalan banyak peneliti dalam menentukan dosis radiasi. Mikronuklei dalam sel dua inti terbentuk selama transisi metafase-anafase ketika seluruh kromosom hilang (kejadian aneugenik) atau fragment kromosom asentrik setelah terjadi patahan kromosom (kejadian clastogenik) yang tidak bergabung ke dalam inti sel anak. Karena lebih sederhana, lebih cepat, tidak mahal serta bentuk mikronuklei yang sederhana, mudah dikenali dan ada potensi untuk otomatisasi dengan sitometri maka teknik pengeblokan sitokinesis ini juga diandalkan oleh para peneliti.⁸



Gambar 4. Contoh hasil uji mikronuklei yang diinduksi oleh radiasi sinar gamma dosis 1 Gy. Empat mikronuklei yang berada di samping BNC di dalam sitoplasma.

Kemungkinan pemendekan masa kultur pun telah dibuktikan oleh penelitian Koksal G dkk²² (dari semula 72 jam menjadi 64 jam atau bahkan 56 jam) sehubungan dengan pentingnya waktu antara pengambilan sampel dan perolehan data. Hubungan dosis-respon mikronuklei akan sama atau sedikit lebih rendah daripada disentrik karena tidak semua fragment asentrik berubah menjadi mikronuklei.²³ Sebanyak 1000 sel binukleat biasanya dihitung dan cukup untuk penentuan dosis setelah pewarnaan dengan reaksi Fuelgen, pewarna Giemsa atau fluoresen. Penelitian oleh Lee TK dkk²⁴ mengisyaratkan bahwa mikronuklei dalam limfosit darah perifer dapat dijadikan sebagai biodosimeter untuk pajanan akut dan mungkin juga kronik setelah radiasi *in vivo*. Perbedaan antara pajanan radiasi pengion dengan non radiasi juga dapat diketahui dengan uji mikronuklei menggunakan pelabelan kromosom.²⁵ Namun terdapat variasi yang cukup besar antar-laboratorium atau antar-individu, terutama untuk dosis dengan LET rendah, sehingga masing-masing laboratorium harus merekonstruksi kurva dosis-respon sendiri. Jumlahnya yang menurun dengan waktu dan

sensitivitasnya rendah menyebabkan uji ini perlu dipertimbangkan sebagai dosimetri biologi. Dengan kejadian mikronuklei spontan antara 3-30 per 1000 BNC, uji ini juga menjadi kurang diminati, selain dapat meninggi dengan bertambahnya umur untuk kejadian MN spontan.⁸

Beberapa keunggulan dari uji MN^{8,22} adalah sbb. :

1. Dapat dikombinasi dengan deteksi mutasi kromosom dan genom sekaligus.
2. Dapat membedakan antara klastogen dan aneugen.
3. Ada kemungkinan mendeteksi apoptosis atau nekrosis secara bersamaan.
4. Dapat digunakan untuk banyak jenis sel, cepat, murah, dan sederhana.
5. Ada kemungkinan otomatisasi dan unggul secara statistik.
6. Dapat membedakan antara sel yang sedang membelah dan tidak membelah.
7. Mampu mendeteksi jembatan disentrik (*dicentric bridges*) sebagai jembatan nukleoplasmik dan pengkajian proliferasi sel (persentase sel binukleat).

Akan tetapi uji ini memiliki keterbatasan terutama oleh adanya frekuensi *background* yang lebih besar dan lebih bervariasi dibandingkan dengan disentrik. Uji MN juga tidak mampu mendeteksi semua aberasi kromosom struktural (hanya asentrik), membutuhkan pembelahan sel untuk ekspresi MN, ada kemungkinan interferensi oleh sitochalasin-B seperti *spindle poison*, ada kemungkinan interferensi dengan penghambat lain dari sitokinesis, dan sitotoksitas sitochalasin-B itu sendiri bervariasi antar-jenis sel atau bahkan antar-sub jenis dari jenis sel yang sama.

PEMANFAATAN UJI MIKRONUKLEI DI LAPANGAN

Keandalan uji mikronuklei sebagai dosimeter biologi telah dibuktikan oleh sejumlah laboratorium dalam memantau dosis yang diterima pasien kanker yang menjalani radioterapi. Sampel darah diambil sebelum dan dalam interval waktu tertentu setelah radioterapi (*in vitro*) dan radioterapi itu sendiri sebagai radiasi *in vivo*. Diperoleh hubungan yang linier dari dosis-respon untuk mikronuklei baik *in vivo* maupun *in vitro*. Dosis *in vivo* dapat diketahui dengan mengurangi frekuensi mikronuklei pada kurva iradiasi darah *in*

vitro. Salah satu penelitiannya adalah Le Roux J dkk²⁶ dari *Directorate for Health Technology, Department of Health, Bellville, Afrika Selatan* membuktikan keandalan uji MN ini karena dapat mendekati dan mengoreksi dosis yang diterima pasien pada daerah pelvis dan pulmonary yang telah ditentukan dengan pemeriksaan fisik. Uji ini juga digunakan dalam sejumlah kecelakaan radiasi. Uji ini relatif cepat dan dikategorikan sebagai dosimeter biologi “lini pertama” dalam situasi dimana terjadi pajanan akibat kecelakaan dengan dosis tinggi. Sedangkan Catena C dkk²⁷ dari Italia menguji keandalan uji sitogenetik yang nilainya dapat berubah dengan berjalannya waktu. Teramati adanya kenaikan frekuensi mikronuklei dalam limfosit pasien kanker yang menjalani radioterapi dan setelah iradiasi sinar-X dosis 2 Gy secara *in vitro*. Efek sitogenetik ini diperoleh secara *in vitro* dengan menambahkan dari hasil secara *in vivo*. Mereka menemukan bahwa koefisien k berbanding terbalik dengan frekuensi mikronuklei dan mereka membuktikan bahwa uji mikronuklei dan faktor penyembuhan sitogenetik dapat ditetapkan sebagai cara diagnostik yang cocok digunakan dalam bidang radioterapi.

Livingstone GJ dkk²⁸ di Ohio USA menguji validitas uji mikronucleus sebagai suatu *biomarker* kerusakan kromosom dalam sel mamalia yang aktif membelah. Uji dilakukan untuk mempelajari respon limfosit darah perifer pasien laki-laki berumur 34 tahun setelah pemberian terapi radiasi dengan I-131 dosis ablasi setelah tiroidektomi total. Untuk sampel pertama menunjukkan 35.5 mikronuklei per 1000 sel binukleat. Didasarkan pada persamaan linier dosis-respon dari studi sebelumnya, kenaikan frekuensi mikronuklei sebesar 6 kali menunjukkan bahwa dosis pada darah perifer mendekati 11 cGy dan mendekati 30 cGy jika menggunakan model baru dari data cacah seluruh tubuh eksternal. Meskipun cacah mikronukleus berfluktuasi (4-6 kali di atas *background*), frekuensi setelah 8 bulan mirip dengan sampel pertama. Data juga menunjukkan bahwa kerusakan seluler akibat radiasi tetap ada selama berbulan-bulan. Hasil studi ini mendukung bahwa uji mikronuklus limfosit adalah cepat, sensitif dan mungkin merupakan biomarker kuantitatif pajanan radiasi dosis rendah (< 25 cGy).

Penelitian mikronuklei pada darah perifer yang diperoleh dari berbagai organisme seperti manusia, sapi,

kambing, kelinci, ikan dan ayam telah dilakukan oleh Kim SR dkk²⁹ di Chonnam National University, Korea Selatan. Pengamatan menunjukkan kenaikan frekuensi MN dengan rentang dosis hingga 400 cGy pada semua organisme yang diuji. Darah manusia, sapi, dan kambing lebih sensitif dibandingkan dengan babi dan kelinci. Namun penelitian ini gagal menunjukkan hasil uji MN pada ikan dan ayam. Mereka juga menyatakan bahwa studi radiobiologi *in vitro* menggunakan spesies mamalia tertentu dapat digunakan untuk studi lingkungan. Studi lain yang membandingkan frekuensi MN pada manusia, tikus dan mencit telah dilakukan menggunakan sumber radiasi sinar-X dosis 38, 75, 150 dan 300 cGy. Ada kecenderungan kenaikan persentase MN dengan bertambahnya dosis dan kurva regresi linier-kuadrat hampir sama. Mencit lebih tinggi komponen kuadratiknya daripada manusia dan tikus. Meskipun korelasi antara persentase sel dengan MN dan aberasi kromosomnya tinggi (r^2 lebih dari 0,95), darah mencit dan tikus dua kali lebih efisien dalam membentuk MN.³⁰

Joksic G. dkk³¹ dari *Institute of Nuclear Sciences, Medical Protection Center*, Beograd, Yugoslavia mengguna-

kan uji MN dan analisis aberasi kromosom untuk perkiraan variabilitas respon limfosit manusia individual terhadap radiasi dari donor berbagai umur. Kedua analisis dilakukan dalam tiga kelompok dewasa, berumur antara 18-65 tahun dengan dua kali waktu sampling, setelah iradiasi dosis terapeutik 2 Gy elektron secara *in vitro*. Hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan nyata secara statistik dari aberasi *exchange* yang terbentuk. Hasil data aberasi total menunjukkan variabilitas lebih besar dan nyata secara statistik pada kelompok umur lebih tua daripada dua kelompok lainnya. Studi juga menunjukkan sedikit kenaikan kejadian mikronuklei secara spontan dengan umur dan ada variasi jumlah mikronuklei akibat radiasi di antara individu dari kelompok umur yang sama. Penelitian ini mengklaim bahwa uji mikronukleus lebih sensitif daripada analisis aberasi kromosoma untuk menentukan radiosensitivitas individual. Dari segi proteksi radiasi, para peneliti dari India melakukan pengujian keandalan senyawa (*E*)-4-[4-*N,N*-dimethylaminophenyl]but-3-en-2-one (DMAP) yang mungkin dapat digunakan untuk menekan pembentukan MN (polikromatik mikronuklei).³² Hal ini masih perlu diteliti lebih jauh

menggunakan berbagai macam senyawa yang bersifat protektif seperti ginseng.

PENUTUP

Dalam makalah ini telah dibahas satu dari sekian banyak teknik dan uji yang diandalkan oleh para peneliti, praktisi kedokteran dan petugas keselamatan untuk mengetahui besarnya dosis radiasi yang diterima oleh korban kecelakaan atau untuk uji dosis pada pasien radioterapi. Untuk menjamin keselamatan pekerja, para ahli menekankan pentingnya pembatasan waktu pajanan radiasi dan oleh karena itu para pekerja tidak diperbolehkan bekerja pada waktu yang lama pada satu jenis kegiatan saja. Biomonitoring individual (dosimetri fisik dan biologi) harus diberlakukan disertai penerapan peraturan yang ketat dalam proteksi radiasi dalam kerangka studi genetik. Pengobatan medis korban kecelakaan radiasi harus dibantu dengan hasil perkiraan dosis individual biologik. Uji klinis biodosimetri ini meliputi penentuan aberasi kromosom dalam limfosit darah perifer, penentuan laju penurunan cacah limfosit darah absolut, dan penentuan waktu munculnya frekuensi atau keparahan sindrom radiasi seperti muntahan korban.

Analisis kromosom merupakan “gold standard” untuk biodosimetri. Aberasi kromosom disentrik dan cincin serta mikronuklei berhubungan erat dengan dosis radiasi, dan yang terbaik adalah hubungan linear-kuadratik. Dengan perkembangan teknologi, deteksi aberasi tersebut dilakukan menggunakan hibridisasi *probe* (pelacak) terhadap sentromer dan metafase dengan perkembangan teknologi mutakhir dapat dilakukan secara otomatis. Sejumlah 20 metafase cukup dihitung untuk perkiraan awal dosis. Akan tetapi analisis kromosom yang baik umumnya membutuhkan waktu 4-5 hari (meliputi 1 hari sebelum pengambilan darah, dua hari untuk inkubasi, dan satu hari untuk menghitung metafase oleh seorang ahli dosimetri.³³ Untuk dosis radiasi tinggi, para ahli menggunakan teknik PCC yang efektif dalam penentuan dosis tinggi. Mikronuklei yang penghitungannya relatif jauh lebih cepat dan mudah dibandingkan dengan aberasi kromosom ternyata kurang sensitif bila dibandingkan dengan kromosom disentrik. Kebolehjadian mikronuklei secara spontan lebih besar (sekitar 10-20 kali) dari kromosom disentrik menjadikan uji ini menjadi perhitungan tersendiri.

DAFTAR PUSTAKA

1. METTLER, F.A., Jr. and MOSELEY, R.D., Jr., Medical Effects of Ionizing Radiation, Grune & Stratton, Inc., Orlando, Florida, 1985.
2. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, COMMITTEE ON BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION, Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR V, National Academy Press, Washington, D.C., 1990.
3. SCHWARTZ, J.L., JORDAN, R., LENARCZYK, M. and LIBER, H.L., Delayed genomic instability in human lymphoblasts exposed to ¹³⁷Cs γ -rays radiation, *Radiation Research*, 159, 730-736, 2003.
4. EDWARDS, A., Biological dosimetry: A FISHy story, National Radiological Protection Board, Chilton, 2006.
5. MULLER, W.U., and STEFFER, C., Biological indicators for radiation damage, *International Journal of Radiation Biology*, 59, 863-873, 1991.
6. BARBOSA, I.S., MAGNATA, S.P., AMARAL, A., SOTERO, G. and MELO H.C., Dose assessment by quantification of chromosome aberrations

- tions and micronuclei in peripheral blood lymphocyte from patients exposed to gamma radiation, *Genetics and Molecular Biology*, 28, 452-457, 2005.
7. NOWELL, P.C., Phytohemagglutinin initiator of mitosis in cultures of normal human leukocytes, *Cancer Research*, 20, 462-466, 1960.
 8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Cytogenetic analysis for radiation dose assessment, Technical Report Series no. 405, Vienna, 2001.
 9. MULLER, W.U. and STREFFER, C., Biological indicators for radiation damage, *International Journal of Radiation Biology*, 59, 863-873, 1991.
 10. KANDA, R., HAYATA, J., and LLOYD, D.C., Easy biodosimetry for high-dose radiation exposures using drug induced, prematurely condensed chromosomes, *International Journal of Radiation Biology*, 75, 441-446, 1999.
 11. LAMADRID, A.I., GARCIA, O., DELBOS, M., VOISIN, P., and ROY, L., PCC-ring induction in human lymphocytes exposed to gamma and neutron irradiation, *Journal of Radiation Research*, 48, 1-6, 2007.
 12. WOJCIK, A., STEPHAN, G., SOMMER, S., BURACZEWSKA, I., KUSZEWSKI, T., WIECZOREK, A., and GOZDZ, S., Chromosomal aberration and micronuclei in lymphocytes of breast cancer patients after an accident during radiotherapy with 8 MeV electrons, *Radiation Research*, 160, 677-683, 2003.
 13. BLAKELY, W.F., PRASANNA, P.G., GRACE, M.B., and MILLER, A.C., Radiation exposure assessment using cytological and molecular biomarkers, *Radiation Protection Dosimetry*, 97(1), 17-23, 2001.
 14. SASAI, K., EVANS, J.W., KOVACS, M.S., and BROWN, J.M., Prediction of human cell radiosensitivity: comparison of clonogenic assay with chromosome aberrations scored using premature chromosome condensation with fluorescence *in situ* hybridization, *International Journal of Radiation Oncology Biology and Physics*, 30(5), 1127-1132, 1994.
 15. KOTELES, G.J., The human lymphocytes micronucleus assay. A review on its application in occupational and environmental medicine, *Centr Europ J Occup Environ Med*, 2, 12-30, 1996.

16. THOMAS, P., UMEGAKI, K., and FENECH, M., Nucleoplasmic bridges are a sensitive measure of chromosome rearrangement in the cytokinesis-block micronucleus assay, *Mutagenesis*, 18(2), 187-194, 2003.
17. RAMIREZ, A. and SALDANHA, P.H., Micronucleus investigation of alcoholic patients with oral carcinomas, *Genetics and Molecular Research*, 1(3), 246-260, 2002.
18. VRAL, A., THIERENS, H. and DE RIDDER, L., In vitro micronucleus-centromere assay to detect radiation-damage induced by low doses in human lymphocytes, *International Journal of Radiation Biology*, 71, 61-68, 1997.
19. PROSSER, J.S., MOQUET, J.E., LLOYD, D.C., and EDWARDS, A.A., Radiation induction of MN in human lymphocytes, *Mutation Research*, 199, 37-45, 1988.
20. BOCKER, W., STREFFER, C., MULLER, W.U. and YU, C., Technical report automated scoring of micronuclei in binucleated human lymphocytes, *International Journal of Radiation Biology*, 70(5), 529-537, 1996.
21. SMOLEWSKI, P., RUAN, Q., VELLON, L., and DARZYNKIEWICZ, Z., Micronuclei assay by laser scanning cytometry, *Cytometry*, 45, 19-26, 2001.
22. KOKSAL, G., LLOYD, D.C., EDWARDS, A.A., and PROSSER, J.S., The dependence of the micronucleus yield in human lymphocytes on culture and cytokinesis blocking times, *Radiation Protection Dosimetry*, 29(3), 209-212, 1989.
23. DOWNING, G.J., Biomarkers and surrogate endpoints in clinical research: definitions and conceptual model, Dalam: Biomarker: Clinical Research and Applications (Downing, G.J. ed.), Elsevier, Amsterdam, 1-9, 2000.
24. LEE, T-K., ALLISON, R. R., O'BRIEN, K. F., NAVES, J. L., KARLSSON, U. L. and WILEY, A. L., Jr. Persistence of micronuclei in lymphocytes of cancer patients after radiotherapy. *Radiation Research*, 157, 678-684, 2002.
25. VRAL, A., THIERENS, H., and DE RIDDER, L., In vitro micronucleus-centromere assay to detect radiation-damage induced by low doses in human lymphocytes, *International Journal of Radiation Biology*, 71, 61-68, 1997.

26. LE ROUX, J., SLABBERT, J., SMITH, B., and BLEKKENHORST, G., Assessment of the micronucleus assay as a biological dosimeter using cytokinesis-blocked lymphocytes from cancer patients receiving fractionated partial body-radiotherapy, *Strahlenther Onkol.*, 174(2), 75-81, 1998.
27. CATENA, C., CONTI, D., PARASACCHI, P., MARENCO, P., BORTOLATO, B., BOTTURI, M., LEONI, M., PORTALURI, M., PALEANI-VETTORI, P.G., and RIGHI, E., Micronuclei in cytokinesis-blocked lymphocytes may predict patient response to radiotherapy, *International Journal of Radiation Biology*, 70(3), 301-308, 1996.
28. LIVINGSTON, G.K., FOSTER, A.E., and ELSON, H.R., Effect of *in vivo* exposure to iodine-131 on the frequency and persistence of micronuclei in human lymphocytes, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 40(2-3), 367-375, 1993.
29. KIM, S.R., KIM, T.H., RYU, S.Y., LEE, H.J., OH, H., JO, S.K., OH, K.S., PARK, I.C., KIM, J.C., KANG, C.M., and KIM, S.H., Measurement of micronuclei by cytokinesis-block method in human, cattle, goat, pig, rabbit, chicken and fish peripheral blood lymphocytes irradiated *in vitro* with gamma radiation, *In Vivo*, 17(5), 433-438, 2003.
30. EREXSON, G.L., KLIGERMAN, A.D., BRYANT, M.F., SONTAG, M.R., and HALPERIN, E.C., Induction of micronuclei by X-radiation in human, mouse and rat peripheral blood lymphocytes, *Mutation Research*, 253(2), 193-198, 1991.
31. JOKSIC, G., NIKOLIC, M., and SPASOJEVIC-TISMA, V., Radiosensitivity of different aged human lymphocytes following electron irradiation *in vitro*, *Neoplasma*, 44(2), 117-121, 1997.
32. JAGETIA, G.C., JACOB, P.S., and RAO, M.N., (E)4-[4-N,N-dimethylaminophenyl]but-3-en-2-one (DMAP) treatment inhibits the radiation-induced micronucleus formation in bone marrow of BALB/c mice, *Mutation Research*, 306(1), 71-80, 1994.
33. DAINIAK, N., Response to and Management of a Radiological Crisis, Yale University School of Medicine, 2006.

AgNOR SEBAGAI MARKER PROLIFERASI DALAM PENILAIAN RESPON AWAL RADIASI PADA KEMORADIOTERAPI KANKER SERVIKS

*In Kurnia**, *Budiningsih S***, *Andrijono****, *Irwan Ramli*****, *Cholid Badri*****

*Bidang Biomedika PTKMR Batan-Jakarta

**Departemen Patologi Anatomi FKUI/RSCM-Jakarta

***Departemen Obstetri Ginekologi/FKUI/RSCM-Jakarta

****Departemen Radioterapi FKUI/RSCM-Jakarta

ABSTRAK

AgNOR SEBAGAI MARKER PROLIFERASI DALAM PENILAIAN RESPON AWAL RADIASI PADA KEMORADIOTERAPI KANKER SERVIKS. Radiosensitivitas sel terhadap radiasi merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan tingkat responsif sel kanker terhadap radioterapi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari AgNOR sebagai marker proliferasi dalam penilaian respon awal radiasi pada kemoradioterapi kanker serviks. Penelitian ini dilakukan dengan cara pewarnaan AgNOR terhadap empat puluh enam sediaan mikroskopik histologi KSS (karsinoma sel skuamosa serviks) yang berasal dari dua puluh tiga biopsi sebelum dan setelah 1 minggu radiasi. Sebelum radiasi dilakukan pengelompokan sediaan mikroskopik berdasarkan derajat diferensiasi baik (G1), sedang (G2) dan buruk (G3) dan sub tipe histologik KSS berkeratin dan tidak berkeratin. Tidak ditemukan perbedaan secara statistik nilai AgNOR antara G3, G2 dan G1 maupun sub tipe keratin dan non keratin. Terjadi penurunan nilai AgNOR dari sebelum radioterapi dan setelah satu minggu kemoradioterapi dan secara statistik korelasi positif antara nilai rerata AgNOR sebelum dan penurunannya setelah 1 minggu radiasi ($p = 0,0002$, $r = 0,71$). Dari data di atas disimpulkan bahwa lebih besar nilai AgNOR sebelum kemoradioterapi diharapkan lebih radioresponsif dibanding sel kanker yang nilai AgNOR nya lebih rendah. Nilai AgNOR dapat digunakan untuk memprediksi respon radiasi sel kanker serviks setelah satu minggu kemoradioterapi.

Kata Kunci : AgNOR, karsinoma sel skuamosa serviks, kemoradioterapi, marker proliferasi

ABSTRACT

AgNOR AS SENSITIVITY EARLY RESPONSE RADIATION PROLIFERATION MARKER IN CERVICAL CANCER CHEMORADIOTHERAPY. Cell radiosensitivity is one of the most important factor influencing level of tumor cell responsiveness to radiotherapy. Purpose to study AgNOR as sensitivity early response radiation proliferation marker in cervical cancer chemoradiotherapy. The research on AgNOR staining was conducted in twenty-three microscopic specimens obtained from cervical squamous cell carcinoma (SCC) before and after one week treated with chemoradiotherapy. The specimen was grouped, to histologically keratinizing squamous cell carcinoma and non keratinizing squamous cell carcinoma sub types and to grade of differentiation (G1, G2, G3). No statistical significance was found value of AgNOR both in between G1, G2, G3 and in subtype keratinized and sub type non keratinized. After one week chemoradiotherapy the AgNOR value decreased and we found the positive correlation between AgNOR value and decreasing after one week chemoradiotherapy ($p = 0,0002$, $r = 0,71$). From the result we conclude that higher the value of AgNOR before

treated by chemoradiotherapy will be hoped more radioresponsive than the cancer cell with smaller value of AgNOR. The AgNOR value can be used to predict radioresponsive cervical cancer cell after one week chemoradiotherapy.

Ke words : AgNOR, squamous cell cervical carcinoma, chemoradiotherapy, proliferation marker

PENDAHULUAN

Karsinoma sel skuamosa serviks (kanker servik) merupakan salah satu tumor ganas yang sering ditemukan di negara berkembang dengan tingkat sosioekonomi rendah. Penderita biasanya datang dalam stadium lanjut sehingga diperlukan pengobatan radioterapi menggunakan radiasi eksternal atau intrakavitasi¹.

Radiosensitivitas sel merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan tingkat responsif sel kanker terhadap radioterapi. Pada dasarnya radiosensitivitas sel merupakan suatu konsep yang didasarkan pada derajat respon sel terhadap radiasi, dan dibedakan menjadi 2 jenis yakni, radiosensitivitas esensial dan radiosensitivitas kondisional. Radiosensitivitas esensial berdasarkan kepada kondisi inheren yakni kondisi yang dipengaruhi oleh faktor internal sel itu sendiri, sedangkan radiosensitivitas kondisional didasarkan pada faktor eksternal misalnya dosis radiasi, status oksigen².

Dari penelitian klinis ditemukan adanya variasi yang besar dalam radiosensitivitas tumor, baik pada kasus dengan tipe histologik yang sama apalagi pada sub tipe histologik berbeda. Tumor dengan prosentase sel yang berproliferasi tinggi, merupakan tumor yang paling radiosensitif³.

AgNOR merupakan salah satu cara penilaian proliferasi dengan menghitung "nucleolar organizer region" (NOR) yaitu merupakan lengkung DNA ribosom yang ditranskripsikan menjadi RNA ribosomal dengan bantuan RNA polymerase. NOR terletak pada lengan pendek kromosom akrosentrik (nomor 13,14,15,21,22) pada manusia dan terlihat secara ultrastruktural berasosiasi dengan komponen fibril pada fase interfase. NOR mengandung gen yang membentuk ribosomal 18s dan 28s RNA, yang sangat vital untuk sintesis protein^{3,4}.

Baru-baru ini dilaporkan bahwa jumlah dan distribusi AgNOR dapat mencerminkan indeks prognosis yang baik untuk kanker usus besar, kanker

payudara, dan kanker kandung kemih dan kemungkinan mencerminkan derajat keganasan dan proliferasi pada karsinoma sel skuamosa pada karsinoma lidah, rongga mulut dan kolon⁵. Penelitian kami sebelumnya menunjukkan adanya kecenderungan sub tipe histologik berkeratin menunjukkan rerata AgNOR lebih tinggi dibanding yang tak berkeratin. Aktivitas metabolisme sel berupa sintesis protein diduga berkaitan dengan munculnya fase-fase pembelahan sel yang lebih sensitif terhadap radioterapi. Dari hasil penelitian ini kami mengusulkan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui fungsi AgNOR, dan respon radioterapi tumor baik melalui respon sementara atau setelah radioterapi untuk lebih memahami fungsi AgNOR sebagai petanda proliferasi ataupun sebagai petanda aktivitas metabolisme sel⁶.

Dari penelitian Kurnia⁷, karsinoma sel skuamosa serviks dengan nilai rerata AgNOR yang lebih tinggi praradioterapi akan lebih radiosensitif dibandingkan dengan nilai rerata AgNOR yang lebih rendah pasca radiasi komplet dengan mengelompokan derajat respon radiasinya secara histopatologik menurut metoda Shimosato-Obushi. Penelitian yang dilakukan oleh Heber dkk⁸

menunjukkan selisih rerata AgNOR antara praradioterapi dan setelah fraksi pertama radioterapi yang menunjukkan korelasi positif dengan kekambuhan kanker dalam satu tahun setelah radioterapi.

Sejauh ini belum ada publikasi yang menyatakan hubungan antara nilai AgNOR, sub tipe histologik dan derajat diferensiasi sel kanker serviks sebelum radioterapi dengan respon awal radiasi yang diamati dengan nilai AgNOR pada pasien kanker serviks di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara nilai AgNOR sebagai biomarker sensitifitas sel tumor terhadap radiasi sebelum menjalani kemoradioterapi dengan, sub tipe histologik (keratin dan non keratin) dan derajat diferensiasi sel pada penderita karsinoma sel skuamosa serviks dengan respon radiasi awal (setelah 1 minggu radiasi).

Diharapkan dari penelitian ini dapat ditemukan hubungan nilai AgNOR dengan sub tipe histologi keratin dan non keratin serta derajat diferensiasi kanker skuamosa serviks di Indonesia sebelum menerima kemoradioterapi dengan nilai AgNOR setelah menerima radiasi selama 1 minggu

TATA KERJA

Sediaan mikroskopik yang digunakan pada penelitian ini berasal dari 22 sampel biopsi penderita karsinoma sel squamosa serviks (KSS) stadium lanjut lokal yang datang ke RSCM tahun 2005-2006 yang secara klinis terdiri dari stadium klinik IIB (sel tumor menyebar sampai parametrium) dan IIIB (sel tumor telah mencapai dinding panggul/hidroneprosis atau gangguan fungsi ginjal) sebelum dan setelah radiasi 1 minggu⁹. Gambaran histologik dikelompokkan menurut sub tipe histologiknya (berkeratin dan non keratin) dan diferensiasi dikelompokkan berdasarkan derajat diferensiasi baik bila hanya ¼ bagian sel yang tidak berdiferensiasi (G1) bila ditemukan jumlah sel yang berdiferensiasi dan tidak berdiferensiasi seimbang, sedang (G2) bila ditemukan sel yang tidak berdiferensiasi ¾ bagian (G3) bila ditemukan sel anaplastik 50-70%¹⁰.

Pewarnaan AgNOR

Sampel biopsi diproses menjadi blok paraffin yang dipotong menjadi sediaan mikroskopik dengan ketebalan 4 µm. Sediaan diletakkan pada objek glass untuk dideparafinisasi dengan xilol sebanyak 2 x.

Dilakukan rehidrasi dengan alkohol 100 %, 90 %, 80 % dan terakhir dengan air. Selanjutnya sediaan dideionisasi, 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, dan segera dipakai. Selanjutnya sediaan ditetesi dengan larutan perak nitrat koloidal yang disaring dengan filter 0,22 µm milipore dan didiamkan selama 15 menit dan diinkubasi dalam larutan tiosulfat 5% selama 2 menit. Preparat didehidrasi dengan alkohol bertingkat dengan konsentrasi 70 %, 80%, 90% dan 100 %, kemudian dilakukan penjernihan dengan xilol sebanyak 2x, setelah preparat kering ditutup dengan gelas penutup dan siap untuk dilakukan penghitungan AgNOR. Sebagai kontrol positif digunakan sediaan kanker payudara dan kontrol negatif berupa sel darah putih¹¹.

Penghitungan Nilai AgNOR.

Penghitungan butir AgNOR dilakukan di bawah mikroskop secara

acak dari 100 sel menggunakan pembesaran 100x. Nilai AgNOR yang dihitung adalah mAgNOR yakni rerata AgNOR dalam satu inti sel. Hasil perhitungan diuji secara statistik dengan *Student t- test*, Uji Anova Satu Arah dengan tingkat kepercayaan 5 % (uji t p = 0,05) dan Korelasi *Spearman Test*¹².

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai AgNOR berdasarkan derajat diferensiasi sel kanker serviks sebelum menerima radiasi

Dari Tabel 1 di bawah terlihat nilai AgNOR sel kanker yang diferensiasi menengah lebih besar dibanding nilai AgNOR sel kanker yang derajat diferensiasi baik, namun nilai AgNOR pada sel kanker yang derajat diferensiasi buruk lebih rendah dari nilai diferensiasi menengah dan baik.

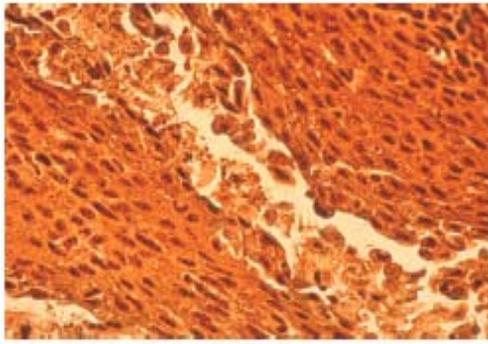
Tabel 1. Nilai AgNOR karsinoma sel skuamosa serviks berdasarkan derajat diferensiasi sebelum menerima kemoradioterapi

No	Derajat Diferensiasi	Nilai AgNOR	Jumlah Pasien
1	Baik	4,77ns (3,14-6,79)	10
2	Menengah	5,19ns (4,23-7,26)	11
3	Buruk	4,35ns (3,60-5,10)	2

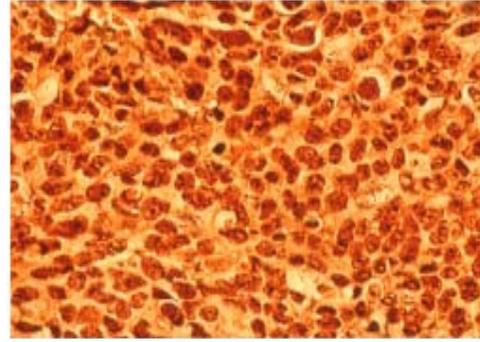
Catatan ns : Tidak berbeda nyata Uji Anova Satu Arah p = 0,05 : phitung : 0,46, N = 23

Gambar 1a dan 1b, AgNOR karsinoma serviks skuamosa derajat diferensiasi baik cenderung lebih terkumpul dibanding AgNOR yang karsinoma serviks skuamosa derajat diferensiasi menengah yang cenderung lebih kecil dan lebih menyebar pada sitoplasma. Kemungkinan lebih menyebarnya AgNOR pada sel kanker yang derajat diferensiasinya sedang terkait dengan lebih bervariasinya arah pembelahan sel kanker pada derajat

diferensiasi menengah dibanding sel kanker yang derajat diferensiasi baik. Pada penelitian kami sebelumnya⁶, ditemukan nilai AgNOR sel kanker serviks skuamous derajat diferensiasi menengah (sedang) lebih tinggi dibanding sel kanker serviks skuamous derajat diferensiasi baik.



(a). Derajat diferensiasi baik



(b). Derajat diferensiasi sedang

Gambar 1. Nilai AgNOR sel kanker serviks derajat diferensiasi baik dan sedang.

Nilai rerata AgNOR pada lapisan basal dari epitel ektoserviks normal adalah 1 dalam 1 nukleus. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Xie-Xie¹³, menyatakan bahwa nilai mAgNOR menunjukkan perbedaan yang bermakna antara epitel normal dan displasia serta antara displasia dan karsinoma squamosa pada rongga mulut. Nilai AgNOR tiga kasus displasia yang berkembang menjadi ganas di atas rerata, nilai AgNOR dari displasia yang tidak berkembang menjadi ganas. Pada penderita kanker yang mempunyai nilai AgNOR lebih rendah mempunyai masa bebas karsinoma lebih lama dibanding pasien yang mempunyai nilai AgNORnya lebih tinggi setelah menerima pengobatan^{14,15}.

Pengamatan yang dilakukan oleh Manu dkk¹⁵ bahwa AgNOR pada sel skuamosa pada bagian atas bahwa pada sel yang derajat diferensiasi sedang dan

buruk cenderung irregular dan lebih tersebar pada sitoplasma. Sejauh ini belum diketahui faktor yang menyebabkan perbedaan bentuk AgNOR pada sel kanker dengan derajat diferensiasi berbeda tersebut.

Derajat diferensiasi secara umum berhubungan dengan tingkat keganasan dan proliferasi sel, sehingga tumor yang derajat diferensiasinya buruk akan mempunyai tingkat proliferasi yang lebih tinggi yang tercermin dari nilai AgNOR yang lebih tinggi, sehingga akan bersifat lebih radiosensitif.

Nilai AgNOR karsinoma sel skuamosa serviks berdasarkan sub tipe histologi Keratin dan non Keratin

Seperti terlihat pada Tabel 2, tidak ditemukan perbedaan secara statistik antara nilai rerata AgNOR pada sub tipe histologik KSS berkeratin dan non keratin.

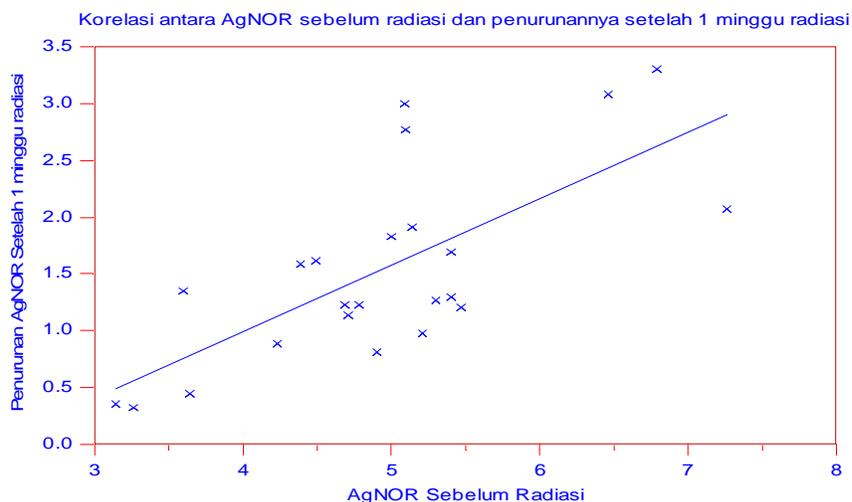
Tabel 2. Nilai AgNOR berdasarkan sub tipe histologi sebelum menerima kemoradioterapi

No	Sub tipe histologi	Nilai rerata AgNOR	Jumlah pasien
1	Berkeratin	4,68±0,71 ns (3,26-5,47) ns	11
2	Non Keratin	5,17±1,22ns (3.14- 7.26) ns	12

Catatan ns: tidak berbeda nyata student t p value p=0,05 phitung=0,26 N=23

Pada publikasi sebelumnya rerata nilai AgNOR KSS berkeratin lebih tinggi dari KSS non keratin⁶. Kemungkinan nilai rerata AgNOR yang lebih tinggi menampilkan sintesis protein yang terkait dengan proliferasi sel, bukan yang terkait dengan sintesis protein yang terkait dengan keratinisasi pada epitel sel kanker serviks. Nucleolar Organizer Region yang diamati dengan AgNOR merupakan 2 protein yang berperan biogenesis

ribosom (Nucleolin dan B23). Nucleolin dan B23 ini berperan dalam reaksi dalam fase interfase siklus sel^{16,17}. Kecepatan biosintesis ribosom secara langsung berhubungan dengan aktivitas RNA polimerase 1 yang juga merupakan salah satu komponen protein AgNOR^{18,19}. Pada penelitian sebelumnya⁶, ada kecenderungan nilai AgNOR KSS berkeratin lebih tinggi dibanding KSS non keratin.

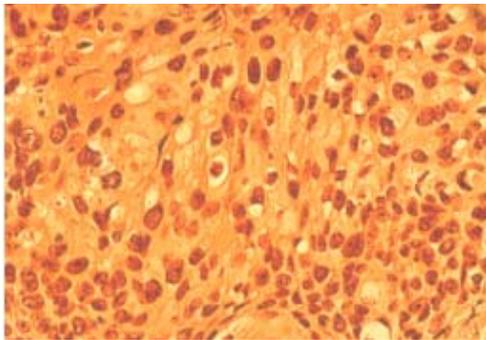


Gambar 2. Korelasi antara nilai AgNOR sel kanker serviks sebelum dan setelah radiasi 1 minggu

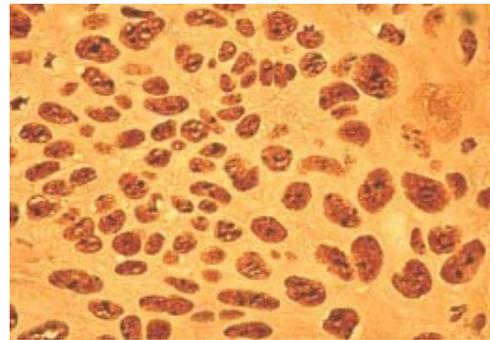
Korelasi antara antara nilai AgNOR sebelum dan penurunannya setelah 1 minggu radiasi

Dari Gambar 2 ditemukan korelasi positif antara nilai AgNOR sebelum dan penurunannya nilai AgNOR setelah

radiasi 1 minggu ($r = 0,71$ $p = 0,0002$), makin tinggi nilai AgNOR sebelum menerima kemoradioterapi maka makin besar pengurangan nilai AgNOR setelah menerima 1 minggu kemoradioterapi.



(a). Sebelum radiasi



(b). Sesudah radiasi

Gambar 3. AgNOR sel kanker serviks sebelum dan setelah 1 minggu menerima radiasi

Pada Gambar 3a (sel kanker sebelum radiasi) terlihat nilai AgNOR yang lebih besar dibanding dengan nilai AgNOR sel kanker serviks setelah 1 minggu radiasi (Gambar 3b). Hal ini terkait dengan fungsi AgNOR sebagai marker proliferasi sel. Dengan makin tinggi nilai AgNOR maka makin tinggi proliferasi sel kanker serviks sehingga akan lebih radiosensitif terhadap radiasi dibanding dengan sel kanker yang nilai proliferasinya lebih rendah. Makin tinggi proliferasi sel maka akan makin lebih besar dijumpai fase S (sintesis DNA) yang merupakan fase yang paling sensitif terhadap radiasi^{2,3}.

Kinoshita²⁰, mengemukakan jumlah AgNOR merefleksikan aktivitas sel kanker dan sejumlah peneliti lainnya setuju bahwa fase proliferasi sel kanker merupakan bagian yang sensitif terhadap radiasi dan obat anti kanker lainnya. Sebelumnya juga dikemukakan bahwa penurunan nilai AgNOR merupakan efek biologis dari radiasi yang diamati secara eksperimental pada sel-sel epitel skuamosa hewan coba²¹. Efek biologis ini diperkirakan berupa peningkatan jumlah mitosis dari sel setelah melewati fase G2 atau terjadinya *G2M block* sel akibat radiasi, kondisi seperti ini menyebabkan terjadinya penurunan nilai

AgNOR pada sel kanker serviks setelah menerima radiasi. Sirri dkk²² menyatakan nilai AgNOR yang tinggi dijumpai pada fase S dari siklus sel dan kemudian menurun pada saat sel memasuki mitosis melalui fase G2. Sebelumnya Babu²³ melaporkan adanya penurunan nilai AgNOR pada kanker oesopagus yang menerima radioterapi sebelum operasi, sedangkan pada kanker endometrium dilaporkan adanya penurunan nilai AgNOR pada radioterapi yang dilakukan pada kanker endometrium yang rekuren²⁴.

Selanjutnya Heber⁸, derajat penurunan nilai AgNOR setelah satu fraksi radiasi dapat dijadikan sebagai cara untuk memprediksi efek radioterapi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa, setelah 1 minggu kemoradiasi terjadi penurunan nilai rerata AgNOR, dan ditemukan korelasi positif antara nilai AgNOR sebelum kemoradioterapi dengan nilai AgNOR setelah 1 minggu kemoradioterapi. Makin tinggi nilai AgNOR sebelum radiasi makin lebih besar penurunannya setelah 1 minggu kemoradioterapi dan makin responsife terhadap radiasi. Diperlukan penelitian

lebih lanjut untuk mengetahui hubungan antara fungsi AgNOR dan faktor terkait proliferasi sel lainnya dalam rangka memahami penurunan AgNOR sebagai respon sel kanker setelah 1 minggu kemoradioterapi.

UCAPAN TERIMA KASIH :

Penelitian ini dibiayai oleh Dana Penelitian PTKMR-BATAN dan telah disetujui oleh Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Ucapan terima kasih kepada : dr. Endang SR Harjolukito, SpPA, Ketua Departemen Patologi Anatomi FKUI/RSCM, dr. Endi Mukhni, SpOG Ketua Departemen Obstetrik Ginekologi FKUI/RSCM, Prof. Dr. dr Soehartati Gondhowiardjo Ketua Departemen Radioterapi FKUI/RSCM, Heri Basuki atas bantuan tekniknya dalam pemrosesan sediaan mikroskopik di laboratorium Histokimia Departemen Patologi Anatomi FKUI/RSCM, Jakarta, Arena Said Penanggung Jawab Ruang Penyinaran Cobalt-60 Departemen Radioterapi FKUI/RSCM dan Bidan Azis Yusnelly dan kawan kawan di Poliklinik Kebidanan Departemen Obstetrik Ginekologi FKUI/RSCM yang telah membantu proses biopsi pasien kanker setelah 1 minggu radiasi.

DAFTAR PUSTAKA.

1. MARCIAL VA, MARCIAL, LV. Radiation Therapy of Cervical. *Cancer Supplement*, Feb, 1993.
2. CASARET TGW. Radiation Histopathology, Vol 1, CRP. Press, Florida; 1980:30 -31.
3. TUBIANA M, JEAN D, ANDRE W. Introduction to Radiobiology, Taylor Francis, : 385 – 395. 1990
4. SORENTINO V, IN LEWIS. Cell proliferation in cancer regulatory mechanism of neoplastic cell growth. Oxford University Press, Oxford, 1996.
5. CHEN M, LEE JG, LO S, SHEN J. Argyrophilic nuclear Organizer regions in naso pharyngeal carcinoma and paraneoplastic epithelial. *Head and neck*, 2003; 25 (5): 395-399.
6. YANTI L, , NURHAYATI S, KURNIA I, BUDININGSIH S. Penggunaan AgNOR sebagai Biomarker Sensitivitas Radiasi pada Kanker Serviks, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan II, PTKMR Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 2006.
7. KURNIA, I. Hubungan Nilai AgNOR Derajat Respon Radiasi Secara Histopatologik Karsinoma Serviks Uteri Stadium Lanjut Lokal, Tesis Magister Program Studi Biomedik, Kekhususan Patobiologi, Program Pascasarjana Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta, 2002
8. HEBER E, AMANDA ES, BEATRIZ S, SUSANA N, OSVALDO S, MIGUEL B, MARIA EI. AgNORs as an early marker of sensitivity to radiotherapy in gynecologic cancer. *Acta Cytol*;2002; 46(2):311-316
9. BENEDET, JL.DKK Carcinoma cervix uteri. *Journal of Epidemiology and Biostatistic*,6(1)7-9:2001
10. BRODERS AC. Squamous-cell epithelioma of the skin study of 256 cases. *Ann Surg*; 1921;Vol LXXIII:141-160
11. CROCKER J, BOLDY AR, EGAN MJ; How should we count AgNORs Proposals for standardized approach. *J Pathol*; 1989; 158:185-188.
12. WAYNE WD. Biostatistics: A Foundation for analysis in the health sciences, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics-Applied;1991:191-227
13. XIE X, Clausen OP, Sudbo J, Boysen M. Diagnostic and prognostic Value of Nucleolar Organizer Regions in Normal Epithelium, Dysplasia, and Squamous Cell Carcinoma of the Oral Cavity. *Cancer ; American* 11 Vol 79, 1,1997:2200-2207.
14. MARBAIX, E, DEMANDELEER S, HABBA CL, LIEGEOIS PH, WILLEMS T, RAHIER,J. AND DONNEZ,J. Nucleolar Organizer Regions in the Normal and Carcinomatous Epithelium of the Uterine Cervix. *International J Gynecol Pathol*: 1989:237- 245.
15. MANU SCV, RAJARAM BT, RAI RG. Value of silver binding Nucleolar Organizer Regions (AgNOR) in squamous cell carcinomas of upper aero-digestive tract, *MJAF*;:2006;62:123-128.
16. TUTEJA R, TUTEJA. Nucleolin a multifunctional mayor nucleolar phosphoprotein. *Crit Rev Biochem Mol Biol*; 1998; 33:407-436.
17. ROUSSEL P, HERNANDES V. Identification of AgNORs protein, marker of proliferation related to gene activity. *Exp Cell Res*; 1994; 214:465-472.
18. DERENZINI M, TRERE D, PESSION A, MONTANARO L,SIRRI V,CHIECO P. Nucleolar size indicate the rapidity of cell proliferation in cancer tissue. *J Pathol* ; 2000;191: 181-186.

19. ALBERT. B, BRAD D, LEWIS J, RAFF M, WATSON JD, Molecular Biology of the Cell. Gardland New York, 379-383, 1995
20. KINOSHITA, Y, DOHI M, MIZUTANI N, IKEDA A. Effects of preoperative radiation and chemotherapy on AgNOR counts in oral squamous sell carcinoma, *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54: 304 – 307.
21. SCHWINT AE, GOMEZ E, ITOIZ ME, CABRINI RL. Nucleolar Organizer Region as marker of incipient cellular alteration in squamous epithelium, *J Dent Res* 1993; 72:1233-1236.
22. Sirri V, Pascal R, Marie C G, and Hernandez VD. Amount of the Two Major Ag-NOR Proteins, Nucleolin, and Protein B23 Is Cell-Cycle Dependent. *Cytometry* 1997 ; 28:147–156
23. BABU M, MATHUR M GUPTA SD, CAHTTOPADHYAY T, Prognostic significance of argyrophilic nucleolar organizer regions (AgNOR) in oesophageal cancer. *Trop Gastroenterol* 1996; 17:57 – 60.
24. MILLER B, MORRIS M, SILVA E. Nucleolar Organizer Region: A potential prognostic factor in adenocarcinoma of endometrium. *Gynecol Oncol* 1994; 54:137-141.

**PENGGUNAAN IRADIASI DENGAN BERKAS ELEKTRON ENERGI RENDAH
PADA MORTALITAS SERANGGA *Tribolium castaneum* (Herbst) DI DALAM
TEPUNG TERIGU**

Rindy Panca Tanhindarto

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

ABSTRAK

PENGGUNAAN IRADIASI DENGAN BERKAS ELEKTRON ENERGI RENDAH PADA MORTALITAS SERANGGA *Tribolium castaneum* (Herbst) DI DALAM TEPUNG TERIGU. Keunggulan dari iradiasi pangan adalah mengurangi populasi serangga di dalam tepung terigu. Penelitian dilakukan terhadap mortalitas serangga dewasa *Tribolium castaneum* (*T. castaneum*) yang diiradiasi dengan mesin berkas elektron (MBE) energi rendah arus berkas 100-500 μA dengan menyesuaikan kecepatan konveyor dan jarak pemayar ke target. Sampel dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu serangga uji tanpa tepung terigu dan serangga uji diinfestasikan ke dalam tepung terigu dengan tebal masing-masing 800 μm dan 1600 μm , lalu dikemas dengan plastik polietilen. MBE diatur pada energi 300 keV dan sampel diiradiasi satu sisi dengan arus berkas 100-500 μA , kecepatan konveyor 4 cm/detik dan jarak pemayar ke target 20 cm. Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan populasi serangga yang hidup terhadap fungsi waktu. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari efektivitas mesin berkas elektron untuk disinfestasi serangga dewasa *T. castaneum*. Berdasarkan efektivitas iradiasi satu sisi dengan arus berkas 200 μA dapat menurunkan semua serangga dewasa *T. castaneum* yang diinfestasikan kedalam tepung terigu dengan tebal 800 μm .

Kata kunci : disinfestasi, iradiasi pangan, mesin berkas elektron, tepung terigu,
Tribolium castaneum (Herbst).

ABSTRACT

THE USE OF IRRADIATION WITH LOW ENERGY ELECTRON BEAM ON THE MORTALITY OF *Tribolium castaneum* (Herbst) IN WHEAT FLOUR The benefit of food irradiation is the reduction of insect population in wheat flour. The mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) (*T. castaneum*) in imago stage subjected to low energy Electron Beam Machine (EBM) at current of 100-500 μA was investigated by adjusting conveyor velocity and gap window target surface. The samples were divided into two groups, i.e. insect without wheat flour and insect infested in wheat flour thickness of 800 μm and thickness of 1600 μm , packed individually in polyethylene pouch, respectively. The EBM was set up to the energy 300 keV, and the samples were irradiated one side at the beam currents of 100-500 μA , while conveyor velocity was 4 cm/second and gap of windows-target surface was 20 cm. The population of living insect at all stages by the storage time was observed. The objective of the study was to conduct the effectiveness of electron beam machine in order to disinfested imago stage of *T. castaneum*. Base on the effectiveness irradiation on one side with the beam currents of 200 μA could decline *T. castaneum* in imago stage was infested into wheat flour at 800 μm thickness.

Keywords: disinfestations, food irradiation, electron beam machine, wheat flour,
Tribolium castaneum (Herbst).

PENDAHULUAN

Iradiasi pangan merupakan aplikasi teknik nuklir dalam bidang teknologi pangan yang dapat digunakan untuk memperpanjang masa simpan, disinfestasi, menghambat pertunasan, mengurangi atau membunuh parasit dan mikroorganisma pangan.

Tepung terigu merupakan bahan makanan pokok yang penting setelah beras, karena sumber karbohidrat lain masih belum mencukupi sehingga mendorong kebutuhan konsumsi tepung terigu meningkat dari tahun ke tahun. Serangga merupakan permasalahan yang dihadapi oleh industri tepung terigu terutama pada saat penyimpanan. Salah satu jenis hama serangga gudang yang mendominasi ditemukan pada produk tepung adalah *Tribolium castaneum* Herbst (*T. castaneum*). Serangga ini dikenal sebagai 'kumbang tepung merah' (*The Rust Red Flour Beetle*), termasuk ke dalam ordo *Coleoptera* famili *Tenebrionidae*. Serangga *T. castaneum* ini adalah hama sekunder yang bersifat kosmopolitan dan termasuk *external feeder* pada beras dan sereal lain^{1,2}.

Pada saat ini, pengendalian serangga yang dilakukan secara konvensional, masih belum sepenuhnya mampu membasmi sisa-sisa telur, larva dan pupa serangga pada produk tersebut. Pengendalian hama pasca panen serangga *T. castaneum* untuk tujuan

disinfestasi yang diterapkan, misalnya penggunaan bahan kimia sebagai fumigan yaitu metil bromin dan etilen dibromin. *The United State Environmental Protection Agency* (EPA) telah mengurangi penggunaan metil bromin sebesar 25% sejak tahun 2000, sedangkan berdasarkan *The Montreal Protocol and Clean Air Act* penggunaan metil bromin untuk negara berkembang akan ditiadakan pada tahun 2015³.

Permasalahan pasca panen tepung terigu dapat diselesaikan dengan mengaplikasikan teknologi tepat guna agar supaya tepung terigu lebih berkualitas dan tahan lama sehingga dapat terdistribusikan secara aman ke tempat lain. Salah satu teknik fisika untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan radiasi pengion baik yang berasal dari radionuklida seperti *Cobalt-60* (⁶⁰Co) dan *Cesium-137* (¹³⁷Cs) maupun sumber listrik.

Radiasi pengion yang dihasilkan oleh mesin berkas elektron dapat berpotensi menjadi bagian penting dalam pemecahan masalah keamanan pangan⁴. Mesin berkas elektron (MBE) khususnya bidang pangan di Indonesia belum di aplikasikan secara luas⁵⁻¹¹, dan MBE masih terbatas dalam aplikasi, seperti proses *curing*, dan prevulkanisasi karet ban¹². Pemanfaatan MBE sudah diterapkan di beberapa negara untuk tujuan disinfestasi serangga dan

karantina, misalnya mesin pemercepat elektron dengan energi 1,5 MeV sudah dapat diaplikasikan untuk iradiasi disinfestasi biji-bijian¹³.

Aplikasi MBE merupakan *novel technology* dan potensi sebagai sarana untuk tujuan karantina buah, khususnya pada saat pemakaian bahan-bahan kimia sudah semakin berkurang. Hasil-hasil penelitian iradiasi MBE energi rendah untuk tujuan disinfestasi sudah terbukti cukup efektif antara lain MBE energi 400 kV dan dosis radiasi 200 Gy dapat digunakan mengontrol mortalitas 3 jenis serangga hama gudang (*S oryzae*, *R dominica*, *T castaneum*)¹⁴. Penggunaan elektron energi rendah (*soft electron*) 60 keV pada dosis 1 kGy telah digunakan untuk mem-basmi telur, larva dan pupa *red flour beetle* (*T. castaneum*), dan untuk serangga dewasa pada dosis 5 kGy¹⁵, sedangkan *soft-electron* 150 kV dapat digunakan untuk disinfestasi biji-bijian yang terkontaminasi oleh serangga *external feeders*¹⁶. Penelitian lain melaporkan bahwa perlakuan iradiasi dapat digunakan sebagai perlakuan alternatif pengganti penggunaan metil bromin untuk disinfestasi serangga *T. castaneum* pada coklat selama penyimpanan¹⁷.

Penelitian ini, bertujuan untuk mempelajari pengaruh radiasi pengion

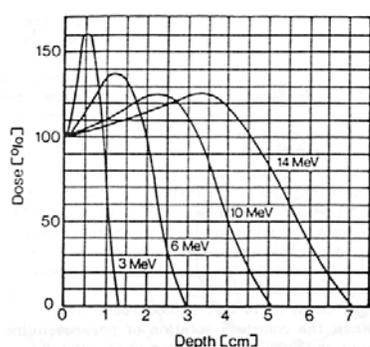
yang dihasilkan oleh mesin berkas elektron energi rendah pada kualitas bahan pangan tepung terigu, dan studi pendahuluan pemanfaatan teknologi mesin berkas elektron untuk pengawetan makanan di Indonesia, khususnya teknik iradiasi berkas elektron untuk disinfestasi serangga *T. castaneum* untuk tujuan karantina pada tepung terigu.

Berdasarkan kenyataan tersebut, perlu segera penggalian potensi penelitian dan pengembangan untuk memecahkan permasalahan yang ada. Upaya ini dapat mendukung peningkatan sarana dan teknologi pengelolaan tepung terigu, yang kelak dapat dimanfaatkan untuk perlakuan karantina pada produk tepung terigu.

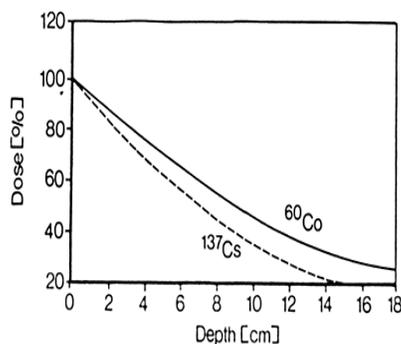
TEORI

Mesin berkas elektron adalah seperangkat alat pemercepat elektron yang dapat menghasilkan radiasi berkas elektron secara kontinyu dan dapat digunakan sebagai sumber radiasi pengion. Aplikasi mesin berkas elektron di bidang pangan dapat digolongkan ke dalam 3 kategori yaitu elektron energi rendah (*low energy eccelerators/soft-electrons*: 150 keV - 2 MeV), elektron energi sedang (*medium energy accelerators*: 2,5 - 8 MeV) dan energi tinggi (*high energy accelerator*: > 9 MeV)¹⁰.

Pada Gambar 1 disajikan hubungan energi dan penetrasi atau disebut kurva distribusi dosis-kedalaman penetrasi (*depth dose distribution*) dengan energi yang bervariasi untuk masing-masing sumber listrik dan radionuklida^{12,18}. Kurva tersebut dipakai untuk menentukan hubungan kedalaman penetrasi dalam bahan terhadap dosis relatif.



(a)

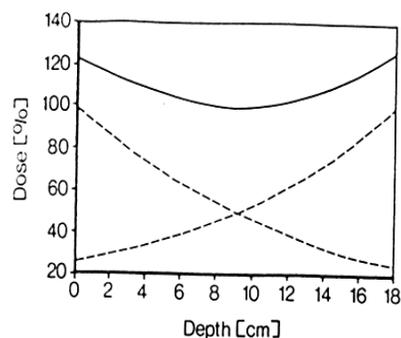


(b)

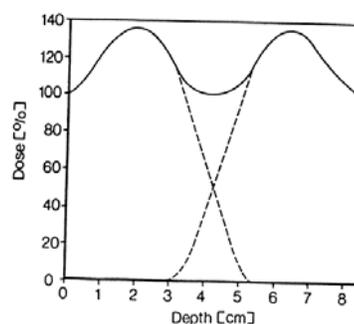
Gambar 1. Kurva distribusi dosis-kedalaman penetrasi a) Berkas elektron dengan variasi energi; b) Radiasi gamma dari [⁶⁰Co] dan [¹³⁷Cs]¹⁸.

Dosimetri menggunakan dosimeter film *cellulose triacetate* (CTA) menghasilkan kurva distribusi dosis kedalaman

penetrasi pada suatu bahan. Penetrasi radiasi tergantung pada densitas bahan. Semakin tinggi densitas bahan, semakin rendah penetrasi elektron dan demikian pula sebaliknya. Untuk meningkatkan kedalaman penetrasi, iradiasi dapat dilakukan pada 2 sisi yaitu dengan membalik bahan yang diiradiasi. Pada Gambar 2 disajikan kurva distribusi dosis-kedalaman penetrasi di air jika suatu bahan diiradiasi pada 2 sisi^{12,18,19}.



(a)



(b)

Gambar 2. Kurva distribusi dosis kedalaman penetrasi pada iradiasi 2 sisi dengan radiasi gamma [⁶⁰Co]; b) dengan 10 MeV elektron¹⁸.

Sumber radiasi ionisasi sinar gamma, sinar X dan elektron dalam apli-

kasinya terhadap bahan pangan akan memberikan efek yang sama selama energi yang diberikan sama, tetapi dari sumber energi tersebut akan memberikan perbedaan terhadap waktu iradiasi. Berkas elektron mempunyai keunggulan dalam waktu, misalnya paparan iradiasi dengan dosis 100 kGy sinar gamma dari [^{60}Co] dapat membutuhkan waktu sampai beberapa hari, sedang sinar X dapat dilakukan beberapa jam, tetapi dengan elektron cepat hanya dengan beberapa detik saja¹⁹. Mesin berkas elektron merupakan sumber energi yang dapat dengan mudah dimatikan dan dihidupkan.

Jenis sumber radiasi yang diaplikasikan di Indonesia untuk makanan iradiasi sampai saat ini, adalah berasal dari radionuklida [^{60}Co]. Akan tetapi, mesin berkas elektron sebagai sumber radiasi pengion memiliki peluang yang sama untuk dikembangkan di Indonesia⁵.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung terigu (*Triticum aestivum* L) dan serangga *T. castaneum* yang diperoleh dari Laboratorium *Pest and Diseases Management* SEAMEO-BIO-TROP Bogor. Bahan kimia dan penunjang yang diperlukan *cellulose triacetate* (CTA)

film, alkohol, akuades, kain jaring serangga, toples, botol serangga, saringan, kaca pembesar.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Berkas Elektron 350 keV 10 mA sebagai sumber radiasi berkas elektron untuk iradiasi sampel. Alat ukur *Spectrophotometer* merk *Spectronic* digunakan untuk mengukur dosimetri dosis serap berkas elektron, timbangan neraca, alat gelas dan alat penunjang lainnya.

Metode Penelitian

Dosimetri. Metode pengukuran dosis serap terhadap produk didasarkan pada pengukuran ionisasi yang disebabkan oleh radiasi MBE menggunakan dosimeter *CTA film*.

Persiapan sampel. Sampel tepung terigu yang diiradiasi dengan MBE disiapkan sesuai dengan hasil penelitian Tanhindarto (2005) yaitu dengan ketebalan tepung terigu 800 dan 1600 μm .

Pembiakan serangga. Pembiakan serangga *T. castaneum* dilakukan dalam toples kaca ditutup dengan kain jaring serangga, dengan media biakan tepung terigu yang terlebih dulu disterilkan dengan pemanasan. Adapun kriteria serangga uji yang akan digunakan ialah serangga dewasa umur 7-14 hari dengan ukuran 3-4 mm, warna merah sampai coklat tua.

Iradiasi sampel. Iradiasi terhadap serangga dewasa *T. castaneum* dilakukan pada kisaran dosis disinfestasi sampai tingkat kematian (mortalitas) 100%. Perlakuan percobaan yaitu sampel dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu serangga uji tanpa tepung terigu dan serangga uji diinfestasikan ke dalam tepung terigu dengan tebal 800 dan 1600 μm . Kemudian masing-masing sampel dikemas ke dalam plastik polietilen dan posisi iradiasi dilakukan dengan satu sisi permukaan. Kondisi iradiasi MBE dilakukan pada tegangan 300 kV, variasi arus berkas 100-500 μA dan cara iradiasi dilakukan 1 *pass*. Adapun jumlah serangga dewasa (imago) sebanyak 40 ekor per sampel, serta dilakukan terhadap kontrol untuk setiap unit percobaan dengan ulangan masing-masing 3 kali.

Pengamatan. Pengambilan data penelitian adalah menghitung jumlah serangga dewasa yang hidup setiap 1-2 hari untuk masing-masing unit percobaannya. Serangga uji diamati sampai dengan 46 hari penyimpanan.

Evaluasi Data. Pertumbuhan populasi serangga secara teoritis akan mengikuti model eksponensial yaitu $N_t = N_0 \cdot e^{kt}$. Model perluruhan eksponensial meramalkan bahwa pertumbuhan populasi serangga akan mati, karena :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} N(0) e^{kt} = 0, \quad k < 0$$

Evaluasi data didasarkan pada efektivitas arus berkas terhadap pertumbuhan populasi serangga uji yang menyatakan hubungan jumlah populasi serangga uji terhadap waktu siklus radiasi. Adanya pemberian iradiasi, serangga uji akan memberikan respon mati atau tidak. Secara umum, dapat dinyatakan dalam bentuk reaksinya adalah

$$A \longrightarrow B$$

dimana :

A = Serangga yang hidup (A_0 pada $t = 0$)

B = Serangga yang mati

t = waktu

Analisis Data. Data dianalisis dengan membuat grafik persamaan regresi pertumbuhan populasi serangga yang hidup terhadap waktu. Apabila waktu bertahan hidup siklus radiasi digambarkan pada sumbu mendatar (sumbu -x) dan log tingkat arus berkas pada sumbu tegak (sumbu -y), maka model persamaan pertumbuhan logaritmik serangga dapat dinyatakan dengan persamaan regresi dalam rumus $\ln y = a + b x$. Nilai kemiringan (*slope*) merupakan nilai konstanta laju kematian logaritmik yang dapat ditentukan dari perubahan arus berkas yang dibutuhkan untuk memberikan respon serangga uji terhadap waktu bertahan hidup siklus radiasi dan individu hidup.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan dan pola perkembangan serangga dewasa *T. castaneum* yang diiradiasi dengan MBE akan bergantung pada waktu pengamatan. Dua kelompok perlakuan sampel yaitu serangga uji tanpa tepung terigu, dan serangga uji diinfestasikan ke dalam tepung terigu dengan masing-masing tebal 800 dan 1600 μm , lalu diiradiasi dengan satu sisi permukaan menggunakan MBE arus berkas 100-500 μA menunjukkan bahwa iradiasi berkas elektron sebagai stimulus akan memberikan respon mati atau menurunkan jumlah populasi serangga dewasa *T. castaneum*, sehingga waktu bertahan hidup serangga dewasa menjadi lebih pendek menuju kematian.

Perlakuan iradiasi MBE dengan arus berkas 100-500 μA pola pertumbuhannya serangga dewasa *T. castaneum* tidak semua berujung pada kematian, tetapi terlihat dari waktu siklus radiasi serangga dewasa *T. castaneum* masih mampu untuk mempertahankan diri. Pola pertumbuhan populasi serangga dewasa *T. castaneum* menyerupai pertumbuhan eksponensial dengan laju pertumbuhan negatif. Stimulus yang diberikan yaitu dengan naiknya arus berkas menyebabkan subyek (serangga uji) mempunyai tingkat mortalitas yang cukup tinggi pada awal waktu siklus setelah

mendapat iradiasi. Sebaliknya pengamatan terhadap kontrol menunjukkan pertumbuhan populasi serangga meningkat dengan meningkatnya waktu dan populasinya menyerupai pertumbuhan eksponensial dengan laju pertumbuhan positif.

Radiasi ionisasi akan menyebabkan dua efek biologi pada serangga yaitu letalitas dan sterilitas. Efek letal menyebabkan kematian serangga dalam periode waktu yang bergantung pada besarnya dosis radiasi, sedang sterilitas akan menyebabkan hilangnya kemampuan bereproduksi meskipun serangga masih hidup dalam beberapa minggu²⁰.

BROWN (1973) melaporkan bahwa interaksi radiasi dan materi hidup dapat dikelompokkan menjadi 4²¹ yaitu *Acute* (efek yang cepat terjadi dalam kurun waktu jam, hari atau minggu), *Delayed* (efek yang tampak dalam kurun waktu bulan atau tahun), *Genetic* (efek yang tampak hanya pada keturunan), *Foetal* (efek yang terjadi pada embrio).

Hasil pengamatan kurva populasi serangga dewasa *T. castaneum* setelah perlakuan iradiasi terhadap serangga uji tanpa tepung terigu dan serangga uji diinfestasikan ke dalam tepung terigu dengan masing-masing tebal 800 dan 1600 μm disajikan pada Tabel 1, sedangkan

kurva populasi serangga terlihat pada Gambar 3.

Perlakuan serangga uji tanpa tepung terigu, yang diiradiasi dengan arus berkas 100 μA tidak memberikan stimulus dalam membunuh serangga dewasa *T. castaneum*. Perlakuan iradiasi hanya menurunkan jumlah populasi serangga uji dengan waktu bertahan hidup 24 hari dan 11 individu hidup atau sebesar 26,8% konstan sampai pengamatan 46 hari. Apabila iradiasi MBE dengan arus berkas dinaikkan 200 μA terhadap sampel tanpa tepung terigu maka respon serangga uji mati 100 % dalam waktu bertahan hidup 23 hari setelah mendapat perlakuan iradiasi berkas elektron. Sedangkan arus berkas dinaikkan dari 300, 400 sampai 500 μA menyebabkan serangga dewasa *T. castaneum* memberikan respon sangat nyata terhadap waktu bertahan hidup menjadi lebih pendek masing-masing 10, 6 dan 6 hari.

Perlakuan sampel serangga uji yang diinfestasikan ke dalam tepung terigu masing-masing dengan tebal 800 dan 1600 μm yang diiradiasi MBE arus berkas 100-500 μA . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa respon serangga dewasa *T. castaneum* tidak menunjukkan 100 % mati sampai pengamatan 46 hari, tetapi hanya menurunkan jumlah populasi serangga

dewasa yang hidup. Kurva populasinya menunjukkan jumlah populasi serangga yang hidup akan menurun terhadap waktu siklus radiasi menyerupai pola pertumbuhan eksponensial dengan laju negatif. Pada awal iradiasi dalam jumlah yang besar serangga uji mengalami kematian tetapi pada saat dan kondisi waktu tertentu menunjukkan pola yang konstan sampai pengamatan hari ke-46. Disamping itu, perlakuan dengan faktor tebal tepung terigu dari 800 dan 1600 μm dengan kondisi iradiasi arus berkas yang sama menunjukkan jumlah individu serangga dewasa yang hidup akan meningkat dengan meningkatnya ketebalan tepung terigu.

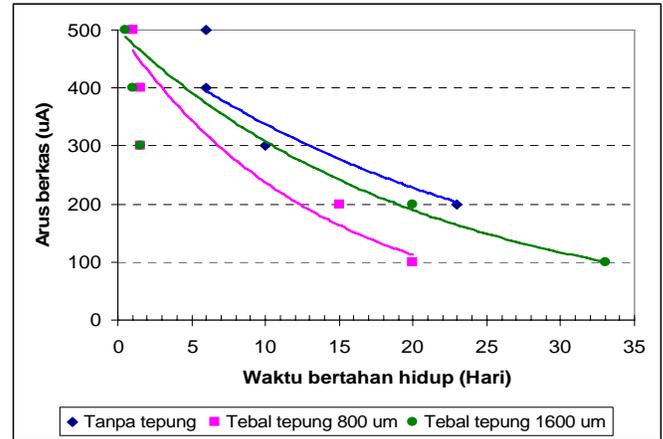
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa iradiasi berkas elektron terhadap tepung terigu yang diinfestasikan serangga dewasa terhadap ketebalan sampel membuktikan bahwa tebal tepung terigu ditingkatkan dari tebal 800 menjadi 1600 μm menunjukkan individu serangga dewasa *T. castaneum* yang hidup meningkat, setara dengan meningkatnya tebal sampel akan menyebabkan meningkatnya *stopping power* terhadap iradiasi berkas elektron.

Efektifitas dosis radiasi MBE terhadap daya basmi serangga uji dinyatakan dengan arus berkas sumber listrik dalam mikro ampere (μA) yaitu perubahan arus

berkas akan menyebabkan waktu bertahan hidup dalam siklus serangga iradiasi. Sedangkan laju kematian serangga merupakan waktu bertahan hidup (dalam hari) yang diperlukan pada arus berkas tertentu untuk mereduksi populasi serangga uji dalam waktu siklus yang dinyatakan individu hidup.

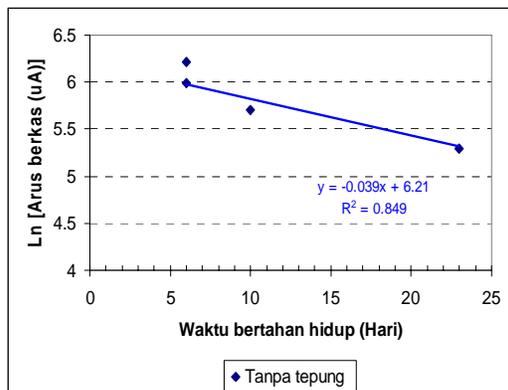
Model plot data hubungan antara waktu bertahan hidup serangga dewasa *T. castaneum* terhadap iradiasi MBE arus berkas 100-500 μA tersaji pada Gambar 4. Tahap kematian logaritmik setara dengan pertumbuhan eksponensial dengan laju negatif atau model peluruhan dapat dijabarkan ke dalam bentuk grafik. Sedang sifat serangga yang berkembang dengan perubahan waktu bertahan hidup serangga terhadap arus berkas dapat dijelaskan dengan model matematika persamaan garis lurus ($\ln y = a + b x$), yaitu waktu bertahan hidup sebagai sumbu $-x$ dihubungkan dengan \log arus berkas sebagai sumbu $-y$. Dari persamaan diperoleh kematian serangga uji dalam waktu bertahan hidup akan berbanding lurus terhadap nilai laju kematian logaritmik arus berkas untuk masing-masing perlakuan sampel.

Tahap kematian logaritmik serangga uji perlakuan sampel tanpa tepung terigu menyebabkan waktu bertahan hidup serangga dewasa menuju kematian terjadi

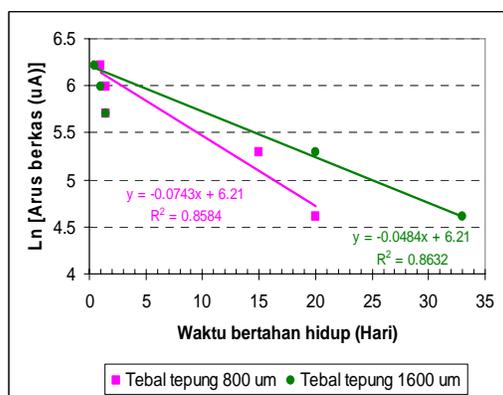


Gambar 4. Hubungan antara waktu bertahan hidup serangga dewasa *T. castaneum* terhadap iradiasi MBE arus berkas 100-500 μA

pada arus berkas 200-500 μA diperoleh nilai laju kematian logaritmik $-0,039$ arus berkas per waktu bertahan hidup tersaji pada Gambar 5. Sedangkan perlakuan sampel yang diinfestasi serangga dewasa *T. castaneum* ke dalam tepung terigu tebal 800 dan 1600 μm . Laju kematian logaritmik terhadap efek kematian serangga dewasa pada sampel tepung tebal 800 μm memberikan pengaruh yang nyata dari pada tepung tebal 1600 μm . Besarnya nilai laju kematian logaritmik untuk masing-masing ketebalan 800 dan 1600 μm adalah $-0,0743$ dan $-0,0484$ arus berkas per waktu bertahan hidup. Hal ini dapat membuktikan bahwa dengan adanya perbedaan tebal tepung terigu dapat menyebabkan efek *stopping power* dimana tebal merupakan faktor pembatas dalam aplikasi menggunakan MBE.



(a)



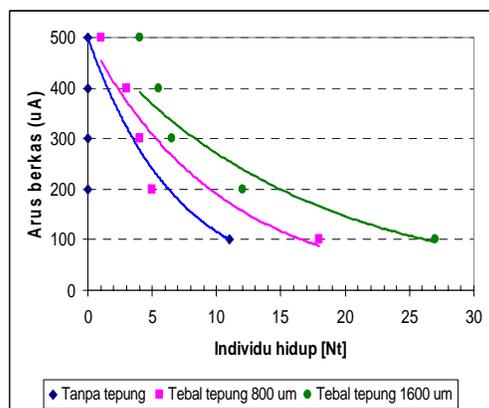
(b)

Gambar 5. Persamaan regresi $Ln y = a + b x$ pengaruh iradiasi satu sisi permukaan MBE arus berkas 200-500 μA pada sampel serangga dewasa (a) tanpa tepung terigu dan (b) serangga dewasa diinfestasikan kedalam tepung terigu tebal 800 dan 1600 μm .

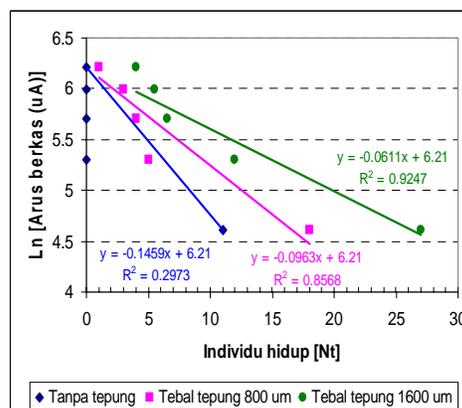
Laju kematian logaritmik individu hidup menunjukkan ketahanan serangga uji terhadap perubahan arus berkas untuk mereduksi populasi serangga menuju kematian. Sampel tanpa tepung diperoleh nilai laju kematian logaritmik - 0,1459 arus berkas per individu hidup pada arus berkas 200-500 μA menyebabkan individu yang berujung respon serangga mati. Sedangkan

sampel diinfestasi serangga uji dengan tebal tepung 800 dan 1600 μm yang diiradiasi pada arus berkas 100-500 μA adalah -0,0963 dan -0,0611 arus berkas per individu hidup menyebabkan penurunan jumlah populasi serangga uji mencapai kondisi individu hidup serangga konstan sampai pengamatan 46 hari. Efek kematian logaritmik serangga uji semakin sensitif yang ditunjukkan slope semakin curam atau sensitifitas serangga uji ditunjukkan pada perlakuan sampel tanpa tepung terigu, kemudian diikuti masing-masing sampel yang diinfestasi serangga uji dengan tebal 800 dan 1600 μm .

Hasil percobaan hubungan antara individu hidup serangga dewasa *T. castaneum* akibat iradiasi MBE arus berkas 100-500 μA tersaji pada Gambar 6. Faktor tebal tepung akan berpengaruh terhadap kemampuan penetrasi berkas elektron terhadap efek mati serangga dewasa. Ternyata jumlah individu hidup dengan tebal tepung 1600 μm lebih tinggi bila dibandingkan dengan tebal tepung 800 μm . Hal ini membuktikan bahwa iradiasi MBE tidak mampu menembus ketebalan tepung 800 dan 1600 μm dalam memabasmi serangga uji.



Gambar 6.(a)



Gambar 6. (b)

Gambar 6. (a) Hubungan antara individu hidup serangga dewasa *T. castaneum* ter-hadap iradiasi 1 sisi permukaan MBE arus berkas 100-500 μA . (b) Persamaan regresi $\text{Ln } y = a + b x$ pengaruh iradiasi satu sisi permukaan MBE arus berkas 100-500 μA pada individu hidup.

Tabel 1. Pengaruh arus berkas elektron dengan iradiasi 1 sisi permukaan terhadap waktu bertahan hidup serangga dewasa *T. castaneum*

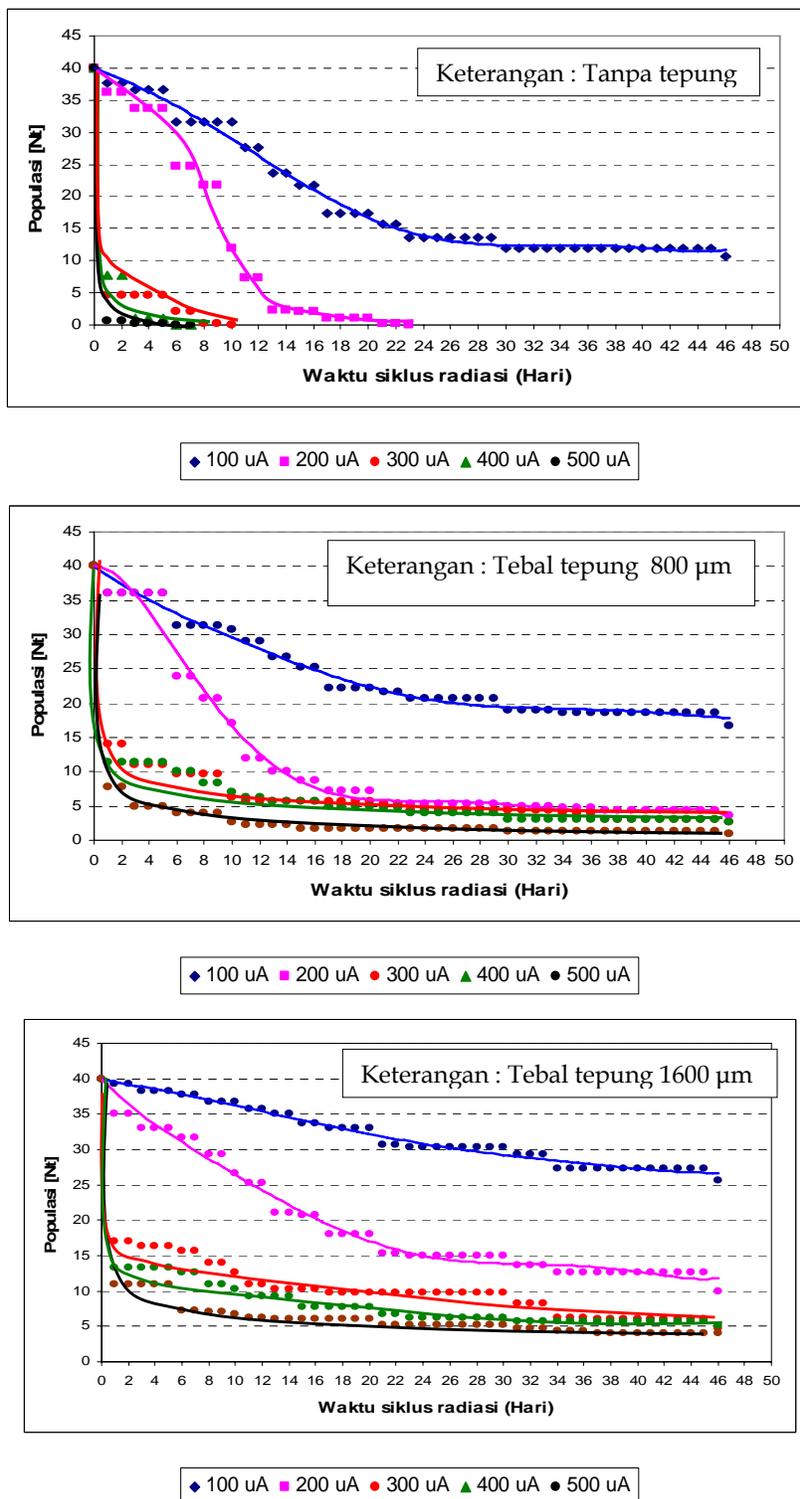
Sampel	Dosis radiasi		Cara Iradiasi	
	MBE		Iradiasi 1 sisi permukaan	
	Arus berkas (μA)	CTA film (kGy)	Waku bertahan hidup (Hari)	Individu hidup *)
A	100	0,93	24	11
	200	2,27	23	0
	300	3,45	10	0
	400	4,24	6	0
	500	5,30	6	0
B	100	0,93	20	18
	200	2,27	15	5
	300	3,45	1,5	4
	400	4,24	1,5	3
	500	5,30	1	1
C	100	0,93	33	27
	200	2,27	20	12
	300	3,45	1,5	6,5
	400	4,24	1	5,5
	500	5,30	0,5	4

Keterangan : *) Data menunjukkan populasi serangga dewasa *T. castaneum* yang konstan terhadap waktu siklus radiasi setelah mendapat perlakuan iradiasi MBE

A = Serangga dewasa tanpa tepung terigu

B = Serangga dewasa diinfestasikan ke dalam tepung terigu dengan tebal 800 μm

C = Serangga dewasa diinfestasikan ke dalam tepung terigu dengan tebal 1600 μm



Gambar 7. Kurva populasi serangga dewasa *T. castaneum* setelah perlakuan iradiasi satu sisi permukaan MBE arus berkas (100-500) μA .

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Penggunaan sumber radiasi mesin berkas elektron (MBE) 350 keV 10 mA dengan kondisi energi 300 keV, arus berkas 100-500 μ A, kecepatan konveyor 4 cm/detik, jarak pemayar dengan target 20 cm dapat diaplikasikan untuk iradiasi sampel tepung terigu dengan tujuan disinfestasi serangga dewasa *T. castaneum*.

Populasi serangga dewasa *T. castaneum* yang diiradiasi dengan MBE terhadap waktu siklus radiasi menyerupai pertumbuhan eksponensial dengan laju pertumbuhan negatif. Dari 2 perlakuan sampel, laju logaritmik kematian serangga uji yaitu serangga dewasa *T. castaneum* tanpa tepung terigu dan serangga dewasa *T. castaneum* diinfestasikan ke dalam tepung terigu tebal 800 dan 1600 μ m terhadap waktu bertahan hidup masing-masing -0,039, -0,0743, -0,0484 arus berkas per waktu bertahan hidup, sedangkan terhadap individu hidup masing-masing sebesar -0,1459, -0,0963, -0,0610 arus berkas per individu hidup

Berdasarkan efektivitas iradiasi satu sisi permukaan dengan arus berkas 200 μ A dapat membasmi semua serangga dewasa *T. castaneum* yang diinfestasikan ke dalam tepung terigu tebal 800 μ m dan masih terdapat individu hidup sebesar 12,5 persen.

SARAN

Untuk masa yang akan datang diharapkan ada penelitian terpadu dan komprehensif penggunaan iradiasi MBE sebagai alternatif teknologi khususnya disinfestasi serangga terhadap bahan pangan berbasis tepung untuk tujuan karantina.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan beserta staf PATIR BATAN Jakarta, PTAPB BATAN Yogyakarta dan Bapak. Sunjaya peneliti SEA-MEO BIOTROP yang telah mendukung ketersediaan serangga *Tribolium castaneum* (Herbst).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. HAINES C. P., *Insects and Arachnids of Tropical Stored Products: Their Biology and Identification (A Training Manual) second edition*. United Kingdom: The Natural Resources Institute (NRI) (1991).
- [2]. SOKOLOFF, A., *The Biology of Tribolium*. Oxford at the Clarendon Press (1974.).
- [3]. GUPTA, S. C., *Irradiation as an Alternative Treatment to Methyl Bromide for Insect* Publishing Co, Inc. (2001) 39-49. Loaharanu P, Thomas P, editor. *Irradiation for Food Safety & Quality. Proceedings of FAO/IAEA /WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through*

- Radiation Processing*. Lancaster, Pennsylvania 17604 USA: Technomic
- [4]. HARIYADI, P., Peran dan Potensi Mesin Berkas Elektron (*Electron Beam*) dalam Meningkatkan Keamanan Pangan. Seminar Pendayagunaan Hasil Litbangyasa Iptek Nuklir V dan Bursa Teknologi. Jakarta: 12 Sep. (2004).
- [5]. TANHINDARTO, R. P., IRAWATI, Z.. Pemanfaatan teknologi radiasi dalam pengawetan makanan. Stadium General Fisika IPB dengan tema Commercial Irradiation in Food Processing. Bogor: 18 Mei 2002 (2002).
- [6]. TANHINDARTO, R. P., IRAWATI, Z., Status litbang pengawetan makanan menggunakan radiasi pengion. Seminar Pendayagunaan Hasil Litbangyasa Iptek Nuklir V dan Bursa Teknologi. Jakarta: 12 Sep. (2004).
- [7]. TANHINDARTO, R. P., Teknik iradiasi tepung terigu dengan menggunakan MBE (350 keV, 10 mA). Yogyakarta: Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Akselerator VIII. 21-22 Nop. (2005)
- [8]. TANHINDARTO, R. P., Aplikasi iradiasi mesin berkas elektron untuk disinfestasi serangga *Tribolium castaneum* (Herbst) pada tepung terigu. Yogyakarta: Seminar Nasional PATPI. 2-3 Agustus (2006).
- [9]. TANHINDARTO, R. P., Aplikasi proses radiasi dalam bidang pengawetan makanan. Seminar dengan Tema Aplikasi Biofisika Radiasi untuk Masyarakat. Jur. GFM/Biologi FMIPA IPB. Bogor: 20 Sep. (2003).
- [10]. IRAWATI, Z., Iradiasi pangan dengan mesin berkas elektron. Prosiding Seminar Nasional VIII Kimia dalam Pembangunan. Yogyakarta: 26-27 April:72-77 (2005).
- [11]. IRAWATI, Z., Teknologi dan Aplikasi : Iradiasi bahan pangan menggunakan mesin berkas elektron dan iradiator gamma. Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Akselerator VIII. Yogyakarta: 21-22 Nop. (2005).
- [12]. DANU, S., Dasar-Dasar aplikasi mesin berkas elektron. Disajikan pada BATAN *Accelerator School*, Yogyakarta, 7-18 Juni 2004, Jakarta Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi.
- [13]. SALIMOV, R. A., CHEREPKOV, V. G, KUKSANOV, N. K, KUZNETZOV, S. A., *The use of electron accelerators for radiation disinfestation of grain*. Rad Phys and Chem 57 (2000) 625-627.
- [14]. CLEGHORN, D. A, NABLO, S. V, FERRO, D. N, HAGSTRUM, D. W., *Electron beam treatment parameters for control of stored product insects*. Rad Phys & Chem 63 (2002) 575-579.
- [15]. HAYASHI, T., IMAMURA, T., MIYANOSHITA, A., NAKAKITA, *Soft-electron Treatment as Phytosanitary Measure for stored Product Pest*. IAEA-TECDOC-1427, Viena (2004) 67-73
- [16]. HAYASHI, T., IMAMURA, T., MIYANOSHITA, A., TODORIKI, S., *Control of Insect Pests with Electrons*. YOSHII F, KUME T, ed. *Proceedings of The FNCA 2002 Workshop on Application of Electron Accelerator- Radiation System for*

- Liquid Samples*. JAERI - Conf 2003 - 016. 16-20 Dec, 2002. Japan: JAERI. Takasaki (2003) 98-110.
- [17]. GOCHANGCO, M. U, SAN JUAN, E. M., LUSTRE, A. O., *Irradiation as Alternative Treatment to Methyl Bromide for Disinfestation of Tribolium Scastaneum in Stored Cacao*. IAEA-TECDOC-1427. Viena (2004)111-126.
- [18]. DIEHL, J. F., *Safety of Irradiated Foods. Revised and Expanded*. ke-2. New York - Basel - Hong Kong: Marcel Dekker, Inc. (1995).
- [19]. [NHV] NISSIN HIGH VOLTAGE Co. LTD., *The Handbook of Electron Beam Processing*. Japan: Nissin High Voltage Co. LTD (1983).
- [20]. NOEMI, C. O., *Insect Pests of Stored Grain Products: A Review*. AECL-9081. Whiteshell Nuclear Research Establishment, Pinawa, Manitoba ROE ILO. Canada: Atomic Energy of Canada Limited (1987).
- [21]. SUTRINO, S., Status dan pengembangan teknik nuklir untuk pengendalian hama di Indonesia. Bul. BATAN XXV-1(2004) 45-61.

**ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK HABITAT
PERKEMBANGBIAKAN NYAMUK *Aedes* DI DAERAH ENDEMIS DAN NON
ENDEMIS DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD).**

M. Hasyimi**, *Pangestu, *Astrid B. Utami******

*Puslitbang Ekologi dan Status Kesehatan, Balitbangkes. Depkes.

** Politeknik Kesehatan Jakarta II Jurusan Kesehatan Lingkungan

***Sekolah Tinggi Kesehatan (STKes) Kharisma Karawang, Jawa Barat.

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK HABITAT PERKEMBANGBIAKAN NYAMUK *Aedes* DI DAERAH ENDEMIS DAN NON ENDEMIS DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD). Di Indonesia penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan masalah kesehatan masyarakat. DBD disebabkan oleh virus dengue dan disebarkan oleh vektor utamanya nyamuk *Aedes aegypti*, juga oleh *Aedes albopictus*. Sebagian kota-kota besar menjadi daerah endemis DBD, salah satu sebabnya karena sebagian besar penduduknya melakukan penampungan air bersih untuk keperluan sehari-hari. Penampungan air selalu memberi peluang kepada nyamuk *Aedes*, terutama *Aedes aegypti* mendominasi tempat-tempat ini untuk perkembangbiakannya. Tujuan analisis adalah untuk membandingkan gambaran karakteristik tempat perkembangbiakan *Aedes* di daerah endemis dan daerah non endemis DBD. Analisis perbandingan dilakukan terhadap data habitat perkembangbiakan *Aedes* yang dikumpulkan dari Kecamatan Kebayoran Lama dan Kebayoran Baru di Jakarta Selatan pada Desember 2007, sebagai daerah endemis. Sedangkan data daerah non endemis dikumpulkan dari Kecamatan Karawang Barat-Kabupaten Karawang, pada Januari 2008. Cara pengumpulan data dengan mengunjungi rumah-rumah yang terpilih, kemudian memeriksa penampungan air, diantaranya bak mandi, tempayan, drum, ember dan lain-lainnya. Apabila ditemukan jentik pada tempat-tempat tersebut diambil, kemudian dengan menggunakan mikroskop *compound* jentik diidentifikasi untuk memastikan spesiesnya. Karakteristik habitat meliputi jenis penampungan air, bahan dasar, warna, volume air dan kondisi ada tidaknya tutup dicatat pada formulir. Hasilnya menunjukkan bahwa bak mandi merupakan habitat perkembangbiakan *Aedes* yang paling dominan di kedua daerah tersebut. Hampir seluruh habitat *Aedes* di kedua daerah tersebut kondisinya terbuka (tanpa tutup). Di daerah endemis, volume air pengisi habitat perkembangbiakan paling banyak antara 11-100 liter sementara pada daerah non endemis paling banyak ditempati air yang volumenya kurang dari 5 liter. Warna habitat perkembangbiakan di daerah endemis paling banyak biru 39% sementara non endemis hanya 5,9%. Di kedua daerah bahan dasar didominasi oleh plastik, tetapi pada bahan dasar logam merupakan hal berbeda. Presentase bahan dasar logam di daerah endemis 23% sementara pada daerah non endemis hanya 1,5%.

Kata kunci: Aedes, habitat karakteristik, daerah endemic dan non endemic

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYZE OF CHARACTERISTIC BREEDING HABITAT OF Aedes MOSQUITOES IN ENDEMIC AND NON ENDEMIC DENGUE HAEMORRHAGIC FEVER (DHF) AREAS. *Dengue hemorrhagic fever (DHF) still as public health problem. DHF is an arthropod-borne disease caused by dengue viruses of multi type, which had reported in Indonesia. The occurrence of outbreaks of DHF is restricted to the large towns*

and cities due to the prevalence of vector mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *Ae. aegypti* is a domestic mosquitoes. The most of cities to be DHF endemic areas, because the almost of residents store up the clean water in containers for daily. This condition will give the containers to be *Aedes* breeding places, particularly for *Aedes aegypti*. The objective of this analyze is to collect information concerning of the breeding places differences between a DHF endemic area and non endemic area. The analyze by using the results of study on *Aedes* breeding places held in Kebayoran lama and Kebayoran baru sub district South Jakarta, was done in December 2007. While for non endemic area data was collected from West Karawang sub district in January 2008. The data collecting method by visiting the selected houses, than investigating containers as *Aedes* habitat like as cisterns, earthen jar, drum, ember and so on. If be found the larva than taken, and by using compound microscope for species identification. The study result shown that breeding habitat both endemic or non endemic has the same characteristics specially on the most type containers i.e. cisterns and opened the container's cap. In endemic area, the mayor of breeding habit colors was in blue (39%), while just in non endemic 5.9%. The plastic containers were the highest number of breeding habitats found both endemic and non endemic areas, but metal containers in endemic area was higher number (23%) than in non endemic area (1.5%).

Keywords : *Aedes*, characteristic habitat, endemic and non endemic area.

PENDAHULUAN

Di Indonesia penyakit Demam berdarah dengue (DBD) masih merupakan masalah kesehatan masyarakat. Penyakit DBD disebabkan oleh virus dengue dan disebarkan oleh penular (vektor) utamanya nyamuk *Aedes aegypti*, juga oleh *Aedes albopictus*. Secara umum *Case fatality rate* (CFR) DBD, pada level kabupaten/kota meningkat. Pada tahun 2006 kab./kota yang memiliki CFR antara 1-2 % sebanyak 48, pada tahun 2007 meningkat menjadi 55 kab/kota. Sedangkan kab./kota yang memiliki CFR 2-4% dari 32 menjadi 45 kab/kota pada periode yang sama. Di DKI Jakarta pada tahun 2003, 2004 dan 2005 berturut-turut jumlah penderitanya 14. 071, 20.510 dan 23. 466 orang. Penderita yang

meninggal pada tahun 2004 sebanyak 89 dan tahun 2005 sebanyak 80 orang¹.

Situasi kasus DBD di Kota Madya Jakarta Selatan yang tergolong endemis, pada tahun 2004, 2005 dan 2006 mempunyai *Incidence Rate* (IR) 255, 355 dan 353, bahkan pada tahun 2007 menunjukkan kenaikan yang tajam menjadi 522. Pada periode tahun yang sama CFRnya berturut-turut 0,3; 0,52; 0,22 %, tetapi pada tahun 2007 CFR menunjukkan 0,31%². Dilihat dari aspek kenaikan jumlah kasus di Kota Madya Jakarta Selatan pada tahun 2006-2007, merupakan kenaikan yang tinggi dibandingkan Kab. Kep. Seribu dan 3 kota madya lainnya. Jumlah kasus pada tahun 2007, yang terbanyak adalah Kota madya

Jakarta Timur kemudian diikuti Jakarta Selatan.

Situasi kasus DBD di Kabupaten Karawang pada periode tahun yang sama walaupun terjadi peningkatan, namun dalam jumlah yang relatif kecil. Pada periode tersebut telah terdiagnosa klinis sebanyak 2163 kasus dengan perincian berturut-turut tahun 2004, 2005 dan 2006 sebagai berikut 527, 670 dan 966 kasus. Sementara jumlah kematian karena DBD 9, 8 dan 8 orang³.

Sebagian besar masyarakat yang tinggal dipertanian menampung air bersih untuk keperluan sehari-hari. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi bila suatu saat air tidak tersedia. Kondisi seperti ini banyak ditemukan di kota/kab. dimana air bersih agak sulit atau sulit diperoleh sementara air pasokan dari perusahaan air minum (PDAM) tidak bisa diandalkan kontinuitasnya. Apapun bentuk penampungan air memberi peluang kepada nyamuk *Aedes*, terutama *Aedes aegypti* memanfaatkan untuk berkembang biaknya. Pernyataan Surtees⁴, bahwa nyamuk *Ae.aegypti* mempunyai habitat pada penampungan air (biasa disebut *containers*) antara lain bak mandi, drum air, tempayan, ember, kaleng bekas, botol bekas, potongan bambu, pangkal daun dan lubang-lubang yang berisi air jernih.

Menurut Harwood & James⁵ bahwa kebiasaan hidup stadium pra dewasa *Ae.aegypti*, (termasuk jentiknya) adalah pada bejana buatan manusia yang berada di dalam maupun di luar rumah. Bahkan pernyataan Suwasono, H⁶ bahwa beberapa faktor yang mempengaruhi peletakan telur nyamuk *Aedes*, yaitu jenis kontainer, warna kontainer, airnya, suhu, kelembaban dan kondisi lingkungan setempat. Sehingga selain letak *container* tetapi juga asal/ jenis air dan karakteristik habitat yang lain merupakan faktor yang penting untuk perkembangbiaknya.

Untuk memberikan gambaran karakteristik habitat perkembangbiakan *Aedes* di daerah endemis dan non endemis kepada fihak-fihak tertentu dan sebagai bahan masukan dalam strategi pengendalian *Aedes* dan penyuluhan kepada masyarakat umum, maka informasi ini sangat berguna. Untuk itu perlu dilakukan analisis perbandingan karakteristik habitat perkembangbiakan *Aedes* pada kedua tipe daerah tersebut.

BAHAN DAN CARA KERJA

Analisis perbandingan dilakukan terhadap data karakteristik habitat perkembangbiakan *Aedes* yang dikumpulkan pada daerah endemis dan non endemis. Penentuan endemis dan non

endemis berdasarkan jumlah kasus DBD dan kenaikan yang terjadi pada tahun 2006-2007 yang mengacu pada peta endemisitas DBD⁷, maka dipilih dua lokasi yang dianggap dapat mewakilinya:

1. Untuk daerah endemis diambil tempat perkembangbiakan *Aedes* yang diambil di kecamatan yang berada di Kota Madya Jakarta Selatan yaitu Kebayoran baru dan Kebayoran lama, sebanyak 34 habitat *Aedes* (selanjutnya disebut daerah penelitian A). Data berupa data skunder⁸ yang dikumpulkan pada bulan Desember 2007.
2. Untuk daerah non endemis dipilih kecamatan yang berada di Kab. Karawang yaitu Kec. Karawang Barat, sebanyak 68 habitat *Aedes* (selanjutnya disebut daerah penelitian B), Data primer tersebut dikumpulkan pada bulan Maret 2008.

Cara Pengumpulan Data.

Data habitat perkembangbiakan *Aedes* diperoleh dengan cara mengunjungi rumah penduduk. Kemudian petugas mencari dan mengamati tampungan air yang berpotensi sebagai tempat perkembangbiakannya di lingkungan rumah tersebut, antara lain berupa bak mandi, tempayan, drum (logam dan

plastik), ember, ban, vas bunga dan lain-lainnya yang berada di dalam ataupun di luar rumah. Pemeriksaan habitat dilakukan secara *visual*, dengan menggunakan alat bantu berupa lampu senter (*Flash light*) dan wadah jentik berupa botol kecil (*plastic vial*). Apabila ternyata positif ditemukan jentik, maka diambil satu ekor saja atau lebih (cara ini disebut *single larva methode*). Spesifikasi habitat dicatat pada formulir yang telah disediakan. Jentik yang diperoleh, kemudian diidentifikasi secara mikroskopis untuk memastikan genus bahkan spesies jentik. Kepastian genus digunakan untuk analisis perbandingan habitat perkembangbiakan *Aedes* ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data daerah endemis (A) Jakarta Selatan dan daerah non endemis (B) Karawang ditabulasi dan di sajikan dalam tabel-tabel berikut ini.

Tabel 1 menyajikan hasil koleksi berdasarkan jenis habitat yang telah ditemukan positif jentik *Aedes* secara random. Pada tabel tersebut tampak, bahwa yang habitat perkembangbiakan terbanyak berupa bak mandi baik di daerah A maupun di daerah B. Di daerah penelitian A bak mandi sebesar 52 % dan daerah B sebesar 40 %. Namun apabila

dilihat dari keragamannya, maka di daerah B keragaman habitat perkembangbiakan *Aedes* lebih bervariasi dibandingkan di daerah A. Di daerah A jentik *Aedes* tidak ditemukan pada jenis tempayan, ember dan vas bunga. Di daerah A habitat jentik yang berupa ban bekas, ternyata persentasenya lebih banyak (39%) dibanding di daerah B yang hanya 16%.

Sebagai pembandingan, disampaikan hasil beberapa penelitian sebelumnya. Hasil penelitian⁹ di Barru, Sulawesi Selatan menerangkan bahwa tampungan air di dalam rumah yang paling banyak positif *Aedes aegypti* adalah jenis drum 41,3 % di ikuti tempayan (*Earthen jar*)

Tabel 1. Perbandingan Jenis Habitat Perkembangbiakan *Aedes* Di Daerah Penelitian A dan B.

	Bak Mandi		Tempayan		Drum (Plastik)		Ember		Drum logam		Vas bunga		Ban		Jml	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
A	19	52	0	0	2	6%	0	0	1	3%	0	0	12	39	34	100
B	27	40	3	4,4	7	10	13	19	6	8,8	1	1,5	11	16	68	100

Keterangan : A = daerah endemis
B = daerah non endemis

sebesar 37,6%. Sementara yang berada di luar rumah yang paling banyak adalah tempayan (45%) dan drum menempati urutan ke dua (33,9%). Hasil penelitian di Jakarta Utara¹⁰ menyebutkan bahwa di daerah Kel. Papanggo jenis tempayan mempunyai persentase ditemukan positif jentik paling besar (66,7%), sedangkan di daerah penelitian Kel. Tanjung Priuk pada kecamatan yang sama, jenis bak mandi menempati persentase paling besar yaitu 65,4%.

Penelitian di Pulau Pari Kab. Kep. Seribu¹¹ menunjukkan bahwa habitat perkembangbiakan *Aedes* yang

mempunyai persentase paling besar adalah jenis ember dengan angka 41,4 %. Di P. Untung Jawa, P. Panggang dan P. Tidung persentase paling besar adalah jenis bak mandi, berturut-turut dengan angka 36,7%; 54,2 %, dan 50%, walaupun warga yang tinggal di pulau-pulau tersebut lebih banyak menggunakan drum untuk penampungan air.

Pada table 2 berikut, menggambarkan perbandingan jenis air atau asal air yang mengisi masing-masing habitat. Di daerah A habitat *Aedes* lebih banyak di isi oleh air tanah (38 %) yang terdiri dari air pompa 35% dan air sumur 3 %.

Sementara pada kontainer jenis ember relatif sama tinggi antara CI pada air tanah dan air hujan. Menurut Chan (1971)¹² banyak sedikitnya ditemukan jentik *Ae.aegypti* ini kemungkinan ada hubungannya dengan kesediaan makanan jentik. Dari ke 4 jenis habitat perkembangbiakan *Aedes* yang ada (bak mandi,

drum, tempayan dan ember), ternyata yang paling rendah angka CI-nya adalah kontainer yang berisi air olahan (PDAM).

Kondisi ini berarti bahwa diantara air yang untuk perkembangbiakan *Ae. aegypti* adalah air olahan yang paling menghambat pertumbuhan *Ae. aegypti*.

Tabel 2. Perbandingan Asal Air/ Jenis Air pada Habitat Perkembangbiakan *Aedes* Di Daerah Penelitian A dan B.

	Pompa		Sumur		PDAM		Hujan		Tak Jelas *		Jumlah	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
A	11	35	1	3	7	23	8	26	7	13	34	3
B	10	15	6	8,8	19	28	30	44	3	4,4	68	100

Keterangan = daerah endemis : A

B = daerah non endemis

* = Tak jelas berarti air campuran atau pemilik tidak tahu pasti asalnya.

Tabel 3, menyajikan volume air yang mengisi tempat habitat *Aedes*, dimana di daerah A habitat perkembangbiakan *Aedes* lebih banyak berisi air dengan volume antara 11-100 liter yaitu 45 %, sementara di daerah B paling banyak justru pada habitat dengan volume sedikit (< 5 liter) sebanyak 43%. Pada tabel 4, menyajikan warna tempat perkembangbiakan jentik *Aedes* yang ditemukan di daerah penelitian A dan B. Pada daerah penelitian A, jentik *Aedes* paling banyak pada wadah air yang berwarna biru (39%). Sementara di daerah penelitian B, jentik *Aedes* paling banyak menempati pada

wadah air yang tak jelas warnanya, misalnya warna asli tanah bakar (merah bata) tetapi ditumbuhi oleh lumut. Dibeberapa daerah yang pernah dilakukan penelitian⁸ menunjukkan bahwa habitat untuk perkembangbiakan *Aedes* adalah warna gelap (termasuk biru dan hitam). Tabel 5 menggambarkan bahan dasar yang menyusun habitat tempat perkembangbiakan *Aedes*. Dimana di daerah penelitian endemis (A), jentik paling banyak menempati sebagai perkembangbiakannya pada penampungan air yang terbuat dari bahan plastic (35%). Begitu pula di daerah penelitian B, tetapi dengan

presentase yang lebih besar (46%). Menurut Chan¹², bahan dasar kontainer ada kemungkinan menentukan jumlah larva. Banyak sedikitnya ditemukan jentik *Ae. aegypti* ini kemungkinan ada hubungannya dengan makanan jentik yang

tersedia. Dugaan ini telah diteliti yang menyebutkan angka kematian larva terendah dalam kontainer semen dan angka kematian tertinggi terdapat dalam kontainer keramik.

	< 5 lt		5-10 lt		11-100 lt		>100		Tak jelas*		Jml	
	N	%	n	%	n	%	n	%	n	%	N	%
A	9	29	4	13	14	45%	3	10	4	3	34	100
B	29	43	5	7,4	18	26	14	21	2	2,9	68	100

Tabel 3. Perbandingan Isi Air pada Habitat Jentik *Aedes* di daerah Penelitian A dan B.

Keterangan : A = daerah endemis
B = daerah non endemis
* = petugas tidak mengisi formulir

Tabel 4. Perbandingan Warna Habitat Perkembangbiakan *Aedes* Di Daerah Penelitian A dan B.

	Biru		Hijau		Merah		Coklat		Kuning		Putih		hitam		Tak* jelas		Jumlah	
	n	%	n	%	n	%	n	%	N	%	n	%	n	%	n	%	n	%
A	12	39	1	3	0	0	4	13	0	0	7	23	0	0	10	23	34	100
B	4	5,9	5	7,4	4	5,9	6	8,8	8	12	2	2,9	2	2,9	37	54	68	100

Keterangan : A = daerah endemis
B = daerah non endemis
* = tak jelas warnanya, misalnya warna asli tanah bahar dan ditumbuhi oleh lumut atau tidak diisi oleh petugas.

Tabel 5. Perbandingan Bahan Dasar Habitat Perkembangbiakan *Aedes* di daerah penelitian A dan daerah B.

	Keramik		Semen		Tanah		Kaca		Plastik		Karet		Logam		Lainnya*		Jumlah	
	n	%	N	%	n	%	n	%	n	%	N	%	n	%	n	%	n	%
A	8	26	3	10	1	3	0	0	11	35	0	0	7	23	4	3	34	100
B	15	22	3	4,4	7	10	2	2,9	31	46	1	1,5	1	1,5	8	12	68	100

Keterangan : A = daerah endemis
B = daerah non endemis
* = formulir tidak diisi/tidak disebutkan oleh petugas

Bahkan di Pontianak telah dilakukan penelitian¹³ menunjukkan bahwa drum yang terbuat dari kayu ternyata paling tinggi ditemukan sebagai tempat perindukan *Ae.aegypti*.

Habitat perkembangbiakan *Aedes* baik di daerah endemis maupun daerah non endemis tersebut hampir seluruh terbuka (tanpa tutup atau tidak jelas fungsi

tutupnya) sebagaimana nampak pada table 6. Di daerah penelitian A sebesar 90,3% terbuka begitu pula di daerah B cukup besar yaitu 90%, terdiri 83% terbuka dan 7% tidak jelas.

Tabel 6. Kondisi Tutup pada Habitat Perkembangbiakan *Aedes* Di Daerah Penelitian A dan B.

	Tertutup		Terbuka		Tak Jelas*		Jumlah	
	n	%	N	%	n	%	n	%
A	3	9,6	28	90,3	3	0	34	100
B	6	8,8	57	83	5	7	68	100

Keterangan : A = daerah endemis

B = daerah non endemis

* = mungkin ada tutup tetapi tidak berfungsi/ tidak diisi oleh petugas.

Di daerah endemis maupun non endemis, dalam hal menutup atau tidaknya pada penampungan air ternyata mempunyai keadaan yang sama yaitu sebagian besar terbuka (tanpa tutup).

Berdasarkan survei fauna *Aedes* di daerah non endemik¹⁴ DBD di desa Kaponan, Kab.Ponorogo Jawa Timur, maka pada musim kemarau ditemukan angka jentik CI =16,07% dan HI sebesar 20%. Kedua indeks tersebut melebihi batas maksimal yang ditentukan oleh WHO, yaitu 5%.

KESIMPULAN

Dari uraian tentang perbandingan karakteristik habitat perkembangbiakan *Aedes* di daerah endemis dan non endemis DBD dapat disimpulkan bahwa :

1. Bak mandi merupakan habitat perkembangbiakan *Aedes* yang paling dominan di kedua daerah tersebut.
2. Hampir seluruh habitat *Aedes* di kedua daerah tersebut kondisinya terbuka (tanpa tutup).

3. Di daerah endemis, volume air pengisi habitat perkembangbiakan paling banyak antara 11 – 100 liter sementara pada daerah non endemis paling banyak ditempati air yang volumenya kurang dari 5 liter.
4. Warna habitat perkembangbiakan di daerah endemis paling banyak biru 39% sementara non endemis hanya 5,9%.
5. Di kedua daerah bahan dasar didominasi oleh plastik. Tetapi pada bahan dasar logam merupakan hal berbeda. Di Daerah endemis bahan dasar logam 23% sementara pada daerah non endemis hanya 1,5 %.

SARAN

Dilakukannya penelitian lanjut yang lebih representatif untuk memperkuat hasil yang dicapai dalam penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Dinas Kesehatan Kab. Karawang Propinsi Jawa Barat, Direktur dan staff di STKes Kharisma Karawang Jawa Barat yang telah memfasilitasi penulis sehingga tersusun makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Depkes. Rencana Strategis 2005-2009. Program Pencegahan dan Pemberantasan Demam Berdarah Dengue. DIT. JEND. PP & PL, 2005
2. Dinas Kesehatan Propinsi DKI Jakarta . Tidak dipublikasi, 2007.
3. Profil Kab. Karawang, 2006.
4. Surtess, G., *Mosquito Breeding in Kuching Area, Sarawak with special Reference to the Epidemiology of Dengue Fever. J. Med. Ent.* 7(2), 1970.
5. Harwood, R.F and M.T. James. *Entomology and Human and Animal Health.* 4th ed. Mac Milan Publishing Co. Inc. New York. P., 169, 1979
6. Suwasono, H dan S. Nalim. Korelasi antara evaluasi kepadatan *Aedes aegypti* (L) dengan ovitrap terhadap kasus demam berdarah di Jakarta. Semnas Parasitologi V. Bogor, 1988.
7. Imari, Sholah. Bahan Work Shop. Antisipasi KLB DBD 2008. Ditjen PP PL. Depkes. 2007. (Tidak dipublikasi)
8. Hasyimi, M., Nanny Harmany dan Pangestu. Tempat – Tempat Yang Disenangi Untuk Perkembangbiakan Nyamuk *Aedes* Terkini. 2008 (Belum dipublikasi).
9. Hasanuddin Ishak, Ichiro Miyagi, Takako Toma and Kiyoshi Kamimura. *Breeding Habits of Aedes aegypti (L) and Aedes albopictus (Skuse) in Village of Barru, South Sulawesi, Indonesia. South east Asian J. Trop. Med. Public Health Vol. 28 No. 4 Des. 1997. Pp. 884-849. 1997.*

10. M.Hasyimi dan Mardjan Soekirno. Pengamatan Tempat Perindukan *Aedes aegypti* Pada Tempat Penampungan Air Rumah Tangga Pada Masyarakat Pengguna Air Olahan. Jur. Eko.Kes. Vol.3 No.1 Hal. 37-42. 2004
11. Hasyimi. M.,Yusniar Aryati dan N.Sushanti Idris Idram. Kepadatan Vektor Demam berdarah dengue (DBD) *Aedes aegypti* di Daerah Sulit Air Bersih Kepulauan Seribu Propinsi DKI Jakarta. JEK Vol. 6. No. 3 hal. 615-620. 2007
12. Chan , K.L., B.C. Ho and Y.C. Chan, *Aedes aegypti* (L) and *Aedes albopictus* (Skuse) in Singapore city. 2 larval habitat. Bull.WHO 44: 629-633. 1971
12. Suroso ,Thomas., Abdul Kadir, Pranoto, Ali Izhar, Gunawan, Fatah Noor, Bahtiar dan Yusuf Knowledge-Attitude Practice of Community in Prevention of DHF in Pontianak, Indonesia Dengue Letter, Vol.12. 1986
13. Subagyo Yotopranoto, Sri Subekti dan Rosmanida. Fauna *Aedes* di Daerah Non Endemik Demam berdarah dengue Desa Kaponan Kabu. Ponorogo Jawa Timur. MKTI. Vol.13 No.1 hal.39-44. 2002

SINTESIS HIDROGEL POLIETILEN OKSIDA (PEO) BERIKATAN SILANG DENGAN CARA INDUKSI RADIASI γ SEBAGAI MATRIKS IMOBILISASI ANTIBIOTIK

Erizal, Dewi S.P., A.Sudrajat

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Ps. Jumat Jakarta Selatan 12440

ABSTRAK

SINTESIS HIDROGEL POLIETILEN OKSIDA (PEO) BERIKATAN SILANG DENGAN CARA INDUKSI RADIASI γ SEBAGAI MATRIKS IMOBILISASI ANTIBIOTIK. Sintesis hidrogel dengan iradiasi baik gamma maupun berkas elektron mempunyai keunggulan dalam modifikasi polimer dibandingkan metode konvensional a.l proses dapat dilakukan dengan cepat, tidak dibutuhkan katalis, dan tidak ada residu pada hasil proses. Jika larutan PEO dipapari radiasi γ akan dihasilkan hidrogel PEO berikatan silang dengan kemampuan daya serap terhadap air yang beragam tergantung pada kondisi sintesisnya (dosis iradiasi > 20 kGy) dan konsentrasi PEO (1-7%). Dengan naiknya dosis iradiasi dan konsentrasi, kandungan gel hidrogel meningkat, tetapi daya serap terhadap air relatif menurun. Kemampuan hidrogel PEO sebagai matriks pengekang antibiotik (0,01%) dan pelepasan terkendali juga diteliti sebagai fungsi dosis iradiasi (20-40 kGy) dan waktu. Hidrogel PEO dapat melepaskan antibiotik dari matrik hingga $\pm 90\%$ dalam waktu 8 jam. Naiknya dosis iradiasi menyebabkan laju lepas antibiotik menurun dari matrik hidrogel PEO. Kerapatan ikatan silang mempengaruhi daya absorpsi terhadap air dan laju lepas antibiotik dari hidrogel.

Kata kunci : Sintesis, hidrogel, PEO, radiasi, antibiotik

ABSTRACT

SYNTHESIS OF CROSSLINKED HYDROGEL POLYETHYLENE OXIDE (PEO) INDUCED BY USING γ RADIATION AS MATRIX FOR IMMOBILIZATION OF ANTIBIOTIC. In the propose to expansion the application of radiation for synthesis biomaterials, the crosslinked poly(ethylene oxide) (PEO) hydrogels were prepared by- γ irradiation, and their conditions such as irradiation dose and PEO concentration were studied. PEO was crosslinked to yield water sorption materials with the various ability to absorb water depending on the preparation conditions (e.g. γ -irradiation dosage), and PEO concentration (1-7 wt %). With an increase of γ -irradiation dosage, the gels content were inclined to increase but water absorption decreased markedly. The antibiotic immobilized (0,01%) and released from hydrogels into aqueous solution was investigated as a function of time soaking and irradiation dose (20-40 kGy). The cumulative amount of antibiotic released may reach $\pm 90\%$ for 8 h. The rate of anitibiotic released from hydrogels induced by irradiation dose. The density of crosslinking of hydrogels thus seems to be the main factor governing the water absorption and drug released of these gels.

Keywords : Synthesis, hydrogel, PEO, radiation, antibiotic

PENDAHULUAN

Hidrogel adalah salah satu jenis makromolekul polimer hidrofilik yang berbentuk jaringan berikatan silang, mempunyai kemampuan mengembang dalam air (*swelling*), dan memiliki daya difusi air yang tinggi. Oleh karena sifat fisik yang khas tersebut, pada awalnya hidrogel disintesis untuk digunakan sebagai matriks/ pelepasan obat, kontak lensa, imobilisasi enzim dan sel¹⁻⁶. Lebih jauh lagi, sesuai dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan bahan baru yang dapat diaplikasikan di bidang kesehatan, pada beberapa tahun belakangan ini hidrogel diteliti dan dikembangkan untuk aplikasi di bidang biomedis a.l sebagai pembalut luka dan bahan superabsorbent dalam *personnel care* (popok bayi dan wanita⁷⁻¹⁴).

Polietilen oksida (PEO), $-(\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-})_n$ merupakan salah satu jenis polimer kandidat bahan kesehatan dikarenakan bersifat tidak toksik dan biokompatibel dengan tubuh. Oleh karena itu, penelitian-penelitian yang berkaitan dengan modifikasi PEO sedang dilakukan dengan intensif pada beberapa tahun belakangan ini a.l. sintesis hidrogel PEO secara enzimatik, freeze dried kitosan-PEO hidrogel, modifikasi PEO –karbohidrat hidrogel,

immobilisasi molekul PEO untuk bioaplikasi dan hidrogel PEO untuk *tissue engineering*¹⁵⁻²³. Penelitian - penelitian ini pada dasarnya merupakan penelitian pendahuluan yang masih perlu pengembangan lebih lanjut untuk aplikasinya, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut. Hal ini disebabkan karena pembuatan material baru yang berbasis PEO dalam penelitian ini pada umumnya berdasarkan reaksi fisika yang sifat fisiknya relatif kurang baik (mudah rapuh). Selain itu, informasi mengenai penelitian yang berkaitan dengan sintesis PEO berikatan silang dengan metode iradiasi khususnya untuk matriks immobilisasi obat belum banyak dilaporkan. Sintesis hidrogel dengan iradiasi baik gamma maupun berkas elektron mempunyai keunggulan dalam modifikasi polimer dibandingkan metode konvensional a.l proses dapat dilakukan dengan cepat, tidak dibutuhkan katalis, dan tidak ada residu pada hasil proses. Berdasarkan struktur molekulnya PEO diramalkan dapat dipolimerisasi dalam bentuk ikatan silang disebabkan adanya gugus $-\text{CH}_2$ yang dapat menjadi inti radikal pada pengaruh iradiasi. Selanjutnya mengalami tahapan reaksi inisiasi,

propagasi dan akhirnya membentuk PEO yang berikatan silang yang membentuk struktur jaringan yang mengandung pori. Sehingga adanya pori pada matriks hidrogel ini dapat digunakan untuk mengekang (imobilisasi) antibiotik.

Untuk mengatasi masalah suatu penyakit pada umumnya pasien diberikan obat secara oral dengan jumlah dosis tertentu. Namun demikian, pemakaian obat secara oral ini mempunyai kelemahan yaitu obat ini tidak seluruhnya akan mencapai bagian yang diobati dikarenakan sebagian dari dosis obat ini akan terdistribusi ke bagian lain dari tubuh. Akibatnya efikasi dari obat akan berkurang dalam penyembuhan penyakit. Untuk mengatasi masalah ini, imobilisasi teknik merupakan salah satu metode untuk mengekang obat dalam suatu matriks dengan pelepasannya yang dapat dikontrol (*sustained release*). Matriks yang umum digunakan adalah polimer biodegradable. Imobilisasi obat dengan cara iradiasi adalah salah satu teknik imobilisasi yang ada dari beberapa teknik lainnya. Masing-masing teknik mempunyai keunggulan tersendiri. Keunggulan dari teknik iradiasi adalah pengerjaannya relatif cepat, pori dari matriks dapat dikontrol dengan

pengaturan laju dosis dan dosis iradiasi, serta iradiasi pada suhu rendah. Shaping dan sterilisasi dapat dilakukan secara simultan.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan hidrogel dengan variasi konsentrasi polietilen glikol (PEO) dan variasi dosis iradiasi gamma. Diharapkan semakin besar dosis dan konsentrasi PEO, nilai fraksi gel dan daya serap air dapat ditingkatkan. Hidrogel hasil iradiasi diuji meliputi penetapan fraksi gel, uji serap air sebagai fungsi lama waktu perendaman, serta pengujian kemampuan hidrogel dalam mengimobilisasi dan melepaskan kembali suatu obat dengan menggunakan tetrakisiklin HCl sebagai model.

BAHAN DAN METODE

Bahan.

Polietilen oksida buatan ALDRICH, dengan bobot molekul rata-rata 900.000. tetrasiklin.HCl buatan Merck. dan pereaksi lainnya kualitas p.a.

Alat

Shaker inkubator Kottermann buatan Jerman digunakan untuk menguji kandungan gel, timbangan analitis, kertas saring, kawat kasa stainless steel ukuran 300 mesh. Sumber iradiasi γ , iradiator IRKA, PATIR-BATAN.

Pembuatan hidrogel

Satu seri larutan PEO dengan konsentrasi 1,3, 5 dan 7 % (b/v) dalam air suling masing-masing dikemas dalam botol vial ukuran 10 ml, kemudian diiradisi dengan sinar γ pada dosis 20, 30 dan 40 kGy (laju dosis 10 kGy/jam). Hidrogel hasil iradiasi selanjutnya dikarakterisasi sifat fisiknya.

Pengujian kandungan gel

Hidrogel hasil iradiasi dipotong menjadi 3 bagian bentuk kubus dengan ukuran $2 \times 2 \times 0,5 \text{ cm}^3$, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga berat konstan dan ditimbang (W_0). Selanjutnya hidrogel kering dikemas dalam kawat kasa *stainless steel* ukuran 300 mesh, kemudian direndam dalam air suling dan digoyang pada suhu 70°C dalam *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 24 jam agar monomer yang tidak bereaksi lepas dan terlarut. Akhirnya, hidrogel dikeluarkan dari *shaker* dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga bobot konstan. Hidrogel ditimbang kembali (W_1), dan kandungan gel dihitung dengan persamaan berikut ;

$$\text{Kandungan gel} = \frac{W_1}{W_0} \times 100 \% \quad \dots (1)$$

W_0 = berat kering hidrogel awal (g)

W_1 = berat kering hidrogel setelah pencucian (g)

Pengujian daya absorpsi hidrogel terhadap air sebagai fungsi waktu

Hidrogel hasil iradiasi dipotong menjadi 3 bagian bentuk kubus dengan ukuran $2 \times 2 \times 0,5 \text{ cm}^3$, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga bobot konstan. Selanjutnya hidrogel direndam dalam air suling pada suhu kamar. Setiap interval waktu 1 jam, hidrogel dikeluarkan dari bejana pengujian, dan bobotnya ditentukan (W_b) setelah air permukaan dikeringkan dengan kertas saring. Akhirnya hidrogel dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga berat konstan dan hidrogel kering ditimbang (W_k). Daya serap terhadap air dihitung dengan persamaan berikut ;

Daya serap terhadap air

$$= \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100 \% \quad \dots (2)$$

W_b = berat hidrogel setelah mengembang (g)

W_k = berat hidrogel kering (g)

Imobilisasi antibiotik

Ke dalam 10 ml larutan PEO 7 % dimasukkan 10 mg tetrasiklin, dikocok hingga homogen, kemudian diambil 8 ml campuran dan dikemas dalam botol vial ukuran 10 ml. dan diiradisi dengan sinar gamma pada dosis 20,30, dan 40 kGy pada laju dosis 10 kGy/jam. Selanjutnya kemampuan hidrogel hasil iradiasi dalam

melepas antibiotik dalam air suling dipelajari.

Uji lepas antibiotik dalam air suling

Hidrogel hasil iradiasi dimasukkan ke dalam gelas beker berisi 25 ml air suling dalam *shaker* inkubator. Kemudian *shaker* digoyang dengan kecepatan 100 rpm. Setelah 1 jam perendaman, diambil 5 ml larutan dan dilakukan analisis jumlah tetrasiklin yang masuk ke dalam air suling dengan mengukur absorbansinya menggunakan spektrofometer UV-Vis pada $\lambda = 272$ nm. Selanjutnya, pada larutan asal ditambahkan 5 ml air suling untuk mengembalikan volume larutan uji menjadi 25 ml sama seperti semula. Larutan digoyang kembali dan setelah 1 jam berikutnya, absorbansi larutan diukur kembali. Perlakuan yang sama dilakukan pada uji selanjutnya. Jumlah tetrasiklin yang lepas dari hidrogel dihitung dengan cara membandingkan nilai absorbansi dari tetrasiklin yang lepas dari matriks hidrogel dibandingkan terhadap nilai absorbansi dari larutan standar yang menyatakan jumlah tetrasiklin dalam persamaan linier larutan standar. Jumlah tetrasiklin yang lepas dari matriks hidrogel pada masing-masing dosis iradiasi yang dilakukan secara triplo, dihitung nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata

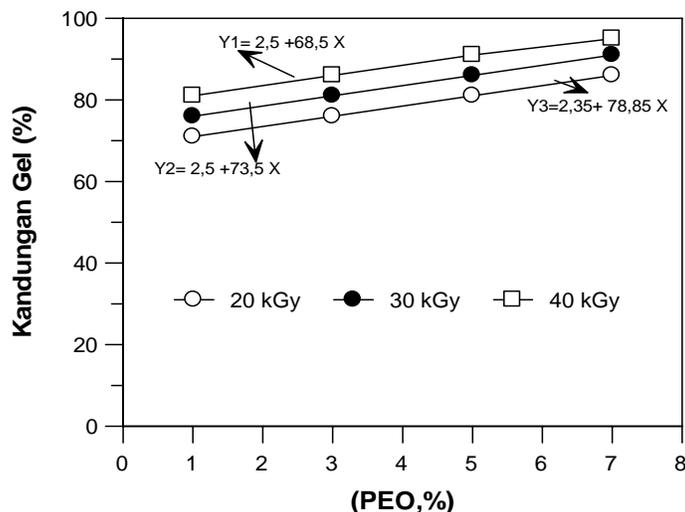
jumlah tetrasiklin pada setiap waktu pengukuran dinyatakan dalam % kumulatif sebagai fungsi waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan gel PEO hasil iradiasi

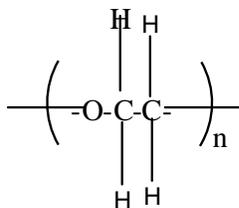
Kandungan gel dari hidrogel seringkali juga ditulis dalam bentuk fraksi gel yang menyatakan jumlah gel yang dikandung hidrogel akibat suatu proses dibandingkan jumlah bahan awalnya. Pada Tabel 1 disajikan kandungan gel PEO hasil iradiasi pada dosis 20,30 dan 40 kGy. Terlihat bahwa dengan meningkatnya dosis iradiasi hingga 40 kGy dan naiknya konsentrasi larutan PEO hingga 7 %, kandungan gel dalam hidrogel PEO naik hingga mencapai ± 95 %. Hal ini mengindikasikan bahwa sintesis hidrogel PEO dari larutannya dipengaruhi oleh konsentrasi dan dosis iradiasi. Dosis iradiasi 40 kGy merupakan dosis yang optimum dalam sintesis hidrogel PEO, karena pada Gambar 1 terlihat bahwa pada umumnya iradiasi pada dosis 40 kGy diperoleh fraksi gel yang relatif tinggi baik pada konsentraasi rendah maupun tinggi diperoleh fraksi gel pada kisaran 80-95 %. Tidak dapat dicapainya nilai fraksi gel hingga 100 % pada sintesis hidrogel PEO, hal ini disebabkan selama proses sintesis terjadi degradasi

PEO dan terbentuknya peroksida yang larut dalam air.



Gambar 1. Hubungan konsentrasi larutan PEO terhadap kandungan gel sebagai fungsi dosis iradiasi

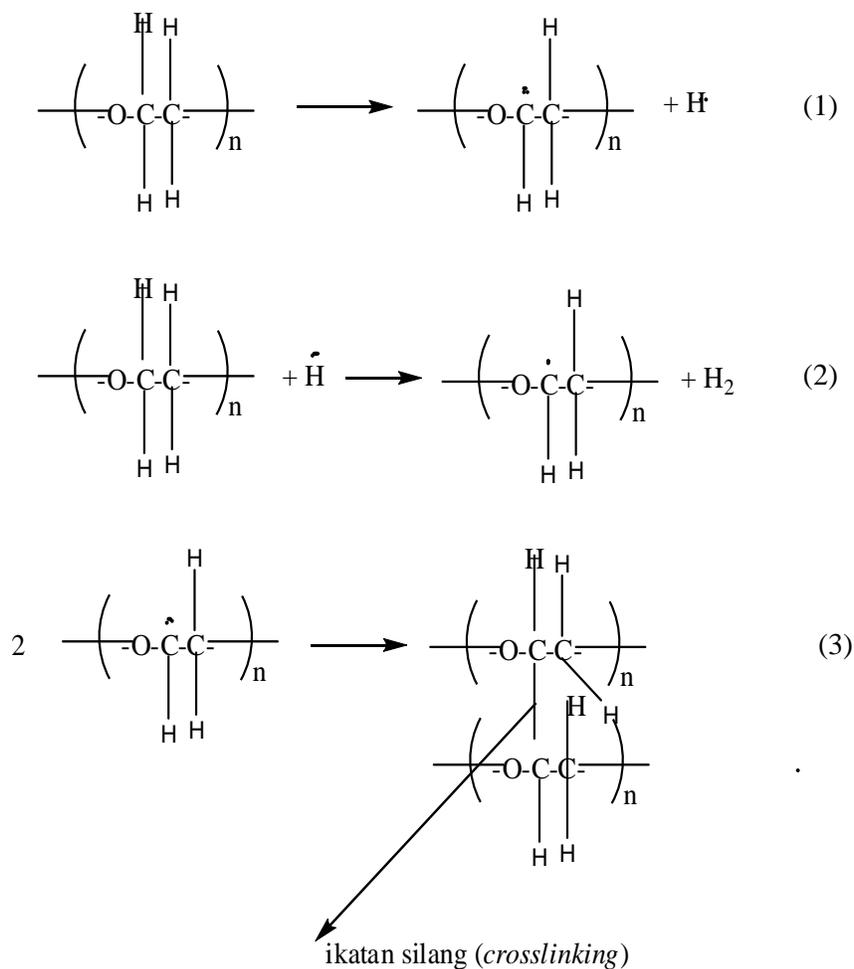
Ditinjau dari struktur molekulnya (Gambar 2), polimer PEO terdiri dari gugus fungsi yang umumnya sangat mudah mengalami reaksi ikatan silang. Jika larutan PEO dipapari radiasi sinar γ , maka radikal bebas hasil hidrolisis air akan bereaksi dengan polimer PEO membentuk radikal-radikal bebas.



Gambar 2. Struktur molekul PEO

Selanjutnya radikal bebas polimer PEO akan mengikuti tahapan-tahapan

yang umum dari mekanisme reaksi ikatan silang metode radiasi. Akhirnya terbentuk hidrogel PEO ikatan silang. Menurut Nikitina dkk.²⁴ salah satu hal yang sangat penting agar terjadinya ikatan silang dalam reaksi polimerisasi radikal adalah mengaktifkan molekul polimer yang saling berdekatan satu dengan lainnya secara serentak. Hal ini disebabkan faktor waktu paruh polimer radikal yang relatif pendek. Berdasarkan model mekanisme reaksi ikatan silang yang terjadi pada polietilen, reaksi ikatan silang yang terjadi pada hidrogel PEO diprediksi berikut:



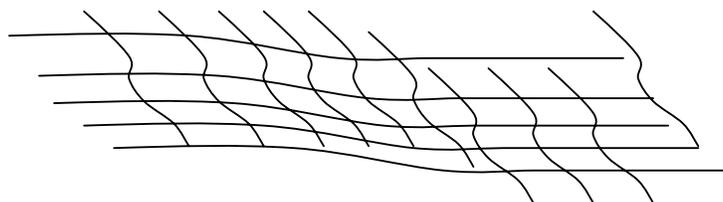
Gambar 3. Mekanisme reaksi ikatan silang pembetukkan hidrogel PEO

Pada reaksi 1, terbentuknya radikal PEO diakibatkan oleh induksi iradiasi atau sebagai akibat reaksi radikal OH hasil hidrolisis air. Selanjutnya radikal H yang dihasilkan dari reaksi 1 mengeliminasi H radikal dari PEO lainnya pada reaksi 5, membentuk radikal PEO lainnya. Kemudian kedua radikal yang dihasilkan dari reaksi 4 dan 5 bergabung membentuk hidrogel PEO berikatan silang pada reaksi 6. Struktur jaringan

dari hidrogel PEO berikatan silang hasil iradiasi secara sederhana digambarkan sebagai berikut (Gambar 4). Pada jaringan ini sebagai akibat proses ikatan silang akan terbentuk pori-pori baik secara makro maupun mikro dan dipengaruhi oleh konsentrasi dan dosis iradiasi pada sintesis. Konsentrasi larutan PEO dinaikkan jarak antar molekul PEO makin kecil, sedang naiknya dosis iradiasi akan menyebabkan

jumlah radikal yang terbentuk meningkat, sehingga reaksi antar molekul PEO relatif cepat dan menghasilkan struktur jaringan ikatan silang yang makin rapat disertai pengecilan ukuran pori-pori, dan fraksi gel hidrogel meningkat. Pola yang umum

yang terjadi jika dosis iradiasi ditingkatkan, maka bentuk fisik dari hidrogel berubah dari lunak hasil iradiasi dosis rendah menjadi relatif kaku/keras pada iradiasi dosis relatif tinggi.

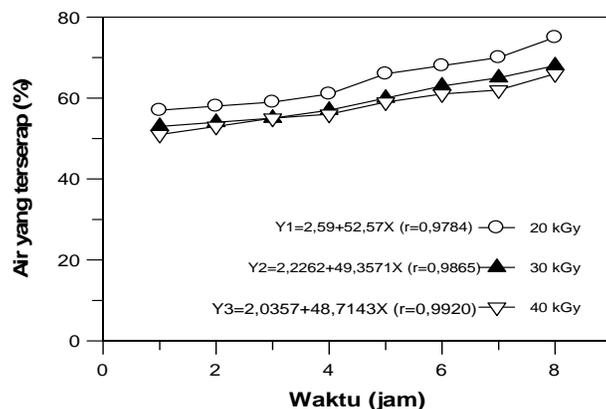


Gambar 4. Struktur jaringan hidrogel PEO

Pengaruh dosis iradiasi terhadap kemampuan hidrogel dalam menyerap air.

Kemampuan hidrogel dalam menyerap air merupakan salah satu parameter yang paling penting dari karakter hidrogel. Pada Gambar 6 disajikan hubungan lama waktu perendaman terhadap kemampuan hidrogel dalam menyerap air sebagai fungsi dosis iradiasi dari hasil iradiasi larutan PEO konsentrasi 1%. Terlihat bahwa dengan perendaman hidrogel dalam air suling hingga waktu 8 jam,

semua hidrogel menyerap air dengan nilai kisaran 50-80%. Hidrogel hasil iradiasi 20 kGy, menunjukkan daya serap air yang relatif lebih besar dibandingkan hidrogel hasil iradiasi 30 dan 40 kGy. Terjadinya daya serap air dari hidrogel hasil iradiasi dosis 20 kGy yang relatif tinggi dibandingkan hidrogel hasil iradiasi dosis 30 dan 40 kGy disebabkan dengan naiknya dosis iradiasi kerapatan silang dari hidrogel meningkat, sehingga penetrasi molekul air kedalam jaringan hidrogel berkurang. Oleh karena itu, daya serap air relatif menurun.

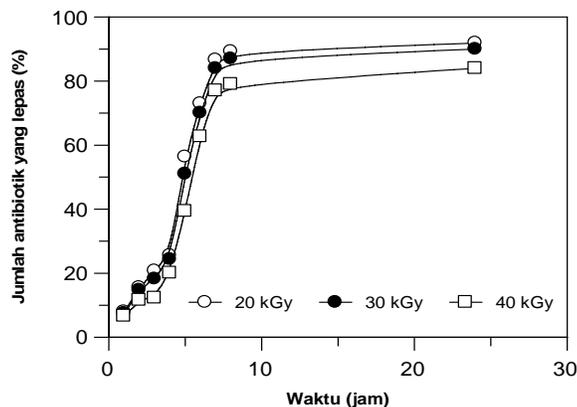


Gambar 6. Hubungan lama waktu perendaman terhadap air yang terserap hidrogel PEO

Profil antibiotik *release* (lepas) dari matriks hidrogel PEO

Adanya struktur jaringan dari hidrogel yang mengandung pori-pori disertai sifat hidrofiliknya akan menyebabkan air dengan mudah masuk dan keluar dari hidrogel melalui proses difusi. Berdasarkan hal tersebut, maka hidrogel banyak dimanfaatkan sebagai matriks untuk pelepasan zat bioaktif. Pada Gambar 6 disajikan hubungan lama waktu perendaman terhadap persen antibiotik yang lepas dari hidrogel hasil iradiasi pada dosis 20,30, dan 40 kGy larutan PEO konsentrasi 71% dengan jumlah antibiotik yang dikekang pada masing-masing hidrogel sebesar 1%. Terlihat bahwa pada awal pelepasan jam

ke-1, jumlah antibiotik yang lepas dari masing-masing hidrogel berkisar 7-15 %. Hal ini menunjukkan bahwa persen antibiotik yang lepas dari hidrogel berasal dari antibiotik yang lepas pada permukaan hidrogel. Selanjutnya terjadi pelepasan antibiotik yang meningkat seiring dengan naiknya lama waktu perendaman mencapai nilai kisaran 80-90 % pada waktu jam ke-8. Pada Gambar 7 terlihat pula bahwa laju pelepasan antibiotik pada hidrogel hasil iradiasi 20 kGy relatif lebih besar dibandingkan hidrogel hasil iradiasi 30 dan 40 kGy. Hal ini disebabkan dengan naiknya dosis iradiasi kerapatan ikatan silang meningkat, sehingga pelepasan antibiotik dari hidrogel relatif akan menurun.



Gambar 7. Hubungan persen antibiotik yang lepas dari matriks hidrogel PEO dan waktu perendaman pada dosis 20,30,dan 40 kGy.

KESIMPULAN

Dosis iradiasi dan konsentrasi larutan PEO berpengaruh pada kandungan gel serta daya serap terhadap air. Dosis iradiasi 40 kGy dan konsentrasi PEO 7 % dapat menghasilkan kandungan gel hidrogel PEO mencapai nilai ± 95 %. Variasi dosis iradiasi (20-40 kGy) pada sintesis hidrogel diperoleh karakter daya serap terhadap air yang beragam.. Pada dosis iradiasi 40 kGy menyebabkan daya serap terhadap air lebih rendah dibandingkan dengan dosis 30 dan 20 kGy . Jumlah kumulatif tetrasiklin yang lepas dari matriks hidrogel dapat mencapai jumlah kumulatif 80-90 % pada pengujian selama 8 jam. Kemampuan hidrogel dalam menyerap air dan pelepasan antibiotik dipengaruhi oleh kerapatan silang yang

terbentuk dalam struktur jaringannya akibat pengaruh dosis iradiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada rekan-rekan di fasilitas Iradiator Karet (IRKA) bidang Fasilitas radiasi, PATIR - BATAN yang telah banyak membantu dalam iradiasi sampel.

DAFTAR PUSTAKA

1. ERIZAL, Imobilisasi antibiotik Pada Matriks Hidrogel Poli(vinil) Alkohol dengan Metode Induksi Iradiasi, Prosiding Simposium Nasional Polimer VI, 111-115, 2006.
2. SWASONO,R.T., ERIZAL, dan HENDRIYANTO, Pengaruh Iradiasi Gamma dan Konsentrasi Polivinil-pirrolidon pada Pembuatan Hidrogel

- serta Kemampuan Imobilisasi dan Pelepasan Kembali Propanolol HCL, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, VIII, 1, 1-16,2007
3. ERIZAL, Imobilisasi Eugenol pada Matriks TMPT dengan Induksi Radiasi, Jurnal Materi Indonesia 124-128,2006.
 4. ERIZAL, HASAN,R., SILVIA,S., dan RAHAYU,C., Pengekangan Obat dalam Matriks Hidrogel PVA-ko-NIPAAm Hasil Iradiasi, Risalah Pertemuan Ilmiah penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi 121-128, 1997.
 5. KAETSU, I., Immobilization of Enzymes by Radiation, Radiat.Phys. Chem. 14595-602, (1979)
 6. UKUMAKURA,M., and KAETSU, I., Behavior of Enzymes Activity in Immobilized Proteases, Int. J. Biochem,16,11, 1159-1161, 1984.
 7. UKUMAKURA,M., and KAETSU,I., Immobilization of Cells by Radiation Copolymerization of Hydrophobic and Hydrophilic Monomers, Acta Chimica Hungaria, 116,4, 345-351, 1984
 8. ROSIAK,J.M., ULANSKI, P., PAJEWSKI, L.A.,YOSHII,P., and MAKUUCHI,K., Radiation Formation of Hydrogel for Bio-medical Purpose. Some remarks and comments, Radait.Phys.Chem, 46,2, 161,1995.
 9. KAETSU, I., Radiation Syhthesis and Fabrication for Biomedical Application, Radiat.Phys. 40, 1025, 1995.
 10. ZHAO,L., MITOMO, H., NAGASAWA, N., OSHII, F., KUME, T. Radiation Synthesis and Characterization of the Hydrogel Based on Carboxymethylated Chitin Derivates, Carbohyrate Polymers 51,169-175, 2003.
 11. ZHAO,X., KATO, K., FUKUMOTO, Y., NAKAMAE, K., Synthesis of Bioadhesive Hydrogel from Chitin Derivatives, Int. J. Adhesion and Adhesives 21,227-232, 2001.
 12. TAMADA, M., SEKO, N., YOSHII, F., Application of Radiation –Grafted Material for Metal Adsorbent and Crosslinked Natural Polymer for Healthcare Product, Radiat. Phys. Chem. 71221-225, 2004.
 13. MAOLIN, Z., HONGFEI, H., YOSHII, F., Effect of KC on the Properties of PVP/KC Blend Hydrogel Synthesized by Gamma – Irradiation Technology, Radiat.Phys. Chem. 57,459-464, 2000.
 14. MAOLIN,Z., YOSHII,F., KUME,T., HASHIM,K., Synthesis of PVA/

- Starch Grafted Hydrogels by Irradiation, Carbohydrate Polymer, 50, 295-303, 2002.
15. MICHAEL, M.C., ZHANG, F., JHON, J.K., and JAMES, W.G., Stability PEO in Matrix Tablets Prepared by Hot -Melt Extrusion, Biomaterials, 23, 21, 4241-48, 2007.
16. TAMAI, T., MATSUKAWA, K., INOU, H., IMURA, T., and NISHIKAWA, N., Preparation of Hydrogel by Crosslinking of Polyethylene Oxide Derivatives, Science and Industry, 34, 9, 458-467, 2000.
17. LOPINA, S.T., WU, G., MERRILE, W., and GRIFFITH, C.L., Hepatocyte Culture on Carbohydrate -Modified Star Polyethylene Oxide Hydrogels, Biomaterials, 17, 559-569, 2005.
18. BIANCA, C., MAGAZU, S., MAISANO et al., Synthesis of Polyethylene Oxide Hydrogels by Electron Radiation, J. of Applied Polymer Science, 102, 820-824, 2006.
19. KAZANSKII, K., LAGUTINA, M., SKURIDIN, S., and YEXDOKMOV, Y., Doklady Physical Chemistry, 414, 147-149, 2007.
20. PATENT 5171264, Immobilized PEO Star Molecules for Bio-applications, Biocompatible and Non-Thrombogenic Properties.
21. PATEL, V.R., AMIJI, M.M., Preparation and Characterization of Freeze-Dried Chitosan - Poly (Ethylene Oxide) Hydrogels for Site-Specific Antibiotic Delivery in the Stomach, Pharmaceutical Research, 13, 588-593, 1996.
22. AOYAMA, A.T., LOPINA, S.T., and CIMA, L.G., Synthesis and Characterization of linear and Star Polyethylene Oxide Hydrogels for Tissue Engineering Applications, MRS Proceeding, 331, 245-249, 1994.
23. SPERINDE, J.J., and GRIFFITH, L.G., Synthesis and Characterization enzymatically Crosslinked PEO Hydrogels, Macromolecules, 30, 5255-5264, 1997.
24. NIKITA, T.S., Effect Ionizing Radiation on High Polymers", Gordon and Breach, New York 1-11, 1963.

PEMANFAATAN SLUDGE LIMBAH INDUSTRI KERTAS SEBAGAI BAHAN BAKU KERTAS KEMASAN

Anggito P. Tetuko, Deni S. Khaerudini, Muljadi, dan P. Sebayang
Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang

ABSTRAK

Kertas kemasan dibuat dengan cara pencampuran sludge limbah industri kertas dengan kertas bekas (kertas koran, karton, dan HVS) dengan perbandingan komposisi kertas bekas dan sludge (1:1, 1:2, dan 1:3) yang memiliki berat total sebesar 192,5 gram. Campuran lalu dicetak pada cetakan berukuran coming box 25 x 25 cm diatas kain kasa berukuran 30 x 30 cm lalu dikeringkan sampai kadar air mencapai 50 – 60 %. Campuran yang sudah kering dilapisi bahan perekat *thermoset* (urea formaldehid dan phenol formaldehid), kemudian dilakukan *hot press* pada kondisi temperatur 160 °C dan tekanan 50 kg/cm² sehingga membentuk lembaran. Dari hasil pengujian didapat kertas kemasan dengan sifat mekanik yang terbaik adalah kertas kemasan dari campuran koran bekas dan sludge dengan perekat urea formaldehid, yaitu dengan kekuatan tarik sebesar 4,103 kg/cm² dan densitas sebesar 0,610 g/cm³. Pada uji indeks warna kertas kemasan dengan distribusi warna yang homogen dihasilkan dari campuran kertas HVS bekas dan sludge.

Kata kunci: Sludge, kertas kemasan, kertas bekas, urea formaldehid, phenol formaldehid

ABSTRACT

Packaging paper was made by mixing paper industry sludge with waste paper (i.e. HVS, carton, and newspaper). The compositions are (1:1, 1:2 and 1:3) which has total weight 192,5 gram. The mixing sludge was molded in coming box 25 x 25 cm molding with screen cloth 30 x 30 cm base and dried until water absorption reach 50 – 60 %. After dried, the mixing sludge coated with thermoset urea formaldehyde and phenol formaldehyde, hot pressed at the condition of 160 °C and 50 kg/cm², so it can create layer. From the result, it can be concluded that packaging paper with the best mechanical properties are packaging paper from news paper and sludge with urea formaldehyde: tensile strength 4,103 kg/cm² and density 0,610 g/cm³. From color index test, it can be concluded that packaging paper from HVS paper and sludge has homogenous color distribution.

Keywords: Sludge, packaging paper, waste paper, urea formaldehyde, phenol formaldehyde

PENDAHULUAN

Industri *pulp* dan kertas merupakan salah satu industri yang mempunyai peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Tiga alasan utama yang melatarbelakangi pentingnya industri ini adalah: pertama, produk *pulp* dan kertas memiliki harga yang ditentukan dalam dolar. Kedua, komponen impor yang

digunakan dalam proses produksi nilainya tidak lebih dari 30%. Dan ketiga, produk *pulp* dan kertas cenderung di ekspor untuk tujuan luar negeri. Sehingga industri ini masih dapat diandalkan dalam pemasukan devisa negara¹. Industri *pulp* dan kertas merupakan salah satu industri yang berkembang cukup pesat di Indonesia. Hal ini terlihat dari kapasitas terpasang pabrik

pulp dari 36.000 ton pertahun pada akhir pelita I meningkat menjadi 1,3 juta ton pertahun pada akhir pelita V. Sedangkan perkembangan industri kertas meningkat dari 56.000 ton pertahun menjadi 3,6 juta ton pertahun.

Industri *pulp* dan kertas memiliki potensi yang besar bila ditinjau berdasarkan total kebutuhannya. Kebutuhan *pulp* dunia saat ini telah mencapai lebih dari 200 juta ton. Sedangkan kebutuhan kertas mencapai lebih dari 370 juta ton. Departemen Perindustrian RI menargetkan pertumbuhan industri kertas dan barang cetakan lainnya tumbuh sebesar 7,5 % pada tahun 2006. Pada tahun 2005, pertumbuhan industri kertas hanya mencapai sekitar 6,1%. Konsumsi kertas perkapita di Indonesia saat ini masih tergolong rendah yaitu sekitar 25 kg/tahun. Bahkan bila dibandingkan dengan negara ASEAN lainnya, seperti: Thailand mencapai 35 kg/tahun, Malaysia 106 kg/tahun, dan Singapura 180 kg/tahun². Meningkatnya kapasitas produksi industri *pulp* dan kertas juga diikuti oleh kenaikan jumlah konsumsi kertas per kapita. Konsumsi kertas per kapita di Indonesia pada tahun 1992 baru mencapai 10 kg/tahun, kemudian meningkat menjadi 15,5 kg/tahun pada tahun 1996. Kenaikan

konsumsi kertas per kapita di Indonesia dipicu oleh bertambahnya industri pers dan percetakan, meningkatnya kebutuhan kertas industri, kemajuan teknologi informasi yang membutuhkan media keluaran berupa kertas, dan diversifikasi penggunaan kertas yang semakin melebar³.

Saat ini kertas merupakan kebutuhan pokok dan pemakaiannya terus meningkat linear dengan perkembangan jumlah penduduk, kemampuan ekonomi, dan teknologi. Pada periode tahun 1987 – 1998 terjadi peningkatan produksi kertas dari 826.500 ton menjadi 5.487.260 ton dengan kenaikan rata-rata sekitar 18,79% pertahun. Demikian juga dengan industri *pulp*, pada tahun 1987 kapasitas produksi industri *pulp* baru mencapai 515.000 ton. Kemudian pada tahun 1997 meningkat menjadi 3.905.600 ton. Sementara itu, pada tahun 1998-1999 telah direncanakan penambahan kapasitas produksi sebesar 1.390.000 ton. Dengan demikian, pada akhir tahun 1999 total kapasitas produksi industri *pulp* dapat mencapai 5.295.600 ton. Penambahan kapasitas produksi oleh industri *pulp* yang sudah ada dan adanya rencana investasi baru pada tahun 2000 - 2005 akan menambah kapasitas produksi industri *pulp* pada akhir tahun 2005 menjadi total sekitar 12.745.600 ton³.

Eksplorasi kayu sebagai bahan baku industri *pulp* dari hutan, melibatkan proses penebangan hutan yang semakin meluas sehingga sangat berpotensi merusak hutan dan lingkungan sekitar. Perkembangan industri per kayu yang sangat pesat, baik sebagai bahan baku *pulp* maupun industri kayu lainnya (perumahan) menyebabkan kapasitas total industri per kayu Indonesia melampaui kemampuan hutan produksi. Berdasarkan data Departemen Kehutanan (1997), total kapasitas produksi industri per kayu Indonesia setara dengan 68 juta m³ kayu bulat. Kapasitas produksi tersebut 3 kali lebih besar bila dibandingkan dengan kemampuan hutan produksi Indonesia untuk menghasilkan kayu bulat secara lestari. Pada awal tahun 1998, hutan alam produksi Indonesia hanya mampu menghasilkan 18 juta m³ kayu bulat. Jika ditambah dengan kayu dari hutan rakyat, HTI, dan hutan konversi (kayu IPK) sebesar 12 juta m³ maka jumlahnya baru mencapai 30 juta m³. Ketimpangan antara kapasitas industri per kayu dengan kemampuan hutan untuk menyediakan bahan baku secara lestari telah menyebabkan kerusakan dan penggundulan sumberdaya hutan. Hal ini bertambah buruk dengan aktifitas penjarahan hutan (pencurian kayu, *illegal*

logging) yang semakin marak. Akibatnya, kualitas dan kuantitas hutan Indonesia dari tahun ke tahun semakin menurun. Laju deforestasi hutan Indonesia pada periode tahun 1985-1998 tidak kurang dari 1,6 juta hektar per tahun⁴.

Pada industri *pulp* dan kertas, limbah *sludge* yang dihasilkan dapat mencapai lebih dari 40 ton perhari (berdasarkan berat kering tanur) pada pabrik skala menengah dan limbah tersebut masih belum dimanfaatkan (dibuang) atau hanya digunakan sebagai bahan bakar. Apabila *sludge* tersebut digunakan hanya sebagai bahan bakar terdapat beberapa kelemahan, antara lain: kadar air dan abu yang relatif tinggi sehingga dapat menimbulkan kerak pada *tube* dan dinding ketel uap (boiler) sehingga mengurangi proses perpindahan panas (*heat transfer*) alat, menurunkan nilai kalor, dan efisiensi boiler (ketel uap) secara keseluruhan.

Oleh karena itu, untuk mengurangi eksploitasi kayu dan penebangan hutan secara berlebih, limbah *sludge* industri kertas dapat dimanfaatkan dan memiliki nilai komersial tinggi, antara lain sebagai bahan baku kertas kemasan dengan pencampuran kertas bekas (kertas koran, karton, dan HVS yang banyak di pasaran). *Sludge* hasil industri kertas memiliki kandungan serat kayu yang tinggi tetapi

seratnya pendek dan tidak menyatu sehingga apabila digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas kemasan harus dicampur terlebih dahulu dengan serat lain (kertas koran, karton, dan HVS) dan bahan perekat (*urea formaldehid* dan *phenol formaldehid*). Dalam makalah ini akan dibahas proses perkerayaan pencampuran optimal dengan komposisi yang paling tepat sehingga dapat dihasilkan kertas kemasan dengan kondisi yang terbaik. Kertas kemasan juga harus memiliki kekuatan tarik, densitas, dan indeks warna yang tinggi.

TEORI DAN TATA KERJA

Pada proses industri *pulp* dan kertas dapat dihasilkan limbah padat dalam jumlah besar yaitu berupa *sludge*, memiliki kadar air tinggi dari hasil peroses air buangan (*effluent treatment*) yang terdiri dari serat dan sisa hancuran serat, bahan organik dalam bentuk partikel koloid (berasal dari kayu), dan bahan-bahan kimia aditif, seperti: *alum sizing* dan *syntetic resin*. Adanya komponen serat dalam limbah *sludge* memungkinkan *sludge* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kertas kemasan. *Sludge* adalah lumpur hasil pengendapan dari pengolahan limbah cair pada proses pengolahan limbah primer dan sekunder. *Sludge* digolongkan menjadi dua

jenis, yaitu: *sludge* organik (belum diolah) dan anorganik (hidrat logam berat). *Pulp* adalah bahan berserat yang dihasilkan dari kayu hingga menjadi bubur dengan proses mekanis (pengulitan serat-serat kayu) sehingga dihasilkan perolehan serat hingga 95 % dan proses kimia (pemasakan kayu dengan senyawa kimia untuk menghilangkan *lignin* yang terikat pada serat dan kotoran lainnya). Pada proses ini diperoleh serat yang lebih putih, tetapi perolehan seratnya lebih kecil (65 – 85 %). Proses lainnya adalah proses semi kimia, yaitu proses pelunakan menggunakan larutan sulfite, sulfat, atau soda. Perolehan seratnya berkisar antara 85 – 95 %.

Kertas adalah lembaran homogen yang terbuat dari serat-serat selulosa ditambah bahan pengikat agar terjadi ikatan antara serat-serat tersebut. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kertas terdiri dari bahan baku utama dan pembantu. Bahan baku utama dalam pembuatan kertas medium dan linier (*carton box*) terdiri dari *pulp* asli (*virgin pulp*) dan kertas bekas (*waste paper*). Peningkatan produksi kertas dapat memicu permasalahan lainnya, yaitu pengadaan bahan baku kertas dari kayu maupun sumber *lignoselulosa* lainnya yang berdampak pada penebangan hutan. Kertas bekas merupakan salah satu sumber serat yang potensial sehingga dapat mengurangi

penggunaan kayu sebagai bahan baku kertas dan menghemat energi untuk proses produksi. Karena dengan penggunaan kertas bekas dapat mengurangi biaya produksi

sekitar 14 % dibandingkan dengan produksi dari kayu murni dan mengurangi polusi lingkungan. Karakteristik limbah kertas secara kimia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik kimia Limbah Kertas (*sludge*)

Parameter	Nilai
pH	7,5 – 8,5
Padatan Total (ppm)	9343
Padatan Tersuspensi (ppm)	1575,6
BOD (ppm)	800 - 1200
COD (ppm)	3475
Warna	5000

Proses pengolahan limbah padat industri terdiri dari beberapa tahap, yaitu: pengentalan, stabilisasi, kondisioning, dan penyaringan. Pada proses pengentalan (*thickening*) terdapat tiga macam metode pengentalan (gravitasi, penampungan udara terlarut dan pemberian gaya sentrifugal pada limbah *sludge*). Metode yang digunakan bergantung terhadap konsentrasi padatan limbah *sludge*. Stabilisasi bertujuan untuk mengurangi bahan organik *sludge* dan bau apabila *sludge* dibuang ke lingkungan. Proses kondisioning dapat berupa penambahan zat kimia (untuk menetralkan pH *sludge*) atau proses elutriasi untuk mengontrol alkalinitas limbah *sludge* dan pemanasan agar limbah lebih kental. Pada proses

penyaringan dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu: *filtering*, *drying beds*, sentrifugal, filter hampa, filter horizontal, saringan silindris, dan pengendapan dalam kolam. *Sludge* yang densitasnya tinggi akan diolah dalam tangki sedimentasi yang dilengkapi dengan pengumpul *sludge* secara mekanik, tetapi *sludge* dengan kandungan 5 % sulit untuk di *teratment*. Semakin besar kandungan material padat dalam *sludge* akan semakin kecil jumlah air yang ditangani. Proses penyaringan dengan sistem sentrifugal banyak digunakan, karena *sludge* dapat dimasukkan setiap waktu kedalam unit sentrifugal dan tidak memerlukan lahan yang luas.

Biaya perekat dalam produksi kertas merupakan biaya terbesar diantara bahan baku lainnya, tetapi penggunaan perekat akan berdampak terhadap sifat fisika dan mekanik kertas kemasan. Kekentalan suatu perekat merupakan faktor yang harus diperhatikan karena akan mempengaruhi kekuatan rekat. Makin kental zat perekat kontak yang terjadi antara bahan baku dan perekat sulit terjadi. Sedangkan makin encer perekat, proses perekatan akan mudah tetapi kekuatan rekatnya akan berkurang. Faktor-faktor yang mempengaruhi perekatan pada pembuatan kertas kemasan, antara lain: bahan yang direkatkan, jenis perekat, kondisi perekatan, dan tingkat kebasahan. Perekat yang umum digunakan berbentuk cair, karena diperlukan kontak antar bahan perekat dengan permukaan yang direkatkan dan perekatan terjadi pada keadaan cair. Untuk merekatkan campuran *sludge* dan kertas bekas digunakan perekat *urea formaldehid* dan *phenol formaldehid*. Perekat *urea formaldehid* (resin urea) adalah *resin termoset* yang didapat melalui reaksi urea dan formalin, memiliki nilai *melting point* sekitar 132 °C. Resin urea memiliki ketahanan air, penuaan (*aging*) dan kestabilan dimensi yang kurang baik bila dibandingkan dengan *resin phenol* dan melamin. Sedangkan perekat *phenol*

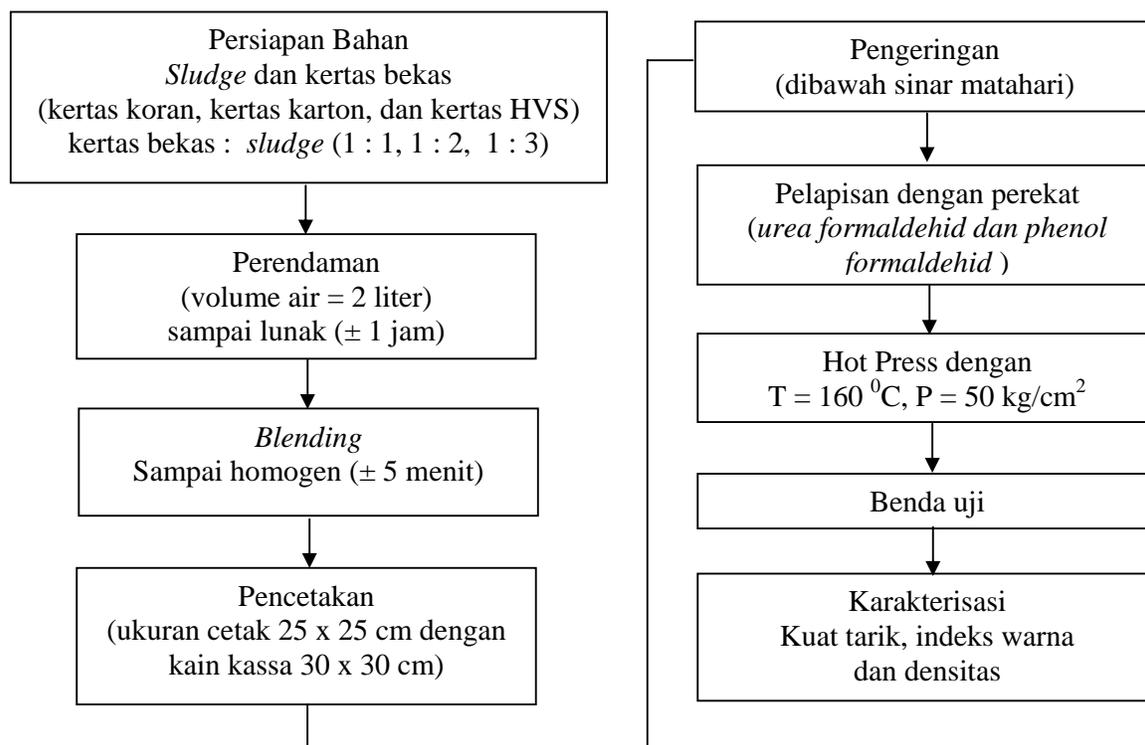
formaldehid adalah perekat yang bersifat kedap air, tahan terhadap perubahan cuaca dan suhu, memiliki nilai *melting point* sekitar 149 °C. Kekuatan ikatan perekatnya cukup tinggi dan biasa digunakan sebagai perekat eksterior. Perekat ini juga tahan terhadap asam, basa lemah, pelarut organik dan fungisida. *Phenol formaldehid* juga bisa digunakan pada pembuatan kayu lapis⁵.

Pembuatan kertas kemasan dengan bahan baku *sludge* industri kertas dengan pencampuran kertas koran, karton, HVS dapat menggunakan bahan perekat berupa *urea formaldehid* dan *phenol formaldehid* yang dilakukan dengan perbandingan komposisi antara kertas bekas dengan *sludge* (1 : 1, 1 : 2, dan 1 : 3) dengan berat total 192,5 gram. Setelah tercampur lalu dilakukan perendaman dalam 2 liter air selama ± 1 jam hingga kertas bekas menjadi lunak. Proses selanjutnya adalah *blending* hingga campuran menjadi homogen selama ± 5 menit. Campuran lalu dicetak dalam cetakan dengan ukuran *coming box* 25 x 25 cm diatas kain kasa berukuran 30 x 30 cm. Campuran *sludge* dan kertas bekas kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kadar air mencapai 50 – 60 %. Campuran yang sudah kering dilapisi bahan perekat dan kemudian di lakukan *hot press* pada

kondisi temperatur 160°C dan tekanan 50 kg/cm^2 sehingga membentuk lembaran. Benda uji selanjutnya dikarakterisasi (kuat tarik, indeks warna, dan densitas).

Kuat tarik adalah ketahanan kertas atau karton terhadap gaya tarik yang bekerja pada kedua ujung kertas hingga putus. Arah gaya yang diberikan sejajar dengan panjang benda uji (kertas kemasan). Alat uji yang digunakan adalah

universal testing machine (UTM). Densitas adalah perbandingan berat lembaran kertas setelah di *hot press* pada volume tertentu. Sedangkan indeks warna merupakan kemampuan suatu material/bahan untuk meneruskan cahaya menggunakan alat *colorimeter*. Tahapan proses pembuatan kertas kemasan dari bahan baku *sludge* industri kertas ditampilkan pada diagram alir Gambar 1 dibawah.

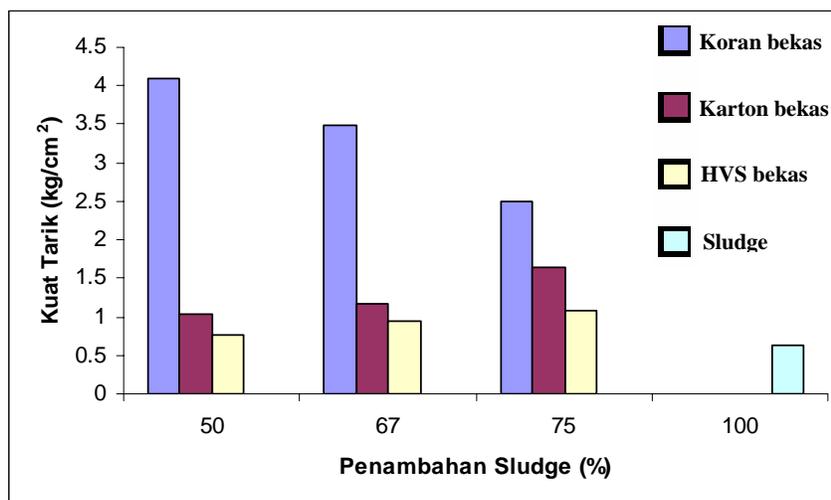


Gambar 1. Diagram alir pembuatan kertas kemasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan grafik hubungan penambahan *sludge* terhadap kuat tarik dengan menggunakan perekat *urea formaldehid* yang ditampilkan pada gambar 2, bahwa kekuatan tarik pada kertas kemasan cenderung menurun pada penambahan kertas koran dan *sludge* dengan perbandingan sebesar 1:1, 1:2, 1:3 dan *sludge* tanpa penambahan kertas bekas dengan nilai maksimal sebesar 4,103 kg/cm². Sedangkan pada kertas karton dan HVS untuk perbandingan yang sama terlihat bahwa, nilai kuat tarik cenderung

meningkat dengan nilai maksimal pada kertas karton sebesar 1,640 kg/cm² dan kertas HVS sebesar 1,080 kg/cm². Hal ini disebabkan kertas karton dan HVS memiliki memiliki ukuran serat yang lebih besar dan kasar pada saat dijadikan bubur kertas sehingga memiliki daya ikat dan rekat tinggi yang berdampak pada peningkatan kekuatan tarik kertas kemasan. Sedangkan kertas koran yang memiliki ukuran serat lebih panjang, pada saat dijadikan bubur kertas ukurannya menjadi lebih pendek sehingga terjadi penurunan kekuatan tarik.



Gambar 2. Grafik hubungan penambahan *sludge* terhadap kuat tarik dengan perekat *urea formaldehid*

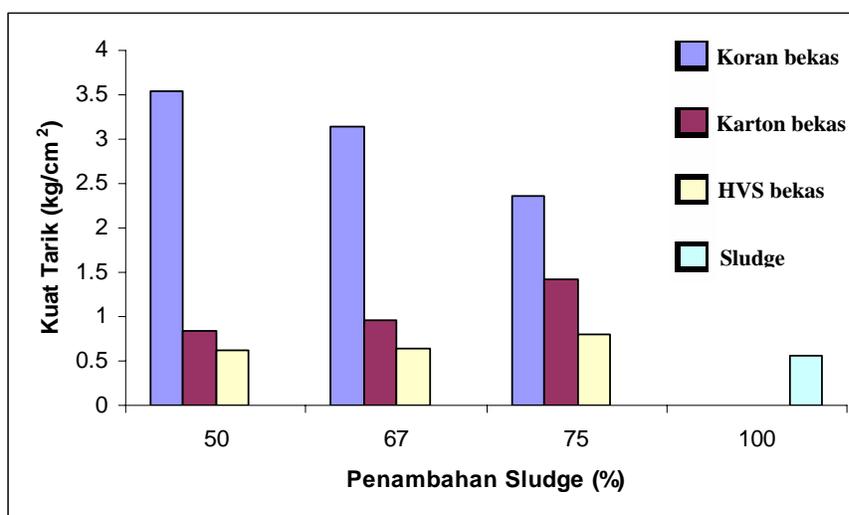
Pada grafik hubungan penambahan *sludge* terhadap kuat tarik dengan menggunakan perekat *phenol formaldehid* yang ditampilkan pada gambar 3, memiliki kecenderungan dan trend yang sama, yaitu

kekuatan tarik pada kertas kemasan cenderung menurun pada penambahan kertas koran dan meningkat pada penambahan kertas karton dan HVS dengan nilai maksimal pada kertas koran,

karton, dan HVS berturut-turut adalah 3,540; 1,420 dan 0,801 kg/cm². Namun secara keseluruhan kertas koran memiliki kuat tarik terbesar bila dibandingkan dengan kertas bekas lainnya.

Dari semua nilai kekuatan tarik yang dihasilkan, perekat *urea formaldehid* menghasilkan kekuatan tarik yang lebih baik bila dibandingkan dengan perekat

phenol formaldehid, hal ini disebabkan *urea formaldehid* mempunyai struktur molekul dengan ikatan rangkap dua yang dapat berubah menjadi ikatan tunggal dan dapat mengikat serat-serat yang belum berikatan di dalam campuran sehingga menghasilkan kekuatan ikatan yang cukup besar.



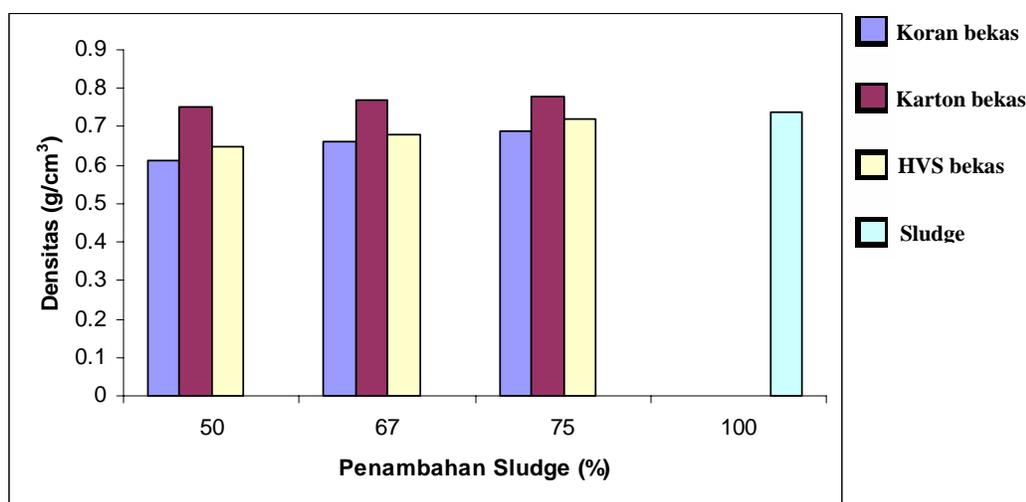
Gambar 3. Grafik hubungan penambahan *sludge* terhadap kuat tarik dengan perekat *phenol formaldehid*

Pada gambar 4, hubungan penambahan *sludge* terhadap densitas dengan menggunakan perekat *urea formaldehid*, terlihat bahwa penambahan *sludge* cenderung meningkatkan densitas kertas kemasan. Nilai densitas maksimal pada *sludge* kertas koran, karton, dan HVS berturut-turut adalah 0,690; 0,780 dan 0,720 g/cm³. Sedangkan nilai densitas pada kertas kemasan dengan perekat *phenol*

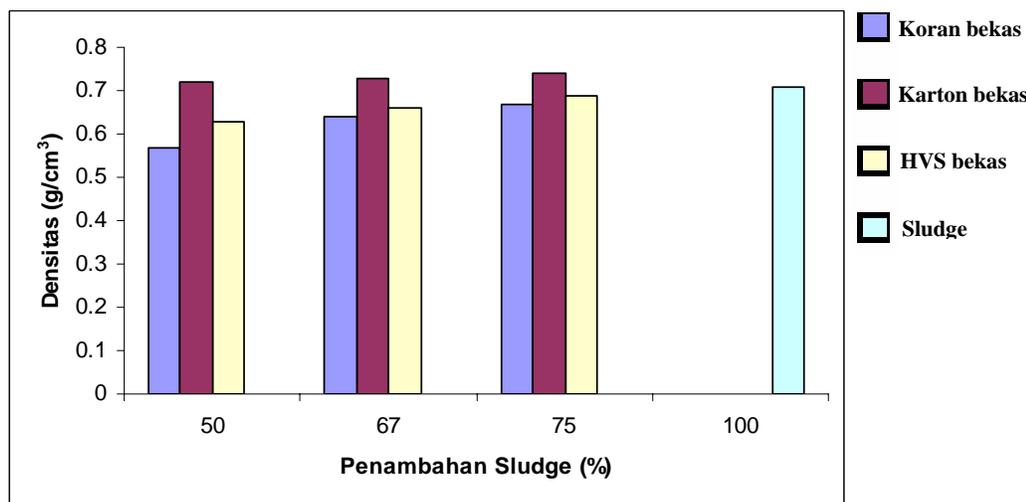
formaldehid yang ditampilkan pada gambar 5 juga memiliki kecenderungan dan trend yang sama, dengan nilai maksimal *sludge* kertas koran, karton, dan HVS berturut-turut adalah 0,670; 0,740 dan 0,690 g/cm³. Hal ini disebabkan proses *hot press* pada campuran kertas bekas dan *sludge*, sehingga meningkatkan kepadatan campuran dan berdampak pada nilai densitas yang semakin tinggi.

Peningkatan prosentase penambahan sludge juga berdampak terhadap meningkatnya massa campuran antara *sludge* dan kertas bekas (koran, karton, dan HVS) yang juga dapat meningkatkan nilai densitas pada volume yang sama. Berdasarkan hasil pengujian bahwa penggunaan perekat *urea formaldehid*

dapat menghasilkan densitas yang lebih tinggi dari kertas kemasan yang menggunakan perekat *phenol formaldehid*. Hal ini disebabkan *urea formaldehid* dapat mengikat lebih baik dibandingkan *phenol formaldehid* sehingga meningkatkan nilai densitas secara keseluruhan.



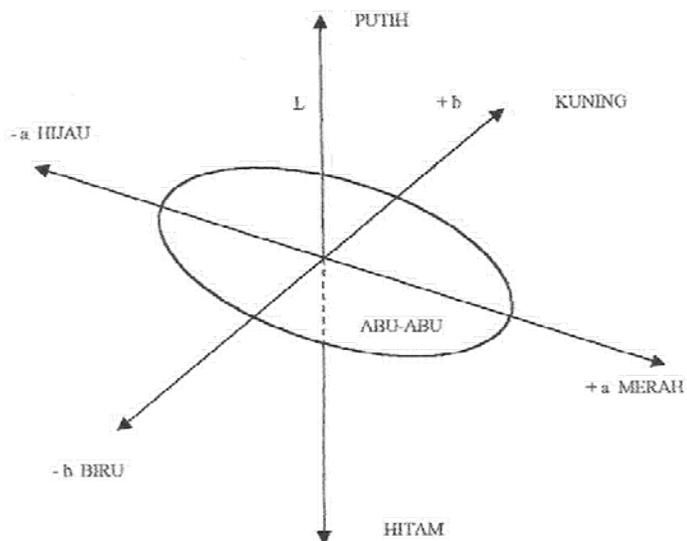
Gambar 4. Grafik hubungan penambahan sludge terhadap densitas dengan perekat *urea formaldehid*



Gambar 5. Grafik hubungan penambahan sludge terhadap densitas dengan perekat *phenol formaldehid*

Pengujian indeks warna bertujuan untuk menentukan distribusi dari hasil koordinat warna (L, a, dan b). Distribusi warna homogen jika letak koordinatnya dekat dan tidak homogen jika distribusi

warnanya berjauhan. Jenis perekat (*urea formaldehid* dan *phenol formaldehid*) tidak mempengaruhi distribusi indeks warna yang dihasilkan. Grafik tiga dimensi indeks warna diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik tiga dimensi indeks warna

Berdasarkan data pada tabel 2, indeks warna pada campuran kertas koran dan *sludge* yang menggunakan perekat *urea formaldehid* diperoleh hasil dari tiga komposisi perbandingan, yaitu: 1:1, 1:2 dan *sludge* tanpa penambahan kertas bekas berada pada satu daerah antara hijau dan kuning, serta satu komposisi menyimpang dari ketiga komposisi, terletak pada daerah diantara hijau dan biru. Sedangkan dengan

perekat *phenol formaldehid* dapat ditemukan dua komposisi perbandingan 1:3 dan *sludge* tanpa penambahan kertas bekas berada pada daerah diantara putih dan hijau serta dua komposisi berada pada daerah hijau dan biru. Keseluruhan komposisi pada campuran kertas koran memiliki distribusi warna yang tidak homogen karena berada pada daerah yang berjauhan.

Tabel 2. Indeks warna pada campuran kertas koran dan *sludge*

No	Perekat	Komposisi		Indeks Warna		
		Kertas Koran	Sludge	L	a	b
1	Urea Formaldehid	1	1	41,803	-7,286	14,294
		1	2	50,234	-8,861	14,506
		1	3	44,304	-7,122	-132,7
2	Phenol Formaldehid	1	1	46,360	-5,269	-149,1
		1	2	51,732	17,177	-142,5
		1	3	32,699	-8,054	9,109

Pada Tabel 3, indeks warna pada campuran kertas karton dan *sludge* menggunakan perekat *urea formaldehid* didapatkan hasil dari komposisi 1:1, 1:3 dan *sludge* tanpa penambahan kertas berada pada daerah putih dan kuning, sedangkan perbandingan 1:2 berada pada daerah putih dan hijau. Pada campuran yang menggunakan perekat *phenol formaldehid* untuk komposisi 1:1 dan 1:3

juga terletak pada daerah putih dan kuning. Sedangkan pada komposisi 1:2 dan *sludge* tanpa penambahan kertas berada pada daerah putih dan hijau. Keseluruhan campuran kertas karton dan *sludge* yang menggunakan perekat *urea formaldehid* dan *phenol formaldehid* memiliki homogenitas yang baik karena letak koordinatnya berdekatan.

Tabel 3. Indeks warna pada campuran kertas karton dan *sludge*

No	Perekat	Komposisi		Indeks Warna		
		Kertas Koran	Sludge	L	a	b
1	Urea Formaldehid	1	1	41,858	-6,781	18,513
		1	2	44,989	-8,124	11,564
		1	3	47,643	-7,286	16,751
2	Phenol Formaldehid	1	1	53,603	-6,904	20,155
		1	2	37,304	-9,310	9,244
		1	3	47,756	-6,607	17,658

Sedangkan pada Tabel 4, indeks warna pada campuran kertas HVS dan *sludge* menggunakan perekat *urea formaldehid* didapatkan hasil dari empat komposisi perbandingan, yaitu: 1:1, 1:2, 1:3 dan *sludge* tanpa penambahan kertas bekas berada pada daerah putih dan kuning. Sedangkan pada penggunaan perekat *phenol formaldehid* pada empat komposisi (1:1, 1:2, 1:3, dan *sludge* tanpa penambahan kertas) berada pada daerah putih dan hijau. Keseluruhan komposisi pada campuran kertas HVS memiliki distribusi warna yang homogen karena berada pada daerah yang berdekatan.

Pada campuran *sludge* dan kertas koran menghasilkan distribusi warna yang tidak homogen. Hal ini disebabkan pada kertas koran terlalu banyak variasi tinta yang tercetak dan kurang homogenya pencampuran kertas koran dengan *sludge*. Sedangkan pada komposisi campuran *sludge* dengan kertas karton dan *sludge* dengan kertas HVS menghasilkan distribusi warna yang homogen karena pada kertas tersebut tidak terdapat variasi tinta sehingga terletak pada daerah yang sama.

Tabel 4. Indeks warna pada campuran kertas HVS dan *sludge*

No	Perekat	Komposisi		Indeks Warna		
		Kertas Koran	Sludge	L	a	b
1	Urea Formaldehid	1	1	55,176	-8,700	21,686
		1	2	50,914	-8,582	20,371
		1	3	44,682	-7,358	17,475
2	Phenol Formaldehid	1	1	36,076	-9,241	-9,950
		1	2	31,872	-9,093	9,019
		1	3	35,499	-8,942	9,652

Tabel 5. Indeks warna pada campuran *sludge*

No	Perekat	Komposisi		Indeks Warna		
		Kertas Koran	Sludge	L	a	b
1	Urea Formaldehid	1	1	58,364	-8,609	22,283
2	Phenol Formaldehid	1	1	31,510	-8,911	8,896

KESIMPULAN

Kertas kemasan terbaik diperoleh pada campuran antara *sludge* dan kertas koran dengan perekat *urea formaldehid*. Kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 4,103 kg/cm² dan densitasnya sebesar 0,610 g/cm³. Penambahan komposisi *sludge* (koran, karton dan HVS) dapat meningkatkan densitas pada kertas kemasan. Sedangkan penambahan *sludge* kertas koran menurunkan kuat tarik kertas kemasan, tetapi penambahan *sludge* kertas karton dan HVS dapat meningkatkan kuat tarik kertas kemasan. Untuk pengujian indeks warna didapatkan kertas kemasan dengan distribusi warna yang homogen dihasilkan dari campuran *sludge* dan HVS.

DAFTAR PUSTAKA

1. H. Y. ROSADI DAN D. VIDYATMOKO. *Analisis Pasar Pulp dan Kertas Indonesia*, Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia BPPT Vol.4, No.5, Jakarta 2002.
2. SUTARTO. *Tak Ada Investasi Baru di Industri Pulp dan Kertas*, <http://www.tempointeraktif.com>, 19 Januari 2006.
3. E.G.T. MANURUNG DAN H.H. SUKARIA. *Industri Pulp dan Kertas: Ancaman Baru terhadap Hutan Alam Indonesia*, Jakarta 2000.
4. T. SURDIA DAN S. SAITO. *Pengetahuan Bahan dan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta 1995.
5. DATA DEPARTEMEN KEHUTAN-AN REPUBLIK INDONESIA, 2000.

FAKTOR TRANSFER Cs-137 DARI TANAH LATOSOL KE CABE (*Capsicum annuum L.*)

Leli Nirwani, Wahyudi dan Jumaher

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi -BATAN

ABSTRAK

FAKTOR TRANSFER Cs-137 DARI TANAH LATOSOL KE CABE (*Capsicum annuum L.*). Telah dilakukan penelitian faktor transfer Cs-137 dari tanah *latosol* ke cabe (*Capsicum annuum L.*) menggunakan wadah pot. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor transfer Cs-137 dari tanah *latosol* ke cabe. Percobaan pot secara rancangan acak lengkap dengan dua perlakuan yaitu pemberian tanah dengan Cs-137 dan tanpa pemberian Cs-137 sebagai kontrol. Konsentrasi Cs-137 yang diberikan sekitar 7,5287 kBq/pot. Jumlah tanaman uji dan tanaman kontrol masing-masing 12 pot. Masing-masing pot berisi 5 kg tanah. Setelah panen, tanah dan cabe dikeringkan kemudian ditentukan konsentrasi Cs-137 menggunakan spektrometer gamma. Faktor transfer yang diperoleh bervariasi antara 0,0386 sampai 0,1333 dengan nilai rerata 0,0876.

Kata kunci : faktor transfer, tanah latosol, cabe, Cs-137

ABSTRACT

Cs-137 TRANSFER STUDY FROM LATOSOL SOIL TO CHILI (*Capsicum annuum L.*). Cs-137 transfer factor study from *latosol* soil to chili (*Capsicum annuum L.*) used bracket have been carried.. The aim of the research is to know the Cs-137 transfer factor from *latosol* soil to chili. Pot experiment was carried out by using the complete random design to evaluate two treatment, namely soil with Cs-137 and without Cs-137. Cs-137 concentration each bracket about 7.5287 kBq. Tested plant and control plant amount to 12 pots. Each pot contains 5 kg of soil. After harvest, it was determined the weight of dry chili then measured used gamma spectrometer to determine the Cs-137 concentration in dry chili and dry soil. Transfer factor was found ranged from 0.0386 to 0.1333 and the average is 0.0876.

Key words: transfer factor, latosol soil, chili, Cs-137

PENDAHULUAN

Pada operasi normal ataupun kasus kecelakaan, fasilitas nuklir akan melepaskan radionuklida hasil fisi atau hasil aktivasi ke lingkungan. Radionuklida hasil fisi dan aktivasi yang biasanya terlepas ke lingkungan adalah Cs-137. Radionuklida ini apabila terlepas dari fasilitas nuklir biasanya akan masuk

ke komponen lingkungan baik melalui udara, yang kemudian terdeposisi ke tanah dan air, atau melalui sistem perairan. Kemudian radionuklida akan masuk ke dalam tubuh manusia, baik secara langsung, yaitu melalui inhalasi, atau secara tidak langsung yaitu melalui rantai makanan. Radionuklida yang ter-

deposisi di tanah akan terserap oleh tanaman yang kemudian dikonsumsi manusia.

Dampak radiologik dari lepasan radionuklida ke lingkungan dievaluasi dengan bantuan model matematika, yang dalam perhitungannya berdasar pada jalur masuknya radionuklida dari saat dilepas ke lingkungan sampai ke manusia. Jalur ini menggambarkan proses perpindahan radionuklida dari satu komponen lingkungan ke komponen lingkungan lainnya. Proses perpindahan ini dinyatakan sebagai factor pindah, atau umumnya disebut juga sebagai faktor transfer. Faktor transfer adalah perbandingan konsentrasi radionuklida dalam tanaman kering dengan konsentrasi radionuklida dalam tanah kering (Bq/g tanaman kering / Bq/g tanah kering)¹. Beberapa hal yang mempengaruhi faktor transfer adalah jenis radionuklida, jenis tanaman, jenis tanah, sifat fisika tanah (tekstur tanah) dan sifat kimia tanah (pH tanah, kandungan bahan organik tanah, dan kapasitas tukar kation tanah)¹.

Cabe besar (*Capsicum annuum* L.) adalah suatu tanaman semusim berbentuk perdu atau setengah perdu mempunyai sistem perakaran agak menyebar; batang utama tumbuh tegak dan pangkalnya berkayu. Daun tumbuh

secara tunggal dengan bentuk bervariasi, yaitu lancip sampai bulat telur dan ujungnya runcing. Struktur buah cabe besar terdiri dari kulit, daging buah, dan di dalamnya terdapat sebuah plasenta sebagai tempat biji menempel secara tersusun. Buah cabe banyak mengandung karoten, vitamin A, dan vitamin C. Tanah ideal untuk tanaman cabe adalah jenis tanah andosol, latosol dan regosol. pH tanah yang optimum berkisar dari 5,5 sampai 6,8 di atas atau di bawahnya akan mengakibatkan produksi yang rendah. Cabe termasuk divisio: Spermathopyta, sub divisio: Angiospermae, kelas: dicotyledoneae, famili: Solanaceae, genus: Capsicum.²

Tanah Latosol adalah tanah dengan kadar liat lebih dari 60 %, remah sampai gumpal, gembur, warna tanah seragam dengan batas-batas horison yang kabur, solum dalam (lebih dari 150 cm)³. Tanah latosol merupakan salah satu jenis tanah yang cukup banyak dijumpai di daerah tropik, tersebar di seluruh kepulauan Indonesia. Luas tanah latosol mempunyai urutan kedua setelah podsolik⁴.

Pada makalah ini dilaporkan percobaan untuk menentukan faktor transfer radionuklida Cs-137 dari tanah latosol ke cabe.

Data yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan masukan kepada IAEA dalam penyusunan “Hand Book” parameter factor transfer dari tanah ke berbagai tanaman khususnya untuk daerah tropis.

TATA KERJA

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah pot sebanyak 12 buah, sebagai wadah tanah yang digunakan sebagai tempat tumbuhnya tanaman cabe. Sedangkan peralatan lain adalah saringan tanah, oven, timbangan elektronik, dan spectrometer gamma untuk mengukur aktivitas Cs-137 dalam sample cabe maupun sample tanah.

Bahan

Contoh tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari sekitar lokasi calon tapak pendirian Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama di Indonesia, yaitu Ujung Lemah Abang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Tanah yang diambil adalah tanah permukaan dengan kedalaman sampai 20 cm. Tanah yang telah kering udara ditumbuk dan disaring dengan ayakan bermata saring 2 mm digunakan untuk analisis

pendahuluan meliputi: pH, bahan organik, tekstur, konsentrasi P, K, Al, H, dan Nilai Tukar Kation yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat di Bogor. Selain itu, dilakukan juga pengukuran Cs-137 dalam tanah kering sebelum dilakukan percobaan pot.

Percobaan Rumah Kaca

Tanah yang telah kering udara, ditumbuk dan disaring dengan memakai ayakan bermata saring 2 mm, lalu diaduk merata. Pada setiap pot tanah ditimbang seberat 5 kg sebanyak 24 pot. Perlakuan yang diujikan dalam percobaan ini ialah pemberian radionuklida Cs-137. Jumlah tanaman uji dan tanaman kontrol yang dicobakan yaitu masing-masing sebanyak 12 pot. Setelah contoh tanah diberikan Cs-137, didiamkan selama 1 bulan untuk mencapai kesetimbangan. Adapun jenis tanaman yang digunakan adalah tanaman cabe. Benih cabe ditanam sebanyak 3-5 benih per pot. Pupuk N, P dan K diberikan untuk menjaga kesetimbangan unsur hara dalam tanah. Penyiraman dengan air dilakukan setiap hari. Pengendalian hama digunakan Dimacide 400 EC secara penyemprotan yang dilakukan bila ada serangan hama.

Rancangan Percobaan

Percobaan dilaksanakan secara Rancangan Acak Lengkap mengujikan 2 perlakuan yaitu pemberian tanah dengan radionuklida Cs-137 dengan ulangan sebanyak 12 kali untuk setiap perlakuan. Dengan demikian Rancangan Acak Lengkap memiliki jumlah satuan percobaan berjumlah 12 pot tanaman uji dan 12 pot tanaman kontrol (tanpa pemberian radionuklida Cs-137).

Model Statistik dari Rancangan Acak Lengkap yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ik} = U + a_i + c_k + E_{ik} \quad \dots (1)$$

dengan :

i = perlakuan pemberian radionuklida Cs-137

k = ulangan (12 kali)

Y_{ik} = nilai pengamatan perlakuan ke i dan ulangan ke k

U = nilai rata-rata umum

a_i = pengaruh perlakuan pemberian radionuklida Cs-137 ke i

c_k = pengaruh ulangan ke k

E_{ik} = pengaruh acak dari pemberian radionuklida Cs-137 ke i , dan ulangan ke k

Analisis dan pengukuran

Panen tanaman dilakukan pada saat tanaman berumur 90 hari, setelah panen cabe dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 48 jam. Cabe kering dipotong-potong lalu ditimbang untuk penentuan bobot kering dan dimasukkan dalam vial dan ditutup. Kemudian dilakukan pengukuran Cs-137 dengan spektrometer gamma.

Tanah pasca panen dikeringkan, lalu ditimbang seberat 25 gram dan dimasukkan ke dalam vial, selanjutnya dilakukan pengukuran Cs-137 dengan alat spektrometer gamma.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pendahuluan

Hasil analisis sifat kimia dan sifat fisika tanah disajikan dalam Tabel 1. Analisis ini dilakukan di laboratorium tanah, Bogor sebelum tanah tersebut digunakan untuk melakukan penelitian. Dari hasil analisis tanah ini dapat dilihat bahwa kandungan bahan organik tanah tersebut tergolong rendah (nilai batas dapat dilihat pada lampiran 1), yang berarti tingkat kesuburannya rendah yang akan berakibat pada nilai faktor transfer yang rendah pula.

Faktor lain yang menentukan nilai faktor transfer adalah keasaman (pH) tanah, dimana pada contoh tanah ini pHnya bersifat asam (5,7) yang akan berpengaruh cukup baik pada pertumbuhan tanaman cabe, dimana pH tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman cabe antara 5,5 – 6,8 .

Tabel 1. Hasil analisis kimia dan fisika pada contoh tanah sebelum dilakukan percobaan pot.

No.	Parameter	Unsur/Senyawa	Kadar/Nilai
1.	Tekstur	Pasir	4%
		Debu	11%
		Liat	85%
2.	Bahan Organik	C	1,12%
		N	0,15%
		C/N	7
3.	P dan K (HCl 25%) P (Bray 1)	P ₂ O ₅	230 mg/100g
		K ₂ O	66 mg/100g
		P ₂ O ₅	83,5 me/100g
4.	Nilai Tukar Kation (NH ₄ - Acetat 1N, pH=7)	Ca	5,01 me/100g
		Mg	2,25 me/100g
		K	1,24 me/100g
		Na	0,50 me/100g
		KTK	17,25 me/100g
		KB	52%
5.	Al & H (KCl 1N)	Al ⁺³	0,49 me/100g
		H ⁺	0,14 me/100g
6.	PH : H ₂ O		5,7
	KCl		5,2
7.	Radioaktivitas	Cs-137	20,01 Bq/g

Berat kering tanaman cabe

Data berat kering tanaman yang diperoleh setelah panen disajikan pada Tabel 2. Pengaruh pemberian Cs-137 terhadap berat kering cabe disajikan pada Tabel 3. Dari hasil sidik ragam diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa Cs-137 dapat diserap oleh tanaman cabe.

Hasil penelitian yang diperoleh yaitu berat kering cabe yang diberikan Cs-137 (CA) bervariasi antara 1,5234 – 11,4193 gram dengan nilai rata-rata 6,4041 gram dan pada cabe kontrol (CK) bervariasi antara 0,5262 - 17,4355 gram dengan nilai rata-rata 14,6763 gram (Tabel 1).

Tabel 2. Hasil penimbangan cabe kering

Ulangan	Berat cabe kering (gr)	
	Perlakuan CA	Perlakuan CK
1	8,0252	16,6175
2	8,3109	17,4355
3	3,7065	-
4	5,7124	14,0679
5	1,5234	3,4930
6	11,4193	8,6643
7	8,1158	0,9677
8	2,4527	20,2077
9	10,1839	9,8479
10	4,0068	9,7994
11	2,7546	0,5262
12	10,6383	3,6763
	Rerata =6,4041	Rerata = 14,6763

Keterangan : CA = Cabe Aktif (pemberian Cs-137)
CK = Cabe Kontrol (tanpa Cs-137)
- = Tanaman cabe mati.

Berat kering tertinggi ditemukan pada tanaman cabe yang tidak diberikan Cs-137, hal ini menunjukkan bahwa pemberian Cs-137 tidak mempengaruhi pertumbuhan cabe. Hal ini dimungkinkan karena sifat caesium sama dengan kalium (sama-sama Gol. I), dimana kalium merupakan unsur hara makro yang dalam jumlah besar diperlukan oleh tanaman terutama untuk pertumbuhan batang.

Hasil penelitian yang diperoleh yaitu konsentrasi Cs-137 dalam cabe yang diberikan Cs-137 (BA) bervariasi antara 0,3 – 2,1g dengan nilai rata-rata 5,31 Bq/g cabe kering (Tabel 3)

Konsentrasi Cs-137 tertinggi ditemukan pada cabe yang diberikan Cs-

137, hal ini menunjukkan bahwa Cs-137 dapat diserap tanaman cabe. Hal ini dimungkinkan karena sifat Caesium sama dengan Kalium (sama-sama Gol. I), dimana Kalium merupakan unsur hara makro yang dalam jumlah besar diperlukan oleh tanaman terutama untuk pertumbuhan batang. Selain itu sifat Cs-137 dalam tanah kelutannya tinggi sehingga mudah diserap tanaman untuk pertumbuhannya.

Tabel 3. Konsentrasi Cs-137 dalam cabe kering (Bq/g x 10⁻³)

Ulangan	Perlakuan CA
1	184,06± 0,23
2	213,33± 0,25
3	205,74± 0,19
4	179,54± 0,10
5	455,39± 0,12
6	144,81± 0,09
7	187,47± 0,10
8	302,89± 0,10
9	170,49± 0,09
10	231,94± 0,10
11	215,11± 0,10
12	153,18± 0,09
	Rerata = 220,33± 0,13

Dari hasil penelitian diperoleh nilai faktor transfer Cs-137 dari tanah latosol yang berasal dari Ujung Lemah Abang, Jepara ke tanaman cabe bervariasi antara 0,0386 – 0,1333 dengan nilai rata-rata 0,0876.

Tabel 4. Konsentrasi Cs-137 dalam tanah yang sudah ditanami cabe (Bq/g x 10⁻³)

Ulangan	Perlakuan CA
1	2923,40
2	3791,62
3	-
4	2411,44
5	3420,83
6	2209,64
7	3170,80
8	3617,85
9	3238,54
10	1784,52
11	3294,07
12	3961,12
	Rerata = 220,33 ± 0,13

Tabel 5. Faktor transfer Cs-137 dari tanah ke tanaman cabe.

No.	K o d e	Faktor Transfer
1	CA-1	0,0629
2	CA-2	0,0562
3	CA-3	-
4	CA-4	0,0744
5	CA-5	0,1333
6	CA-6	0,0655
7	CA-7	0,0591
8	CA-8	0,0837
9	CA-9	0,0526
10	CA-10	0,1299
11	CA-11	0,0652
12	CA-12	0,0386
		Rerata = 0,0876

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh nilai faktor transfer Cs-137 dari tanah latosol yang berasal dari Ujung Lemah Abang, Jepara ke tanaman cabe bervariasi antara 0,0386 sampai 0,1333 dengan nilai rata-rata 0,0876. Data tersebut dapat digunakan sebagai bahan masukan kepada IAEA dalam penyusunan "Hand Book" parameter faktor transfer Cs-137 dari tanah ke tanaman cabe.

Saran

Masih diperlukan penelitian tentang faktor transfer dari tanah ke berbagai jenis tanaman pangan lainnya khususnya untuk daerah tropis.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, Hand Book of Parameter values for the Prediction of radionuclide transfer in temperate environments. Tec.Rep. S. No. 364. Produced in collaboration with the International Union of Radioecologist, IAEA, Vienna, 1994.
2. RAHMAT RUKMANA, Usaha Tani Cabai Hibrida Sistem Mulsa Plastik, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 1996.
3. SARWONO HARDJOWIGENO, Ilmu Tanah. PT. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta, 1987.
4. SOEPRAPTOHARDJO, Klasifikasi Tanah Indonesia, Lembaga Penelitian Tanah Indonesia, Bogor, 1975.

5. PSPKR, Diktat Latihan Keahlian “Penentuan Kosentrasi Cemarannya Sr-90 dan Cs-137 dalam Air dan Makanan” Angkatan II 11 Januari – 8 Pebruari 1993. Badan Tenaga Atom Nasional. Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta, 1993.

BIODEGRADASI BENZENA OLEH MUTAN BAKTERI *Pseudomonas sp* DALAM MIKROKOSMOS AIR TANAH

Fahrudin dan Dwi Andreas Santosa***

*Jurusan Biologi, Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Tamalanrea Makassar

**Jurusan Tanah, Institut Pertanian Bogor, Bogor

ABSTRAK

BIODEGRADASI BENZENA OLEH MUTAN BAKTERI *Pseudomonas sp* DALAM MIKROKOSMOS AIR TANAH. Induksi mutasi dengan UV dapat meningkatkan kapasitas mikroba dalam melakukan metabolisme termasuk dalam mendegradasi bahan polutan. Hasil mutagenesis UV dari isolat *wildtipe Pseudomonas sp* (ICBB33p) diperoleh dua mutan yaitu ICBB33₄ dan ICBB33₁₈. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk menguji kemampuan isolat bakteri mutan tersebut dalam mendegradasi benzena dengan membandingkan dengan isolat parentalnya atau *wildtipe*. Aplikasi mutan dilakukan pada mikrokosmos air tanah yang mengandung konsentrasi benzena 125 ppm menghasilkan penurunan konsentrasi benzena 17,82 ppm (86%) untuk mutan ICBB33₄ dan 13,37 ppm (89%) untuk sel mutan ICBB33₁₈, sedangkan sel parental masih menyisakan konsentrasi benzena sebesar 35,8 ppm (70%) dari konsentrasi awal 125 ppm. Penurunan konsentrasi benzena, diikuti dengan peningkatan jumlah populasi sel bakteri dan peningkatan jumlah CO₂ yang dihasilkan.

Kata kunci: peningkatan kapasitas biodegradasi, mutasi UV, benzena, mutan.

ABSTRACT

BENZENE BIODEGRADATION BY BACTERIAL MUTANT *Pseudomonas sp* IN SOIL WATER MICROCOSMOS. Mutant induction by UV can increase microbe capacity for metabolism process including pollutant material degradation. UV mutagenesis result from isolate *wildtipe Pseudomonas sp* (ICBB33p) was found two mutants as ICBB33₄ and ICBB33₁₈. This research was carried out to examined capability of the mutant bacterial isolate in degrade benzene by comparing with its parental isolate or *wildtipe*. Mutant application was done at soil water microcosmos which content benzene concentration 125 ppm can product decreasing benzene concentration 17,82 ppm (86%) for mutant ICBB33₄ and 13,37 ppm benzene as 35,8 ppm (70%) from initial concentration. Decreasing concentration of benzene was followed by population amount increasing of bacterial cell and CO₂ amount increasing.

Keywords: biodegradation capacity biodegradation, UV mutation, benzene, mutant

PENDAHULUAN

Benzena adalah senyawa kimia banyak digunakan dalam berbagai industri kimia yang dapat menjadi sumber

pencemaran lingkungan. Benzena berbahaya karena selain sulit terdegradasi di alam, juga bersifat toksik dan

karsinogenik, sehingga diberikan ambang batas pada air minum adalah 0,005 mg/l^{1,2}

Untuk mengatasi pencemaran benzena di lingkungan dilakukan dengan cara biologis melalui proses biodegradasi oleh bakteri. Namun, keberhasilan biodegradasi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan, tetapi kemampuan bakteri itu untuk memanfaatkan substrat bahan pencemar sebagai sumber karbon dan energi untuk pertumbuhan. Oleh karena itu, dalam proses biodegradasi perlu dipilih isolat bakteri yang mempunyai kapasitas degradasi yang lebih tinggi³.

Upaya meningkatkan kapasitas bakteri dalam proses biodegradasi bisa dilakukan melalui mutasi genom. Menurut Stanbury dan Whitaker (1984) dan Bitton (1999), kemampuan metabolisme organisme dikendalikan oleh genom, sehingga peningkatan kapasitas bakteri dapat dilakukan melalui induksi mutasi genom dengan menggunakan sinar ultra violet (UV)^{4,5}. Adanya mutasi, diharapkan terjadi perubahan genetik ke arah yang lebih baik dalam melakukan metabolisme substrat.

Berdasarkan dari uraian di atas, maka perlu dilakukan uji kemampuan degradasi benzena pada isolat bakteri mutan *Pseudomonas sp* yang dimutasi melalui induksi mutasi-UV dan

dibandingkan dengan isolat parental atau isolat aslinya. Diharapkan hasil induksi mutasi mendapatkan isolat bakteri yang memiliki kapasitas degradasi yang tinggi terhadap senyawa aromatik, sehingga dapat dijadikan sebagai sumber inokulum dalam menangani pencemaran senyawa hidrokarbon aromatik di lingkungan.

TEORI

Untuk meningkatkan biodegradasi, biasanya limbah yang berupa padatan atau cair, dilakukan bioaugmentasi atau penambahan bakteri pendegradasi dari luar, kemudian ditambahkan nutrisi, dan dilakukan pengendalian aerasi. Namun pada metode bioremediasi ini belum menunjukkan hasil yang maksimal dan memerlukan waktu yang lama, dikarenakan isolat bakteri yang digunakan dalam merombak senyawa pencemar tidak mempunyai kapasitas degradasi yang maksimal, walaupun dalam kondisi lingkungan yang optimal.

Upaya meningkatkan kapasitas bakteri dalam proses biodegradasi sering digunakan bakteri hasil rekayasa genetika, tetapi penggunaannya masih kontroversi dengan alasan tidak aman terhadap lingkungan, juga memperhatikan salah satu mata agenda konferensi PBB untuk Lingkungan dan Pembangunan (UNCED)

adalah pengelolaan bioteknologi yang berwawasan lingkungan.

Kemampuan suatu organisme dikendalikan oleh genomnya, sehingga peningkatan kapasitas bakteri dapat dilakukan dengan mutasi genom yaitu menggunakan sinar ultraviolet. Peningkatan kapasitas bakteri dalam mendegradasi dengan cara mutasi, diharapkan adanya perubahan genetik ke arah yang lebih maju dalam melakukan metabolisme pada suatu senyawa organik polutan, karena mutasi dapat membuat mikroba melakukan metabolisme pada suatu substrat secara spesifik.

Adapun kelebihan menggunakan bakteri hasil mutasi sebagai bahan bioaugmentasi dalam bioremediasi adalah karena menggunakan mikroba yang lebih spesifik, kemampuan mikroba dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan dan merupakan suatu cara yang lebih maju dan berkembang saat ini yang diterapkan dalam metode bioremediasi.

TATA KERJA

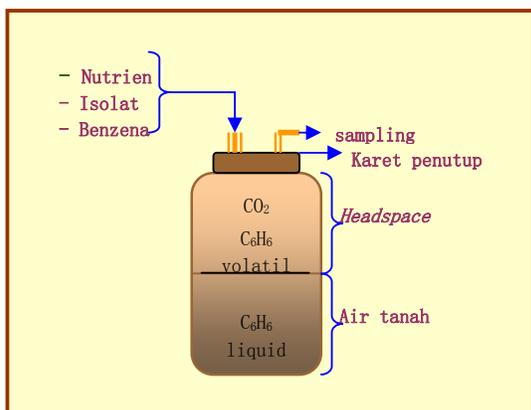
- Media Pertumbuhan Isolat

Isolat bakteri pendegradasi benzena diperoleh dari *Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology* (ICBB), Bogor yaitu isolat mutan *Pseudomonas sp*

(ICBB33₄ dan ICBB33₁₈) dan parental *Pseudomonas sp* (ICBB33_p). Untuk pertumbuhan isolat digunakan Media Luria Bertani dengan komposisi: 10 Pepton, 5 yeast extract, 5 NaCl (g/l) pada pH 7,2 dan untuk seleksi isolat pendegradasi benzena digunakan media minimal dengan komposisi : 0,5 (NH₄)₂SO₄ , 0,5 NaNO₃, 0,02 CaCl₂, 0,2 MgSO₂, 1,0 KH₂PO₄, 1,0 NaH₂PO₄.H₂O, 15,0 agar (g/l).

- Aplikasi Isolat

Kajian biodegradasi benzena pada isolat mutan dan parental dilakukan dalam mikrokosmos air tanah dengan metode Burland dan Edwards (1999) yang dimodifikasi. Mikrokosmos dibuat menggunakan botol serum 100 ml yang berisi air tanah 30 ml, ditambahkan nutrien dari K₂HPO₄ sebagai sumber fosfor dan NH₄NO₃ sebagai sumber nitrogen dan ditambah benzena 125 ppm, kemudian diinokulasikan 100 µl kultur sel bakteri. Botol serum ditutup rapat untuk menghindari keluarnya benzena yang volatil (Gambar 1). Inkubasi dilakukan pada *shaker* selama 120 jam. Selama proses biodegradasi dilakukan pengamatan penurunan konsentrasi benzena, CO₂ yang dihasilkan, dan populasi bakteri. Perlakuan dibuat dengan kondisi steril, dengan tujuan untuk membandingkan kapasitas degradasi isolat mutan dengan isolat parental.



Gambar 1. Mikrokosmos air tanah

- Ekstraksi Sampel

Benzena dari kultur cair disentrifus dengan kecepatan 12.000x g selama 10 menit pada suhu 2⁰C untuk memisahkan dari biomassa. Pelet dicuci tiga kali menggunakan 2 ml diklorometana dengan melakukan sentrifus, ekstrak lalu dicampur dengan supernatan. Lapisan pelarut diambil dan dikeringkan dengan anhidrous sodium sulfat.

- Analisis Konsentrasi Benzena

Konsentrasi benzena diukur pada kromatografi gas. Benzena dalam 1 ml diklorometana dicampur dengan 100 µl standar internal dan dianalisis dalam kapiler gas kromatografi (GC-14A, Shimadzu, Japan) dihubungkan dengan *Data Integrator Chromatopac CR6A* yang dilengkapi dengan suatu injektor dan *flame ionization detector* (FID). GC juga

dilengkapi kolom silika dengan panjang 30 m, diameter 0,32 mm. Untuk menentukan konsentrasi benzena, diatur pada temperatur 140⁰C, 2 menit; peningkatan temperatur 12⁰C dan temperatur akhir 250⁰C.

- Analisis Konsentrasi CO₂

Analisis CO₂ menggunakan GC SRI (SRI Instruments, Torrance, Calif) yang dilengkapi dengan Thermal Conductivity detector (TCD) dan kolom Hayesep D (panjang 2m;80/100 mesh). Helium digunakan sebagai *carrier gas* (laju alir 20 ml/menit), udara sintetik (250 ml/ menit) dan H₂ (20 ml/menit) digunakan sebagai pembakaran gas dengan suhu oven 80⁰C.

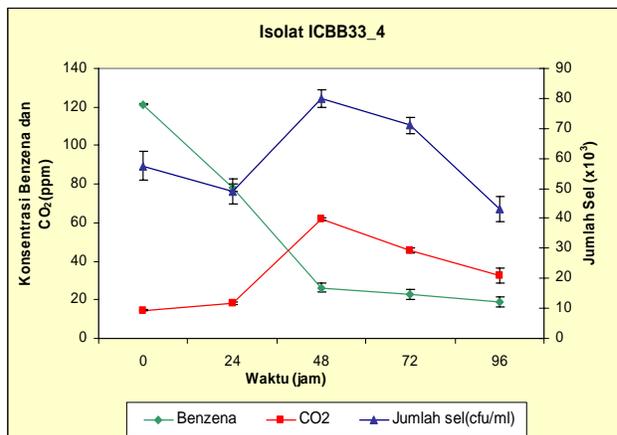
- Menghitung Populasi Mikroba

Sampel diambil untuk dibuat seri pengenceran 1:10 atau (10⁻¹), kemudian hasil pengenceran diinokulasikan pada media minimal cair untuk metode MPN. Pertumbuhan diamati setelah inkubasi 48-72 jam, dihitung jumlah tabung yang ditumbuhi mikroba dan ditentukan jumlah tabung positif dari masing-masing pengenceran. Ditentukan jumlah mikroba untuk tiap ml bahan berdasarkan jumlah tabung positif dari 3 seri pengenceran menurut tabel *Most Probable Number* (MPN).

HASIL

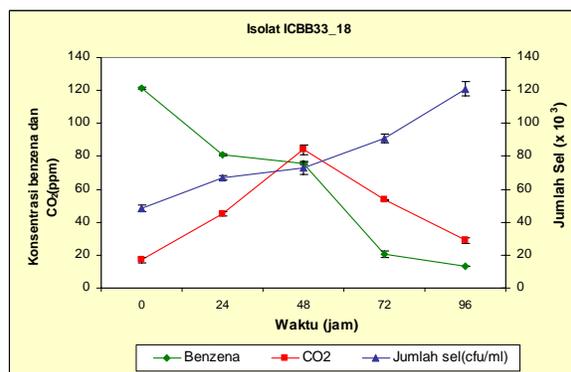
Dari hasil uji kemampuan degradasi benzena, menunjukkan isolat mutan ICBB33₄ (Gambar 2) lebih cepat menurunkan konsentrasi benzena sampai 78% dalam waktu 48 jam dengan laju yaitu 3,93 ppm /jam dan biodegradasi benzena 4,22 ppm/sel bakteri. Sedangkan dari waktu 48 sampai 96 jam degradasi mulai lambat yaitu hanya 1,012 ppm/jam. Secara keseluruhan biodegradasi benzena selama 96 jam yaitu mencapai 86% dengan laju 2,48 ppm/jam. Pengamatan CO₂ yang dideteksi pada *headspace* botol memperlihatkan peningkatan produksi CO₂ meningkat sampai pada waktu 48 jam dan terus berkurang hingga akhir inkubasi yang sesuai dengan pola biodegradasi benzena. Pertumbuhan populasi sel cenderung lambat dari awal hingga akhir inkubasi, kecuali dari waktu 24 sampai 48 jam sedikit mengalami peningkatan populasi. Pertumbuhan mikrobaa sesuai dengan pola biodegradasi benzena dan jumlah CO₂ yang dihasilkan.

Pengujian kemampuan degradasi benzena pada isolat mutan ICBB33₁₈(Gambar 3) hanya mampu menurunkan konsentrasi benzena 38% dalam waktu 48 jam dengan laju 1,23



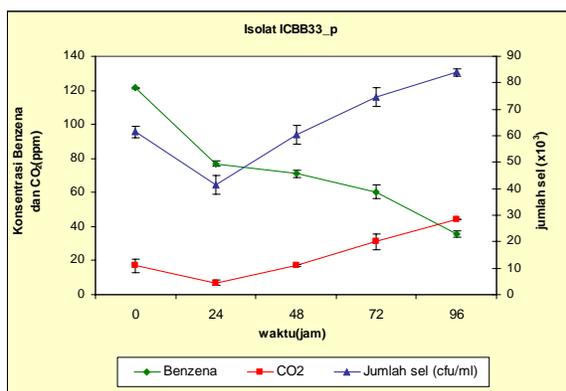
Gambar 2. Grafik penurunan konsentrasi benzena dan penghasilan CO₂ selama biodegradasi oleh isolat ICBB33₄

ppm/jam. Degradasi benzena meningkat tajam dari waktu 48 jam hingga akhir inkubasi yaitu mencapai 89% dengan laju 4,44 ppm/jam, biodegradasi benzena 1,30 ppm/sel bakteri dan secara keseluruhan laju degradasi benzena adalah 2,83 ppm/jam. Peningkatan biodegradasi benzena diikuti pula peningkatan populasi sel yang disertai adanya peningkatan jumlah CO₂ yang dihasilkan.



Gambar 3. Grafik penurunan konsentrasi benzena dan penghasilan CO₂ selama biodegradasi oleh isolat ICBB33₁₈

Dibandingkan pada kedua isolat mutan tersebut, maka isolat parental atau isolat asli tidak mengalami mutasi ICBB33_p (Gambar 4) selaku kontrol, memperlihatkan biodegradasi benzena terjadi sangat lambat dari awal inkubasi sampai waktu 72 jam. Dalam waktu 48 jam hanya mampu menurunkan konsentrasi benzena 41% dengan laju biodegradasi benzena 1,38 ppm/jam dan laju 1,49 ppm/sel bakteri.



Gambar 4. Grafik penurunan konsentrasi benzena dan penghasilan CO₂ selama biodegradasi oleh isolat ICBB33_p

Secara keseluruhan dari awal hingga akhir inkubasi laju biodegradasi benzena adalah 1,51 ppm/jam dengan degradasi mencapai 70%.

Pertumbuhan populasi sel juga relatif lambat, walaupun dari waktu 72 jam ada peningkatan populasi sel sampai akhir inkubasi, sesuai dengan CO₂ yang dihasilkan relatif tidak terjadi peningkatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari hasil pengamatan, jika dibandingkan antara kedua isolat mutan tersebut, ICBB33₄ memiliki laju degradasi lebih cepat terutama dalam waktu 48 jam, sedangkan laju degradasi pada isolat ICBB33₁₈ baru meningkat setelah 48 jam, walaupun pada akhirnya kedua isolat mutan ini memiliki kemampuan yang relatif sama dalam menurunkan konsentrasi benzena yaitu 89% atau tersisa 13,37 ppm dari jumlah awal 125 ppm. Selanjutnya, jika dibandingkan antara kedua isolat mutan dengan isolat parental, maka kedua isolat mutan ICBB33₄ dan ICBB33₁₈ terbukti mengalami peningkatan kapasitas dalam mendegradasi benzena. Kemampuan degradasi menonjol pada isolat mutan ICBB33₄ mampu menurunkan benzena lebih cepat yaitu 78% hanya dalam waktu 48 jam.

Pertumbuhan populasi sel yang menurun pada awal inkubasi, merupakan bukti bahwa mikroba membutuhkan waktu yang panjang dalam tahap adaptasi untuk memanfaatkan substrat benzena sebagai sumber karbon dan energi yang dikenal dengan fase *lag*. Hal ini terlihat terutama pada isolat parental ICBB33_p, sedangkan pada kedua isolat mutan fase *lag* relatif lebih cepat. Hal ini sesuai hasil

penelitian yang dilaporkan oleh Sikkema *et al.* (1995) bahwa penambahan konsentrasi benzena dalam media kultur bakteri *Pseudomonas putida* menghambat konversi benzena menjadi cis-3.5-sikloheksadin-1-2-diol serta pembentukan suksinat dan katekol, yang berakibat pula terhambatnya pertumbuhan populasi bakteri tersebut. Dari penelitian Sikkema *et al.* (1995) mengemukakan bahwa senyawa benzena memberikan efek inhibitor pada pertumbuhan sel, juga mempunyai efek pada ultrastruktur dan sifat fisiologi sel yang akan berpengaruh pada tingkat permeabilitas sel yang dapat menghambat transduksi energi⁶.

Penurunan konsentrasi benzena yang tidak disertai dengan peningkatan pertumbuhan sel dan penghasilan CO₂, karena perombakan benzena tidak sempurna, akan menghasilkan senyawa intermediet yang bersifat menghambat pertumbuhan sel mikroba⁷. Namun pada sisi lain, terjadi peningkatan pertumbuhan sel, tetapi tidak disertai penurunan konsentrasi benzena, karena proses metabolisme sel akan menghasilkan asam – asam organik yang dapat dimanfaatkan pula mikroba sebagai sumber karbon dan energi selain benzena bagi pertumbuhannya, sehingga mineralisasi

tidak selalu berhubungan dengan pertumbuhan mikroba⁸.

Berdasarkan uraian tersebut, menunjukkan bahwa induksi mutasi UV dapat mengubah kapasitas metabolisme bakteri. Hal ini sesuai dinyatakan oleh Lach *et al.* (1990), bahwa induksi mutasi, dapat meningkatkan kapasitas bakteri dalam menghasilkan suatu produk metabolisme⁹. Mutasi dapat menciptakan variasi genetik mikroba dalam meningkatkan biodegradasi senyawa pencemar di lingkungan¹⁰.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam uji kemampuan isolat bakteri mutan dalam mendegradasi senyawa benzena, maka dapat disimpulkan bahwa induksi mutasi UV terbukti mampu meningkatkan kapasitas bakteri dalam mendegradasi senyawa benzena. Dari aplikasi isolat mutan pada mikrokosmos air tanah diperoleh mutan ICBB33₄ mampu mendegradasi benzena 86% dan ICBB33₁₈ 89%, sedangkan isolat parental hanya mampu mendegradasi 70% dari konsentrasi awal benzena 125 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan sebagian dari hasil penelitian Hibah Bersaing yang

dibiayai DIKTI tahun anggaran 2007. Ucapan terima kasih kepada DR. Dwi Andreas Santosa, MS. selaku direktur *Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology* (ICBB), <http://www.icbb.org> atas bantuan fasilitas laboratorium selama pelaksanaan penelitian ini.

9. ALEXANDER, M, 1994. Biodegradation and Bioremediation. Academic Press. New York.
10. JONES, D.G. 1987. Exploitation of Microorganisms. Chapman and Hall. London.

DAFTAR PUSTAKA

1. ZHOU, E., AND R. L.CRAWFORD, 1995. Effect of oxygen, nitrogen, and temperature on gasoline biodegradation in soil. *Biodegradation* 6: 127-140
2. CHAPELLE, F, 1999. Ground-Water Microbiology and Geochemistry. John Wiley and Sons. New York.
3. MUELLER ,J.G., C. E. CERNIGLIA AND P. H. PRITCHARD, 1996. Bioremediation of Enviroments Contaminated by Polyciclyc Aromatic Hydrocabons. In Crawford, R.L. and D.L. Crawford.[Editor]. *Bioremediations Principles and Applications*. Cambridge University Press. Idaho. pp. 125-128
4. Stanbury, P. F. and A. Whitaker. 1984. *Principles of Fermentation Technology*. Pergamon Press. New York. pp. 31-34.
5. BITTON, G. 1999. *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss. New York. pp. 365- 402
6. SIKKEMA, J., J.A.M. BONT, AND B. POOLMAN, 1995. Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiological Reviews*. 201-222.
7. YU, H., B.J. KIM AND B.E. RITTMANN, 2001. A two-step model for the kinetics of btx degradation and intermediate formation by *Pseudomonas putida* F1. *Biodegradation* 12: 465-475.
8. DIBBLE, J. T. AND R. BARTHA, 1979. Effect of environment parameter on the biodegradation of oil sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 37 : 729-739.

PROTEKSI RADIOLOGIK LINGKUNGAN

Eri Hiswara

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional

ABSTRAK

PROTEKSI RADIOLOGIK LINGKUNGAN. Keselamatan manusia sebagai fokus utama sistem proteksi radiologik saat ini mendapat tantangan dari masyarakat luas yang menginginkan agar lingkungan juga mendapat perhatian yang lebih serius. Untuk ini etika proteksi telah berubah dari antroposentrik menjadi biosentrik dan bahkan ekosentrik. Tantangan ini telah ditanggapi oleh ICRP dengan rancangan publikasi mengenai konsep dan penggunaan organisme hewan dan tanaman acuan. Pendekatan organisme acuan dalam proteksi radiologik lingkungan ini sejalan dengan proteksi radiologik manusia yang sudah mapan yang juga menggunakan pendekatan manusia acuan. Namun demikian, masalah proteksi lingkungan secara keseluruhan hanya dapat diatasi dengan memadukan upaya yang dilakukan oleh semua disiplin ilmu lingkungan yang relevan, baik yang berkaitan dengan radiasi maupun dengan non-radiasi.

Kata kunci: proteksi radiologik, lingkungan

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL PROTECTION. Human safety as the main focus of the current system of radiological protection has been challenged by the general public who request that environment is given more concern. The ethics of protection has also been shifted from anthropocentric toward biocentric and even ecocentric due to this social demand. The ICRP has responded this challenge by circulating a draft of publication on concept and the use of reference animals and plants. The reference organism approach in the radiological protection of environment is analogous to the established radiological protection of human that also use reference man approach. The problems on environmental protection as a whole can only be tackled, however, by integrating the works of all the relevant environmental science disciplines, related to both radiation and non-radiation.

Keywords: radiological protection, environmental

PENDAHULUAN

Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA, *International Atomic Energy Agency*) menggunakan rekomendasi yang disusun Komisi Internasional untuk Proteksi Radiologik (ICRP, *International*

Commission on Radiological Protection) dalam membuat standar proteksi dan keselamatan dalam penerapan radiasi dan nuklir di berbagai bidang untuk tujuan damai. Negara-negara Anggota IAEA selanjutnya menggunakan standar proteksi

dan keselamatan yang dibuat IAEA sebagai dasar dalam menyusun peraturan perundangan tentang proteksi dan keselamatan tersebut di negara masing-masing.

Fokus utama sistem keselamatan radiasi yang disusun ICRP sampai saat ini adalah keselamatan manusia. Meski pun aspek keselamatan lingkungan sedikit diacu pada rekomendasi ICRP, aspek ini tetap dilihat dalam kerangka keselamatan manusia. Hal ini dapat dilihat pada paragraf 16 dari publikasi 60 yang merupakan rekomendasi yang dikeluarkan tahun 1990 yang menyatakan bahwa: *“ICRP yakin bahwa standar pengendalian lingkungan yang diperlukan untuk melindungi manusia sampai pada tingkat yang diinginkan saat ini dijamin tidak berisiko bagi spesies lain. Kadang-kadang anggota individual spesies non-manusia mungkin dalam bahaya, namun tidak sampai membahayakan seluruh spesies atau menimbulkan ketidakseimbangan antara spesies. Pada saat ini, kepedulian Komisi pada lingkungan manusia hanya berkaitan dengan perpindahan radionuklida melalui lingkungan, karena hal ini secara langsung mempengaruhi proteksi radiologik manusia”*¹.

Upaya keselamatan yang hanya memperhatikan kepentingan manusia

dikembangkan berdasar pendekatan etika anthroposentrik. Dalam tahun-tahun terakhir ini tekanan masyarakat mengakibatkan bergesernya penekanan etika moral keselamatan dari anthroposentrik ke biosentrik dan bahkan ekosentrik. Dalam pendekatan biosentrik, posisi moral telah diperluas ke anggota individu spesies selain manusia, sementara dalam pendekatan ekosentrik etika moral makin diperluas ke hampir semua komponen yang ada di lingkungan. Ketiga pendekatan etika dalam upaya keselamatan ini telah dibahas secara luas antara lain oleh IAEA².

Pendekatan biosentrik mendasari lahirnya konsep pembangunan berkelanjutan pada tahun 1987 yang terdapat pada Laporan Bruntland mengenai lingkungan dan pembangunan, yang dinyatakan sebagai “pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya”. Dalam pengertian yang lebih luas, pembangunan berkelanjutan mencakup kesetaraan antara negara, generasi dan penduduk suatu negara dalam hal pertumbuhan ekonomi, proteksi lingkungan dan kesejahteraan sosial.

Namun demikian, pendekatan biosentrik ternyata masih belum memenuhi

etika moral yang diharapkan. Pendekatan ini hanya menggeser pemantauan lingkungan dari manusia ke spesies yang dipilihnya tanpa dasar yang kuat. Karena itu maka pendekatan ekosentrik saat ini menjadi pilihan utama dalam berbagai upaya keselamatan lingkungan, termasuk proteksi radiologik lingkungan.

Dalam makalah ini secara singkat akan dibahas bahwa berbagai isu yang berkaitan dengan proteksi radiologik lingkungan. Pembahasan tentang berbagai isu yang ada memperlihatkan bahwa proteksi radiologik lingkungan ternyata merupakan iptek yang mempunyai dimensi yang luas yang perlu dipahami secara terpadu dan menyeluruh.

MASALAH PROTEKSI LINGKUNGAN

Manusia merupakan bagian dari ekosistem yang ada, terutama di sekitar sumber radiasi yang bersifat antropogenik, sehingga pendekatan antroposentrik dari upaya proteksi radiologik seperti yang dilakukan ICRP pada publikasi 60 merupakan pilihan yang wajar. Namun demikian, beberapa kegiatan manusia modern saat ini menunjukkan bahwa hal yang tidak berbahaya bagi manusia ternyata membawa dampak bagi lingkungan. Sebagai contoh adalah penipisan lapisan ozon sebagai akibat

penggunaan *chlorofluorocarbons* (CFC) oleh manusia yang sebenarnya zat kimia non-racun bagi manusia namun mengakibatkan kerusakan yang sangat besar bagi lingkungan. Contoh lain dari kegiatan yang mungkin dapat merusak lingkungan namun tidak langsung membahayakan manusia adalah pembuangan limbah nuklir ke laut dalam yang mungkin dapat mengakibatkan terjadinya kontaminasi di dasar laut dalam tersebut.

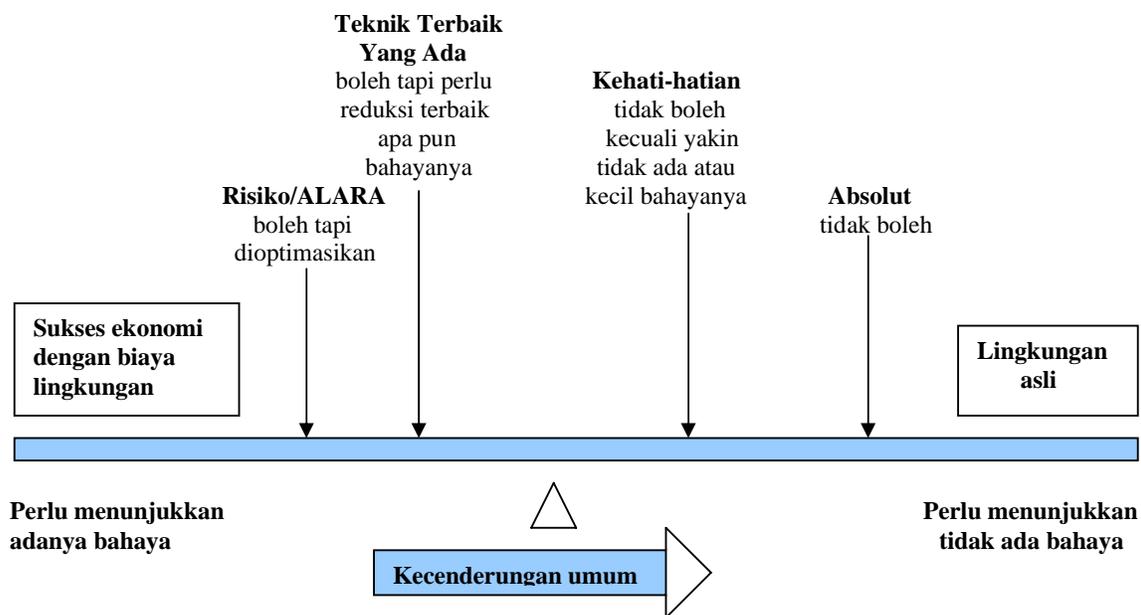
Dari contoh di atas dapat dikatakan bahwa dalam kaitannya dengan proteksi lingkungan, sistem proteksi radiologik saat ini tidak cukup transparan dan tidak cukup komprehensif³. Sistem proteksi radiologik yang ada saat ini tidak cukup transparan karena tidak tampak jelas bagaimana proteksi bagi manusia juga memberikan proteksi bagi komponen lingkungan yang lain, dan tidak cukup komprehensif karena radioaktivitas yang berada di lingkungan akan dikendalikan hanya jika manusia mendapat penyinaran dari radioaktivitas tersebut.

NEA menyatakan bahwa pendekatan kunci dalam proteksi lingkungan adalah bagaimana menyeimbangkan bahaya yang dialami lingkungan (dan juga manusia) dengan manfaat yang diperoleh dari suatu kegiatan.

Bergantung pada titik keseimbangannya, di satu pihak proteksi manusia dan lingkungan dapat memerlukan biaya tertentu, namun di lain pihak bisa saja kegiatannya yang dilarang. Berbagai prinsip telah dikembangkan untuk menentukan tingkat pengendalian terhadap dispersi radioaktivitas ke lingkungan. Gambar 1 memperlihatkan bagaimana kepedulian terhadap lingkungan yang makin bertambah telah berperan dalam penyusunan prinsip ini dan menggeser beban dari untuk menunjukkan adanya bahaya untuk membatasi kegiatan, menjadi

beban untuk menunjukkan tidak adanya bahaya untuk melaksanakan kegiatan⁴.

Namun demikian, perkembangan akhir-akhir ini dalam pembahasan proteksi radiasi lingkungan lebih difokuskan pada aspek bahaya pada biota non-manusia. Hal ini dapat dilihat, misalnya, dari upaya ICRP yang tengah menyusun publikasi mengenai konsep dan penggunaan hewan dan tanaman acuan⁵. Seperti akan diuraikan selanjutnya, data yang berkaitan dengan hewan dan tanaman acuan diperlukan dalam rangka memperkirakan efek yang dialami oleh biota non-manusia ini.



Gambar 1. Keseimbangan dalam proteksi lingkungan.

PROTEKSI BIOTA NON-MANUSIA

Tantangan utama dalam proteksi biota non-manusia adalah bagaimana menentukan tingkat proteksi yang perlu diberikan kepada biota ini. Pandangan yang banyak diterima saat ini adalah bahwa tingkat proteksi yang bersifat holistik, seperti proteksi terhadap ekosistem, lebih disukai dibanding proteksi terhadap individu hewan atau tanaman. Namun demikian, ekosistem merupakan sistem yang non linier dan sangat rumit, sehingga pendekatan yang digunakan untuk proteksi biota non-manusia ini adalah dengan menggunakan hewan dan tanaman acuan.

Upaya proteksi lingkungan dengan pendekatan yang menggunakan organisme acuan ini mirip dengan upaya proteksi manusia yang menggunakan pendekatan manusia acuan. Pendekatan dengan hewan dan tanaman acuan meliputi penggunaan sejumlah hewan dan tanaman tertentu sebagai dasar sistematis untuk menghubungkan pajanan radiasi dengan dosis, dan dosis ke berbagai efek yang mungkin timbul, seperti kematian awal, morbiditas, pengurangan kapasitas reproduksi, atau kerusakan kromosom baik dari efek stokastik maupun deterministik.

Seperti telah disinggung sebelumnya, ICRP saat ini tengah

menyusun rancangan dokumen konsep dan penggunaan hewan dan tanaman acuan. Dalam memilih hewan dan tanaman acuan ini ICRP menggunakan beberapa kriteria, antara lain informasi radiobiologi dari yang dipilih telah tersedia cukup banyak, merupakan wakil tipikal dari ekosistem tertentu, paling mungkin menerima radiasi, efek pada setiap organisme individu akibat pajanan radiasi dapat diidentifikasi, pembuat keputusan dan masyarakat umum telah mengenalnya dalam bahasa sehari-hari. Berdasar kriteria ini, ICRP telah menetapkan sembilan jenis hewan dan tiga jenis tanaman sebagai acuan, yaitu kijang (mewakili mamalia terestrial besar), tikus (mamalia terestrial kecil), bebek (burung akuatik), katak (amfibi), *trout* (ikan air tawar), ikan pari (ikan laut), kumbang (serangga terestrial), kepiting (hewan air berkulit keras) dan cacing tanah (annelid terestrial), pinus (tanaman terestrial besar), rumput liar (tanaman terestrial kecil) dan rumput laut coklat (rumput laut).

Tahap berikutnya sebagai akibat dari ditetapkannya hewan dan tanaman acuan adalah bagaimana menafsirkan dan menggunakan data acuan tersebut dalam kaitannya dengan berbagai hubungan dosis-efek. Untuk kepentingan ini ICRP telah mempertimbangkan penggunaan tingkat pertimbangan turunan (DCL,

derived consideration levels) untuk mengkaji efek yang dialami hewan dan tanaman akibat penerimaan dosis radiasi yang melebihi dosis latar belakang⁵. Contoh nilai DCL untuk suatu mamalia terestrial acuan dapat dilihat pada Tabel 1⁶.

Dalam kaitan dengan laju dosis-efek ini, ICRP menegaskan bahwa DCL bukan dimaksudkan sebagai nilai batas dosis, atau nilai penggantinya, namun hanya sekedar daerah dimana evaluasi yang lebih mendalam perlu dilakukan

terhadap situasi yang terjadi. Laju dosis yang lebih tinggi dari DCL juga bukan berarti pasti akan membahayakan lingkungan, atau yang lebih rendah pasti aman atau tidak berbahaya. DCL dapat digunakan sebagai titik awal dalam setiap keputusan manajemen atau proses pengambilan keputusan lebih lanjut mengenai pembenaran atau optimisasi tindakan selanjutnya yang perlu dilakukan untuk mencegah meluasnya kerusakan lingkungan⁵.

Tabel 1. Tingkat pertimbangan turunan (DCL) untuk suatu organisme acuan.

Tingkat pertimbangan	Laju dosis relatif	Efek yang mungkin terjadi	Aspek kepentingan
Tingkat 5	<x 1000	Kematian awal	Perlu dilakukan tindakan perbaikan
Tingkat 4	<x 100	Berkurangnya kemampuan reproduksi	Tindakan bergantung pada jenis hewan dan tanaman yang terpengaruh
Tingkat 3	<x 10	Sitogenetik teramati	Tindakan bergantung pada ukuran dan sifat daerah yang terpengaruh
Tingkat 2	Latar belakang normal		Mungkin perlu tindakan
Tingkat 1	< latar belakang	Rendah – dapat diabaikan	Tidak perlu tindakan

PEMBAHASAN

Seperti pada sistem proteksi manusia, pendekatan sistematis juga diperlukan untuk dapat melakukan tindakan yang tepat dalam proteksi lingkungan. Hal ini meliputi uraian yang jelas mengenai tentang prinsip dan tujuan proteksi, terminologi (terutama yang berkaitan dengan besaran dan satuan),

model dosis acuan dan data untuk memperkirakan dosis, titik akhir biologi (efek deterministik dan atau stokastik), pedoman tentang penerapan praktis dari sistem, dan juga tata cara pengkajian dan proses revisi sekiranya ada data dan penafsiran baru terhadap data yang mempengaruhi sistem proteksi yang telah berlaku.

Kebutuhan akan hal di atas telah dan tengah dibahas secara luas di kalangan ilmuwan proteksi radiologik, khususnya yang berkecimpung dalam proteksi lingkungan. Pembahasan tidak hanya mencakup aspek teknis proteksi, namun juga masalah etika yang berkaitan dengan pelaksanaan tindakan proteksi lingkungan ini. Seluruh hasil utama dari pembahasan selama ini telah dicoba dirangkum oleh ICRP dalam rancangan publikasi yang berkaitan dengan hewan dan tanaman acuan⁵.

Publikasi yang tengah dirancang ICRP di atas didasarkan pada pendekatan organisme acuan. Pendekatan ini menyelesaikan kerumitan ekosistem dengan memilih wakil organisme tertentu di ekosistem tersebut dan memperhitungkan dosis radiasi yang diterima anggota organisme yang menjadi acuan ini. Efek yang dialami pada tingkat individu dari organisme acuan ini kemudian diekstrapolasikan ke organisasi yang lebih tinggi, yaitu populasi dan ekosistemnya, untuk memahami bagaimana lingkungan secara keseluruhan diproteksi.

Pendekatan organisme acuan ini bersifat pragmatis karena mengurangi kerumitan ekosistem dengan mempertimbangkan organisme yang ada di

dalamnya, dan yang dipilih karena terus ada di ekosistem yang bersangkutan. Karena ini pula maka radiosensitivitas organisme bukan menjadi pertimbangan utama, karena bisa jadi organisme yang memiliki radiosensitivitas tinggi tidak berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem yang berkelanjutan. Pendekatan ini juga memiliki keuntungan karena mirip dengan pendekatan yang digunakan pada sistem proteksi manusia yang juga menggunakan manusia acuan dalam memperkirakan efek radiasi yang diterima.

Namun demikian, pendekatan organisme ternyata juga memiliki beberapa kekurangan⁷. Kekurangan pertama adalah tidak dapat dibuktikannya secara kuat bahwa ekstrapolasi efek individu ke ekosistem bersifat akurat. Selain itu juga tidak jelas apakah kurva dosis-respons mewakili tahap yang paling sensitif dari siklus hidup biota. Kekurangan lain adalah ketidakpastian apakah organisme acuan yang dipilih telah cukup memenuhi sebagai indikator status lingkungan dan, yang paling utama, pendekatan ini tidak mengusulkan titik akhir untuk penilaian mengenai tindakan proteksi lingkungan secara umum, karena fokus titik akhirnya adalah individu hewan dan tanaman.

Adanya kekurangan dari pendekatan organisme acuan ini

memunculkan pemikiran untuk memecahkan isu proteksi lingkungan secara lebih umum, atau holistik. Konsep yang berkembang saat ini, yang dikenal sebagai pendekatan kesehatan ekosistem, diawali dengan mengidentifikasi titik akhir ekosistem⁷. Rancangan eksperimental yang dapat mempelajari proses ekosistem, seperti mikroskos, mesokoskos, dan studi kasus jangka panjang dapat digunakan untuk membantu dalam identifikasi titik akhir ekosistem tersebut, menjelaskan pentingnya penanda biologik (*biological markers*) dan juga mengidentifikasi spesies yang dapat digunakan sebagai wakil yang tepat dalam mengetahui bahaya radiologik yang dialami oleh ekosistem yang bersangkutan.

Untuk dapat melakukan proteksi lingkungan secara lebih komprehensif, penekan (*stressor*) lingkungan yang lain, terutama bahan kimia, juga harus dipahami. Berbagai penekan lingkungan bisa bersifat sinergistik, namun juga bisa bersifat antagonistik. Dengan demikian, efek kombinasi dari berbagai penekan lingkungan ini perlu dipelajari dengan baik.

Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah kenyataan bahwa sampai saat ini berbagai iptek yang berkaitan dengan proteksi lingkungan, seperti, radioekologi, toksikologi

lingkungan, dan ekotoksikologi, ternyata berjalan sendiri-sendiri. Iptek radiasi dan iptek non-radiasi di banyak negara, termasuk Indonesia, sampai saat ini masih merupakan dua kelompok yang pengembangannya terpisah satu sama lain. Koordinasi riset lingkungan antara berbagai disiplin ilmu ini, dengan demikian, merupakan suatu keharusan agar upaya proteksi lingkungan dapat dilakukan secara lebih terpadu dan menyeluruh.

KESIMPULAN

Proteksi radiologik lingkungan merupakan iptek yang saat ini tengah dikembangkan secara luas oleh para ilmuwan proteksi radiologik di dunia. Pengembangan ini dilakukan lebih disebabkan oleh desakan sosial dari masyarakat umum yang menginginkan dilakukannya proteksi lingkungan secara lebih khusus dan menyeluruh, dan bukan karena hasil riset terhadap ekosistem itu sendiri. Dengan menerapkan sistem proteksi yang ada, sampai saat ini tidak dijumpai indikasi adanya efek berbahaya dari radiasi terhadap kesehatan ekosistem.

ICRP saat ini tengah mengembangkan konsep proteksi radiologik lingkungan yang didasarkan pada pendekatan organisme acuan, karena konsep ini sejalan dengan konsep proteksi

radiologik manusia yang sudah mapan dan bekerja dengan baik yang juga menggunakan pendekatan manusia acuan. Namun demikian, upaya proteksi lingkungan secara menyeluruh hanya dapat terjadi jika semua iptek proteksi lingkungan, radiasi dan non-radiasi, dapat bekerjasama secara lebih harmonis dan terpadu.

Issues and Emerging Challenges for Radiation Protection. NEA No. 6167. ISBN 978-92-64-99032-6. OECD, Paris (2007) 87-96.

DAFTAR PUSTAKA

1. ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 90. *Annals of the ICRP* Vol.21 No.1-3. Pergamon Press, Oxford (1991).
2. IAEA. Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation. *IAEA-TECDOC-1270*. IAEA, Vienna (2002).
3. BROWNLESS, G.P. Issues around radiological protection of the environment and its integration with protection of humans: promoting debate on the way forward. *J.Radiol.Prot.* 27 (2007) 391-404.
4. BROWNLESS, G.. Radiological protection and the environment. *NEA News* Vol.25 No. 1 (2007) 7-9.
5. ICRP. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Draft 4a (December 2007).
6. OECD/NEA. Radiological Protection of the Environment: Summary Report of the Issues. ISBN 92-64-18497-X. OECD, Paris (2003).
7. OECD/NEA. Radiological protection of the environment: Challenges to the current paradigm, dalam *Scientific*

STUDI KONSENTRASI MASSA PM_{2,5}, PM₁₀, DAN GAS PADA KONDISI UDARA AMBIEN DI KAWASAN GIST, GWANGJU, KOREA SELATAN

Gatot Suhariyono*, Young Joon Kim**, Jin Sang Jung**

* Laboratorium Aerosol, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR)- BATAN,
Jl. Lebak Bulus Raya, Ps. Jumat, Jakarta Selatan, Indonesia 12440

** Department of Environmental Science and Engineering, Gwangju Institute of Science and
Technology (GIST), Gwangju 500-712, Korea Selatan

ABSTRAK

STUDI KONSENTRASI MASSA PM_{2,5}, PM₁₀, DAN GAS PADA KONDISI UDARA AMBIEN DI KAWASAN GIST, GWANGJU, KOREA SELATAN. Data konsentrasi partikel udara (PM_{2,5} dan PM₁₀) dan gas di kawasan GIST (*Gwangju Institute of Science and Technology*), Gwangju, Korea Selatan, berguna untuk mengetahui kualitas udara, terutama untuk kondisi ambien, karena GIST merupakan daerah perkotaan. Tujuan dari studi ini adalah meneliti konsentrasi massa dari partikel halus (PM_{2,5}) dan PM₁₀ serta dari jenis gas ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan Karbon monoksida (CO)) di daerah GIST, Gwangju, Korea Selatan pada tanggal 24 September sampai 7 Oktober 2007. Pengukuran konsentrasi PM_{2,5} dan PM₁₀ dilakukan masing-masing dengan menggunakan alat PM_{2,5} *particulate sampler* dan *Beta Gauge monitor*. Sedangkan gas O₃, SO₂, NO₂, dan CO diukur masing-masing dengan menggunakan yaitu *Chemiluminescence*, *Gas-phase Chemiluminescence*, *Spectrophotometry* dan *Non dispersive Infrared Photometry*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi rerata PM_{2,5} $39,838 \pm 17,265 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM₁₀ $43,274 \pm 19,581 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada malam hari (dari 21.00 sampai 9.00) lebih tinggi daripada konsentrasi PM_{2,5} $35,557 \pm 8,920 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM₁₀ $34,018 \pm 15,676 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada siang hari (dari 9.00 sampai 21.00). Konsentrasi rerata NO₂, CO, and SO₂ pada siang hari hampir berdekatan dengan konsentrasi pada malam hari. Konsentrasi rerata masing-masing PM₁₀, O₃, SO₂, NO₂ dan CO lebih rendah, dan konsentrasi rerata PM_{2,5} sedikit lebih tinggi daripada batasan konsentrasi yang direkomendasikan oleh NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*), USA.

Kata Kunci : PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, SO₂, NO₂, CO, Gwangju, Korea Selatan

ABSTRACT

STUDY ON MASS CONCENTRATION OF PM_{2,5}, PM₁₀, AND GAS ON AIR AMBIENT CONDITION IN GIST AREA, GWANGJU, SOUTH KOREA. Data on concentrations of airborne particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), and gaseous in GIST (*Gwangju Institute of Science and Technology*) area, Gwangju, South Korea, are useful to know air quality, particularly for urban areas under stagnant conditions, especially on the daytime and on the nighttime. The objective of this study was to investigate mass concentration of fine particles (PM_{2,5}) and of PM₁₀ as well as gaseous species (ozon (O₃), Sulfur dioxide (SO₂), Nitrogen dioxide (NO₂), and Carbon monoxide (CO)) in the GIST area, Gwangju, South Korea on September 24 to Oktober 7, 2007. Concentration measurements of PM_{2,5} and PM₁₀ were conducted by using instrument of PM_{2,5} *particulate sampler* and *Beta Gauge monitor* respectively. While gas O₃, SO₂, NO₂, and CO were measured by using *Chemiluminescence*, *Gas-Phase Chemiluminescence*, *Spectrophotometry* and *Non dispersive Infrared Photometry* respectively. The average concentrations of PM_{2,5} ($39.838 \pm 17.265 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and PM₁₀ ($43.274 \pm 19.581 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were on the night (from 9.00 pm to 9.00 am) higher than the ones of PM_{2,5} ($35.557 \pm 8.920 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and of PM₁₀ ($34.018 \pm 15.676 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on the day (from 9.00 am to 9.00 pm). The average concentrations of NO₂, CO, and SO₂ on the daytime were almost closed to the ones on the nighttime. The average concentrations of PM₁₀, O₃, SO₂, NO₂ and CO were lower and the average PM_{2,5} concentrations were a little higher than the NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*), USA respectively.

Keywords: PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, SO₂, NO₂, CO, Gwangju, South Korea

PENDAHULUAN

Particulate Matter (PM) dikenal sebagai partikel pembuat polusi atau merupakan campuran kompleks dari partikel yang luar biasa kecil dengan tetesan cairan yang ditemukan di udara. Beberapa partikel seperti debu, kotoran, jelaga, atau asap cukup sulit untuk bisa dilihat dengan mata biasa. Di samping sangat kecil, partikel tersebut hanya dapat dideteksi dengan menggunakan mikroskop elektron. Partikel pembentuk polusi terdiri dari sejumlah komponen termasuk asam (seperti nitrat dan sulfat), bahan kimia organik, logam, dan partikel debu atau tanah¹.

Ukuran partikel secara langsung berhubungan dengan potensinya sebagai penyebab permasalahan kesehatan. Badan Perlindungan Lingkungan (*Environmental Protection Agency*, EPA), USA, memperhatikan partikel yang berdiameter 10 μm atau lebih kecil dari 10 μm (PM_{10}), sebab partikel tersebut biasanya dapat menerobos masuk ke hidung, tenggorokan dan paru. Ketika terhirup, partikel ini dapat mempengaruhi fungsi organ paru dan jantung, serta penyebab efek kesehatan yang serius. EPA menggolongkan partikel polutan ke dalam dua kategori :

1. Partikel kasar yang dapat terhirup (*inhalable*), berdiameter lebih besar dari

2,5 μm dan lebih kecil dari 10 μm , seperti yang ditemukan di dekat jalan-jalan yang dilalui kendaraan atau di industri berdebu.

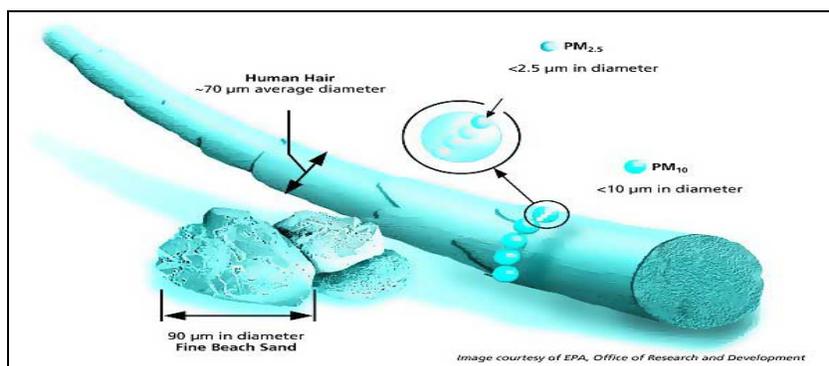
2. Partikel halus, berdiameter 2,5 μm atau lebih kecil dari 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), seperti yang ditemukan di dalam kabut tipis dan asap rokok. Partikel ini dapat secara langsung berasal dari sumbernya, seperti kebakaran hutan atau dapat juga terbentuk adanya emisi gas di udara dari pembangkit tenaga listrik, mobil dan industri-industri.

Data konsentrasi partikel udara ($\text{PM}_{2,5}$ dan PM_{10}) dan konsentrasi gas di daerah GIST (*Gwangju Institute of Science and Technology*), Gwangju, Korea Selatan, berguna untuk mengetahui kualitas udara terutama untuk daerah perkotaan, seperti kota Gwangju pada kondisi atmosfer ambien, khususnya pada siang dan malam hari. Tujuan dari studi ini adalah meneliti konsentrasi massa partikel halus ($\text{PM}_{2,5}$) dan PM_{10} serta gas (ozon (O_3), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), dan karbon monoksida (CO)) di daerah GIST, Gwangju, Korea Selatan pada tanggal 24 September sampai 7 Oktober 2007.

TEORI

Ukuran partikel berdiameter $2,5 \mu\text{m}$ sangat kecil. Sebagai perbandingan sehelai rambut manusia rerata berdiameter sekitar $70 \mu\text{m}$, ukuran ini 30 kali lebih besar daripada ukuran partikel halus terbesar ($2,5 \mu\text{m}$) (Gambar 1.). Partikel ini mempunyai ukuran dan bentuk yang bervariasi, dan dapat terbentuk dari banyak senyawa kimia yang berbeda. Beberapa partikel dikenal sebagai partikel primer berasal dari beberapa sumber, seperti dari konstruksi bangunan, jalan tak beraspal, lapangan

berdebu, cerobong asap, api atau dari lainnya. Partikel dapat juga terbentuk dari reaksi kimia yang rumit di atmosfer, seperti sulfur oksida (SO_x) dan nitrogen oksida (NO_x) yang berasal dari pembangkit energi listrik, industri dan kendaraan. Partikel seperti ini dikenal sebagai partikel sekunder yang terbentuk dari banyak partikel halus yang menyebabkan polusi di suatu negara tertentu¹.



Gambar 1. Perbandingan ukuran $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , rambut manusia dan pasir pantai¹.

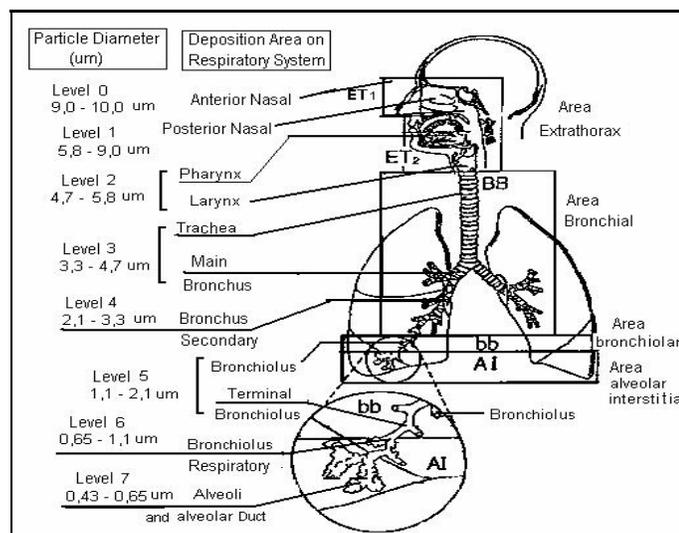
Partikel yang berdiameter lebih kecil dari $2,5 \mu\text{m}$ menjadi masalah besar, karena dapat masuk ke dalam paru manusia dan bahkan juga ke dalam aliran darah, sehingga dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius. Deposisi partikel aerosol berdasarkan diameternya dalam sistem pernapasan dapat diketahui di Gambar 2². Partikel halus ($\text{PM}_{2,5}$) sebagai penyebab utama pengurangan visibilitas atau jarak pandang (contoh : kabut). Banyak peneliti mempelajari mata rantai

pajanan polusi partikel terhadap berbagai macam masalah, termasuk peningkatan gejala pernapasan, seperti iritasi pada saluran pernapasan, batuk, atau sukar bernafas, akibat dari berkurangnya fungsi paru; adanya peningkatan penyakit asma, bertambah kronisnya penyakit bronkitis; denyut jantung tidak beraturan; serangan jantung non fatal, dan kematian prematur yang terjadi pada orang-orang yang mempunyai penyakit paru atau jantung. Anak-anak dan orang-orang yang berusia

lanjut paling mudah terpengaruhi pajanan polusi partikel halus.¹

Dalam rangka kegiatan udara bersih yang dikembangkan pada akhir 1990, EPA menetapkan Standar Mutu Nasional berkenaan dengan kualitas lingkungan udara ambien (*National Ambient Air Quality Standards, NAAQS*), untuk polutan yang tersebar luas dari banyak sumber yang berbeda-beda dan juga dipertimbangkan berbahaya bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan. Tindakan udara yang bersih ditetapkan ada dua jenis standar mutu udara nasional. Standard utama digunakan untuk menetapkan batas perlindungan bagi kesehatan masyarakat, mencakup kesehatan populasi yang sensitif, seperti penderita asma, anak-anak, dan orang dewasa yang sudah tua. Standard sekunder digunakan untuk menetapkan batas

perlindungan bagi kesejahteraan publik, mencakup perlindungan terhadap jarak penglihatan yang merusak mata atau melemahkan pandangan mata, terhadap kerusakan pada binatang, tanaman panen, tumbuh-tumbuhan, dan bangunan. EPA meninjau kembali standar mutu lingkungan udara untuk partikel pembuat polusi pada 2006. Standard tersebut memberlakukan standar partikel halus (PM_{2,5}) 24 jam dari standar yang sekarang tingkat 65 µg/m³ menjadi 35 µg/m³, dan mempertahankan standard partikel halus tahunan yang sekarang tetap pada 15 µg/m³. EPA memutuskan untuk mempertahankan standard PM₁₀ 24 jam yang ada 150 µg/m³ dan mencabut standar PM₁₀ tahunan, sebab bukti yang ada tidak menyarankan suatu hubungan antara pajanan jangka panjang ke PM₁₀ dan permasalahan kesehatan.¹



Gambar 2. Deposisi partikel aerosol dalam sistem pernapasan².

Partikel udara (PM) adalah salah satu penanda kualitas / mutu udara yang penting dan berhubungan dengan kesehatan, terutama di wilayah perkotaan, berkenaan dengan banyaknya penyakit pernapasan yang kronis diperkotaan. Ada banyak bukti epidemiologi yang menghubungkan partikulat udara di tingkat polusi dengan pengaruh kesehatan manusia^{3, 4}. Partikel halus ($PM_{2,5}$) dan komponennya, seperti halnya gas Sulfur dioksida (SO_2), Nitrogen oksida (NO_x) dan amoniak (NH_3) juga menyebabkan angka kematian meningkat dan mempengaruhi efek kesehatan manusia⁵. Gas SO_2 , NO_x dan NH_3 adalah komponen yang umum dari partikel sekunder di atmosfer, yang dibentuk di dalam atmosfer akibat dari suatu emisi. Di wilayah perkotaan besar, hampir separuh emisi NO_x adalah disebabkan oleh asap kendaraan mobil. Sedangkan gas SO_2 sebagian besar berasal dari emisi suatu industri, terutama emisi yang mengandung belerang, seperti industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya⁶.

TATA KERJA

1. Pengukuran $PM_{2,5}$

Pengambilan sampel udara dilakukan pada tanggal 24 September sampai 7 Oktober 2007 di lantai 3, Gedung Samsung, GIST, Gwangju, Korea Selatan dengan

posisi GPS (*Global Positioning System*) yaitu 35,10 N, 126,53 E (Gambar 3). Kota Gwangju, merupakan lima kota terbesar di Republik Korea dan berlokasi 330 km di selatan kota Seoul. Populasi penduduk kota Gwangju sekitar 1,4 juta yang menempati luas 501,4 km² dan mempunyai 0,3 juta kendaraan bermotor⁷. Sampling aerosol dilakukan di dalam ruang laboratorium mobil, lantai 3, GIST. Lokasi sampling berlokasi di utara pinggiran kota Gwangju dan dikelilingi oleh daerah pedesaan dari utara sampai sebelah timur lokasi sampling. Beberapa kilometer sebelah Barat Daya dari lokasi sampling juga terdapat daerah kompleks perindustrian Hanam.

Pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ dilakukan dengan menggunakan alat $PM_{2,5}$ *particulate sampler* dengan volume medium dan termasuk di dalamnya ada sistem $PM_{2,5}$ *cyclone inlet* (Gambar 4.). Pengukuran tersebut dilakukan selama 12 jam setiap sampel dan filter sampel diganti dua kali sehari, yaitu setiap jam 9.00 dan jam 21.00. Alat *cyclone* mempunyai pintu masuk partikel udara dengan ukuran selektif yang menyebabkan partikel udara bergerak melingkar. Gerak melingkar ini memisahkan partikel kasar dan partikel halus. Alat *cyclone* ini dilapisi teflon untuk memperkecil hilangnya gas reaktif (seperti.

asam HNO₃ dan basa NH₃) ke permukaan internal cyclone⁸

Di dalam *Cyclone* PM_{2,5} ini terintegrasi dengan kemasan filter Teflon 47 mm di dekat tempat saluran keluar. Filter teflon dengan berdiameter 47 mm dan berukuran pori-pori 2,0 µm ditempatkan di kemasan filter (Gambar 5.). Alat PM_{2,5} *particulate sampler* dioperasikan dengan laju alir 16,7 lpm. Laju alir dikalibrasi dengan alat dry gas meter, sekaligus dapat digunakan untuk mengetahui volume aerosol (liter). Setelah sampling, filter diletakkan di petridis, kemudian dibungkus dengan teflon tape dan kertas aluminum foil, dan disimpan di dalam suatu lemari es. Semua sampel didinginkan setelah sampling untuk memperkecil kehilangan berat sampel akibat volatilisasi dan penguapan selama transportasi.

Fraksi massa dari partikel halus diukur dengan menggunakan metode gravimetri memakai timbangan mikro elektronik yang kepekaannya 1 µg. Konsentrasi PM_{2,5} (C) dihitung dengan membagi perbedaan massa partikel sesudah dan sebelum sampling dengan volume sampling, atau dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{m_t - m_0}{t \cdot F} \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Keterangan :

m_t = massa filter sesudah sampling (µg)

m₀ = massa filter sebelum sampling (µg)

t = waktu sampling (menit)

F adalah laju alir pencuplikan (m³/menit).

2. Pengukuran PM₁₀ dan Gas

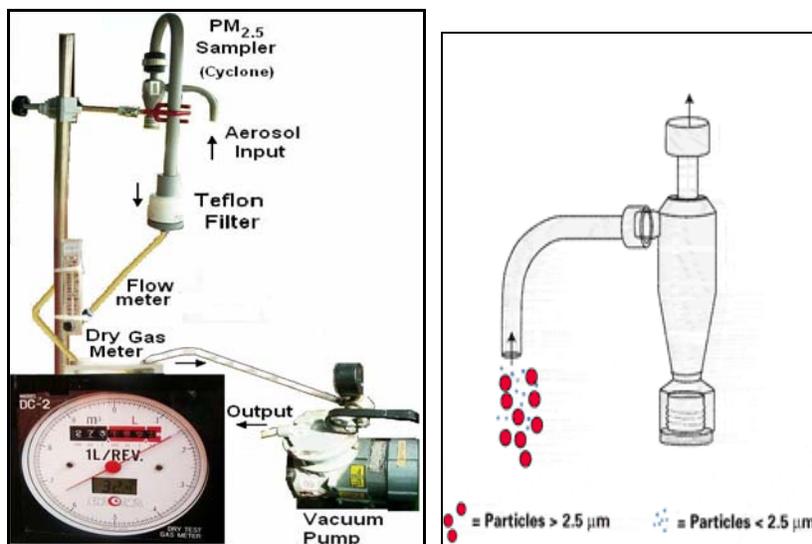
Pengukuran konsentrasi PM₁₀ diperoleh langsung real time dengan menggunakan alat *Beta Gauge monitor* yang berada pada jarak 1 km dari tempat sampling PM_{2,5} di sebelah timur GIST. Gas ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan karbon monoksida (CO) diukur masing-masing dengan menggunakan alat yang berbeda-beda yaitu *Chemiluminescence*, *Gas-phase Chemiluminescence*, *Spectrophotometry* dan *Non dispersive Infrared Photometry*. Beberapa data meteorological di wilayah Gwangju, seperti temperatur, tekanan, kecepatan angin, arah angin, and kelembaban, diperoleh dari internet *Korean Meteorological Administration* (KMA) dengan website www.kma.go.kr⁹. Di samping itu analisa perjalanan udara secara mundur dari mulai saat sampling sampai hari ke belakang yang dikehendaki dapat ditelusuri, untuk menentukan kemungkinan transport massa udara di atmosfer dari negara lain. Perjalanan udara dihitung menggunakan program HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Inte-*

grated Trajectory) yang dikembangkan oleh NOAA / ARL (*National Oceanic and Air administration / Air resources Laboratory, USA*) dengan website www.arl.noaa.gov/ready⁹. Program ter-

sebut menggunakan perhitungan data perjalanan dari *Global Data Assimilation System (GDAS)* yang dihitung pada ketinggian 2000 m dan 5000 m di atas permukaan laut.



Gambar 3. Lokasi sampling.



Gambar 4. Alat sampling dan skema alat cyclone PM_{2,5}



Gambar 5. Filter teflon berdiameter 47 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

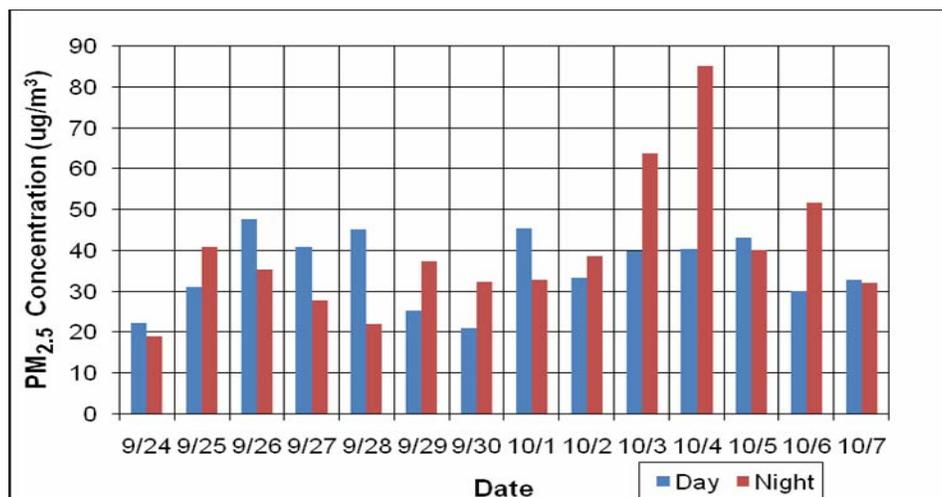
Hasil pengukuran konsentrasi PM_{2,5} dan PM₁₀ di wilayah GIST ditampilkan di Gambar 6 dan Gambar 7. Konsentrasi PM_{2,5} dan standar deviasi reratanya adalah $39,838 \pm 17,265 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada malam hari (dari jam 21.00 sampai 9.00) lebih tinggi $35,557 \pm 8,920 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada siang hari (dari

jam 9.00 sampai 21.00). Konsentrasi PM_{2,5} maksimum dan minimum masing-masing adalah $85,173$ and $18,796 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada malam hari, dan pada siang hari masing-masing $47,747$ and $21,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Masalah ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Haobo Wang dan David Shooter, bahwa konsentrasi partikel halus

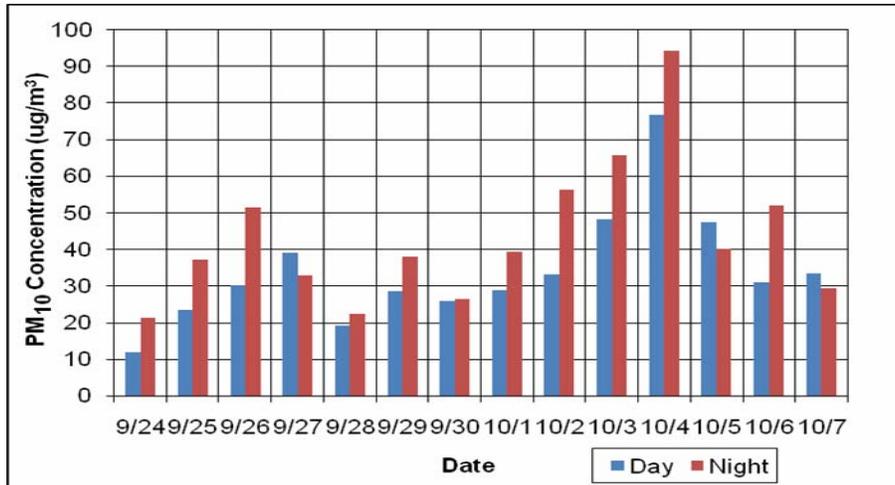
pada malam hari lebih tinggi daripada konsentrasi pada siang hari di Christchurch, Selandia Baru¹⁰. Konsentrasi tertinggi PM_{2,5} adalah 85,173 µg/m³ pada malam hari, tanggal 4 Oktober, jam 21.00 sampai 5 Oktober 2007, jam 9.00. Masalah ini kemungkinan karena pada saat sampling sedang berlangsung pembangunan gedung di sebelah tenggara lokasi sampling dan ada lahan kosong yang berdebu di sebelah timur lokasi sampling, sehingga partikel halus dapat terabsorpsi di filter sampling. Hal ini terbukti jarak pandang (visibilitas) rendah pada 5 Oktober 2007, dari jam 3.00 sampai 7.00 hanya 2,5 sampai 4 km (Gambar 8.).

Pada umumnya didefinisikan adanya kabut di Korea, jika jangkauan visibilitas lebih kecil daripada 5 km, berarti visibilitas di daerah itu jelek⁹. Peningkatan

polutan partikel halus (PM_{2,5}) dan gas asam dihubungkan dengan peningkatan laju munculnya efek kesehatan manusia yang kurang baik dan adanya peningkatan kekaburan visibilitas. Kondisi cuaca rerata pada 4 Oktober, jam 21.00 sampai 5 Oktober, 9.00 adalah berkabut, temperatur (18,18 °C), kelembaban (90,75 %), kecepatan angin (0,9 m/s = 3,24 km/h), arah angin (45° / Timur Laut) (Gambar 8.). Pada kondisi kabut, konsentrasi PM_{2,5} lebih rendah daripada normalnya, seperti juga terjadi di kota-kota, negara lain yaitu Athena, Yunani (80.7 µg/m³ (1990), kota Meksiko, Meksiko (94.4 µg/m³ (1992)), Beijing, China (127 µg/m³ (2001)), Seoul, Korea Selatan (131 µg/m³ (2001), 50.3 µg/m³ (1996), 75 µg/m³ (semi), 95 µg/m³ (panas), 90 µg/m³ (gugur), 85 µg/m³ (dingin, 2003-2004))^{9, 11}.



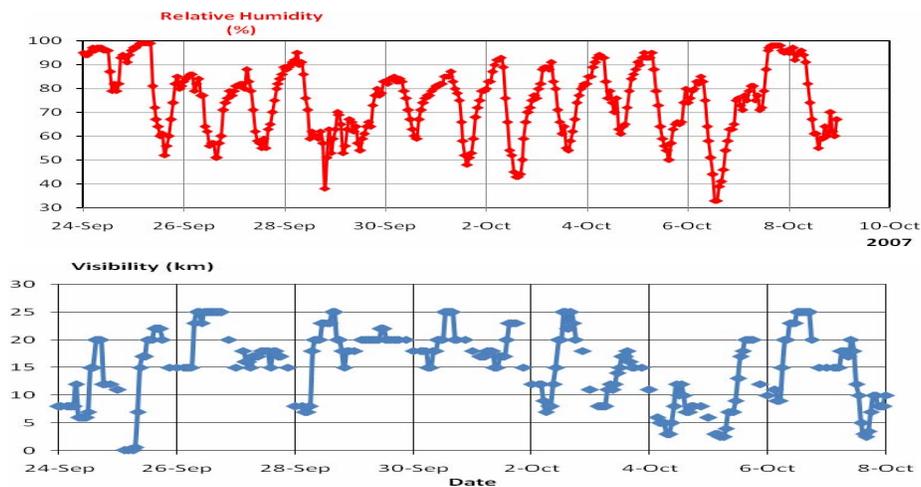
Gambar 6. Hasil pengukuran konsentrasi PM_{2,5} di wilayah GIST.

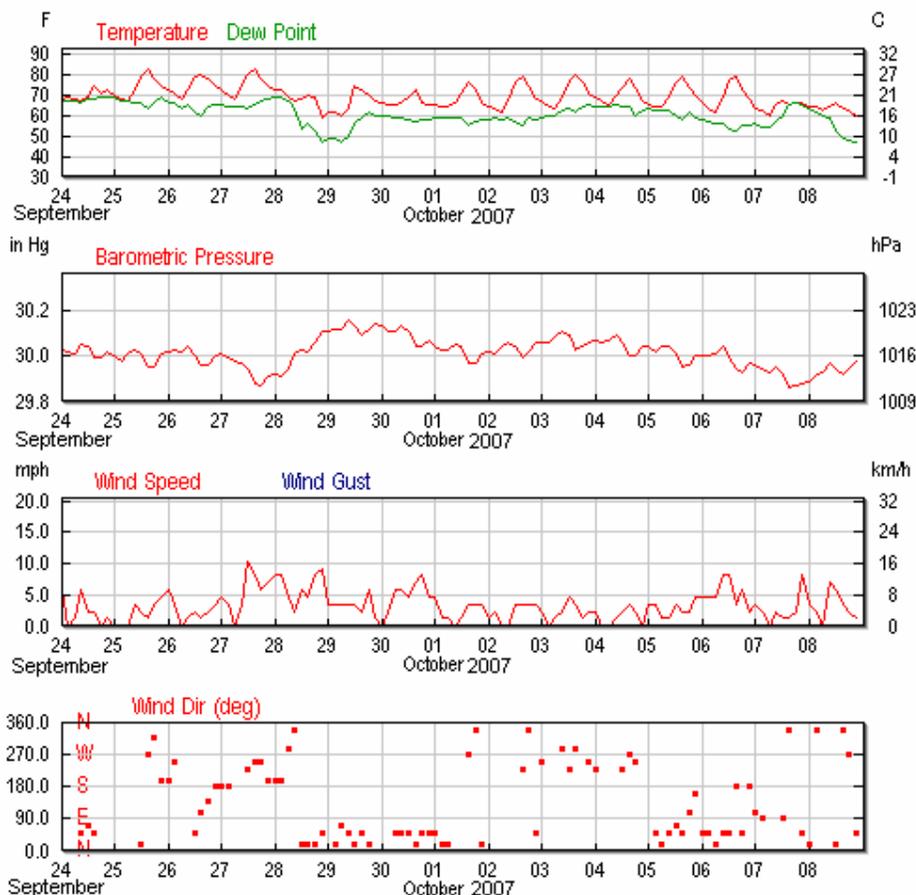


Gambar 7. Hasil pengukuran konsentrasi PM₁₀ di wilayah GIST.

Konsentrasi tertinggi PM₁₀ pada 4 Oktober, 21.00 sampai 5 Oktober, 9.00 bisa disebabkan oleh debu Asia yakni debu yang berasal dari debu negara lain di benua Asia. Menurut KMA, Korea, hasil pengukuran debu Asia pada tanggal tersebut terutama konsentrasi PM₁₀

ternyata tertinggi juga, bahkan konsentrasi PM₁₀ tinggi juga pada siang hari dan malam hari (Gambar 9). Perjalanan debu udara Asia secara mundur selama sampling di lokasi sampling GIST, Gwangju (35.10 °N, 126.53 °E) ditunjukkan pada Gambar 10.





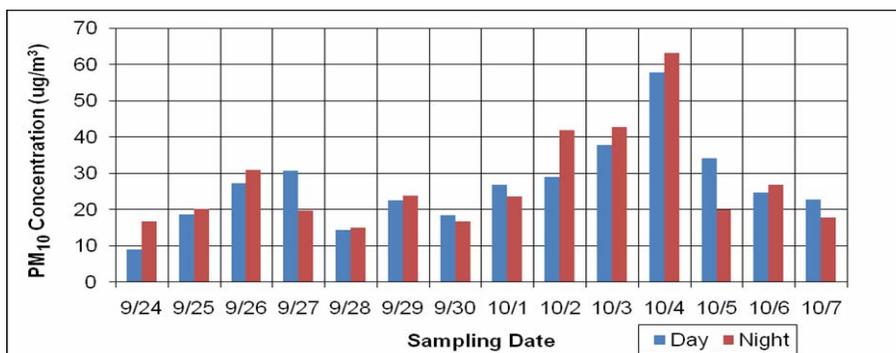
Gambar 8. Kondisi cuaca di Gwangju dari 24 September sampai 8 Oktober 2007.

Perjalanan massa udara pada 24 September sampai 30 September 2007 berasal dari daerah padang pasir Mongolia dan China (bagian utara) melewati bagian Timur Laut, yang merupakan daerah sangat berpolusi dan daerah pertanian, terutama akibat adanya kebakaran hasil-hasil pertanian di wilayah ini selama musim gugur⁹. Perjalanan massa udara tersebut berasal dari China bagian selatan yang termasuk daerah utama industri¹¹. Perjalanan massa udara pada 1 Oktober sampai 7 Oktober 2007 berasal dari Korea

Selatan bagian Utara yang merupakan daerah industri dan pertanian, juga berasal dari Mongolia yang merupakan daerah pertanian. Oleh karena itu konsentrasi PM_{10} pada 4 Oktober 2007 baik siang maupun malam hari keyataannya tertinggi selama sampling, karena konsentrasi massa udara dari Korea Utara dan Mongolia tertinggi pada saat itu. Hasil-hasil pengukuran konsentrasi PM_{10} dengan alat *Beta Gauge monitor* di sebelah Timur GIST sebanding dengan pengukuran konsentrasi debu Asia dari PM_{10} yang

dilakukan KMA. Konsentrasi PM_{10} rerata dan standar deviasinya pada siang dan malam hari masing-masing adalah 34,018

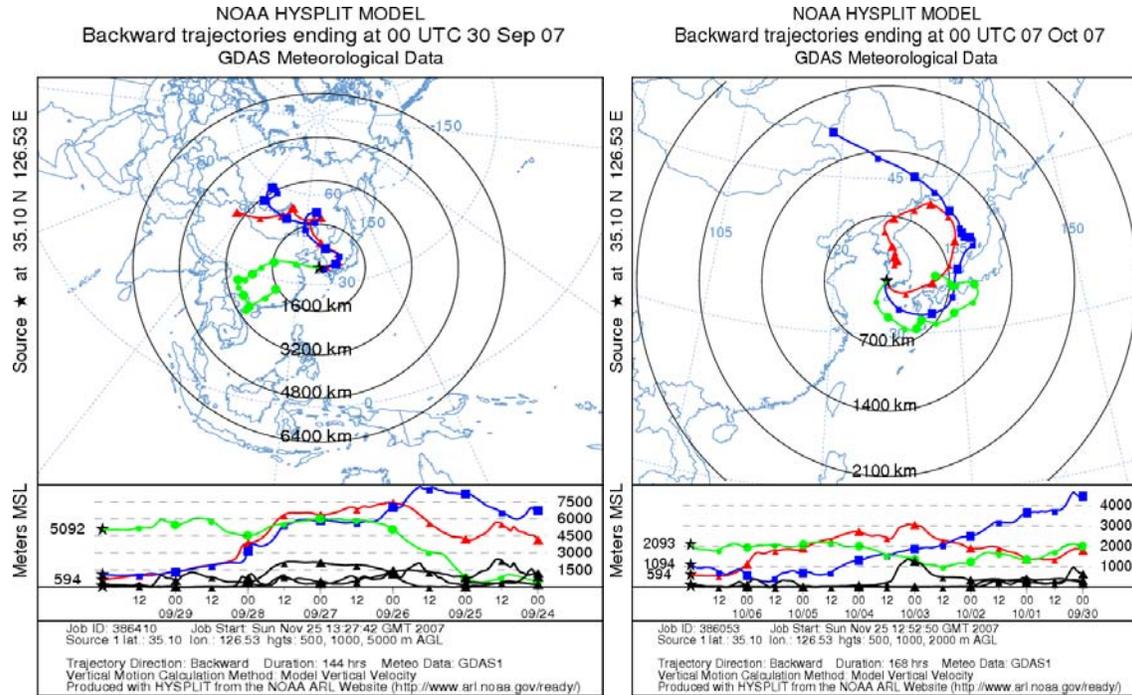
$\pm 15,676 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $43,274 \pm 19,581 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 9. Hasil pengukuran debu Asia pada konsentrasi PM_{10} di wilayah GIST oleh KMA.

Hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ rerata sedikit lebih tinggi daripada standar yang ditetapkan NAAQS, USA sebesar $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24 jam, sedangkan konsentrasi PM_{10} rerata jauh lebih rendah daripada standar PM_{10} yang ditetapkan NAAQS,

USA sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24 jam. Beberapa konsentrasi $PM_{2,5}$ lebih tinggi daripada beberapa konsentrasi PM_{10} . Masalah ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan peralatan, metode dan tempat sampling.

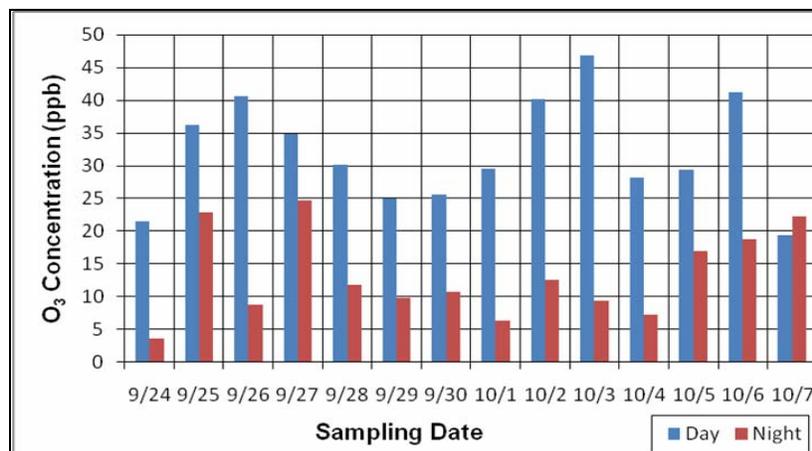


Gambar 10. Kajian perjalanan massa udara pada 24-30 September dan 1-7 Oktober 2007.

Hasil pengukuran ozon (O_3) dengan alat *Chemiluminescence* ditunjukkan di Gambar 11. Konsentrasi rerata ozon (O_3) pada siang hari lebih tinggi daripada konsentrasi pada malam hari. Pada umumnya, konsentrasi ozon tinggi disebabkan temperatur tinggi selama periode pembakaran biomass dari pertanian⁷. Konsentrasi rerata O_3 dan standar deviasi pada siang hari dan malam hari masing-masing adalah $32,064 \pm 8,119$ ppb dan $13,280 \pm 6,672$ ppb. Hasil-hasil pengukuran konsentrasi rerata O_3 diperoleh dari alat Beta Gauge monitor lebih rendah daripada standar NAAQS, USA 0.08 ppm (80 ppb). per 8 jam. Konsentrasi O_3 pada siang hari rendah dan pada malam hari tinggi (7 Oktober 2007), karena pada sang

hari tanggal tersebut terjadi hujan besar dan pada malam harinya terjadi hujan ringan. Kondisi cuaca rerata pada 7 Oktober 2007 siang hari : temperatur 18,5 °C, kelembaban 98 %, kecepatan angin 2,2 m/s = 7,92 km/h, arah angin 0° / Utara dan visibilitas 2,5 km, sedangkan pada 7 Oktober 2007 malam hari : temperatur 18,9 °C, kelembaban 92 %, kecepatan angin 3,7 m/s = 13,32 km/h, arah angin 0° / Utara dan visibilitas 17 km.

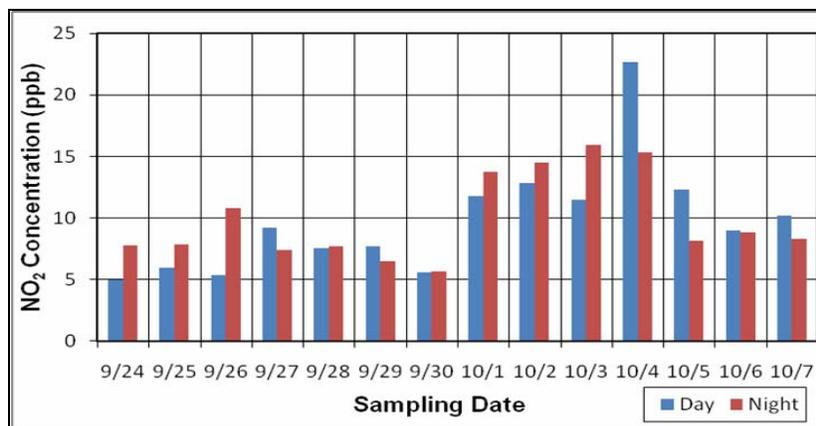
Hasil pengukuran konsentrasi nitrogen dioxide (NO_2) dengan alat *Gas-phase Chemiluminescence* ditampilkan pada Gambar 12. Konsentrasi rerata NO_2 pada siang hari hampir sama dengan konsentrasi pada malam harinya.



Gambar 11. Hasil pengukuran konsentrasi O₃ di wilayah GIST.

Konsentrasi NO₂ rerata dan standar deviasinya pada siang hari dan malam hari masing-masing adalah $9,762 \pm 4,588$ ppb dan $9,893 \pm 3,494$ ppb. Hasil pengukuran konsentrasi NO₂ rerata adalah lebih rendah daripada standar NO₂ tahunan yang ditetapkan NAAQS, USA yaitu 53 ppb. Konsentrasi NO₂ tertinggi yaitu 22,667 ppb pada siang hari (4 Oktober), and 15,917 ppb pada malam hari (3 Oktober 2007). Sebagian besar emisi NO₂ berasal dari asap kendaraan bermotor dan bahan bakar, disamping itu NO₂ merupakan polutan primer⁶. Kondisi cuaca rerata pada

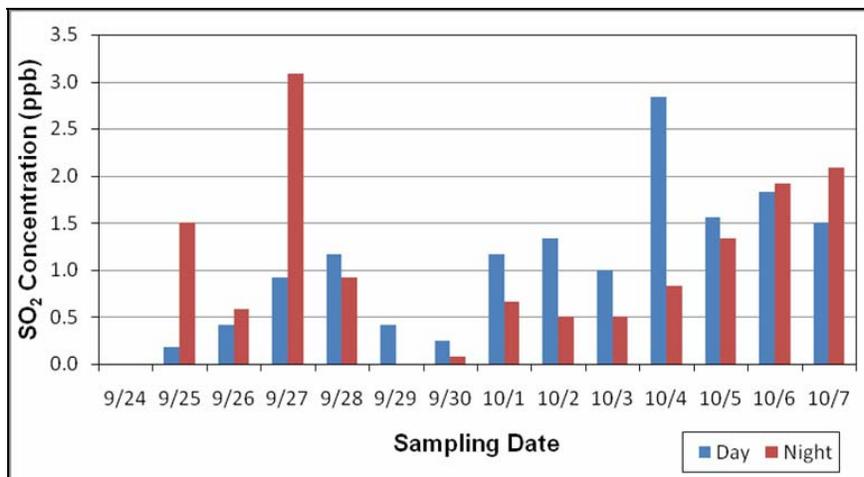
tanggal 4 Oktober 2007, siang hari : temperatur 25,1 °C, kelembaban 64 %, kecepatan angin 1,5 m/s = 5,4 km/h, arah angin 225° / Barat Daya dan visibilitas 7 km. NO₂ diketahui sebagai variabel yang berhubungan dengan pengurangan visibilitas⁹. Berdasarkan kondisi cuaca rerata pada tanggal 3 Oktober 2007 malam hari dan 4 Oktober 2007 siang hari, maka konsentrasi NO₂ tertinggi kemungkinan berasal dari asap kendaraan bermotor di jalan raya pada siang hari, dan berasal dari pembakaran di daerah perindustrian Hanam pada malam hari.



Gambar 12. Hasil pengukuran konsentrasi NO₂ di wilayah GIST.

Hasil pengukuran konsentrasi SO₂ dengan alat *Spectrophotometry* ditampilkan pada Gambar 13. Konsentrasi rerata SO₂ pada siang hari hampir sama dengan konsentrasi pada malam harinya. Konsentrasi SO₂ rerata dan standar deviasinya pada siang hari dan malam hari masing-masing adalah $1,041 \pm 0,768$ ppb and $1,000 \pm 0,893$ ppb. Hasil pengukuran konsentrasi SO₂ rerata adalah jauh lebih rendah daripada standar SO₂ yang ditetapkan NAAQS, USA yaitu 140 ppb per 24 jam. Konsentrasi SO₂ tertinggi pada siang hari dan malam hari masing-masing adalah 2,833 ppb pada 4 Oktober dan 3,083 ppb pada 27 September 2007. SO₂ dihasilkan dari gunung berapi dan

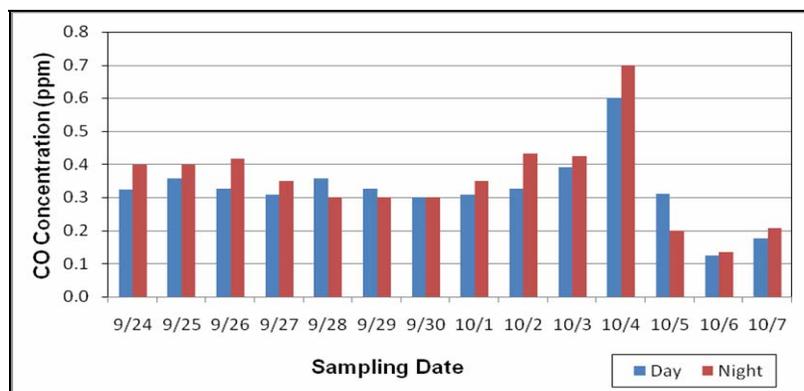
beraneka proses pembakaran dari industri (seperti batubara, bijih logam, dan petroleum)¹¹. Kondisi cuaca rerata pada 27 September 2007 malam hari : temperatur 22,1 °C, kelembaban 88,92 %, kecepatan angin 2,8 m/s = 10,8 km/h, arah angin 225° / Barat Daya dan visibilitas 7 km. Berdasarkan kondisi cuaca rerata pada tanggal 27 September 2007 malam hari dan pada 4 Oktober 2007 siang hari, maka konsentrasi SO₂ kemungkinan berasal dari proses pembakaran dari daerah perindustrian Hanam. Konsentrasi SO₂ pada 27 September 2007 malam hari : lebih tinggi daripada konsentrasi pada 4 Oktober 2007 siang hari, kemungkinan karena perbedaan kecepatan angin.



Gambar 13. Hasil pengukuran SO₂ di wilayah GIST.

Hasil pengukuran konsentrasi CO dengan menggunakan alat *Nondispersive Infrared Photometry* ditunjukkan pada Gambar 14. Konsentrasi CO rerata pada siang hari hampir berdekatan dengan konsentrasi pada malam hari. Konsentrasi CO rerata dan standar deviasinya pada siang hari dan malam hari masing-masing adalah $0,324 \pm 0,106$ ppm dan $0,351 \pm 0,136$ ppm. Hasil-hasil pengukuran konsentrasi CO rerata jauh lebih rendah daripada standar CO yang ditentukan NAAQS, USA yaitu 9 ppm per 8 jam. Emisi CO disebabkan oleh asap kendaraan bermotor (56 %), proses industri (seperti

pabrik logam dan pabrik kimia, 4 %), pembakaran bahan bakar (6 %), pembakaran kayu, dan kebakaran hutan. Konsentrasi CO tertinggi pada 4 Oktober 2007 siang hari dan malam hari masing-masing adalah 0,6 ppm dan 0,7 ppm. Berdasarkan arah angin pada 4 Oktober 2007 siang hari dan malam hari, konsentrasi tertinggi CO kemungkinan berasal dari asap kendaraan bermotor di jalan raya pada siang hari dan dari proses pembakaran di kawasan industri Hanam pada siang hari dan dari pembakaran biomass di pertanian wilayah pedesaan pada malam hari.



Gambar 14. Hasil pengukuran konsentrasi CO di wilayah GIST.

KESIMPULAN

Konsentrasi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} rerata pada malam hari (dari jam 21.00 sampai 9.00) lebih tinggi daripada konsentrasi pada siang hari (dari 9.00 sampai jam 21.00). Konsentrasi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} tertinggi adalah pada tanggal 4 Oktober 2007 malam hari, dan termasuk di dalamnya terkandung CO dan NO_2 . Sedangkan kandungan gas dari $PM_{2.5}$ dan PM_{10} pada 4 Oktober 2007 siang hari adalah SO_2 , O_3 , NO_2 , dan CO. Dengan demikian potensi bahaya pada siang hari lebih besar terhadap kesehatan daripada pada malam hari. Hal ini karena konsentrasi massa udara dari Korea Utara dan Mongolia yang berasal dari daerah pertanian yang berdebu tertinggi pada saat itu. Konsentrasi O_3 rerata pada siang hari lebih tinggi daripada konsentrasi pada malam hari. Konsentrasi rerata NO_2 , CO, dan SO_2 , pada siang hari hampir berdekatan dengan konsentrasi pada malam hari. Konsentrasi rerata PM_{10} , O_3 ,

SO_2 , NO_2 dan CO adalah lebih rendah dan konsentrasi rerata $PM_{2.5}$ sedikit lebih tinggi daripada standar NAAQS, USA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada staf administrasi dari IERC (*International Environment Research Center*) dan GIST, serta kepada Prof. Young Joon Kim dan semua anggota Laboratorium *Air Quality Monitoring* yang memberikan saran dan bimbingan dalam melakukan penelitian ini. Saya juga berterima kasih kepada Dr. Suil Kang, Dr. Suthipong Sthiannopkao dan semua mahasiswa program internship atas dukungan dan bantuannya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Particulate Matter, <http://www.epa.gov/air/particles/>, 2007.

2. INST. TEKNOLOGI BANDUNG, Kursus Monitoring Kualitas Udara Lingkungan Pabrik Semen, Tim Kualitas Udara Jurusan Teknik Lingkungan ITB, Gedung PUSDIKLAT Institut Semen dan Beton Indonesia, Gunung Putri, Bogor, 2000.
3. DOCKERY, D.W., and POPE, C.A., Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution, *Annu. Rev. Public Health*, 15, 107-132, 1994.
4. DOCKERY, D.W., POPE III, C.A., XU, X., SPENGLER, J.D., WARE, J.H., FAY, M.E., FERRIS, B.G., and SPEIZER, F.E., An Association between Air Pollution and Mortality in six U.S. cities, *New Engl. J. Med.*, 329, 1753 – 1759, 1993.
5. NEAS, L.M., DOCKERY, D.W., KOUTRAKIS, P., TOLLERUND, D.J., and SPEIZER, F.E., The Association of Ambient Air Pollution with Twice Daily Peak Expiratory Flow Rate Measurement in children, *American Journal Epidemiology* 141, 111-122, 1995.
6. BARI, A., FERRARO, V., WILSON, L. R., LUTTINGER, D., and HUSAIN, L., Measurement of gaseous HONO, HNO₃, SO₂, HCl, NH₃, particulate sulfate and PM_{2.5} in New York, NY, *Atmos. Environ.* 37, 2825-2835, 2003.
7. RYU, S.Y., KWON, B.G., KIM, Y.J., KIM, H.H., and CHUN, K.J., Characteristics of Biomass Burning Aerosol and its impact on regional air quality in the summer of 2003 at Gwangju, Korea, *Atmosphere Research* 84, 362 – 373, 2007.
8. UNIVERSITY RESEARCH GLASS WARE, URG Parts Catalog, <http://www.urgcorp.com/cyclones/how.html>, USA, 2006.
9. KANG, C.M., LEE, H.S., KANG, B.W., LEE, S.K., and SUNWOO, Y., Chemical Characteristics of acidic gas pollutants and PM_{2.5} species during hazy episodes in Seoul, South Korea, *Atmos. Environ.* 38, 4749 – 4760, 2004.
10. WANG, H., and SHOOTER, D., Coarse-fine and day-night differences of water-soluble ions in atmospheric aerosols collected in Christchurch and Auckland, New Zealand, *Atmosphere Environment* 36, 3519 – 3529, 2002.
11. KIM, H.S., HUH, JONG-BAE, HOPKE, P. K., HOLSEN, T.M., and YI, S.M., Characteristics of the major chemical constituents of PM_{2.5} and smog events in Seoul, Korea in 2003 and 2004, *Atmos. Environ.* 41, 6762 – 6770, 2007.

KONSENTRASI AKTIVITAS URANIUM DAN THORIUM DALAM GARNET YANG DIGUNAKAN SEBAGAI MATERIAL *SANDBLASTING* DI SEBUAH INDUSTRI DI DAERAH CILEGON

*Makhsun**, *Bunawas** dan *Yus Rusdian A.***

* Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi –Batan

** Badan Pengawasan Tenaga Nuklir (Bapeten)

ABSTRAK

KONSENTRASI AKTIVITAS URANIUM DAN THORIUM DALAM GARNET YANG DIGUNAKAN SEBAGAI MATERIAL *SANDBLASTING* DI SEBUAH INDUSTRI DI DAERAH CILEGON. Penggunaan garnet sebagai material *sandblasting* menimbulkan risiko radiologik karena mempunyai kandungan uranium dan thorium yang cukup tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran konsentrasi aktivitas uranium dan thorium dalam garnet. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN). Sampel garnet yang telah berbentuk serbuk maupun sumber standar S-16 dimasukkan ke dalam ampul polietilen dan dibungkus lembaran alumunium, kemudian dimasukkan ke dalam kapsul dan diiradiasi dengan sumber neutron di reaktor. Sampel yang telah diiradiasi dibiarkan selama beberapa hari lalu dicacah dengan menggunakan spektrometri gamma yang terhubung dengan detektor HP(Ge). Konsentrasi aktivitas thorium dan uranium yang diperoleh berturut-turut berada dalam rentang $(673,20 \pm 0,76)$ Bq/kg sampai dengan $(4166,29 \pm 0,78)$ Bq/kg dan $(254,64 \pm 0,26)$ Bq/kg sampai dengan $(1443,24 \pm 0,30)$ Bq/kg. Konsentrasi aktivitas uranium dan thorium dalam garnet yang digunakan sebagai material sandblasting di industri di daerah Cilegon berada dalam rentang konsentrasi aktivitas uranium dan thorium di beberapa industri di daerah lain yang dikaji oleh BAPETEN. Tetapi konsentrasi aktivitas uranium dan thorium ini masih lebih rendah dari konsentrasi aktivitas uranium dan thorium dalam garnet yang berasal dari Australia.

Kata Kunci : uranium, thorium, garnet, sandblasting

ABSTRACT

THE ACTIVITY CONCENTRATIONS OF URANIUM AND THORIUM IN GARNET USED AS *SANDBLASTING* MATERIAL IN AN INDUSTRY IN CILEGON REGION. Garnet as a mining stone contains high enough uranium and thorium elements. The use of garnet as sandblasting material causes radiological risk. Therefore, the measurement of activity concentrations of uranium and thorium in garnet needs to be done. The measurement was done by using Neutron Activation Analysis (NAA) method. Garnet sample in powder form were put into a polyethylene ampoule and wrapped by aluminum foil and so is S-16 source, and then they were put into a capsule and irradiated by neutron source in a reactor. Irradiated samples were counted by using gamma spectrometry connected to HP(Ge) detector. Activity concentrations of Uranium and thorium obtained were respectively in a range of (673.20 ± 0.76) Bq/kg to (4166.29 ± 0.78) Bq/kg and (254.64 ± 0.26) Bq/kg to (1443.24 ± 0.30) Bq/kg. Activity concentrations of Uranium and thorium in garnet used as sandblasting material in an industry in Cilegon region were still in a range of activity concentrations of uranium and thorium in some industries in other regions reviewed by the BAPETEN. However, these activity concentrations of uranium and thorium were still lower than activity concentrations of uranium and thorium in garnet from Australia.

Keywords: uranium, thorium, garnet, sandblasting

PENDAHULUAN

Industri *sandblasting* umumnya didirikan di daerah pantai dan pesisir. Hal ini karena industri blasting biasanya digunakan dalam pembuatan dan perbaikan kapal laut, pembuatan alat-alat berat seperti galangan pengeboran minyak lepas pantai (rig), pelapisan bahan anti karat pada pipa dan lain-lain. Disamping itu juga untuk memudahkan pengangkutan alat-alat berat yang umumnya diangkut menggunakan sarana transportasi laut.

Pada industri besar sering juga dilakukan kegiatan pembersihan karat dengan menggunakan teknik *sandblasting* karena kualitas hasilnya yang sangat bagus, cepat, dan harga yang cukup murah bila dibandingkan dengan teknik pengikisan menggunakan kertas ampelas maupun teknik penggerindaan.

Salah satu industri *sandblasting* yang cukup besar berada di daerah Cilegon Banten. Industri ini menggunakan brown aluminium oxida (BAO), steel slag dan garnet sebagai material sandblasting, tetapi material yang paling banyak digunakan adalah garnet. *Sandblasting* yang dilakukan pada industri ini sudah cukup baik karena kegiatan dilakukan pada daerah yang cukup jauh dari kantor, dikelilingi pagar

pembatas tembok setinggi 2 m, perlengkapan keselamatan pekerja yang cukup memadai, serta pengelolaan limbah yang tertata.

Sandblasting adalah suatu kegiatan untuk membersihkan permukaan logam yang teroksidasi oleh udara luar menggunakan material berupa pasir yang ditembakkan ke permukaan logam dengan sebuah alat penyemprot bertekanan tinggi. *Blasting* dilakukan untuk membersihkan permukaan logam sebelum dilakukan pengecatan. Material *sandblasting* yang biasa digunakan oleh industri *blasting* umumnya berupa butiran kerak tembaga (*cooper slag*), kerak timah (*tin slag*), pasir silika, *Brown Aluminium Oxide*, *steel shoot*, garnet, *cool slag*, *smelter slag* dan lain-lain. Pada tahun 1991, Amerika Serikat menggunakan sekitar 4,5 juta ton material *sandblasting*, yaitu 2,5 juta ton pasir silika, 1 juta ton *coal slag*, 500 ribu ton *smelter slag*, dan 500 ribu ton material abrasif lainnya¹.

Kegiatan *sandblasting* akan mengakibatkan butiran-butiran material *sandblasting* pecah menjadi butiran-butiran yang lebih halus sehingga akan mudah terbawa oleh angin dan akan mengakibatkan polusi udara.

Oleh karena itu kegiatan *sandblasting* biasanya dilakukan pada lokasi yang terisolir. Walaupun kegiatan *sandblasting* dilakukan di tempat yang terisolir kemungkinan debu menyebar ke seluruh area industri ataupun lingkungan di sekitar industri yang akhirnya akan mengakibatkan polusi udara masih besar.

Karena material-material *sandblasting* yang digunakan biasanya berupa limbah industri (*cooper slag*, *tin slag*, *steel slag*, dan lain-lain) ataupun berupa batuan alam (pasir silika, garnet, dan lain-lain) maka perlu dilakukan pengkajian kandungan unsur-unsur baik B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) maupun zat radioaktif yang terkandung di dalamnya, seperti uranium dan thorium.

Uranium dan thorium merupakan radioaktif alam yang banyak terkandung di dalam bumi bersama potasium. Kandungan radioaktif alam biasanya terkonsentrasi di dalam batuan-batuan seperti batuan fosfat, batuan granit, batu kapur, garnet dan lain-lain. Uranium dan thorium sebagai pemancar alpha dan mempunyai waktu paruh yang sangat panjang (uranium = $4,46 \times 10^9$ tahun dan thorium = $1,4 \times 10^{10}$ tahun) akan berpotensi membahayakan pekerja maupun masyarakat di lingkungan

industri *sandblasting* apabila debu *sandblasting* masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan maupun makanan.

Uranium dan thorium di dalam material *sandblasting* yang berupa *slag* lebih besar dari pada kandungan uranium dan thorium yang ada di dalam tambang mineralnya. Hal ini karena uranium dan thorium akan terkonsentrasi di dalam *slag* (kerak) ketika mineral logam itu dilebur pada saat pembuatan logam. Sedangkan kandungan uranium dan thorium di dalam garnet umumnya termasuk dalam batuan yang mengandung uranium dan thorium cukup tinggi.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengkajian konsentrasi aktivitas zat radioaktif khususnya kandungan uranium dan thorium di dalam sampel *sandblasting*.

TEORI

Garnet dan Radionuklida Alam

Batuan Garnet termasuk mineral yang mempunyai bentuk kristal tipe *rhombic dodecahedron* dan *trapezohedron*. Semua jenis garnet mengandung unsur silika di dalam struktur molekulnya sehingga rumus unsurnya ditulis $X_3 Y_2 (SiO_4)_3$.

Garnet mempunyai bentuk fisik dengan kekerasan tinggi (7 – 8) mohs, berat jenis spesifik (3,1 – 4,3) dan dikelompokkan atas enam jenis garnet seperti terlihat pada Tabel 1².

Garnet mengandung radionuklida alam uranium (U-238) dan thorium (Th-232) relatif lebih tinggi dibandingkan

bahan *sandblasting* lainnya seperti *copper slag*, *steel grit*, dan pasir silika. Konsentrasi U-238 antara 615 – 30.000 Bq/kg dan Th-232 antara 11.320 – 100.000 Bq/kg^{3,4}. Di Indonesia garnet diimpor dari beberapa negara penghasil garnet seperti Australia, China dan India.

Tabel 1. Jenis garnet yang ada di alam

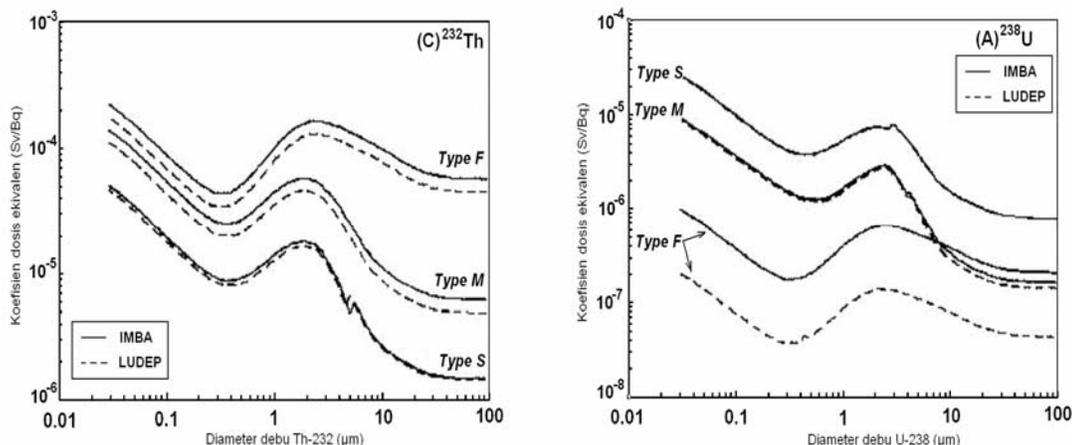
No	Jenis	Rumus Molekul
1	Almandine	$Fe_3 Al_2 (Si O_4)_3$
2	Andradite	$Ca_3 Fe_2 (Si O_4)_3$
3	Grossularite	$Ca_3 Al_2 (Si O_4)_3$
4	Pyrope	$Mg_3 Al_2 (Si O_4)_3$
5	Spessartite	$Mn_3 Al_2 (Si O_4)_3$
6	Uvarovite	$Ca_3 Cr_2 (Si O_4)_3$

Potensi Radiologik Kegiatan

Sandblasting

Garnet dalam bentuk butiran dengan ukuran antara 20 – 30 mesh dengan permukaan tajam pada saat digunakan untuk kegiatan *blasting* dengan tekanan tinggi akan berubah menjadi butiran halus dan sangat halus. Butiran sangat halus ini berupa partikel debu dengan rentang diameter 6 – 9 μm .

Partikel debu garnet ini sewaktu melayang di udara sangat berpotensi memberikan paparan radiologik yang cukup berarti bagi pekerja, berupa paparan interna dari U-238 dan Th-232 melalui jalur pernapasan dengan koefisien dosis bergantung pada diameter debu. Gambar 1⁵.



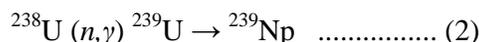
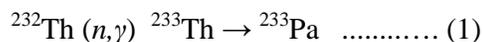
Gambar 1. Koefisien dosis inhalasi untuk U-238 dan Th-232 yang dihitung dengan program IMBA dan LUDEP⁵

Debu garnet yang mengandung silika pada saat mengendap di saluran pernapasan akan bertahan cukup lama dalam orde tahun sampai puluhan tahun sehingga memberikan potensi risiko ganda dari U-238 dan Th-232 berupa paparan radiasi alpha dan paparan non radiasi dari silika. Radiasi alpha dan silika sistem pernapasan yang berlangsung kronik dapat menaikkan risiko kanker paru-paru dan penyakit *silicosis*^{6,7}.

Metoda AAN

Dalam metoda AAN, cuplikan diiradiasi menggunakan sumber neutron. Inti atom dari unsur-unsur yang berada dalam cuplikan tersebut akan menangkap neutron dan berubah menjadi radioaktif. Th-232 akan berubah menjadi Th-233,

sedangkan U-238 akan berubah menjadi U-239 seperti terlihat pada persamaan 1 dan 2. Adapun data radioaktivitasnya dapat dilihat pada Tabel 2⁸.



Dalam penentuan kuantitatif secara relatif digunakan suatu zat standar yang mempunyai matrik kira-kira sama dengan matrik sampel. Kadar unsur-unsur tertentu dalam standar itu telah diketahui dengan pasti. Sedapat mungkin kadar unsur yang akan ditentukan dalam sampel sama dengan sumber standarnya. Dengan jalan membandingkan laju cacah cuplikan dan standar dapat dihitung kadar unsur dalam sampel.

Tabel 2. Data radioaktivitas U-238 dan Th-232 beserta *precursor* dan anak luruhnya

Isotop	Waktu Paruh	Energi (keV)	Kelimpahan (%)	Mode Produksi
Th-233	22.3 menit	29,38	2,60	Th-232 (<i>n,γ</i>)
		86,53	2,60	
		94,72	0,90	
		459,31*	1,40	
		669,78	0,68	
Pa-233	27,0 hari	75,34	1,17	Th-232 (<i>n,γ</i>) Precursor: Th-233
		86,65	1,76	
		300,18	6,20	
		312,01*	36,00	
		340,59	4,20	
		398,66	1,19	
U-239	23,47 menit	45,53	4,45	U-238 (<i>n,γ</i>)
		74,66*	50,00	
Np-239	2,36 hari	106,12	22,86	U-238 (<i>n,γ</i>) Precursor: U-239
		209,75	3,27	
		228,18	10,79	
		277,60*	14,20	
		334,31	2,05	

Secara sederhana persamaan yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi unsur dalam sampel adalah sebagai berikut :

Jumlah zat radioaktif pada saat dihitung (N_t) :

$$N_t = N_0 e^{-0,693T/T_{1/2}} \dots\dots\dots (3)$$

Laju cacah (Cps) :

$$Cps = N_0 / T_{cacah} \dots\dots\dots (4)$$

Kandungan unsur (Th dan U) dalam standar (Ws) :

$$Ws = [Kons. unsur dalam S-16] \times \text{berat standar} \dots\dots\dots (5)$$

Kandungan unsur dalam sampel (Wc) :

$$Wc = \frac{Cps_{(c)}}{Cps_{(std)}} \times Ws \dots\dots\dots (6)$$

Konsentrasi unsur dalam sampel (K) :

$$K = Wc / \text{berat sampel} \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

$T_{1/2}$: Waktu paro (detik)

T_{cacah} : Waktu cacah (detik)

Nt : Jumlah zat radioaktif setiap saat (Bq)

No : Jumlah zat radioaktif mula-mula (Bq)

Cps : Laju cacah (cps)

Ws : Kandungan unsur dalam standar (Bq/kg)

K : Konsentrasi unsur dalam sampel. (Bq/kg)

TATA KERJA

Metode yang digunakan untuk menganalisa unsur uranium dan thorium pada sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Aktivasi Neutron (AAN).

Sebelum diiradiasi sampel garnet dihaluskan dan diayak dengan ayakan 200 mesh, kemudian dimasukkan ke dalam ampul polietelin, ditimbang dengan timbangan digital tipe 2841 buatan Satorius dan dibungkus menggunakan lembar aluminium supaya tidak terjadi kontaminasi. Begitu juga standar thorium ore, S-16 buatan IAEA yang digunakan diperlakukan dengan cara yang sama. Kemudian sampel-sampel yang sudah siap bersama-sama dengan standar dimasukkan ke dalam kapsul dalam posisi yang sejajar untuk diiradiasi dengan sumber neutron di sebuah reaktor. Sampel bersama dengan standar yang sudah menjadi radioaktif didiamkan selama beberapa hari untuk menghilangkan anak luruh-anak luruh yang berumur pendek kemudian dicacah menggunakan spektrometri gamma yang dilengkapi dengan detektor HP(Ge) buatan Ortec.

Selanjutnya untuk menganalisis unsur yang dimaksud biasanya tidak langsung diukur pada energi *precursor*-

nya melainkan pada energi anak luruh dari *precursor* tersebut, karena *precursor* mempunyai waktu paruh yang pendek (Th-233 = 22,3 menit dan U-239 = 23,47 menit). Sedangkan energi yang dipakai sebagai perhitungan biasanya dipilih yang mempunyai kelimpahan paling besar dan tidak berimpit dengan energi lain. Oleh karena itu untuk analisis Th-232 biasanya isotop yang diukur adalah Pa-233 pada energi 312,01 keV karena memiliki waktu paruh 27,0 hari dan kelimpahan 36,00 %, Sedangkan untuk analisis U-238 dipilih Np-239 pada energi 277,60 keV⁸. Untuk menghitung konsentrasi aktivitas uranium dan thorium digunakan persamaan 3 sampai dengan 7.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis unsur dilakukan dengan menggunakan metode AAN secara relatif, dan sebagai acuannya digunakan sumber standar S-16 buatan IAEA dengan konsentrasi Th-232 sebesar 68,17 Bq/g dan konsentrasi U-238 sebesar 5,534 Bq/g. Dengan menggunakan persamaan 3 sampai dengan 7 dapat dihitung konsentrasi aktivitas thorium dan uranium dari masing masing sampel seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi aktifitas Th-232 dan U-238 pada masing-masing sampel uji

No	Nama sampel	Konsentrasi aktifitas (Bq/kg)	
		Th-232	U-238
1	Garnet bekas pakai (di dalam karung)	3.473,58 ± 0,78	317,05 ± 0,26
2	Garnet bekas lokasi A	4.166,29 ± 0,78	516,97 ± 0,26
3	Garnet bekas lokasi C	2.629,40 ± 0,78	1.443,24 ± 0,30
4	Garnet bekas lokasi B	4.157,78 ± 0,80	267,01 ± 0,26
5	Limbah campuran garnet + tanah	673,20 ± 0,76	254,64 ± 0,26
6	Garnet tidak dipakai (dekat <i>Blasting area</i>)	2.456,65 ± 0,78	1.346,98 ± 0,30

Dari Tabel 3 terlihat bahwa konsentrasi aktivitas thorium dalam beberapa sampel garnet yang diambil dari industri *sandblasting* di daerah Cilegon berada pada rentang (673,20 ± 0,76) Bq/kg sampai dengan (4.166,29 ± 0,78) Bq/kg. Konsentrasi aktivitas thorium terendah ada dalam sampel limbah campuran garnet + tanah. Hal ini karena sampel tersebut merupakan garnet bekas pakai yang sudah tidak digunakan lagi dan banyak tercampur tanah. Sedangkan tanah mengandung konsentrasi aktivitas uranium dan thorium yang rendah sehingga konsentrasi aktivitas dalam sampel tersebut juga menjadi kecil.

Konsentrasi aktivitas thorium tertinggi ada dalam sampel garnet bekas pakai di lokasi A. Lokasi A dan lokasi B merupakan area kegiatan *sandblasting*. Garnet yang sudah dipakai menumpuk pada bagian dasar area tersebut sehingga sampel yang diambil relatif masih murni dan belum tercampur dengan tanah

ataupun material lain, kecuali hanya sedikit dari material logam yang terkikis akibat kegiatan *sandblasting* tersebut. Terlihat bahwa konsentrasi aktivitas thorium dalam sampel yang diambil dari lokasi A dan lokasi B bisa dikatakan sama.

Konsentrasi aktivitas thorium dalam garnet yang diambil dari industri *sandblasting* di daerah Cilegon masih lebih rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi aktivitas thorium dari sampel garnet yang berasal dari Australia yaitu 45.000 Bq/kg⁹. Tetapi bila dibandingkan dengan konsentrasi aktivitas thorium dalam garnet hasil pemantauan BAPETEN pada tahun 2006 di industri *sandblasting* di daerah yang berbeda di Indonesia terlihat bahwa konsentrasi aktivitas thoriumnya masih berada dalam rentang 40 sampai dengan 6.796 Bq/kg¹⁰.

Sedangkan konsentrasi aktivitas uranium seperti terlihat pada tabel 3 berada pada rentang (254,64 ± 0,26)

Bq/kg sampai dengan $(1.443,24 \pm 0,30)$ Bq/kg. Konsentrasi aktivitas uranium terendah juga ada dalam sampel limbah campuran garnet + tanah. Sedangkan konsentrasi aktivitas uranium tertinggi ada dalam sampel garnet bekas pakai di lokasi C. Lokasi C merupakan area penyimpanan sementara limbah *sandblasting*. Pada area ini banyak bercampur berbagai jenis material *sandblasting* yang pernah digunakan oleh industri tersebut sehingga memberikan kontribusi pada konsentrasi aktivitas uraniumnya. Konsentrasi aktivitas uranium dan thorium dalam sampel ini juga mirip dengan konsentrasi aktivitas uranium dan thorium dalam sampel garnet yang tidak dipakai yang diambil di dekat area *sandblasting*.

Secara umum konsentrasi aktivitas uranium dalam garnet yang diambil dari industri *sandblasting* di daerah Cilegon masih lebih rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi aktivitas uranium dari sampel garnet yang berasal dari Australia yaitu 15.000 Bq/kg^9 . Tetapi bila dibandingkan dengan konsentrasi aktivitas uranium dalam garnet hasil pemantauan BAPETEN pada tahun 2006 di industri *sandblasting* di daerah yang berbeda di Indonesia terlihat bahwa

konsentrasi aktivitas thoriumnya masih berada dalam rentang 50 sampai dengan 770 Bq/kg^{10} .

KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi aktivitas thorium dan uranium dalam sampel garnet di industri *sandblasting* di Cilegon berturut-turut adalah antara $(673,20 \pm 0,76) \text{ Bq/kg}$ sampai dengan $(4.166,29 \pm 0,78) \text{ Bq/kg}$, dan antara $(254,64 \pm 0,26) \text{ Bq/kg}$ sampai dengan $(1.443,24 \pm 0,30) \text{ Bq/kg}$. Sedangkan pada sampel yang masih relatif murni konsentrasi aktivitas thorium dan uranium berturut-turut adalah antara $(4.157,78 \pm 0,80) \text{ Bq/kg}$ sampai dengan $(4.166,29 \pm 0,78) \text{ Bq/kg}$, dan antara $(267,01 \pm 0,26) \text{ Bq/kg}$ sampai dengan $(516,97 \pm 0,26) \text{ Bq/kg}$. Konsentrasi aktivitas thorium dan uranium ini masih berada dalam rentang konsentrasi aktivitas uranium dan thorium hasil pemantauan BAPETEN pada tahun 2006 di industri *sandblasting* di daerah yang berbeda di Indonesia dan lebih rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi aktivitas thorium dan uranium dalam garnet yang berasal dari Australia. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan garnet yang dipakai di Indonesia bukan berasal dari Australia.

Karena garnet yang digunakan dalam kegiatan *sandblasting* ini diubah menjadi partikel debu maka perlu dilakukan pengukuran distribusi diameter debu untuk memperkirakan dosis ekuivalen radiasi interna yang diterima oleh pekerja pada industri tersebut.

Konsentrasi radioaktivitas alam yang terkandung dalam garnet lebih besar dari 1000 Bq/kg. Oleh karena itu sesuai dengan rekomendasi yang diberikan oleh BAPETEN yang di adopsi dari BSS No. 15 bahwa sampel yang mengandung radioaktivitas alam lebih dari 1000 Bq/kg harus diperlakukan sebagai zat radioaktif, sehingga garnet yang ada pada industri *sandblasting* memerlukan penanganan secara khusus.

DAFTAR PUSTAKA

1. EPA, 1997. Emission Factor Documentation for AP-42 Section 13.2.6, *Abrasive Blasting – Final Report for U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standard Emission Factor and Inventory Group*, September, 1997
2. JAMES G. EVANS AND PHILLIP R. MOYLE, 2006. *Contributions to Industrial-Mineral Research, U.S. Industrial Garnet*, USGS, Reston, Virginia, 2006.
3. B.J. WALLACE, V.A. LENCH, 1987 *Radiation Exposure of sandblasting Operators*, Radiation Protection in Australia, Vol. 5, No. 3, 1987.
4. DARWIN FIRDAUS, FITRIA SANDRA, VERONIKA TUKA, 2007. Penentuan Risiko Radiologik dari Kegiatan Sandblasting, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, Hal. 184 – 193, BAPETEN, Agustus 2007.
5. KIM K.P., WU C.Y., BIRKY B.K., AND BOLCH W.E., 2006. *Effective Dose Scaling Factors for Use with Uranium Series Cascade Impactor Data : A Reassessment Using the IMBA Code*, Health Physics 91, page 331 – 337, 2006.
6. EDLING C., JARVHOLM B., ANDERSEN L., AND AXELSON O., 1987. *Mortality and Cancer Incidence Among workers in an Abrasive Manufacturing Industry*, Britania Journal Industrial Medicine 44, page 57 – 59, 1987.
7. IARC, *IARC Monograph on the Evaluation of the Carcinogenic Risk othe Chemicals to Humans: Silica and Some Silicates, Cool Dust*, Pub Preamid Fibrils Vol 68, WHO, Lyon, France, 1997.

8. IAEA-TECDOC-564, *Practical Aspects, of Operating A Neutron Activation Analysis Laboratory*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1990
9. COOPER, M.B. DAN B.L. TRACY. 1990. *Radiation Protection in the Mining and Milling of Radioactive Ores*. Prosiding Presentasi Ilmiah Laboratorium Radiasi Australia (ARL) 20-29 Oktober Hal.175-207
10. BAPETEN, Pengkajian Pengawasan tentang keselamatan Radiasi TENORM di Industri, Pusat Pengkajian Keselamatan Radiasi-BAPETEN, 2006.

KAJIAN KUALITAS UDARA RUANGAN GEDUNG KANTOR PT. X TAHUN 2008

Elisa Moetiara, Zulkifli Djunaidi*, Fatma Lestari**

* Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Indonesia

ABSTRAK

KAJIAN KUALITAS UDARA RUANGAN GEDUNG KANTOR PT. X TAHUN 2008. Kajian kualitas udara ruangan gedung kantor PT X Tahun 2008 telah dilakukan berdasarkan parameter biologi (total koloni mikroba), parameter kimia (kadar oksigen, konsentrasi karbon dioksida), dan parameter fisika (kandungan partikel debu, suhu, kelembapan relatif, kecepatan aliran udara). Pengukuran dilakukan pada beberapa ruangan gedung sebagai sampel, yaitu ruangan fasilitas dengan sistem ventilasi lokal; serta pada beberapa ruangan kantor dengan sistem ventilasi *general*. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002, atau dengan standar internasional ASHRAE. Secara subyektif dan tanpa dasar kuantitatif yang definit, penilaian kualitas udara ruangan ditentukan berdasarkan persentase pemenuhan standar parameter. Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan sebanyak 63 % sampel dinilai cukup (50 – 80 % parameter sesuai standar); 31 % sampel ruangan lainnya berkualitas baik (> 80 % parameter sesuai standar); dan sebanyak 6 % sampel berkualitas kurang (< 50 % parameter sesuai standar).

Kata kunci: kualitas udara ruangan, parameter keselamatan, keselamatan kerja

ABSTRACT

INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT IN OFFICE BUILDING OF PT. X ON 2008. Indoor air quality in office building of PT. X has been measured according biological parameter (microbe colony total), chemical parameter (concentration of oxygen and carbon dioxide) and physical parameter (dust particulate, temperature, humidity, ventilation). Measurement result was compared to standard of Health Ministry Decree No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 and to international standard of ASHRAE. Finally result showed that 63% of samples was normal (50-80% parameters fit to standard); 31% of samples was good (>80% parameters fit to standard) and 6% of samples was poor (<50% parameters fit to standard).

Keywords, indoor air quality, safety parameter, occupational safety

PENDAHULUAN

Produktivitas para pegawai merupakan motor majunya suatu perusahaan atau industri. Hasil penelitian St. Germain⁶ menunjukkan kondisi lingkungan kerja memberi kontribusi

yang signifikan terhadap performa dan produktivitas pekerja, baik pengaruh positif maupun negatif. Kualitas udara ruangan yang telah menjadi sorotan selama kurang lebih 30 tahun terakhir, dimulai setelah terjadi krisis energi

pada tahun 1970-an. Pada masa tersebut, udara segar yang masuk ke dalam ruangan diminimalisasi untuk mengurangi biaya. Kondisi tersebut mengakibatkan kelembapan udara dalam ruangan meningkat, dan banyaknya benda berupa peralatan terbuat dari bahan sintetik yang menghasilkan emisi gas juga memperburuk kualitas udara ruangan. Kondisi ini mendorong Environmental Protection Agency menjadikan masalah kualitas udara dalam ruangan sebagai salah satu dari lima risiko kesehatan masyarakat tertinggi di Amerika Serikat.⁷ Diketahui pula bahwa sekitar 90% orang Amerika menghabiskan sebagian besar waktunya dengan berada di dalam ruangan, khususnya para pegawai kantor yang sebagian besar waktunya digunakan untuk bekerja di dalam gedung.

Pada tahun 1989, laporan dari EPA menyimpulkan bahwa peningkatan kualitas udara dalam ruangan dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi beberapa hari kerja yang hilang. EPA juga mengestimasi bahwa kualitas udara dalam ruangan yang buruk dapat mengakibatkan kerugian negara hingga puluhan miliar Dolar Amerika setiap tahunnya akibat rendahnya produktivitas dan biaya pelayanan

kesehatan.⁷ Hal serupa juga dibuktikan melalui hasil penelitian William Fisk dan Arthur Rosenfeld bahwa kondisi gedung dan lingkungan ruangan kantor yang baik dapat mengurangi biaya kesehatan dan hilangnya waktu kerja, serta dapat meningkatkan kinerja pegawai.²

Departemen Kesehatan Indonesia telah menetapkan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 sebagai suatu persyaratan mengenai kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri. Tingginya risiko ancaman kesehatan terhadap pegawai kantor akibat rendahnya kualitas udara sudah seharusnya menarik perhatian para pegawai kantor itu sendiri, pengelola gedung, *industrial hygienist*, dan terlebih perhatian dari pihak manajemen perusahaan untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan demi optimalnya kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas perusahaan. Penelitian yang mengkaji kualitas udara ruangan gedung kantor PT X tahun 2008 ini merupakan salah satu upaya pencegahan terjadinya penurunan derajat kesehatan pegawai kantor akibat kualitas udara ruangan yang tidak sesuai dengan standar.

METODOLOGI

Penelitian kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui gambaran kualitas udara ruangan gedung kantor X tahun 2008 ini dilakukan pada bulan Februari – Juni 2008, dengan cara mengukur sampel udara ruangan gedung kantor dan membandingkannya sesuai dengan standar parameter kualitas udara ruangan parameter yang diteliti, yaitu parameter biologi mencakup total koloni mikroba di udara; parameter kimia mencakup: konsentrasi O₂ dan CO₂; dan parameter fisika mencakup: konsentrasi partikel debu, suhu, kelembapan relatif, dan laju pergerakan udara.⁵ Perbandingan terhadap standar kualitas udara ruangan internasional yang direferensikan oleh US EPA, yaitu ASHRAE Standard 62, 1999 dilakukan bila parameter standar Indonesia yang ada kurang sesuai untuk diaplikasikan.

Pengambilan sampel udara untuk parameter total koloni mikroba dilakukan dengan menggunakan *microbes-air sampler* yang bekerja dengan cara menghisap udara untuk dikontakkan dengan medium *nutrient agar* pada cawan petri di dalamnya. Alat tersebut diletakkan di meja kerja okupan, dan diaktifkan selama 10 menit. Setelah 10 menit, cawan petri ditutup dan dibawa ke

laboratorium untuk diinkubasi selama \pm 36 jam. Sampel diambil sebanyak 2 cawan petri di setiap titik sampel, dan perhitungan koloni dilakukan dengan metode *total plate count*.

Metode pengambilan sampel udara untuk parameter oksigen diambil sebanyak 3 kali, masing-masing dilakukan selama \pm 10 menit menggunakan alat *direct reading multi ray gas detector: Sample Draw Pump QTP-2000*. Sedangkan, pengambilan sampel untuk parameter konsentrasi karbondioksida dilakukan dengan menggunakan *direct reading colorimetric method: Kitagawa Detector Tube No.126 B*. Pompa tangan ini digunakan untuk menghisap udara ke dalam tabung kaca yang mengandung senyawa spesifik. Panjang dari perubahan warna yang terlihat pada tabung digunakan untuk mengukur konsentrasi karbon dioksida dengan membandingkannya terhadap tabel khusus, dengan tingkat akurasi sebesar 25 %.

Pengukuran parameter fisika untuk pengambilan sampel jumlah partikel debu udara diketahui dengan mengukur berat material yang tertinggal pada *filter* dari sejumlah volume udara yang tersampel. Metode yang digunakan adalah gravimetri, dengan menggunakan

pompa portabel *direct reading*: *Environmental Particle Air Monitor Model* EPAM - 15000. Hasil pengukuran menunjukkan pajanan selama 8 jam. Sedangkan, pengukuran suhu ruangan dilakukan menggunakan alat *direct reading* WBGT dengan melihat nilai indikator suhu kering ($^{\circ}\text{C}$); dan tingkat kelembapan relatif udara ruangan diukur

dengan menggunakan *psychometer*, yaitu menggunakan perbedaan antara dua sensor, suhu basah dan suhu kering. Sementara pengukuran kecepatan aliran udara ruangan diukur menggunakan alat *direct reading thermal anemometer*: *hot wired anemometer*. Pengukuran dilakukan dengan ketelitian dalam mengarahkan posisi sensor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3.1. Hasil dan Pembahasan Indikator Kualitas Udara Ruang Gedung Kantor PT X Tahun 2008

Parameter Kualitas Udara Ruang	NAB/ Kisaran Standar	Hasil Pengukuran		Pembahasan	
Total Koloni Mikroba	700 CFU/m ³	Print	739	CFU/ m ³	Sebanyak 75 % sampel ruangan gedung telah sesuai dengan standar. Ruang yang tidak sesuai dengan standar adalah ruang – ruang fasilitas. Penyebabnya adalah: <ul style="list-style-type: none"> ○ tingginya tingkat kelembapan relatif udara ○ kurang baiknya proses sirkulasi udara ruangan ○ padatnya okupansi ○ kurang optimalnya fungsi <i>filter</i> udara untuk penyaringan mikroorganisme
		Mail	1381		
		Cont rol	994		
		Lobby	1478		
		B 6	501		
		T 6	252		
		F 6	204		
		B 9	614		
		T 9	379		
		F 9	579		
		B 12	93		
		T 12	87		
		F 12	98		
		B 14	120		
T 14	367				
F 14	317				

Parameter Kualitas Udara Ruangan	NAB/ Kisaran Standar	Hasil Pengukuran		Pembahasan	
Kadar O₂	19,5 – 23,5 %	Print	20,7	%	<p>Seluruh ruangan sampel memenuhi standar kadar oksigen ruangan, berarti adekuat untuk mencukupi kebutuhan okupan. Hal ini mengindikasikan cukupnya suplai udara segar ke dalam gedung. Kadar oksigen terendah pada <i>mail room</i> disebabkan oleh:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Sirkulasi udara yang kurang lancar karena AC yang sering di-nonaktif-kan
		Mail	20,5		
		Control	20,7		
		Lobby	20,9		
		B 6	20,7		
		T 6	20,8		
		F 6	20,8		
		B 9	20,7		
		T 9	20,7		
		F 9	20,7		
		B 12	20,9		
		T 12	20,9		
		F 12	20,9		
		B 14	20,9		
T 14	20,9				
F 14	20,9				
Konsentrasi CO₂	1000 ppm	Print	600	ppm	<p>Seluruh ruangan memenuhi standar parameter konsentrasi CO₂, walaupun terdapat beberapa ruangan yang mencapai NAB. Jumlah konsentrasi CO₂ sangat dipengaruhi oleh:</p> <ul style="list-style-type: none"> o tingkat kepadatan okupansi, dan o tingkat aktivitas okupan
		Mail	1000		
		Control	800		
		Lobby	1000		
		B 6	1000		
		T 6	800		
		F 6	600		
		B 9	800		
		T 9	800		
		F 9	600		
		B 12	400		
		T 12	600		
		F 12	400		
		B 14	400		
		T 14	300		
		F 14	300		
		B 14	0,090		
		T 14	0,088		
		F 14	0,136		
		B 12	21,9		
		T 12	24,4		
F 12	22,8				
B 14	23,9				
T 14	21,3				
F 14	22,1				
B 6	55,29				
T 6	52,93				
F 6	54,65				
B 9	57,82				

Parameter Kualitas Udara Ruang	NAB/ Kisaran Standar	Hasil Pengukuran		Pembahasan	
Kandungan Partikel Debu	0,060 mg/ m ³	Print	0,133	mg/ m ³	<p>Sebanyak 43,75 % sampel ruangan gedung Kantor PT X tahun 2008 telah sesuai dengan standar. Kondisi ini mengindikasikan:</p> <ul style="list-style-type: none"> o masalah pada proses penyaringan debu udara pada sistem ventilasi ruangan. o kurangnya kebersihan ruangan karena: <ul style="list-style-type: none"> o tingginya tingkat okupansi o keberadaan kontaminan dalam ruangan akibat aktivitas okupan
		Mail	0,083		
		Control	0,037		
		Lobby	0,071		
		B 6	0,030		
		T 6	0,058		
		F 6	0,052		
		B 9	0,050		
		T 9	0,050		
		F 9	0,039		
		B 12	0,086		
		T 12	0,061		
		F 12	0,050		
		B 14	0,090		
T 14	0,088				
F 14	0,136				
Suhu	22,8 – 26,1 °C	Print	25,3	°C	<p>Sebanyak 56,25 % sampel ruangan gedung Kantor PT X tahun 2008 telah sesuai dengan standar suhu udara. Ruang – ruangan yang tidak memenuhi standar karena tidak mencapai batas bawah standar, sehingga suhu terasa sangat dingin. Ini dapat disebabkan karena:</p> <ul style="list-style-type: none"> o pengaturan suhu ruangan yang kurang sesuai standar o tingginya kecepatan aliran udara suplai ke dalam ruangan, sehingga udara dingin terjebak dalam ruangan sementara kecepatan aliran udara <i>return</i> kecil o Sistem <i>return air</i> gedung tidak menggunakan <i>duct</i>, melainkan langsung ke atas langit – langit, menyebabkan lemahnya kecepatan tarikan udara kembali ke AHU
		Mail	24,2		
		Control	24		
		Lobby	23,9		
		B 6	22,6		
		T 6	22,9		
		F 6	22		
		B 9	21,7		
		T 9	20,9		
		F 9	22,8		
		B 12	21,9		
		T 12	24,4		
		F 12	22,8		
		B 14	23,9		
		T 14	21,3		
		F 14	22,1		
		T 6	52,93		
		F 6	54,65		
		B 9	57,82		
T 9	62,84				
F 9	56,18				
B 12	61,57				
T 12	57,74				
F 12	56,86				
B 14	69,74				
T 14	65,33				
F 14	59,26				

Parameter Kualitas Udara Ruangan	NAB/ Kisaran Standar	Hasil Pengukuran		Pembahasan	
Kelembapan Relatif	40 – 60 %	Print	57,36	%	Sebanyak 68,75 % sampel ruangan gedung Kantor PT X tahun 2008 telah sesuai dengan standar kelembapan relatif udara. Ruang yang tidak memenuhi standar karena melebihi batas maksimal standar, penyebabnya adalah: <ul style="list-style-type: none"> o tidak diaturnya tingkat kelembapan relatif udara ruangan gedung menyebabkan nilai RH cenderung tinggi o kurang baiknya sirkulasi udara karena terdapat masalah pada sistem ventilasi ruangan
		Mail	62,20		
		Control	51,60		
		Lobby	57,27		
		B 6	55,29		
		T 6	52,93		
		F 6	54,65		
		B 9	57,82		
		T 9	62,84		
		F 9	56,18		
		B 12	61,57		
Kecepatan Aliran Udara	0,15 – 0,37 m/s	Print	0,6	m/s	Sebanyak 43,75 % sampel ruangan gedung Kantor PT X tahun 2008 telah sesuai dengan standar kecepatan aliran udara. Sebagian besar ruangan memiliki kecepatan aliran udara okupan yang tinggi, disebabkan oleh: <ul style="list-style-type: none"> o Posisi saluran udara suplai kurang tinggi untuk menghasilkan kecepatan aliran udara di area okupan yang sesuai kisaran standar. o Sistem ventilasi gedung, dimana hulu pipa udara suplai dari AHU berkecepatan tinggi. Sehingga, ruangan yang memiliki sumber udara dari hulu pipa AHU memiliki kecepatan aliran udara yang tinggi.
		Mail	0,5		
		Control	0,3		
		Lobby	0,3		
		B 6	0,3		
		T 6	0,6		
		F 6	0,5		
		B 9	0,3		
		T 9	0,5		
		F 9	0,5		
		B 12	0,3		
		T 12	0,5		
		F 12	0,5		
		B 14	0,3		
T 14	0,3				
		F 14	0,5		

Keterangan:

Kata yang dicetak berwarna **merah dan tebal** menunjukkan kondisi parameter kualitas udara ruangan yang tidak sesuai dengan standar.

KESIMPULAN

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa, kualitas udara ruangan gedung kantor PT X tahun 2008 dinilai cukup, yaitu terdapat 63 % sampel ruangan yang memiliki 50 – 80 % parameter sesuai dengan standar; 31 % sampel ruangan lainnya berkualitas baik, yaitu memiliki > 80 % parameter sesuai dengan standar; dan sebanyak 6 % sampel ruangan berkualitas kurang yang memiliki < 50 % parameter sesuai standar. Berdasarkan jenis parameter, seluruh sampel sesuai dengan standar konsentrasi O₂ dan CO₂, sebanyak 75 % sampel ruangan sesuai dengan standar total koloni mikroba; 68,75 % sampel ruangan sesuai dengan standar tingkat kelembapan relatif; 56,25 % sampel sesuai dengan standar parameter suhu ruangan; 43,75 % sampel sesuai dengan standar kontaminan partikel debu udara dan standar kecepatan aliran udara.

DAFTAR PUSTAKA

1. EPA & NIOSH. 1991. *Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington
2. FISK, W. & ROSENFELD, A. 1997. 'Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments' [online], CBS Newsletter Summer 1997, pp. 5. dari: <http://eetd.lbl.gov/newsletter/> [2 Mar 2008]
3. DEPARTEMEN KESEHATAN RI. 2002, *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri* [online]. Bank data Departemen Kesehatan, dari <http://bankdata.depkes.go.id/> [4 Feb 2008]
4. MEDSCAPE TODAY, 2004. 'Indoor Air Quality: Part 1 - What It Is: IAQ – A Definition and Brief History' [online], Jannetti Publications *Pediatr Nurs* vol. 30, no. 5, pp. 430 – 433. dari: <http://www.medscape.com/> [8 Feb 2008]
5. NATHANSON, TEDD. 1995, *Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide* [online]. Minister of Supply and Services Canada, dari: <http://www.hc-sc.gc.ca> [14 Feb 2008]
6. ST. GERMAIN, EDWARD F. 1985, 'The Effects of Environmental Factors on Worker Productivity in the Construction Industry', *Defense Technical Information Center*,

- [online]. dari: <http://stinet.dtic.mil/> [8 Feb 2008]
7. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). 2007, *An Introduction to Indoor Air Quality* [online] dari: <http://www.epa.gov/iaq> [1 Feb 2008}

**KEBIJAKAN PENGAWASAN TENORM (*TECHNOLOGICALLY ENHANCED
NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS*) PADA INDUSTRI
FOSFAT**

Farida Tusafariah, Gloria Doloressa**, Sjahrul Meizar Nasri**, Hendra***

* Bidang Keselamatan dan Kesehatan PTKMR-BATAN

** Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja FKM-UI

ABSTRAK

**KEBIJAKAN PENGAWASAN TENORM (*TECHNOLOGICALLY ENHANCED
NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS*) PADA INDUSTRI
FOSFAT.** Industri fosfat di Indonesia menggunakan batuan fosfat dari Jordania, Maroko, Mesir dan Cina yang merupakan hasil tambang yang mengandung TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*) yang umumnya terdiri atas ^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{222}Rn dan ^{220}Rn . TENORM tersebut dapat memberikan kontribusi pajanan radiasi eksternal maupun internal kepada pekerja yang terlibat langsung dalam industri fosfat secara terus menerus. Penelitian bertujuan mendapatkan gambaran kebijakan pengawasan terhadap TENORM pada industri fosfat. Penelitian menggunakan desain studi eksplorasi yang merupakan suatu penelitian dengan melakukan analisis kualitatif melalui wawancara dan kajian literatur. Hasil penelitian diperoleh konsentrasi aktivitas radionuklida yang terkandung di dalam TENORM pada umumnya melebihi 1 Bq/g, dan perkiraan nilai total dosis efektif yang diterima pekerja di daerah kerja pada umumnya melebihi 1 mSv per tahun. Kebijakan pengawasan TENORM pada industri fosfat dapat diterapkan melalui koordinasi yang efektif dalam melindungi pekerja di industri fosfat antara Badan Pengawas Tenaga Nuklir, selaku lembaga pengawas pemanfaatan tenaga nuklir, dengan badan pengawas terkait lainnya. Kebijakan dapat dilaksanakan melalui intervensi dengan tindakan remedial atau perizinan, baru dapat diterapkan setelah melaksanakan pengkajian dan analisis lebih lanjut.

Kata kunci: Kebijakan Pengawasan TENORM, Intervensi, Perizinan

ABSTRACT

**THE REGULATORY POLICY OF TENORM (*TECHNOLOGICALLY ENHANCED
NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS*) IN THE PHOSPHATE
INDUSTRY.** The phosphate ores used in the phosphate industry in Indonesia are imported from Jordan, Marocco, Egypt, and China; ores that contain TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*) generally consisting of ^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{222}Rn and ^{220}Rn . The TENORM can contribute to the internal and external radiation exposures to the workers directly and continuously involved in the phosphate industry. The objective of the study is to provide the regulatory policy of TENORM in the phosphate industry. The exploration study design is used in the study and is conducted by qualitatively analyzing the data gathered from interviews and references. The activity concentrations of the radionuclides contained in the TENORM generally exceed 1Bq/kg and the total estimated effective dose received by the workers in the working environment in general surpass 1 mSv/yr. Therefore, the regulatory policy of TENORM in the phosphate industry can be implemented through an effective coordination between Nuclear

Energy Regulatory Agency, as the competent regulatory authority in the utilization of nuclear energy, and other regulatory authorities. In addition, the policy can also be implemented through intervention by remedial action or through licensing, which can only be executed after further analysis and assessment.

Keywords : Regulatory Policy TENORM, Intervention, Licensing.

PENDAHULUAN

Industri fosfat di Indonesia merupakan industri fosfat yang bergerak dalam bidang produksi pupuk fosfat dengan kapasitas produksi pupuk fosfat sebesar 2500 ton pertahun. Industri fosfat memiliki 3 (tiga) fasilitas pabrik yaitu pabrik I memproduksi Asam Fosfat, pabrik II memproduksi SP36 dan pabrik III memproduksi *Phosporic Acid*. Untuk mendukung produksinya industri fosfat ini mendatangkan bahan baku berupa bijih (batuan) fosfat dari Jordania, Maroko, Cina dan Mesir. Untuk pabrik II persentase impor bahan baku dari Maroko dan pabrik III persentase terbesar dari Mesir dan Cina.

Bijih fosfat umumnya berupa pasir kuarsa, mineral tanah dan lainnya berupa partikel-partikel fosfat. Biji fosfat dapat diproses untuk menghasilkan asam fosfat dan produk derivat fosfat lainnya. Batuan fosfat selain mengandung partikel-partikel fosfat dan mineral tanah, juga mengandung radionuklida alam dan selama proses kegiatan pengolahan dan pemanfaatannya dapat menyebabkan terjadinya peningkatan

konsentrasi radionuklida alam sehingga membentuk produk samping berupa bahan radioaktif. Bahan radioaktif yang terbentuk ini disebut *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM)*¹. Radioaktif yang terkandung di dalam TENORM pada umumnya adalah ^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{222}Rn dan ^{220}Rn , dan radionuklida ini mempunyai umur paro sangat panjang.²

Selain itu produksi asam fosfat dengan proses basah menimbulkan limbah kerak fosfat (kapur) dan produksi derivat fosfat dengan proses panas akan menimbulkan gips (*phosphogypsum*). Kerak fosfat (kapur) dan gips ini mengandung radionuklida uranium dan torium beserta anak luruhnya, yang juga merupakan TENORM.

TENORM dapat berupa bahan baku produk atau hasil samping (*by product*), baik berbentuk gas, padat (*scale* dan *slag*), lumpur (*sludge*), lapisan tipis (*film*) maupun cairan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1 -5.³



Gambar 1. Sludge TENORM



Gambar 4. Slag TENORM



Gambar 2. TENORM Cair



Gambar 5. Batuan fosfat



Gambar 3. Scale TENORM

TENORM dapat memberikan kontribusi pajanan radiasi eksternal maupun internal terhadap pekerja maupun masyarakat di sekitar lokasi industri. Pajanan radiasi eksternal diperoleh pekerja ataupun masyarakat karena fasilitas industri tersebut sudah terkontaminasi oleh TENORM, sedangkan pajanan radiasi internal diterima melalui pernafasan, makanan dan minuman yang terkontaminasi. Bila seseorang menghirup udara, meminum air dan memakan makanan yang

sudah mengandung radioaktif ataupun mengadakan kontak langsung secara terus menerus, maka berisiko terkena penyakit kanker atau masalah kesehatan lainnya. Hal ini disebabkan karena sifat radiasi yang dapat menimbulkan efek negatif terhadap makhluk hidup dan lingkungannya. Radionuklida masuk melalui saluran pernafasan (inhalasi) dan saluran pencernaan (*ingestion*) kemudian mengalami proses yang cukup kompleks terdistribusi ke berbagai organ dan jaringan tubuh (hati, ginjal, limpa, kulit, organ lain). Unsur radionuklida tersebut beredar ke seluruh tubuh, di-reabsorpsi dalam organ atau jaringan semula dan jaringan lainnya atau dikeluarkan secara alami dari dalam tubuh melalui organ ekskresi dan jaringan sekresi (ginjal, saluran pencernaan, kulit) bersama urin, feses dan keringat.^{4,5}

Berdasarkan studi epidemiologi, kanker kulit pada wajah banyak dijumpai pada para penambang uranium akibat pajanan radiasi dari debu uranium yang menempel pada wajah. Selain itu, karena selama melakukan aktivitasnya para pekerja tambang juga menghirup gas radon sebagai hasil luruh uranium, banyak pula yang mengalami kanker paru. Kanker tulang banyak terjadi pada pekerja pabrik jam sebagai akibat dari penggunaan bahan berpendar. Berdasarkan pengamatan pada

para korban bom atom di Hiroshima dan Nagasaki, leukemia merupakan efek stokastik tertunda pertama yang terjadi setelah pajanan radiasi seluruh tubuh dengan masa laten sekitar 2 tahun dengan puncaknya setelah 6-7 tahun.⁶

Untuk menghindari risiko efek negatif ini, maka pengawasan dan pengelolaan TENORM perlu mendapat perhatian agar pekerja masyarakat dan lingkungan terlindungi.

PERATURAN DAN PENGAWASAN KESELAMATAN TENORM **Peraturan TENORM di luar negeri**

Dalam melakukan pengawasan TENORM, masing-masing negara mempunyai peraturan TENORM yang disesuaikan dengan kondisi yang ada di negara tersebut, sehingga pada penerapan pengawasan TENORM pada beberapa negara tidaklah seragam.

Amerika Serikat melalui publikasi *Part N of the Suggested State Regulations for Control of Radiation (SSRCR), April 2004*, mengusulkan bahwa kegiatan TENORM harus dikecualikan apabila dosis efektif dalam satu tahun tidak melebihi nilai dosis masyarakat sebesar 1 mSv (0,1 rem), termasuk dosis yang diperoleh dari TENORM. Bahan yang mengandung atau terkontaminasi dengan

²²⁶Ra dan ²²⁸Ra beserta anak luruhnya, kurang dari 185 Bq/kg (5 pCi/g.) tidak termasuk latar juga dapat dikecualikan.

International Atomic Energy Agency (IAEA) dalam *Basic Safety Standard (BSS)* 115, yang mengadopsi Publikasi *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* No.60, merekomendasikan bahwa penerapan sistem proteksi radiologik dibedakan menurut tipe penanganan untuk pemanfaatan (*practices*) dan untuk intervensi (*intervention*).

Pemanfaatan (*Practices*)

Aplikasi persyaratan, seperti yang ditetapkan oleh Badan Pengawas menurut BSS No.115, terhadap pemanfaatan akan setaraf dengan karakteristik dari pemanfaatan itu. Dalam beberapa hal untuk aktivitas TENORM direkomendasikan pendekatan berjenjang terhadap suatu nilai, tergantung pada besar dan kemungkinan dari pajanan itu. Tidak semua persyaratan relevan untuk setiap pemanfaatan. Namun kewajiban dasar dan persyaratan administratif harus dipenuhi jika suatu aktivitas TENORM dianggap sebagai dibawah kendali pengawasan.

Pada industri TENORM, tindakan pengendalian telah dipertimbangkan dalam

kesehatan kerja secara umum, dengan perlengkapan proteksi radiasi yang cukup. Namun, persyaratan kesehatan kerja ditetapkan secara umum oleh Badan Pengawas yang tidak mempunyai pengetahuan khusus tentang risiko radiasi. Pedoman merupakan hal yang diperlukan oleh pelaksana dan pengawas pada tindakan pengendalian yang sesuai, untuk mencapai persyaratan kesehatan kerja secara umum.

Notifikasi (*Notification*)

Notifikasi adalah suatu persyaratan administratif, menginformasikan tujuan untuk melakukan suatu pemanfaatan tertentu kepada Badan Pengawas. Notifikasi cukup dengan ketentuan bahwa pajanan normal yang terkait dengan tindakan atau pemanfaatan tidak melebihi nilai batas yang ditetapkan oleh Badan Pengawas.

Pengawasan (*Authorization*)

Pengawasan adalah izin yang diberikan dalam suatu dokumen oleh Badan Pengawas kepada seorang yang berwenang. Pengawasan dapat berupa registrasi (*registration*) atau izin'. Badan Pengawas melakukan pengawasan, kecuali aktivitas NORM dikeluarkan atau dibebaskan. Jadi registrasi (*registration*)

merupakan bentuk pengawasan dalam pemanfaatan berisiko rendah, dengan beberapa kondisi atau batasan yang tepat. Persyaratan penilaian registrasi lebih lunak dibandingkan untuk persyaratan izin.

Intervensi (*Intervention*)

Dalam upaya mengurangi atau mencegah pajanan dalam situasi intervensi, tindakan proteksi dan/atau remediasi akan dilaksanakan bila disetujui oleh Badan Pengawas. Rencana tindakan remedial atau lokasi-spesifik untuk situasi pajanan kronik harus disiapkan dengan tepat. Perencanaan akan menetapkan tingkat tindakan dan jenis tindakan yang akan dilakukan dengan mempertimbangkan pajanan individu, kolektif, risiko radiasi dan non radiasi, sosial dan ekonomi, serta manfaat dan pertanggungjawaban keuangan untuk intervensi. Dengan demikian tindakan dalam melakukan intervensi perlu adanya pedoman yang jelas sehingga manfaat yang diperoleh maksimal. Sedangkan proteksi radiasi untuk tindakan intervensi didasarkan pada justifikasi dan optimasi dengan lingkup limitasi dosis bersifat pengecualian; dengan kata lain limitasi dosisnya tidak mengikuti prinsip untuk pemanfaatan.

Berdasarkan hal di atas maka instrumen pengendalian pemanfaatan

adalah notifikasi dan pengawasan (meliputi registrasi dan lisensi), sedangkan instrumen untuk intervensi adalah *action level* yang terdiri dari *intervention exemption level*, *intervention start line*, dan *intervention obligation line*.²

IAEA *Safety Standard Series* Nomor RS-G-1.7 merekomendasikan tingkat eksklusi untuk radionuklida alam dan tingkat pengecualian untuk radionuklida buatan dalam jumlah besar. Tingkat pengecualian dalam BSS hanya dapat diterapkan untuk pengecualian dari bahan berjumlah sedang, kurang dari 1 ton. Meskipun tingkat untuk radionuklida buatan diturunkan dengan perhitungan berdasarkan kriteria dosis 10 μSv per tahun dengan situasi pajanan normal dan 1 mSv per tahun hanya untuk kejadian berpeluang kecil. Radionuklida alam diturunkan menggunakan konsep eksklusi sesuai BSS. Nilai berdasarkan pertimbangan *upper end* dari distribusi dalam tanah sesuai UNSCEAR. Nilai untuk ^{40}K 10 Bq/g dan untuk semua nuklida, seperti ^{238}U dan ^{232}Th adalah 1 Bq/g. Penerapan nilai ini berkaitan dengan regulasi umum bahan radioaktif, untuk tingkat klirens dan untuk kendali pengawasan dalam komoditas nasional dan internasional.^{7,8}

Canadian Nuclear Safety Commission membedakan pajanan radiasi dari TENORM sebagai berikut :

1. *Occupationallly Exposed Workers*, adalah pekerja yang dalam kegiatannya terpajan dengan radiasi TENORM. Pekerja ini di klasifikasikan sebagai pekerja di lingkungan NORM, sehingga dosis efektif yang diterima tidak melebihi 20 mSv per tahun.
2. *Incidentally Exposed Workers*, adalah pekerja yang dalam kegiatannya tidak terpajan dengan radiasi TENORM. Pekerja ini di klasifikasikan sebagai masyarakat umum, sehingga nilai batas dosis efektif yang diterima 1 mSv per tahun.⁹

Australia mempunyai peraturan tentang TENORM tidak seragam dan berbeda, disesuaikan dengan daerah/negara bagian. Perbedaan ditentukan dengan nilai aktivitas total radioaktif untuk tingkat pengecualian

Penerapan di Australia berdasarkan masing-masing konsentrasi aktivitas radionuklidanya. ARPANSA (*Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*) dan QLD (*Quensland*) mengacu kepada IAEA, sedangkan beberapa negara bagian lainnya menerapkan peraturan yang sedikit berbeda. Peraturan TENORM ini juga dibedakan berdasarkan kategori bahan

dan jenisnya, kemudian menetapkan dikecualikan, pemanfaatan, bahkan ada yang tidak diatur.

3. Jepang menerapkan pengawasan TENORM dengan membuat kategori TENORM berdasarkan jenis dan kegiatan yang dilakukan di industri, bahan baku, serta jenis radioaktifnya. Selanjutnya metode pengaturan sesuai dengan karakteristiknya berdasarkan pada konsentrasi dan dosis radiasinya.¹⁰

Peraturan TENORM di dalam Negeri

Berdasarkan Undang Undang Republik Indonesia No.10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran pasal 17 bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki izin, kecuali dalam hal-hal tertentu yang diatur lebih lanjut dengan Peraturan Pemerintah. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, pengelolaan TENORM berdasarkan :

1. Pasal 48, menyebutkan bahwa :
 - (1) Intervensi diterapkan dalam situasi meliputi pajanan kronik.
 - (2) Situasi pajanan kronik meliputi :
 - a. Pajanan yang berasal dari NORM;

- b. Paparan yang berasal dari TENORM;
 - c. Paparan yang berasal dari sisa zat radioaktif pada kejadian masa lampau
 - d. Paparan yang berasal dari Sumber yang tidak diketahui pemilikinya.
2. Pasal 49, menyebutkan antara lain bahwa intervensi terhadap situasi paparan kronik dilaksanakan melalui tindakan remedial.
 3. Pasal 50, menyebutkan bahwa pelaksanaan intervensi :
 - (1) Setiap orang atau badan yang karena kegiatannya dapat menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM harus melaksanakan intervensi terhadap terjadinya paparan yang berasal dari TENORM melalui tindakan remedial.
 - (2) Pelaksanaan intervensi dilaporkan pada BAPETEN.
 - (3) BAPETEN mengevaluasi pelaksanaan intervensi.
 4. Pasal 51, menyebutkan bahwa menyebutkan bahwa BAPETEN wajib melaksanakan intervensi terhadap paparan kronik kecuali TENORM melalui tindakan remedial.
 5. Pasal 52, menyebutkan bahwa pelaksanaan intervensi hanya diberlakukan untuk TENORM dan NORM dengan konsentrasi radioaktif melebihi Tingkat Intervensi¹²
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, seperti tercantum pada:
1. Pasal 32, menyebutkan bahwa :
 - (1) Setiap orang atau badan yang melakukan penambangan bahan galian non nuklir yang dapat menghasilkan limbah radioaktif sebagai hasil samping penambangan wajib melakukan analisis keselamatan radiasi.
 - (2) Hasil analisis keselamatan radiasi sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) wajib disampaikan kepada Badan Pengawas.
 - (3) Tata cara analisis keselamatan radiasi sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) diatur lebih lanjut dengan Keputusan Kepala Badan Pengawas.
 2. Pada penjelasan pasal 32, menyebutkan bahwa pengertian badan yang dimaksud adalah sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Analisis keselamatan radiasi

meliputi kandungan zat radioaktif dan perkiraan limbah radioaktif selama penambangan.¹²

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, mengatur perizinan pemanfaatan tenaga nuklir :

1. Pasal 3 menyebutkan bahwa Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yang meliputi Kelompok A, Kelompok B dan Kelompok C.
2. Pasal 7 menyebutkan bahwa pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion kelompok B, meliputi kegiatan diantaranya butir b yaitu penyimpanan zat radioaktif.
3. Penjelasan pasal 7 huruf B menyebutkan antara lain bahwa penyimpanan zat radioaktif yang dimaksud adalah bahan lain yang mengandung radioaktif, yang merupakan hasil samping antara lain dari kegiatan produksi, pertambangan, atau rekayasa industri.
4. Pasal 10 menyebutkan bahwa :
 - (1) Setiap orang atau badan yang akan melaksanakan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan

Bahan Nuklir wajib memiliki izin dari Kepala BAPETEN.

- (2) Dalam hal tertentu berdasarkan Peraturan Pemerintah ini, kewajiban memiliki izin sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat dikecualikan.¹³

Dengan demikian jelas bahwa peraturan perundangan yang berkaitan dengan TENORM sudah ada. TENORM merupakan pajanan kronik, maka harus menerapkan/melaksanakan intervensi melalui tindakan remedial dan melaporkannya ke BAPETEN, dan BAPETEN mengevaluasinya. Pelaksanaan intervensi diberlakukan apabila konsentrasi radioaktif sudah melebihi tingkat intervensi. Untuk itu diperlukan kebijakan dalam menentukan intervensi dan tingkat intervensi sehingga peraturan yang ada dapat diterapkan.

Kebijakan Pengawasan di Industri fosfat

Industri fosfat yang memanfaatkan bahan baku berasal dari dalam bumi mengandung zat radioaktif. Oleh sebab itu industri fosfat dalam kegiatannya menghasilkan TENORM, berpotensi memberikan pajanan radiasi kepada pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Untuk itu diperlukan pengelolaan agar

dampak negatif dari radiasi dapat dihindari.

Untuk menghindari dampak negatif dari TENORM dan dalam upaya melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup terhadap bahaya radiasi, pengawasan TENORM dilakukan oleh Badan Pengawas. Pernyataan ini berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan BAPETEN sebagai Badan Pengawas Tenaga Nuklir maupun dari BATAN sebagai Badan Pelaksana. Berikut petikan wawancaranya :

“.....Pengawasan TENORM dilakukan dengan cara menjadikan pengelolaan TENORM merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh izin kegiatan industri.....”

”.....Pengawasan TENORM dilakukan dengan intervensi atau izin. Dengan izin mengingat potensi bahaya TENORM pada industri fosfat terhadap pekerja cukup tinggi dan industri fosfat sudah memakai bahan baku yang mengandung TENORM.....”

“.....Pedoman IAEA digunakan sebagai pedoman untuk menentukan tingkat intervensi TENORM.....” “.....Semua negara menggunakan IAEA sebagai panduan untuk pengawasan TENORM. Tingkat intervensi merupakan dosis efektif per tahun > 1 mSv dan konsentrasi aktivitas > 1 Bq/g”

“.....Pengawasan TENORM tidak secara langsung oleh BAPETEN. Nantinya dalam melakukan pengawasan TENORM, BAPETEN akan bekerja sama dengan instansi pemberi izin supaya mempunyai daya enforce. Peraturan TENORM akan dimasukkan kedalam peraturan instansi pemberi izin sehingga terdapat pernyataan

yang menjelaskan bahwa setiap hal terkait dengan radiasi maka merujuk ke peraturan BAPETEN.....”

“.....Adanya peraturan bersama yang menyebutkan bahwa setiap hal terkait dengan pengelolaan TENORM harus mendapat persetujuan dari BAPETEN, apabila tidak maka izin dari ESDM tidak dapat diterbitkan.....”

“.....Pengawasan TENORM akan dilakukan secara berkoordinasi antara BAPETEN dengan instansi pemberi izin yang lain dalam bentuk SKB (Surat Keputusan Bersama) atau MOU (*Memorandum of Understanding*), tapi yang lebih dekat adalah berupa SKB yang melibatkan BAPETEN, BATAN, ESDM, KLH, DEPERIN, PEMDA, dll.....”

“.....Dalam melakukan pengawasan TENORM, BAPETEN melakukan koordinasi tergantung kasusnya, misalnya migas dengan ESDM dan BP MIGAS, tapi karena banyak terkait dengan lingkungan maka dilakukan koordinasi dengan KLH. Untuk industri pupuk fosfat maka harus ada koordinasi dengan Depnaker, harus ada keselamatan kerja. Pelaksanaan *enforcement* pengawasan TENORM dilakukan oleh instansi lain yang memberikan izin secara langsung.....”

“.....Pengawasan TENORM berupa laporan kepada BAPETEN bahwa pihak perusahaan memiliki TENORM dan melakukan pengelolaan TENORM supaya aman terhadap masyarakat dan lingkungan hidup. Bisa berupa izin namun persyaratannya tidak sama dengan izin pemanfaatan zat radioaktif, tingkatnya lebih ringan supaya tidak memberatkan kepada pihak perusahaan. Izin yang sifatnya/ketentuannya lebih ringan daripada izin pemanfaatan zat radioaktif.....”

”.....Pengawasan TENORM bisa di masukkan sebagai bagian dari AMDAL atau RPL dan RKLnya. Bisa juga menjadi salah satu persyaratan untuk memperoleh izin dari instansi pemberi izin....”

Dari hasil wawancara, literatur, dan peraturan di beberapa negara, maka industri penghasil TENORM (industri fosfat) perlu pengawasan. Pengawasan dapat dilakukan dengan pemanfaatan (izin) atau intervensi. Namun saat ini kebijakan yang diberlakukan bukanlah sebagai pemegang izin, dan belum juga dilakukan intervensi. Intervensi dapat dilakukan apabila sudah ditetapkan batasan tingkat intervensi. Tingkat intervensi merupakan penerimaan dosis efektif per tahun > 1 mSv dan konsentrasi aktivitas > 1 Bq/g, bila mengacu pada IAEA.

Menurut Malcolm B. Cooper di Australia, konsentrasi radioaktif pada limbah fosfat yang berupa *scale* mengandung ^{226}Ra sekitar 3-3900 Bq/kg dan ^{210}Pb sekitar 30-1300 Bq/kg. Sedangkan ^{238}U , ^{232}Th , ^{210}Po konsentrasinya lebih rendah. Sementara batuan fosfat yang digunakan pada kegiatannya, menggunakan batuan fosfat dari Florida, Maroko dan Yordania mempunyai konsentrasi di atas 1000 Bq/kg. Konsentrasi berkisar 1500 – 1900 Bq/kg untuk uranium dan 16 - 200 Bq/kg untuk thorium. Konsentrasi aktivitas ini sudah melebihi yang dipersyaratkan IAEA untuk uranium¹⁴

Berdasarkan *Environmental Protection Agency* 1993. Pada industri

fosfat, konsentrasi ^{238}U , ^{234}U , dan ^{230}Th dalam pupuk fosfat lebih tinggi dari pada *slag* fosfat dan *phosphogypsum*, sedangkan ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po yang terdapat pada *slag* fosfat lebih tinggi dari *Phosphogypsum* dan pupuk fosfat. Konsentrasi ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po pada *slag* fosfat, ^{226}Ra pada *phosphogypsum*, dan ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th pada pupuk fosfat sudah melebihi dari 1 Bq/g.¹⁵

Florida Institute of Phosphate Research melaporkan bahwa pemantauan dosis pada beberapa lokasi kegiatan di industri fosfat antara tahun 1992-1996 berkisar antara 3,48-209,9 mrem (0,035 - 2,1mSv) per tahun namun pada umumnya masih dibawah 1 mSv.¹⁶

Berdasarkan hasil pengukuran dan penelitian yang dilakukan, perkiraan nilai dosis efektif yang diterima pekerja di lokasi limbah kapur dan gips sebesar $(1,3 \pm 0,2)$ mSv per tahun dan $(1,1 \pm 0,1)$ mSv per tahun.¹⁷

Penelitian Mellawati tahun 2004 diperoleh kadar ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{226}Ra dalam sedimen di perairan sekitar lokasi industri fosfat di Indonesia relatif lebih rendah daripada sedimen di perairan negara lain. Namun sedimen tersebut mempunyai potensi meningkatkan paparan radiasi bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya. Hasil penelitian ini juga memperhitungkan dosis efektif yang

diterima oleh penduduk, yaitu berkisar 1,81-2,94 mSv per tahun.¹⁸

Nilai dosis efektif yang melebihi 1 mSv per tahun dimungkinkan, karena bahan baku yang digunakan antara lain berasal dari Maroko, Yordania, Florida. Menurut penelitian Annaliah tahun 1994 pada industri fosfat, batuan fosfat ex Tunisia, Maroko, Yordania, dan Florida memiliki kadar ²³⁸U, dan ²²⁶Ra lebih tinggi daripada batuan fosfat ex Madura (pada umumnya sudah melebihi nilai konsentrasi/kadar yang ditetapkan yaitu sebesar 1000 Bq/kg). Hasil penelitian ini hampir sama dengan Australia yang menggunakan bahan baku berasal dari negeri yang sama. Bahan baku yang digunakan konsentrasi radionuklida juga sudah melebihi 1000 Bq/kg.

Dengan demikian bila mengacu pada ICRP 60, dosis yang diterima sudah melebihi nilai yang ditetapkan untuk masyarakat umum (1mSv per tahun), karena saat ini pekerja pada industri fosfat bukan sebagai pekerja radiasi. Untuk itu industri fosfat sebaiknya diberlakukan izin pemanfaatan, karena kegiatan dalam proses produksinya berpotensi meningkatkan dosis radiasi pada pekerjanya. Bila mengacu pada IAEA industri fosfat harus diintervensi, namun bila mengacu pada BAPETEN nilai dosis efektif yang

diterima pekerja di industri fosfat masih di bawah nilai batas yang ditetapkan (5 mSv per tahun), sedangkan untuk nilai tingkat intervensi belum ditetapkan. Tetapi berdasarkan wawancara nilai tingkat intervensi akan mengacu pada IAEA, karena IAEA merupakan panduan semua negara dalam pengawasan TENORM.

Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.27 tahun 2002 pada Pasal 32 maka industri fosfat yang melakukan penambangan bahan galian non nuklir yang dapat menghasilkan limbah radioaktif sebagai hasil samping hanya wajib melakukan analisis keselamatan radiasi. Hasil analisis keselamatan radiasi wajib disampaikan kepada Badan Pengawas. Dengan demikian dalam peraturan ini industri fosfat tidak memerlukan izin, tetapi harus melakukan analisis keselamatan radiasi dan melaporkan ke BAPETEN. Bila hal ini yang diberlakukan maka Badan Pengawas sebaiknya sesegera mungkin membuat pedoman cara melakukan analisis keselamatan dan mensosialisasikannya, baru kemudian dapat menerapkan peraturan ini. Hal ini dapat dilakukan melalui koordinasi dengan instansi yang terkait.

Walaupun industri fosfat tidak dalam pengawasan BAPETEN, industri ini

tetap harus diawasi karena berpotensi menyebabkan risiko akibat dari kegiatannya. Maka sebaiknya industri ini menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja secara terintegrasi dalam rangka perlindungan terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi dan atau kontaminasi. Dengan demikian pengawasan dapat saja dilakukan oleh Departemen Tenaga Kerja karena industri fosfat adalah merupakan tempat kerja yang mempunyai risiko terhadap bahaya-bahaya yang ada di tempat kerja termasuk bahaya fisik (radiasi). Potensi bahaya ini dapat timbul dimulai dari penggunaan bahan baku yang mengandung zat radioaktif, pada proses dalam kegiatannya, maupun penyimpanan dan pembuangan limbahnya. Pengawasan terhadap industri fosfat harus dilakukan sesuai dengan Pasal 3 pada Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 05 tahun 1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.¹⁹

Pada penjelasan Pasal 50 di Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif disebutkan juga bahwa “TENORM umumnya merupakan mineral ikutan yang berasal dari kegiatan penambangan dan industri. Pengusaha

yang karena kegiatannya ini menghasilkan TENORM bukanlah Pemegang Izin pemanfaatan tenaga nuklir, sehingga untuk implementasi ketentuan ini diperlukan koordinasi dengan instansi yang bertanggung jawab di bidang pertambangan dan perindustrian”.

Bila dikaitkan dengan pengelolaan limbah, industri fosfat harus memenuhi standar baku mutu agar tidak mencemari lingkungan. Baku mutu untuk pengelolaan limbah seharusnya juga mencakup parameter untuk nuklir (radiasi), karena industri fosfat berpotensi melepaskan radionuklida alam ke lingkungan. Namun pengawasan pengelolaan lingkungan hidup berada di KLH, sementara pengelolaan limbah radioaktif berada pada BAPETEN. Untuk itu perlu kejelasan dalam hal pengawasan limbah industri fosfat.

Walaupun dalam penjelasan peraturan tidak disebutkan koordinasi dengan DEPNAKERTRANS dan KLH tetapi dalam pengawasan dan perlindungan terhadap pekerja DEPNAKERTRANS mempunyai peranan. Sedangkan KLH berperan dalam pengelolaan limbah dan perlindungan lingkungan hidup. Untuk itu perlu adanya kejelasan pengawasan terhadap industri fosfat, sehingga pengawasan dapat dilakukan oleh Badan Pengawas yang berwenang, dengan

koordinasi yang kuat. Dengan adanya koordinasi, diharapkan pengawasan akan lebih mudah dilaksanakan dan yang paling utama adalah terlindunginya masyarakat dari potensi bahaya radiasi TENORM.

Koordinasi ini dimungkinkan, karena bila melihat pengawasan pada beberapa negara tidak hanya dilakukan oleh badan pengawas nuklirnya tetapi dapat juga badan pengawas lain misalnya bidang kesehatan atau energi. Jadi koordinasi diperlukan bila pada industri fosfat dilakukan intervensi, namun sebelum dilakukan intervensi diperlukan pedoman dalam pelaksanaannya.

Pedoman ini akan menyamakan persepsi dalam pengelolaan TENORM, baik pada Badan Pengawas, Badan Pelaksana, dan Penghasil TENORM. Pedoman ini sebaiknya tidak saja digunakan pada industri fosfat, tetapi pada industri lain penghasil TENORM, namun harus disesuaikan dengan kondisi masing-masing industri. Kajian dan analisis keselamatan perlu dilakukan dalam rangka menentukan nilai tingkat intervensi yang akan mengacu pada IAEA.

Berdasarkan hal di atas untuk menentukan nilai batas tingkat intervensi perlu pengkajian dan analisis lebih lanjut. Radionuklida yang ada pada TENORM yang dihasilkan industri fosfat terdiri dari

berbagai radionuklida namun pada satu jenis bahan (seperti limbah kapur, gips dll). Penentuan batas nilai untuk pengawasan TENORM, apakah dengan menentukan bahan secara menyeluruh (salah satu unsur sudah terpenuhi), atau berdasarkan unsurnya terpenuhi lalu dikategorikan dalam pengawasan.

Sampai saat ini Badan Pengawas belum menetapkan suatu kebijakan bahwa penghasil TENORM termasuk ke dalam kategori pemanfaatan tenaga nuklir, namun tidak menutup kemungkinan untuk diberlakukannya izin. Pemberlakuan izin dapat dilakukan dengan berdasarkan pertimbangan terhadap keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup, karena industri fosfat mempunyai potensi meningkatkan dosis radiasi pada pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup di sekitar industri fosfat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengukuran dan penelitian nilai dosis efektif untuk masyarakat sudah melebihi 1 mSv per tahun, dan konsentrasi aktivitas beberapa radionuklida sudah melebihi 1000 Bq/kg. Dengan demikian kebijakan pengawasan TENORM pada industri fosfat dapat diterapkan melalui intervensi atau izin. Kebijakan pengawasan TENORM melalui intervensi dilakukan

dengan tindakan remedial. Penerapan intervensi akan terlaksana dengan baik apabila antara instansi pemberi izin atau lembaga regulasi terkait TENORM saling berkoordinasi dan memiliki komitmen yang diwujudkan dalam bentuk peraturan bersama, seperti *Memorandum of Understanding (MOU)* atau Surat Keputusan Bersama.

Sedangkan kebijakan pengawasan TENORM melalui perizinan BAPETEN, yaitu izin penyimpanan zat radioaktif yang termasuk dalam perizinan kelompok B, dan harus memenuhi persyaratan perizinan yang meliputi persyaratan administratif dan persyaratan teknis. Tetapi sebelum menentukan industri fosfat termasuk dalam perizinan, diperlukan pengkajian dan analisis keselamatan secara menyeluruh, sehingga peraturan dan persyaratan yang akan diberlakukan dapat diterapkan.

Permasalahan pada industri fosfat bukan hanya di Indonesia, namun sudah menjadi masalah dunia internasional, industri fosfat mempunyai potensi bahaya radiasi yang cukup signifikan terhadap pekerjaanya, sehingga beberapa Negara telah menerapkan pengawasan TENORM dalam bentuk pengecualian dan perizinan dengan menggunakan acuan IAEA sebagai pedomannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANNALIAH, I., 1994., *Pengukuran Kadar Radioaktivitas Alam dari Deposit Fosfat Alam dan Hasil Pengolahannya*, Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir BATAN, Jakarta.
- 2.. BAPETEN, 2007, *Pengkajian Keselamatan Radiologik Untuk Pengelolaan Limbah TENORM*
3. _____, 2006, *Pengkajian Pengawasan Tentang Keselamatan Radiasi terhadap TENORM di Industri*, Jakarta.
4. NOTOSISWOYO, MULYONO DAN FAHMI, UMAR ACHMADI, 1998, *Potensi Dampak Pencemaran Radiasi Dalam Lingkungan*, Prosiding PIKRL IV, Jakarta.
5. O'BRIEN, R. S. AND COOPER, M. B., 1998, *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM): Pathway Analysis and Radiological Impact*, Applied Radiation Isotope Vol.49.
6. BATAN, 2002, *Efek Radiasi Terhadap Manusia*, Modul Pelatihan Proteksi Radiasi
7. IAEA. 1996, *Safety Series No.115 International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of*

- Radiation Sources*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
8. _____. 2004, *Safety Standards Series No. RS-G-1.7 Application of the Concepts of Exclusion and Clearance*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
9. CANADIAN NORM WORKING GROUP OF THE FEDERAL PROVINCIAL TERRITORIAL RADIATION PROTECTION COMMITTEE, 2000. *Canadian Guidelines for the Management of NORM*, Minister of Public Works and Government Service Canada, Canada
10. FNCA. 2005, *Current Status of TENORM in FNCA Countries (Activity Report of TENORM Task Group)*, Forum for Nuclear Cooperation in Asia
11. BAPETEN 2008, *PPRI No 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Jakarta
- 12..BAPETEN 2002, *PPRI No 27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*, Jakarta
- 13.BAPETEN 2008, *PPRI No 29 tahun 2007 tentang Perizinan dan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*, Jakarta
14. COOPER, MALCOLM B., 2005, *NORM in Australian Industries-Review of Current Inventories and Future Generation*, EnviroRad Services Pty.Ltd.
15. THE TENORM PAGE. 2006, *Phosphate Industry Waste*, www.tenorm.com/phosphateindustrywaste.htm [1 Mei 2006]
16. FLORIDA INSTITUTE OF PHOSPHATE RESEARCH. 1998, *Evaluation of Exposure to Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) in the Phosphate Industry*, Florida.
17. SYAHRIR, 2007, *Kajian Keselamatan Tempat Penimbunan Gips dan Kapur di PT. Petrokimia Gresik, Kajian Keselamatan Pekerja*, Unpublished, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Serpong, Tangerang.
18. MELLAWATI, JUNE. 2004, *Pencemaran Lingkungan Oleh Unsur Radionuklida Alam ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{226}Ra di Sekitar Kawasan Industri Fosfat (Kajian di Perairan Pesisir Gresik)*, Program Pascasarjana IPB, Bogor.
19. DEPARTEMEN TENAGA KERJA. 1998, *Peraturan Perundangan dan Pedoman Teknis SMK3*, Departemen Tenaga Kerja R.I., Jakarta.

ANALISIS PERUBAHAN PEMANFAATAN LAHAN PERTANIAN AKIBAT PEMBANGUNAN PLTN DI KABUPATEN JEPARA DENGAN METODE INPUT OUTPUT

Jupiter Sitorus Pane dan Heni Susiati***

* Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN

** Pusat Pengembangan Energi Nuklir – BATAN

ABSTRAK

ANALISIS PERUBAHAN PEMANFAATAN LAHAN PERTANIAN AKIBAT PEMBANGUNAN PLTN DI KABUPATEN JEPARA DENGAN METODE INPUT OUTPUT. Dalam menyongsong kebijakan pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dimana energi nuklir dijadikan salah satu sumber energi alternative, berbagai kajian yang menyangkut keselamatan lingkungan perlu dilakukan. Sebagai salah satu bagian dari analisis dampak lingkungan, telah dilakukan analisis perubahan pemanfaatan lahan pertanian akibat pembangunan PLTN di Kabupaten Jepara dengan metode Input-Output. Dengan metode ini dilakukan estimasi pertumbuhan ekonomi sebagai dampak pembangunan PLTN dan akibatnya terhadap perubahan pemanfaatan lahan pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permintaan untuk pemenuhan kebutuhan pembangunan PLTN telah berdampak pada meningkatnya perekonomian masyarakat sekaligus mendorong pada peningkatan kebutuhan lahan pertanian sebesar 4-11% dibandingkan pertumbuhan secara alamiah. Hasil analisis ini dapat dijadikan masukan dalam penyusunan tata ruang Kabupaten Jepara yang berkeeseimbangan.

Kata kunci: Tata ruang, analisis input-output, kebijakan energi nasional

ABSTRACT

ANALYSIS OF AGRICULTURE LANDUSE DUE TO NPP CONSTRUCTION AT DISTRICT OF JEPARA USING INPUT-OUTPUT METHODE. In order to support government policy issued in Presidential Rule No.5, Year of 2006 concerning National Energy Policy, where nuclear energy chosen as one of the alternative energy source, various investigation concerning environmental safety should be conducted. As part of environmental impact analysis, an analysis of agriculture land use change due to the development of NPP in District of Jepara has been performed using Inpu-Output method. With this method an estimation of economic growth as impact of NPP construction to land use change and its impact to agriculture land change were performed. Research result indicate that demand for accomplishment of requirement of development PLTN have affected the increasing of public economics as well as requirement of agriculture farm as much as 4-11% compared to naturally growth. This result can be made as a consideration to compilation of balanced spatial planning of District of Jepara.

Keywords: spatial, analysis input-output, national energy policy

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan energi penduduk di masa mendatang, berbagai sumber energi alternative seperti gas, biomassa, geothermal dan air harus ditingkatkan bersamaan dengan pemanfaatan energi fosil. Dalam Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang mengalokasikan kontribusi Energi Baru Terbarukan terhadap kebutuhan energi nasional sebesar 17% dan 5 % diantaranya berasal dari energi nuklir.¹

Dalam rangka penyiapan energi nuklir maka berbagai kajian untuk mempelajari dampak pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tersebut harus dilakukan untuk meyakinkan masyarakat dapat menerima kehadiran PLTN. Dalam makalah ini dikaji dampak pembangunan PLTN terhadap perubahan pemanfaatan lahan pertanian PLTN dengan metode Input-Output. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberi masukan kepada pihak terkait di Kabupaten Jepara dalam menyusun rencana tata ruang wilayah Kabupaten Jepara.

Dalam analisis ini diasumsikan jenis reaktor yang akan digunakan adalah jenis reaktor Korean Standard Nuclear Power Plant (KSNP) dengan daya 1000

MWe. Pemilihan ini dilakukan mengingat data dukung reaktor tersebut tersedia cukup memadai sebagai hasil komunikasi atas kerjasama BATAN dan KSNP.

Penelitian ini dibatasi pada lingkup analisis dampak ekonomi pembangunan PLTN terhadap ekonomi Kabupaten Jepara. Acuan yang dipakai adalah hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Tim Universitas Gajah Mada pada tahun 2004 tentang dampak ekonomi akibat pembangunan PLTN² dan korelasinya dengan perubahan pemanfaatan lahan pertanian Kabupaten Jepara dengan metode Input-Output. Sebagai implementasi dari hasil penelitian ini adalah diambilnya kebijakan yang dapat menentukan lokasi pengembangan lahan pertanian di sekitar PLTN sehingga mengurangi dampak radiologi bila terjadi kecelakaan nuklir.

STUDI PUSTAKA

Perubahan Tata Ruang

Dalam Undang-Undang No.26 tahun 2007 yang dimaksud dengan ruang adalah wadah yang meliputi ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi sebagai satu kesatuan wilayah, tempat manusia dan makhluk lain hidup, melakukan kegiatan, dan memelihara kelangsungan hidupnya.

Sedangkan tata ruang adalah wujud struktur ruang dan pola ruang.³

Struktur ruang adalah susunan pusat-pusat permukiman dan sistem jaringan prasarana dan sarana yang berfungsi sebagai pendukung kegiatan sosial ekonomi masyarakat yang secara hirarki memiliki hubungan fungsional dan pola ruang adalah distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukan ruang untuk fungsi budi daya.

Rencana struktur ruang wilayah kabupaten yang meliputi sistem perkotaan di wilayahnya yang terkait dengan kawasan pedesaan dan sistem jaringan prasarana wilayah kabupaten. Sedang pola ruang wilayah kabupaten yang meliputi kawasan lindung kabupaten dan kawasan budidaya kabupaten. Sebagai kawasan lindung meliputi kawasan hutan lindung, kawasan resapan air, kawasan sepadan pantai, kawasan sepadan sungai, kawasan suaka alam, dan kawasan cagar budaya. Kawasan budidaya meliputi kawasan pertanian yaitu tanaman pangan lahan basah, kawasan lahan kering, kawasan tanaman tahunan atau perkebunan, kawasan hutan produksi, dan kawasan non-pertanian yaitu perikanan,

peternakan, kawasan industri, kawasan pariwisata, kawasan pemukiman.³

Secara alamiah perubahan penggunaan lahan dapat terjadi oleh kebutuhan penduduk akan sarana dan prasarana dan dampak pertumbuhan sektor ekonomi pada basis ruangnya. Dalam tulisan ini perubahan penggunaan lahan yang dibahas meliputi perubahan akibat pertumbuhan sektor pada basis ruangnya, penggunaan ruang secara fisik untuk PLTN dan akses jalan.

Kebutuhan Lahan Pembangkit Daya Nuklir

Reaktor pembangkit daya nuklir hingga saat ini telah diproduksi dengan berbagai tipe dan daya antara lain seperti Reaktor Daya Air Ringan (Light Water Reactor), Pressurized Water Reactor (PWR), Biled Water Reactor (BWR), VVER/RMBK, AGR, Advanced Boiled Water Reactor (ABWR), AP 600, EPR. Dalam studi ini dipilih reaktor daya jenis PWR sebagai bahan studi karena tersedianya data lengkap tentang konstruksi PLTN-nya.

Komponen utama reaktor terdiri dari teras reaktor (*fuel core*), bejana tekan, batang kendali, kendali tekanan, dan pembangkit uap. Teras reaktor yaitu susunan bahan bakar uranium sekaligus tempat terjadinya reaksi fisi yang

menghasilkan energi dan bahan radionuklida yang sangat bersifat radioaktif. Komponen bejana tekan (*pressure vessel*) yaitu bejana tempat teras dan pendingin teras berada. Bejana ini diberi tekanan sedemikian rupa sehingga pendingin tidak mengalami pendidihan sebelum sampai ke komponen pembangkit uap (*steam generator*). Pada pembangkit uap, pendingin primer dengan suhu dan tekanan tinggi berubah menjadi uap untuk disalurkan ke turbin. Batang kendali berfungsi untuk mengendalikan daya reaktor dalam kondisi *transient* maupun *steady state*. Komponen lain berupa bejana kendali tekanan atau *pressurizer* digunakan untuk mengendalikan tekanan yang ada pada bejana tekan melalui dinamika fluktuasi

ketinggian pendingin. Seluruh komponen reaktor dikungkung dalam suatu pengungkung atau containment untuk menghindarkan pelepasan bahan radionuklida ke lingkungan bila terjadi kecelakaan.

Komponen lain di luar reaktor adalah turbin dan generator yang digunakan untuk membangkitkan listrik dan komponen kondensor beserta pompa feed waternya untuk sirkulasi air pendingin ke pembangkit uap. Untuk seluruh komponen reaktor diperlukan luas lahan sebesar 0,5 ha. Bila direncanakan di Jepara dibangun sebanyak 8 unit PLTN maka akan terjadi perubahan penggunaan lahan dari lahan pertanian ke lahan gedung seluas 4 ha.

Tabel 1. Model Tabel Transaksi Input-Output

Input	Output	Sektor Produksi			Permintaan Akhir (Y)				Total Output
		1	2	3	C	I	G	E	
Sektor Konsumsi	1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	C1	I1	G1	E1	X1
	2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	C2	I2	G2	E2	X2
	3	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	C3	I3	G3	E3	X3
Upah dan Gaji	L	L1	Lj	Ln	Lc	Li	Lg	Le	L
Nilai Tambah	V	V1	Vj	Vn	Vc	Vi	Vg	Ve	V
Impor	M	M1	Mj	Mn	Mc	Mi	Mg	Me	M
Total Input	X	X1	X2	X3	C	I	G	E	X

Keterangan:

C = Konsumsi rumah tangga L = Upah dan gaji E = Ekspor
I = Investasi G = Pengeluaran pemerintah V = Nilai tambah

Analisis Dampak dengan Tabel Input-Output

Tabel Input-Output pertama kali dikenalkan oleh Leontif pada tahun 1903. Di Indonesia penggunaan Tabel Input-Output banyak dipakai untuk menyediakan data statistik yang komprehensif yang mampu menggambarkan hubungan timbal balik dan saling keterkaitan antar unit sektor ekonomi di Indonesia. Tabel ini umumnya digunakan untuk analisis dan proyeksi perekonomian dalam perencanaan pembangunan. Secara garis besar Tabel Input-Output ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Permintaan akhir pada tabel transaksi dihitung dengan menggunakan rumus (1).

$$Y = \text{Permintaan Akhir} \\ = \sum X_{ij} + Y_i = X_i \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- X_{ij} = Banyaknya output sektor i yang digunakan untuk input sektor j
- Y_i = Permintaan akhir pada sektor i ($RT_i + Kp_i - I_i + S_i + E_i$)
- RT_i = Konsumsi rumah tangga
- I_i = Pembentukan modal sektor i
- E_i = Ekspor sektor i
- KP = Konsumsi pemerintah i
- S_i = Stock sektor i

Sektor Produksi (kolom)

$$\sum X_{ij} + G_j = X_i \dots\dots\dots (2)$$

- X_{ij} = Banyaknya input yang disediakan sektor i untuk memproduksi j
- G_j = Input primer sektor j ($L+M+V$)
- L_i = Upah atau gaji
- M_i = Impor dari sektor i
- V_j = Nilai tambah lainnya sektor j

Koefisien teknis $a_{ij} = X_{ij}/X_j$ sehingga

$$X_{ij} = a_{ij} \cdot X_j \dots\dots\dots (3)$$

Dengan koefisien teknis maka disusun persamaan:

$$Y = (I - A) X \\ X = (I - A)^{-1} Y \dots\dots\dots (4)$$

Dimana

- Y = Permintaan akhir
- X = Supply atau output dan
- $(I - A)^{-1}$ = matriks kebalikan Leontif

Dengan matriks kebalikan Leontif ini dapat dianalisis output atau suplai yang dibutuhkan sekaligus memproyeksikan kondisi permintaan akhir dan output di masa datang. Dalam prakteknya tidak semua wilayah nasional maupun regional memiliki Tabel Input-Output atau bila memiliki, belum dapat dipastikan memiliki keterkaitan antar sektor yang sama. Oleh karena itu perlu dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

1. Penggabungan sektor-sektor menjadi sektor yang lebih kecil.

2. Pemutahiran matriks untuk mendapatkan Tabel Input-Output Regional dari Tabel Input-Output Nasional dengan salah satu metode yang digunakan diantaranya metode *Location Question* sederhana.
3. Pemutahiran matriks Tabel Input-Output untuk mendapatkan Tabel Input-Output yang diproyeksikan ke masa yang akan datang dengan metode RAS.

Dengan Tabel Input-Output ini kemudian dapat dilakukan analisis berupa perhitungan invers Leontif dan Ghosian, analisis dampak, analisis pengganda

untuk output, *income*, tenaga kerja dan masukan atau input.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah Kabupaten Jepara, Propinsi Jawa Tengah, dimana di kabupaten ini merupakan kandidat lokasi dibangunnya PLTN yang berlokasi di desa Balong, Semenanjung Muria. Kabupaten Jepara berbatasan dengan laut di sebelah utara dan barat dan Kabupaten Kudus, Pati di sebelah timur dan Kabupaten Demak di sebelah selatan.

Tabel 2. Pertumbuhan basis sektor dan ruang

Kode	Sektor	Basis Ruang
(1)	(2)	(3)
1	Padi	Kawasan BDP/Kawasan tanaman lahan basah
2	Tanaman bahan makanan lainnya	Kawasan BDP/Kawasan tanaman lahan kering
3	Tanaman pertanian lainnya	Kawasan BDP/Kawasan tanaman lahan kering
4	Peternakan dan hasil-hasilnya	Gabung dengan pemukiman
5	Kehutanan	Kawasan BDP/hutan produksi
6	Perikanan	Kawasan perikanan/lahan basah laut
7	Pertambangan dan penggalian	Kawasan pertambangan
8	Industri makanan, minuman dan tembakau	Kawasan BDNP, pemukiman dan industri
9	Industri tekstil, kayu, rotan	Kawasan BDNP, pemukiman dan industri
10	Industri barang lainnya	Kawasan BDNP, pemukiman dan industri
11	Listrik, gas dan air minum	Kawasan BDNP, pemukiman
12	Bangunan	Kawasan BDNP, pemukiman
13	Perdagangan	Kawasan BDNP, pemukiman
14	Restoran dan hotel	Kawasan BDNP, pemukiman
15	Pengangkutan dan komunikasi	Kawasan BDNP, pemukiman
16	Lembaga keuangan, real estate dan jasa preusan	Kawasan BDNP, pemukiman
17	Pemerintahan umum dan pertahanan	Kawasan BDNP, pemukiman
18	Jasa-jasa	Kawasan BDNP, pemukiman
19	Kegiatan yang tidak jelas batasannya	Kawasan BDNP, pemukiman

Data

Data penggunaan lahan yang diambil adalah alokasi penggunaan tanah untuk pemukiman, industri, pertanian, hutan, dan lain-lain. Data ini diperoleh dari data hasil sensus pemetaan oleh Bakosurtanal dan Badan Pertanahan Nasional tahun 2001⁶. Data ekonomi khususnya data pendapatan daerah rata-rata bruto (PDRB) diambil dari data PDRB yang dikeluarkan oleh BPS dan BAPEDA^{7,8,9,10} dan masing-masing kecamatan disusun dalam Kecamatan Dalam Angka.

Analisis Data Basis Ruang

Untuk mempelajari keterkaitan pertumbuhan sektor-sektor ekonomi maka disusun keterkaitan sektor-sektor ekonomi dengan basis ruang yang dibutuhkan oleh sektor-sektor tersebut. Keterkaitan sektor ekonomi dengan basis ruang ditunjukkan pada Tabel 2.

Analisis Pertumbuhan Sektor Ekonomi

Analisis pertumbuhan sektor ekonomi akibat adanya permintaan pada pembangunan PLTN di Kabupaten Jepara dapat diprediksi dengan menggunakan Tabel Input-Output. Khusus untuk lahan pertanian, peningkatan ekonomi sektor

pertanian adalah sangat berkorelasi dengan luas panen suatu produksi pertanian. Oleh karena itu korelasi produksi sektor pertanian dapat dikaitkan dengan pertumbuhan basis ruang dari sektor ekonomi tersebut.

Dalam analisis ini digunakan Tabel I-O Kabupaten Jepara tahun 2001¹¹ yang dikonversi ke tahun 2005 sampai dengan 2020 dengan menggunakan metode RAS dan menggunakan perangkat lunak PyIO¹². Tabel I-O tahun 2001 Kabupaten Jepara terdiri dari 40 sektor ekonomi dan dikonversi ke 19 sektor ekonomi seperti yang tertera pada Tabel 2. Berikut ini adalah metode RAS yang digunakan untuk proyeksi Tabel I-O ke tahun yang akan datang.

Metode RAS adalah salah satu metode yang banyak dipakai untuk meng-update Tabel I-O berkaitan dengan perkembangan waktu (dari waktu $t=0$ ke waktu $t=1$) dan juga untuk menyesuaikan tabel nasional yang akan digunakan menurunkan matriks regional. Metode dimaksud untuk mencari matriks koefisien A input pada periode waktu t setelah matriks A pada periode 0 dan beberapa penambahan selama periode t tahun. Informasi selama periode t yang diperlukan adalah alokasi sektoral output antara (U), alokasi sektoral input antara

(V) dan output sektoral (X). Struktur metode RAS adalah sebagai berikut:

$$A^{2n} = [R^n \dots R^1] A(0) A(0) [S^1 \dots S^n] \dots (5)$$

Dimana A(0) adalah matriks awal yang akan disesuaikan dengan perkembangan waktu t dengan menggunakan koefisien pengaturan dalam $[R^n \dots R^1]$ dan $[S^1 \dots S^n]$. Karena strukturnya berupa R-A-S maka disebutlah proses ini sebagai metode RAS.

Dalam analisis ini maka periode 0 adalah matriks teknologi Kabupaten Jepara tahun 2001, sedangkan periode t nya adalah matriks teknologi periode tahun ke-t = 2010, 2015, dan 2020. Bila dianggap matriks teknologi periode 2001 sama persis dengan matriks teknologi di periode 2010, 2015 dan 2020, yaitu A(0) = A(1), maka matriks transaksi 2010 dapat dihitung yaitu:

$$Z(1) = A(0) [X(1)] \dots (6)$$

Dari persamaan (6) maka jumlah setiap baris dan jumlah setiap kolom (secara berturut-turut) adalah vektor U(1) dan vektor V(1).

Pada kenyataannya matriks teknologi tersebut tidak sama, A(0) ≠ A(1), maka dalam kondisi begini jumlah setiap baris dari Z(1) tidak akan sama dengan U(1) dan V(1). Walaupun demikian tetap dapat dihitung Z(1) dengan kenyataan bahwa jumlah baris

dan kolom matriks transaksi antara tidak sama dengan U(1) dan V(1). Dengan metode RAS dilakukan penyamaan hasil kali di atas sehingga nilai U(1) dan V(1) tersebut dipenuhi.

Misalkan jumlah baris dari matriks dinotasikan sebagai U¹, maka karena A(0) ≠ A(1), U¹ ≠ U(1). Jika U¹ > U(1) berarti jumlah setiap baris terlalu besar dari seharusnya demikian sebaliknya bila U¹ < U(1). Oleh karena itu perlu penyesuaian dengan menghitung koefisien r¹,

$$r_i^1 = \frac{U_i(1)}{U_i^1} \dots (7)$$

Untuk setiap sektor produksi i di perekonomian. Dalam notasi matriks koefisien ini dituliskan sebagai,

$$R^1 = [U^{\wedge}(1)] \left[U^1 \right]^{-1} \dots (8)$$

Yang menghasilkan matriks 40 x 40. Jika matriks dikalikan dengan Z(1) maka akan diperoleh matriks transaksi dengan jumlah baris sama dengan elemen vektor U(1) yang dinotasikan sebagai, U(1) = [R¹ A(0) X(1)]_i, dimana i=1..m Sehingga total output antara dari hasil estimasi sama nilainya dengan total output antara hasil iterasi.

Dengan demikian untuk sementara dapat diestimasi matriks teknologi 2010 yaitu A¹=R¹A(0). Yang

menjamin total output antara dari matriks transaksi antara sama dengan total output antara hasil estimasi untuk tahun 2010.

Penyesuaian lain yang harus dilakukan adalah jumlah permintaan input matriks transaksi, $V(1)$ harus sama dengan hasil estimasi jumlah input antara tahun 2010. Berdasarkan persamaan $A^1=R^1A(0)$ dapat diuji kecocokan $V(1)$ dengan $V1$ dengan mengalikan $A1$ dengan $X(1)$. $V^1=i[A^1X(1)]=[V_1^1, V_2^1, V_3^1]$. Jika $V^1=V(1)$ maka A^1 merupakan matriks teknologi yang sesuai dengan hasil estimasi 2010, jumlah, $U(1)$, dan jumlah kolom, $V(1)$ akan sama dengan hasil estimasi tahun 2010.

Jika $V1 \neq V(1)$ maka jumlah kolom $V1$, tersebut harus disesuaikan dengan menggunakan koefisien $S(1)=\left[\hat{V}(1)\right]\left(\hat{V}^1\right)^{-1}$ yang menghasilkan matriks 40x40. Jika matriks $S1$ ini dikalikan dengan matriks $[A1X(1)]$ maka jumlah kolom akan sama dengan $V(1)$ hasil estimasi. Dalam notasi dapat dituliskan

$$V(1)=i^1[A^1X(1)S^1] \dots\dots\dots (9)$$

Sehingga diperoleh matriks teknologi baru yang memenuhi syarat kolom matriks transaksi sama dengan $V(1)$. Jika matriks teknologi yang baru adalah A^2 , maka $A^2=A^1S^1$.

Karena $A1$ yang menjamin terpenuhinya $U(1)$ berubah menjadi A^2 maka syarat $U(i)$ belum terpenuhi sehingga harus diperiksa kembali jumlah baris matriks transisi baru akibat A^1 berubah menjadi A^2 (dengan mengalikan $A2$ dengan $X(1)$ hasil estimasi). Jumlah elemen baris dapat dinotasikan dengan U^2 sehingga $U^2=[A^2X(1)]_i$. Jika $U^2=U(1)$ maka matriks teknologi 2010 yang dicari adalah A^2 . Matriks tersebut telah memenuhi $U(1)$ dan $V(1)$ pada saat yang bersamaan. Matriks teknologi $A2$ dirumuskan sebagai,

$$A^2=R^1A(0)S^1 \dots\dots\dots(10)$$

Jika $U^2 \neq U(1)$ maka dilakukan lagi penyesuaian baris dengan menggunakan koefisien R^2 sehingga $R^2 = [\hat{U}(1)](\hat{U}^2)^{-1}$. Jika R^2 dikalikan A^2 maka akan diperoleh A^3 . $A^3 = R^2A^2$, yang mana $[A^3X(1)]_i = [R^2A^2X(1)]_i = U(1)$.

Demikian sterusnya proses iterasi ini dilakukan sampai nilai $|U(1) - U^k|$ dan $|V(1) - V^k|$ lebih kecil dari nilai tertentu, misalnya $\epsilon = 0,001$.

Analisis Dampak Input-Output

Dengan diketahuinya proyeksi Tabel I-O tahun 2010, 2015 dan 2020 dapat dihitung dampak-dampak yang berkaitan dengan dampak langsung ke depan, dampak langsung ke belakang,

keterkaitan langsung dan tak langsung ke depan, keterkaitan langsung dan tak langsung ke belakang, dan koefisien penyebaran.

- (1) Dampak langsung ke depan (direct forward linkage)

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{X_i} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \dots\dots\dots (11)$$

- (2) Dampak langsung ke belakang

$$B_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{X_j} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \dots\dots\dots (12)$$

- (3) Keterkaitan langsung dan tak langsung ke depan

$$FLTL_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \dots\dots\dots (13)$$

- (4) Keterkaitan langsung dan tak langsung ke belakang

$$FLTL_i = \sum_{i=1}^n C_{ij} \dots\dots\dots (14)$$

- (5) Koefisien penyebaran

$$B_{dj} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}} \dots\dots\dots (15)$$

Analisis kebutuhan ruang

Analisis kebutuhan ruang diturunkan dari hasil prediksi pertumbuhan output pada Tbel I-O, kemudian ditransformasikan ke dalam produktivitas yang selanjutnya berimplikasi pada perubahan pola dan

struktur pemanfaatan ruang wilayah Kabupaten (RTRWK).

Tahap pertama model analisis adalah mengetahui produktivitas lahan untuk setiap sektor dengan formulasi sebagai berikut;

$$L = \begin{vmatrix} X_1 / ha \\ X_2 / ha \\ \vdots \\ X_n / ha \end{vmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prerubahan penggunaan lahan berkorelasi kuat dengan pertumbuhan sector ekonomi. Hasil analisis korelasi luas panen dan produktivitas tanaman padi sawah dan palawija ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil perhitungan korelasi menunjukkan bahwa padi sawah, padi gogo dan tanaman palawija memiliki korelasi yang cukup kuat sehingga perubahan luas panen sebanding perubahan pada produksi, akan tetapi terhadap produktivitas beberapa tanaman memiliki korelasi yang lemah seperti tanaman jagung, ketela rambat, dan kacang hijau.

Dengan terdapatnya korelasi yang cukup kuat antara produksi dan luas panen maka terdapat pula korelasi yang kuat antara nilai output suatu sector ekonomi pada Tabel I-O dengan luas atau luas lahan.

Tabel 3. Korelasi produksi, luas panen, produktivitas produk pertanian

Produk pertanian	Korelasi produksi vs Luas panen	Korelasi produksi vs Produktivitas
Padi sawah	0,9978± 0,0242	0,8089 0,2273
Padi gogo	0,9428 0,1187	0,9301 0,1313
Jagung	0,9462 0,1109	0,2694 0,4085
Kedelai	0,9904 0,3689	0,6508 2,2288
Ketela pohon	0,8903 0,1197	0,9329 0,0936
Ketela rambat	0,9329 0,0294	0,0425 0,9948
Kacang tanah	0,9978 0,0242	0,8089 0,2273
Kacang hijau	0,9841 0,2692	0,2363 0,9946

Sebagai permintaan akhir pada analisis I-O diambil dari nilai kumulatif permintaan akhir hasil penelitian terdahulu seperti diuraikan pada Tabel 4. Dengan menjadikan permintaan akhir pada Tabel 4 sebagai scenario permintaan akhir terhadap Tabel I-O dapat diketahui dampak output dari masing-masing scenario. Akan tetapi permintaan akhir

tidak hanya ditentukan oleh pembangunan PLTN tetapi juga oleh pertumbuhan permintaan penduduk yang tumbuh secara alamiah.

Tabel 4. Nilai kumulatif permintaan akhir pembangunan PLTN Tahun 2010, 2015, dan 2020 dalam 19 sektor (dalam puluhan ribu rupiah)

Tabel 4. Korelasi produksi, luas panen, produktivitas pertanian

Sektor	Kode Sektor	Kumulatif 2010	Kumulatif 2015	Kumulatif 2020
Penggalian	7	0,31413	4,084	0
Industri kayu, bamboo dan rotan	9	19425	310.8	0
Industri barang karet dan plastic	10	1.299.546	22.259.266	0
Bangunan	12	0	5.251.6875	116.772.000
Kuangan dan persewaan	16	1.822.250	3.600.562	1.184.000

Dengan skenario ini maka output yang dihasilkan dalam analisis Input-Output ini terdiri dari output oleh pertumbuhan alamiah dan output oleh pertumbuhan alamiah bersamaan dengan pembangunan PLTN seperti yang

diuraikan pada Tabel 5 dan 6. Sesuai dengan basis sektor terhadap ruang maka tabel pertumbuhan ekonomi masing-masing sektor dapat dihubungkan dengan basis sektornya seperti pada Tabel 2.

Tabel 5. Output pertumbuhan sektor ekonomi alamiah tanpa PLTN

Sektor	Tahun 2010	Tahun 2015	Tahun 2020	Pertumbuhan 2010-2015	Pertumbuhan 2015-2020	Pertumbuhan 2010-2020
1	15.532.230	33.843.292	52.458.332	2,18	1,55	3,38
2	52.860.166	121.340.984	192.991.817	2,30	1,59	3,65
3	1.099.506	2.273.623	3.426.956	2,07	1,51	3,12
4	4.532.199	11.539.194	19.620.383	2,55	1,70	4,33
5	3.214.688	3.502.056	3.793.016	1,09	1,08	1,18
6	5.851.043	13.172.350	20.865.310	2,25	1,58	3,57
7	2.469.281	7.892.836	15.083.078	3,20	1,91	6,11
8	31.154.633	71.828.683	114.397.385	2,31	1,59	3,67
9	229.328.152	489.335.488	755.034.247	2,13	1,54	3,29
10	11.196.004	23.865.724	36.807.209	2,13	1,54	3,29
11	4.355.560	32.211.438	114.102.516	7,40	3,54	26,20
12	23.382.192	64.279.261	119.136.035	2,75	1,85	5,10
13	82.620.085	172.538.755	262.546.391	2,09	1,52	3,18
14	14.203.075	35.899.863	60.746.643	2,53	1,69	4,28
15	30.280.850	74.375.655	122.618.077	2,46	1,65	4,05
16	18.341.563	59.392.993	115.280.010	3,24	1,94	6,29
17	31.789.470	74.957.908	120.720.456	2,36	1,61	3,80
18	9.644.041	22.740.147	36.623.229	2,36	1,61	3,80
19	0	0	0	0	0	0

PEMBAHASAN

Dengan kuatnya korelasi produksi pertanian yang ditandai dengan nilai ekonomi masing-masing sektor, dengan luas panen atau luas lahan maka Tabel 7, 8 dan 9 menunjukkan bahwa pada tahun 2020 dibutuhkan luas panen pertanian sawah dan tanaman bahan makanan seluas hampir empat kali luas panen yang

ada sejak tahun 2001. Demikian pula halnya dengan lahan untuk bangunan. Khusus untuk sektor kelistrikan dan gas walaupun rasio perubahan sektor ekonominya sangat tinggi mencapai 40 kali lipat, namun kaitannya dengan ruang tidak begitu nyata karena kelistrikan tidak memerlukan ruang yang padat.

Tabel 6. Output pertumbuhan sektor ekonomi alamiah dan pembangunan PLTN

Sektor	Tahun 2010	Tahun 2015	Tahun 2020	Pertumbuhan 2010-2015	Pertumbuhan 2015-2020	Pertumbuhan 2010-2020
1	15532617	36469281	57764700	2.35	1.58	3.72
2	52940922	124323964	199074759	2.35	1.60	3.76
3	1099858	2318318	3574185	2.11	1.54	3.25
4	4532901	11540972	19627731	2.55	1.70	4.33
5	3215476	4895070	5738445	1.52	1.17	1.78
6	5851312	13173970	20869782	2.25	1.58	3.57
7	2586536	8234201	16546212	3.18	2.01	6.40
8	31156798	71842369	114433102	2.31	1.59	3.67
9	229373330	490059070	756869515	2.14	1.54	3.30
10	12534496	46351012	37139161	3.70	0.80	2.96
11	4376961	41691910	176624708	9.53	4.24	40.35
12	23443425	119603723	237444360	5.10	1.99	10.13
13	82692369	174778014	269099008	2.11	1.54	3.25
14	14214646	35915663	60807506	2.53	1.69	4.28
15	30367277	77642107	131539344	2.56	1.69	4.33
16	20307045	84584792	176990708	4.17	2.09	8.72
17	31794300	75008088	120891071	2.36	1.61	3.80
18	9668772	23385959	37740231	2.42	1.61	3.90
19	0	0	0	0	0	0

Tingginya kebutuhan luas panen dapat diatasi dengan melakukan intensifikasi terhadap lahan-lahan pertanian. Apabila diperhatikan pada data luas panen dan luas lahan baku pada Tabel 8, maka intensitas penanaman lahan masih dapat dianggap rendah. Oleh karena itu perlu dilakukan pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan produktivitasnya. Bila hal ini tidak dilakukan maka hal ini dapat berdampak pada usaha memperluas lahan pertanian yang berarti tingginya tingkat konversi

lahan ke pertanian dan perkebunan, atau memperbesar impor kebutuhan pertanian.

Tabel 9 menunjukkan perbandingan angka pertumbuhan alamiah dan pertumbuhan akibat pembangunan PLTN. Dari data tersebut terlihat bahwa dampak kenaikan perubahan lahan oleh pembangunan PLTN terhadap sawah dan tanaman pertanian lain hanya berkisar 4-11% sedangkan perikanan praktis dianggap tidak ada. Dampak terhadap kehutanan merupakan dampak terbesar karena pada saat itu kebutuhan akan pembangunan PLTN sangat besar sekali.

Berdasarkan data-data di atas maka dalam penyusunan rencana tata ruang perlu disusun kebijakan yang dapat mendorong pengendalian dengan merangsang pertumbuhan ekonomi di wilayah-wilayah yang masih dapat

dikembangkan, mendorong peningkatan produktivitas pertanian melalui usaha intensifikasi agar permintaan bahan pertanian dapat tersedia tanpa perluasan lahan baku.

Tabel 7. Pertumbuhan basis sektor dan ruang pada tahun 2020

Kode	Sektor	Basis Ruang	Rasio pertumbuhan
1	Padi	Kawasan BDP/Kawasan tanaman lahan basah	3.72
2	Tanaman bahan makanan lainnya	Kawasan BDP/Kawasan tanaman lahan kering	3.76
3	Tanaman pertanian lainnya	Kawasan BDP/Kawasan tanaman lahan kering	3.25
4	Peternakan dan hasil-hasilnya	Gabung dengan pemukiman	4.33
5	Kehutanan	Kawasan BDP/hutan produksi	1.78
6	Perikanan	Kawasan perikanan/lahan basah laut	3.57
7	Pertambangan dan penggalian	Kawasan pertambangan	6.40
8	Industri makanan, minuman dan tembakau	Kawasan BDNP, pemukiman dan industri	3.67
9	Industri tekstil, kayu, rotan	Kawasan BDNP, pemukiman dan industri	3.30
10	Industri barang lainnya	Kawasan BDNP, pemukiman dan industri	2.96
11	Listrik, gas dan air minum	Kawasan BDNP, pemukiman	40.35
12	Bangunan	Kawasan BDNP, pemukiman	10.13
13	Perdagangan	Kawasan BDNP, pemukiman	3.25
14	Restoran dan hotel	Kawasan BDNP, pemukiman	4.28
15	Pengangkutan dan komunikasi	Kawasan BDNP, pemukiman	4.33
16	Lembaga keuangan, real estate dan jasa preusan	Kawasan BDNP, pemukiman	8.72
17	Pemerintahan umum dan pertahanan	Kawasan BDNP, pemukiman	3.80
18	Jasa-jasa	Kawasan BDNP, pemukiman	3.90
19	Kegiatan yang tidak jelas batasannya	Kawasan BDNP, pemukiman	0

Tabel 8. Intensitas penanaman sawah untuk masing-masing kecamatan

	Kedung	Pecangaan	Kalinyamatan	Welahan	Mayong	Nalumsari	Batealit
Luas panen sawah	3142,00	2276,00	1993,00	2617,00	3121,00	2087,00	2415,00
Luas baku	1976,74	1536,00	1391,36	1541,21	2085,66	2111,00	2221,70
Intensitas	1,59	1,48	1,43	1,70	1,50	0,99	1,09

	Tahunan	Jepara	Mlongo	Bangsri	Kembang	Keling	Karimun jawa
Luas panen sawah	1525,00	607,00	3448,00	3082,00	2335,00	5525,00	27,00
Luas baku	1017,70	447,63	2508,52	2738,40	2474,26	4325,84	32,00
Intensitas	1,50	1,36	1,37	1,13	0,94	1,28	0,84

Tabel 9. Rasio perubahan lahan akibat pembangunan PLTN terhadap pertumbuhan alamiah

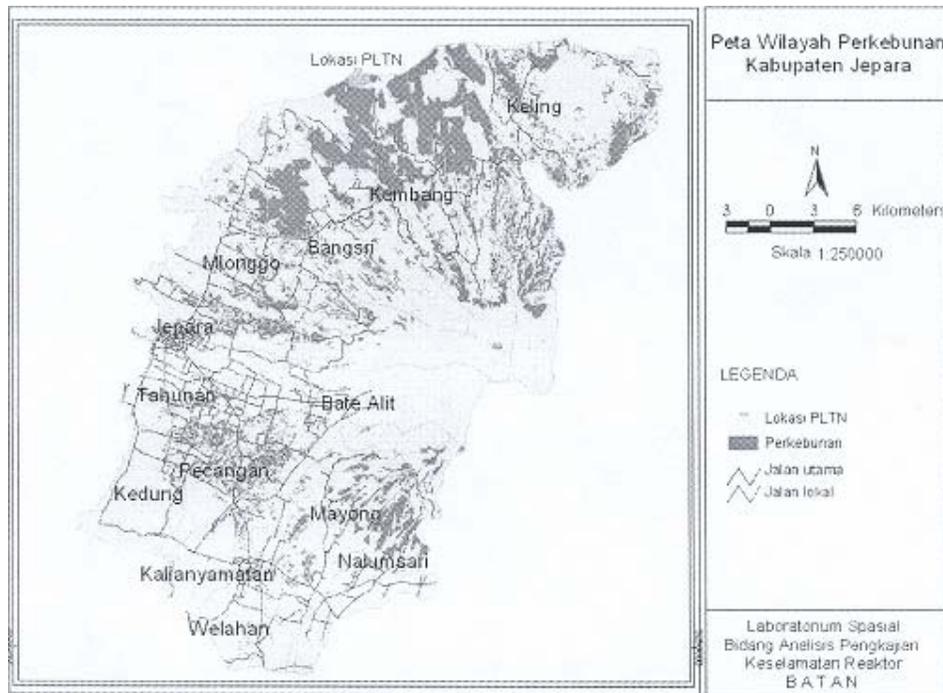
Kode	Sektor	Rasio kenaikan output tahun 2020	Persentase kenaikan penggunaan lahan
1	Padi	1.10	10.11
2	Tanaman bahan makanan lainnya	1.03	2.99
3	Tanaman pertanian lainnya	1.04	4.29
4	Peternakan dan hasil-hasilnya	1.00	0.02
5	Kehutanan	1.51	51.25
6	Perikanan	1.00	0.02
7	Pertambangan dan penggalian	1.05	4.73
8	Industri makanan, minuman dan tembakau	1.00	0.02
9	Industri tekstil, kayu, rotan	1.00	0.22
10	Industri barang lainnya	0.90	-9.87
11	Listrik, gas dan air minum	1.54	54.04
12	Bangunan	1.99	98.78
13	Perdagangan	1.02	2.41
14	Restoran dan hotel	1.00	0.02
15	Pengangkutan dan komunikasi	1.07	6.97
16	Lembaga keuangan, real estate dan jasa preusan	1.39	38.67
17	Pemerintahan umum dan pertahanan	1.00	0.13
18	Jasa-jasa	1.03	2.79
19	Kegiatan yang tidak jelas batasannya	0	0.00

Ditinjau dari sisi dampak radiologi maka peningkatan lahan pertanian di sekitar PLTN dapat berdampak pada meningkatnya dampak radiologi jangka panjang melalui masukan makanan. Oleh karena itu untuk menghindari terjadinya konversi lahan makalangkah terbaik untuk dilakukan adalah mengatasi permintaan produksi pangan dilakukan dengan program intensifikasi lahan dan mencegah konversi lahan.

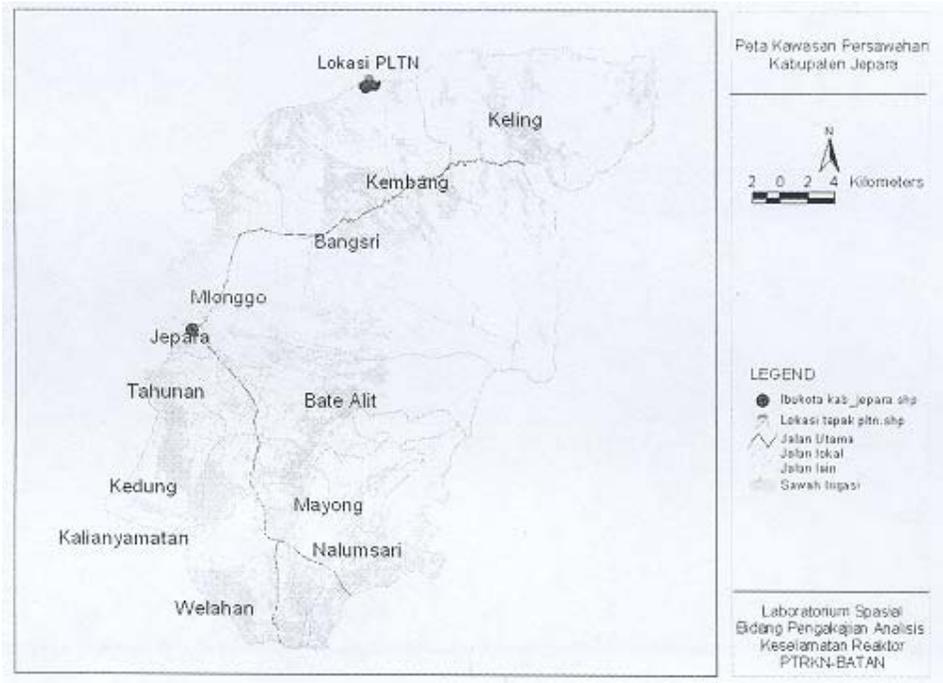
Di sisi lain perubahan pemanfaatan ruang yang tidak kalah pentingnya adalah peningkatan akses jalan dari kawasan PLTN ke lokasi di

luar PLTN. Hal ini sangat diperlukan terutama untuk masalah penanganan kedaruratan bila terjadi kondisi darurat. Berdasarkan hal ini maka analisis pemanfaatan ruang sangat diperlukan sebagai masukan dalam menyusun kebijakan tata ruang sehingga berbagai keperluan dapat diakomodasi secara optimal dan seimbang, khususnya dalam masalah keselamatan lingkungan.

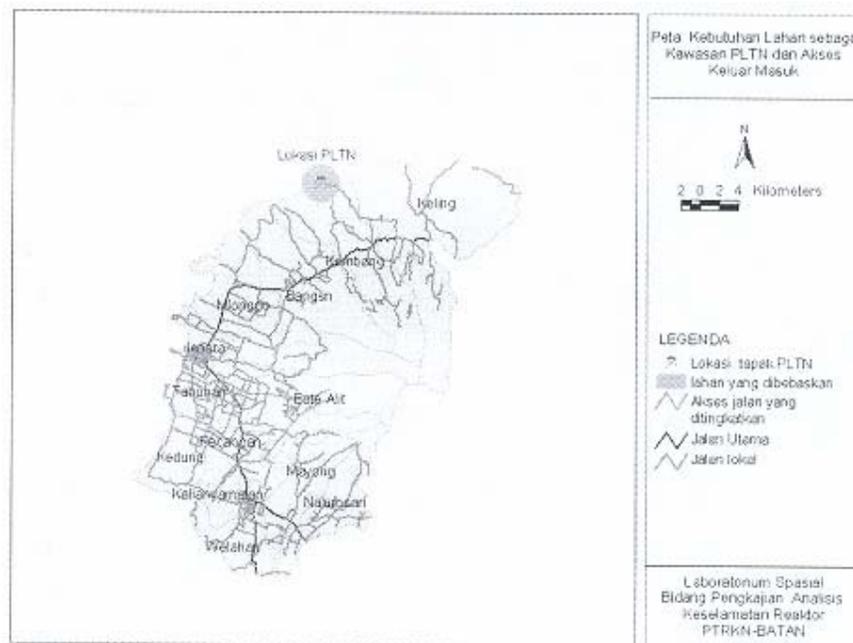
Gambar 1, 2, dan 3 berikut ini adalah peta distribusi lahan sawah, perkebunan yang akan mengalami perubahan dan lahan untuk kawasan PLTN berikut akses jalan diusulkan.



Gambar 1. Peta distribusi lahan perkebunan Kabupaten Jepara



Gambar 2. Peta distribusi lahan sawah irigasi Kabupaten Jember



Gambar 3. Peta lahan kawasan PLTN dan akses jalan

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode Input-Output telah ditunjukkan bahwa pembangunan PLTN berdampak pada perubahan pemanfaatan lahan pertanian sebagai akibat naiknya permintaan akhir kebutuhan konstruksi PLTN dan pertumbuhan sektor-sektor ekonomi terkait. Perubahan ini dapat berdampak pada konversi lahan perkebunan menjadi lahan industri di lokasi PLTN dan sekitarnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan lahan pertanian sebagai akibat pembangunan PLTN meningkat 4-11% dibandingkan pertumbuhan secara alamiah. Artinya dampak pembangunan PLTN berkontribusi merubah pola pemanfaatan ruang kawasan budi daya pertanian Kabupaten Jepara dalam kisaran 4-11%.

Untuk menghindari perluasan permintaan lahan pertanian maka kebijakan intensifikasi pertanian lebih diutamakan. Dengan demikian dampak secara radiologi jangka panjang dapat dikurangi. Sebagai implementasi pengendalian pemanfaatan ruang ini maka hasil analisis ini dapat dijadikan sebagai masukan bagi penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Jepara.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Presiden Republik Indonesia No.5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi nasional.
2. Pusat Studi Ekonomi dan Kebijakan Publik UGM. Kajian Dampak Ekonomi Pembangunan PLTN terhadap Sektor Ekonomi nasional. Jogjakarta, 2004.
3. Departemen Pekerjaan Umum. Undang-Undang No.26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Jakarta, 2007.
4. BPS. Kerangka Teori dan Analisis Tabel Input-Output. ISSN.0251-039506330.9501, 2000.
5. Nazara S. Analisis Input-Output. Lembaga Penerbit FE-Universitas Indonesia.
6. Bakosurtanal. Peta Digital Kabupaten Jepara, 2001.
7. BPS Kab. Jepara. Jepara dalam Angka 2002, Jepara 2002.
8. BPS Kab. Jepara. Jepara dalam Angka 2005, Jepara 2005.
9. BPS Kab. Jepara. Jepara dalam Angka 2006, jepara 2006.
10. Bappeda dan BPS Kab. Jepara. Produk Domestik Regional Bruto Kab. Jepara, Jepara 2005.

11. Bappeda dan BPS Kab. Jepara. Tabel Input Output Kab. Jepara, BPS Jepara 2001. Economics Application Laboratory, University of Illinois at Urbana Champaign, REAL 03-T-23, 2003.
12. Nazara S, Duong G. Geoffrey J.D.H., Chokri D, PyIO: Input-Output Analysis with Phyton. Regional

KAJIAN PAPARAN RADIASI RETROSPEKTIF DENGAN ABERASI KROMOSOM

Zubaidah Alatas

Pusat Teknologi Keselamatan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

KAJIAN PAPARAN RADIASI RETROSPEKTIF DENGAN ABERASI KROMOSOM. Pemantauan dosis radiasi secara biologi memberikan kontribusi penting terhadap perkiraan dosis kumulatif paparan radiasi dalam studi epidemiologi khususnya dalam kasus tanpa keberadaan dosimetri fisik. Biodosimeter dapat digunakan untuk memperkirakan paparan radiasi masa lalu dan telah diterapkan pada korban bom atom dan kecelakaan radiasi di Chernobyl. Aberasi kromosom merupakan indikator penting terhadap kerusakan DNA dan ketidakstabilan genom, dan sebagai biomarker utama untuk mengkaji dosis retrospektif pada individu terpapar radiasi pengion. Teknik *Chromosome painting Fluorescence in situ hybridization* (FISH) untuk deteksi adanya translokasi digunakan untuk mengukur frekuensi aberasi kromosom pada sel limfosit darah tepi manusia dan telah digunakan dalam dosimetri biologi retrospektif. Tulisan ini membahas penggunaan analisis aberasi kromosom khususnya translokasi dengan metode pengecatan FISH dalam pengkajian dosis retrospektif, termasuk keandalan aplikasi analisis ini dalam biodosimetri retrospektif.

Kata kunci: aberasi kromosom, radiasi, biodosimetri retrospektif, FISH

ABSTRACT

ASSESSMENT OF RETROSPECTIVE RADIATION EXPOSURE USING CHROMOSOME ABERRATION. Biological monitoring of radiation dose provides important contribution on the estimation of cumulative radiation exposure in epidemiological studies, especially in cases in which the physical dosimetry is lacking. Biodosimeter can be used to estimate past radiation exposure and has been applied to atomic- bomb survivors and Chernobyl clean-up workers. Chromosome aberrations are important biomarkers for retrospective dose assessment in individuals exposed to ionizing radiation. Chromosome painting Fluorescence in situ hybridization (FISH) technique for detecting translocations is used to measure the frequency of chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes and has been used in retrospective biological dosimetry. This article review the use of chromosome aberrations especially translocation analysis using FISH-painting method in retrospective dose assessment in human lymphocytes including the reliability of applying the analysis in retrospective biodosimetry.

Key words: chromosome aberration, radiation, retrospective biodosimetry, FISH

PENDAHULUAN

Pemantauan dosis radiasi dengan memanfaatkan biomarker yang dikenal sebagai dosimeter biologi dapat digunakan untuk memvalidasi pengukuran dosis

secara fisik dan untuk memperkirakan tingkat paparan dalam situasi tertentu tanpa keberadaan dosimeter fisik. Pemilihan dosimeter biologi yang akan digunakan bergantung pada tingkat

paparan, cara paparan (akut atau kronik), waktu paparan, dan jenis radiasi¹. Aberasi kromosom adalah parameter sitogenetik yang dapat diamati secara langsung terhadap keberadaan patahan dan perubahan struktur kromosom yang antara lain diinduksi oleh paparan radiasi pengion pada sel.

Metode sitogenetik untuk dosimetri biologi dapat mengevaluasi dosis secara individual dengan teknik pemeriksaan aberasi kromosom. Aberasi kromosom khususnya kromosom disentrik pada sel darah limfosit manusia telah digunakan sebagai dosimeter biologi dalam beberapa kasus kecelakaan radiasi. Aberasi disentrik bersifat tidak stabil yang menyebabkan aberasi ini dieliminasi dari darah tepi setelah paparan radiasi. Ini berarti bahwa frekuensi aberasi kromosom disentrik akan menurun bersama waktu setelah kecelakaan karena sel yang mengandung jenis aberasi ini mengalami kematian pada saat melakukan pembelahan sel. Analisis terhadap kromosom disentrik dapat dilakukan dengan baik jika (a) paparan radiasi kurang lebih merata pada seluruh tubuh, dan (b) sampel darah diambil segera setelah paparan².

Radiasi pengion dapat pula menginduksi aberasi kromosom translokasi dan inversi diklasifikasikan sebagai aberasi

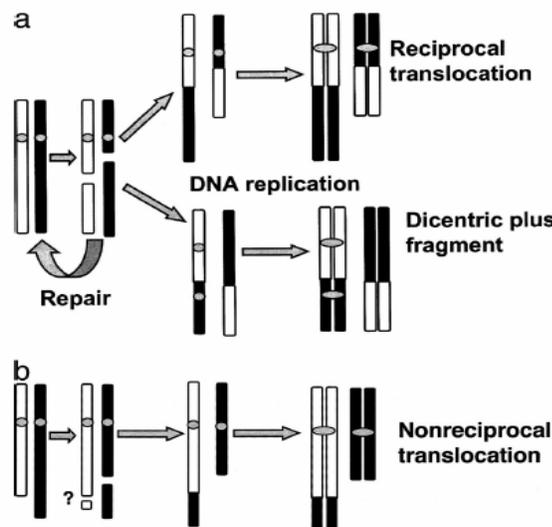
stabil yang diasumsikan tetap ada dalam tubuh untuk waktu yang relatif lama karena tidak mengalami kematian saat proses pembelahan sel. Translokasi dapat diidentifikasi dan dikuantifikasi dengan baik menggunakan *chromosome specific DNA libraries* dikombinasi dengan teknik *Fluorescence In Situ Hybridization* (FISH), yang dikenal pula sebagai *chromosome painting*³. Teknik ini mampu memvisualisasikan kromosom yang spesifik yang ditunjukkan dengan adanya perubahan warna pada kromatid.

Teknik FISH memungkinkan translokasi untuk dapat digunakan dalam memprediksi dosis radiasi yang diterima individu beberapa tahun lalu. Pada dosis rendah (0.5 Gy) frekuensi translokasi dapat digunakan untuk memperkirakan dosis radiasi jika jumlah sel yang dihitung cukup banyak⁴. Karena sel dengan aberasi kromosom ini tetap dapat melakukan pembelahan, maka aberasi translokasi dipilih untuk digunakan dalam biodosimetri retrospektif⁵. Tujuan kajian ini adalah untuk membahas tentang pemanfaatan biomarker aberasi kromosom khususnya translokasi dalam memprediksi dosis radiasi yang diterima individu akibat paparan radiasi pengion di masa lalu atau sebagai biodosimetri retrospektif.

Aberasi Kromosom

Aberasi kromosom merupakan kerusakan struktur kromosom berupa terjadinya patahan dan/atau pertukaran kromosom yang terjadi ketika sel berada dalam tahap G₁ pada siklus sel sebelum direplikasi pada tahap S. Aberasi kromosom yang diinduksi oleh radiasi pengion ini meliputi dilesi terminal dan interstitial, inversi, fragmen asentrik,

cincin sentrik dan asentrik, disentrik dan trisentrik (pertukaran asimetrik), dan translokasi resiprokal⁵. Beberapa jenis perubahan struktur kromosom yang paling relevan dengan dosimetri biologi yaitu kromosom translokasi dan disentrik, yang masing-masing dianggap sebagai aberasi kromosom simetris dan asimetris (Gambar 1)².



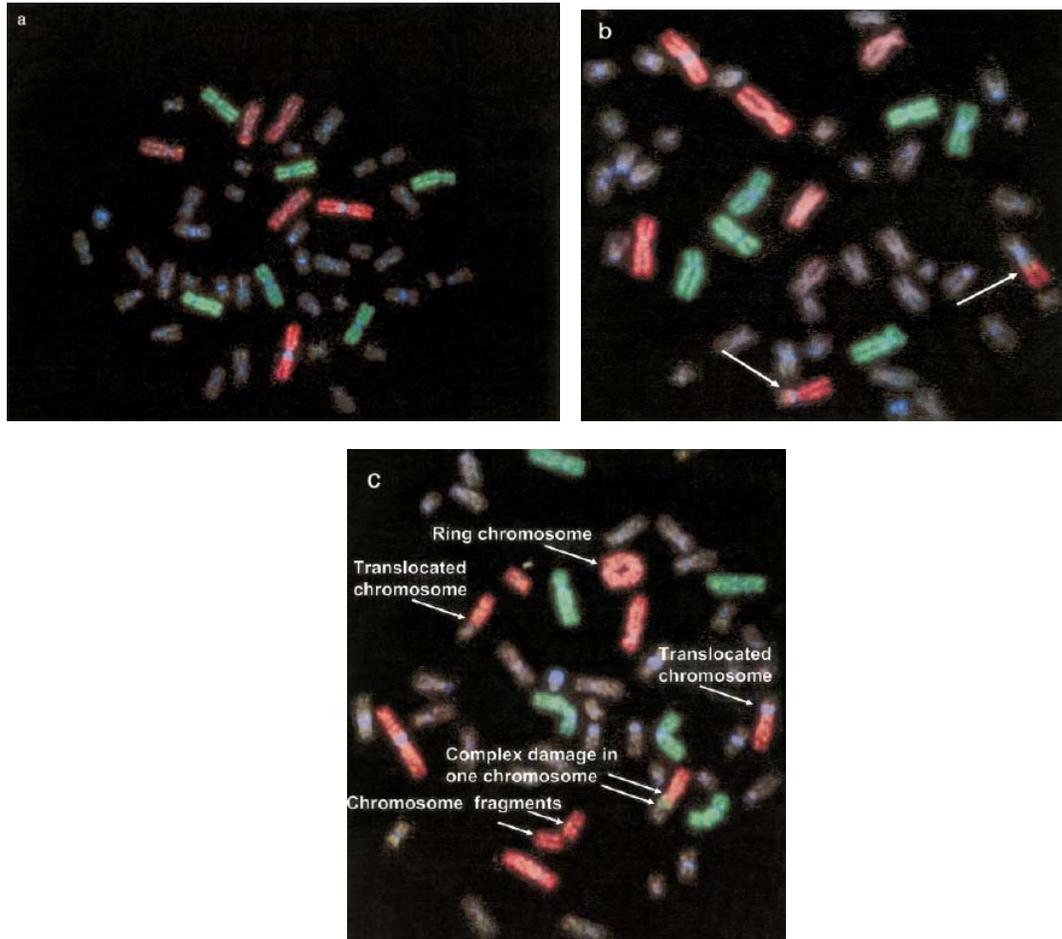
Gambar 1. Skematis pembentukan translokasi dan disentrik. (a) kromosom disentrik dan translokasi resiprokal. (b) translokasi non resiprokal².

Penggunaan analisis sitogenetik pada sel darah limfosit manusia sebagai dosimetri biologi telah dikuasai dengan baik, khususnya kromosom disentrik pada kasus paparan radiasi akut, dimana sampel darah diambil dalam waktu 24 jam - 30 hari⁶. Tetapi, analisis kromosom disentrik tidak cocok untuk diterapkan pada kasus paparan radiasi secara kronik dan paparan radiasi di masa lalu (retrospektif) karena

kromosom disentrik bersifat tidak stabil, artinya sel yang mengandung aberasi kromosom disentrik akan mengalami kematian⁷. Keterbatasan penggunaan aberasi kromosom disentrik ini dapat diatasi dengan analisis terhadap aberasi kromosom translokasi dengan teknik FISH. Dosimetri biologi dengan FISH melalui seleksi terhadap kromosom yang akan dianalisis karena kromosom tertentu

bersifat lebih sensitif terhadap aberasi pertukaran atau translokasi dibandingkan dengan kromosom lainnya⁸⁻¹⁰. Ini

menunjukkan bahwa ternyata distribusi patahan kromosom dalam genom manusia tidak terjadi secara random.



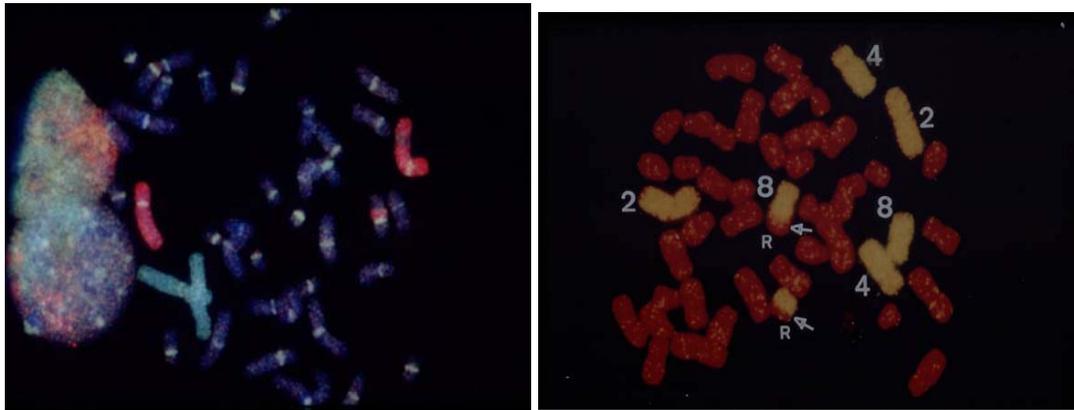
Gambar 2. (a) Sel dengan kromosom normal; (b). Sel dengan kromosom translokasi resiprokal; dan (c) sel dengan berbagai jenis aberasi kompleks. Kromosom pada sel darah limfosit manusia yang dicat dengan warna merah (22,07% dari genom) pada kromosom no. 1, 2, dan 4; dan dicat warna hijau (18,02% dari genom) pada kromosom nomor 3, 5, dan 6. Terdeteksi adanya 56% pertukaran sederhana².

Translokasi adalah jenis aberasi pertukaran fragmen atau materi antara kromosom yang sedemikian rupa sehingga setiap derivat kromosom mempunyai sebuah sentromer. Jenis pertukaran fragmen kromosom yang menghasilkan

sebuah kromosom dengan dua sentromer disebut dengan kromosom disentrik, dan menghasilkan sebuah fragmen asentrik (tanpa sentromer). Translokasi dan disentrik secara teori diinduksi pada frekuensi yang sama. Kenyataannya

perubahan struktur kromosom yang diinduksi radiasi adalah lebih kompleks karena tidak semua translokasi menunjukkan resiprokal. Translokasi non resiprokal diketahui dapat sebagai *one-way*

translocation dan *two-way translocation*. Translokasi dapat divisualisasi dengan baik menggunakan teknik *chromosome painting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.²



Gambar 3. Deteksi translokasi dan insersi dengan *single and multi-coloured FISH of whole chromosomes* (A) *triple coloured FISH* pada kromosom no.1 (hijau), no.4 (merah), dan semua kromosom (*pancentromeric probe*). (B) *single colour FISH* pada kromosom no.2, no.4 dan no.8. Tanda panah mengindikasikan translokasi resiprokal antara kromosom no.8 dan kromosom tidak dicat (R)⁷.

Translokasi dua arah (*two-way translocation*) dan satu arah (*one-way translocation*) harus dihitung secara terpisah. Cara ini untuk membedakan translokasi stabil dan tidak stabil, karena semua translokasi dua arah adalah stabil tetapi sebagian dari translokasi satu arah adalah tidak stabil. Implikasinya adalah bahwa translokasi satu arah dan dua arah sekarang harus dikombinasi dan bahwa limfosit manusia dapat digunakan untuk kalibrasi dengan tidak melibatkan sel dengan aberasi kromosom tidak stabil dalam penghitungan⁵.

FISH dengan *whole chromosome probes* (wpc) telah digunakan secara luas beberapa tahun terakhir ini untuk mengkaji kerusakan kromosom. Pencetakan kromosom meliputi hibridisasi probe, deteksi probe yang terhibridisasi, dan pewarnaan preparat untuk visualisasi kromosom yang tidak dicat. Pencetakan yang berhasil akan melabel kromosom secara merata dan tajam pada seluruh bagian lengan kromosom (Gambar 3). Teknik ini berpotensi untuk diaplikasikan dalam biodosimetri radiasi⁷.

Stabilitas Aberasi Kromosom Translokasi

Tidak seperti kromosom disentrik, frekuensi translokasi tidak mengalami penurunan sampai nilai nol tetapi mencapai kondisi *non zero* yang bergantung pada dosis. Kondisi ini memungkinkan translokasi dapat digunakan sebagai biodosimetri yang dilakukan beberapa tahun kemudian setelah paparan radiasi. Pengujian validitas telah dilakukan terhadap analisis translokasi dengan teknik *Chromosome painting* FISH untuk estimasi dosis serap dari paparan radiasi retrospektif¹¹⁻¹². Bukti terakhir menunjukkan bahwa stabilitas translokasi dipengaruhi oleh keberadaan kromosom translokasi dan kromosom disentrik pada sel yang sama dimana translokasi akan tereliminasi sebagai konsekuensi dari seleksi sel terhadap disentrik¹³.

Penurunan frekuensi translokasi dapat sebagai konsekuensi dari eliminasi sel yang mengandung kromosom translokasi dan mengalami kerusakan sangat parah. Selain itu, aberasi kromosom tidak stabil dan perubahan susunan yang asimetrik, atau eliminasi sel dengan perubahan susunan materi genetik dapat mengarah pada konsekuensi yang parah dikarenakan perubahan pada ekspresi dari sejumlah gen spesifik. Kompleksitas

aberasi pada sel limfosit yang diirradiasi dapat juga memberikan kontribusi terhadap penurunan frekuensi translokasi sepanjang waktu¹⁴.

Sepuluh tahun kemudian setelah paparan radiasi, terdapat sejumlah sel tertentu yang membawa aberasi ini cenderung tereliminasi. Dengan membandingkan dosis yang diperkirakan pada saat kecelakaan dengan dosis yang diperkirakan setelah 10 tahun, dapat disimpulkan bahwa untuk paparan radiasi dosis rendah (0,5 Gy) analisis translokasi dengan FISH nampaknya valid dengan mempertimbangkan perbedaan radiosensitivitas antara individu. Studi ini menekankan perlunya studi dengan pertimbangan yang lebih rinci terkait dengan persistensi kromosom translokasi sepanjang waktu, sebagai fungsi dari dosis radiasi, dan pengaruh faktor endogenous dan eksogenous yang menentukan variabilitas antar individu dalam memberikan respon terhadap radiasi. Dengan demikian faktor koreksi yang tepat dapat diaplikasikan untuk memperkirakan dosis serap retrospektif dengan analisis translokasi menggunakan metode pengecatan FISH¹⁴.

Beberapa studi terhadap persistensi berbagai jenis translokasi menunjukkan bahwa translokasi resiprokal mempunyai

probabilitas lebih besar untuk tetap bertahan terhadap mekanisme pembelahan sel dibandingkan dengan translokasi non resiprokal^{13,15,16}. Beberapa translokasi non resiprokal yang mempunyai probabilitas lebih besar bersifat letal². Sel dengan pertukaran yang kompleks didefinisikan sebagai tiga atau lebih patahan pada dua atau lebih kromosom.

Informasi tentang persistensi kromosom translokasi dalam tubuh terutama diperoleh dari korban beberapa kasus kecelakaan radiasi. Sebuah studi pada korban kecelakaan di Estonia yang dilakukan 4 tahun setelah kecelakaan menunjukkan penurunan jumlah translokasi mencapai sekitar 70% dari jumlah awal. Penurunan umumnya lebih lambat terjadi pada translokasi dua arah dibandingkan dengan semua translokasi. Jumlah translokasi pada sel stabil yang didefinisikan sebagai sel tanpa disentrik, asentrik, atau cincin sentrik, pada 2 tahun pertama adalah sama dengan jumlah pada beberapa waktu kemudian. Ini dapat dimengerti karena beberapa sel tidak stabil telah hilang bersama dengan waktu. Oleh karena itu, penurunan awal jumlah translokasi terutama disebabkan, jika tidak semuanya, oleh hilangnya sel tak stabil. Penerapan teknik sitogenetik pada kecelakaan yang mungkin akan terjadi di

masa yang akan datang, jika harus mengikutserakan pemeriksaan terhadap kromosom translokasi pada sel stabil, khususnya pada beberapa tahun pertama, dengan demikian pengamatannya dapat dikonfirmasi kelak⁵.

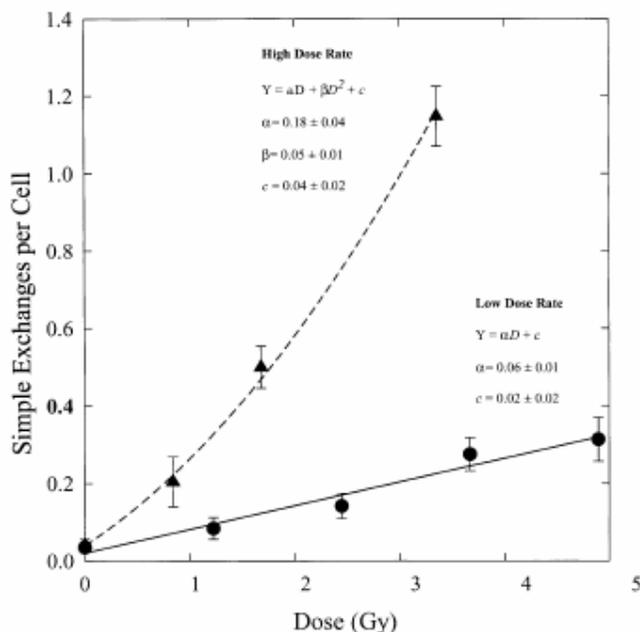
Sejumlah studi didisain untuk meneliti kelayakan uji translokasi dengan teknik FISH untuk dosimetri retrospektif pada (1) populasi tanpa dosimetri fisik dan biologi, (2) populasi dengan perkiraan dosimetri fisik dan biologi yang telah diketahui, dan (3) populasi dengan perkiraan dosimetri biologi yang telah diketahui dengan menggunakan analisis disentrik secara konvensional segera setelah paparan. Data dari grup terakhir dipertimbangkan sebagai analisis yang paling dapat diandalkan untuk membandingkan dengan frekuensi translokasi yang dapat menunjukkan kestabilan translokasi.

Kajian Dosis Radiasi Retrospektif dengan Fish

Ketika analisis sitogenetik dilakukan beberapa tahun kemudian setelah terpapar radiasi, faktor lain seperti usia dan kebiasaan merokok adalah yang paling penting dan nyata dalam mengintervensi data biodosimeter radiasi. Induksi aberasi stabil ditunjukkan menjadi lebih efisien pada individu muda.

Dilakukan analisis terhadap frekuensi translokasi pada 42 orang sehat yang berusia 21 – 73 tahun. Frekuensi translokasi lebih tinggi dijumpai pada usia yang lebih tua, terutama di atas 40 tahun. Mempertimbangkan bahwa frekuensi di antara individu normal adalah 0 - 3 translokasi per 1000 sel¹⁴. Seseorang dengan usia 30 tahun akan mempunyai latar sekitar 4 - 5 translokasi per 1000 sel ekuivalen genom. Jika dengan dosis

seumur hidup 0,5 Gy, maka hasil tambahan 7 atau 8 per 1000 sel ekuivalen genom secara nyata lebih besar. Pada seorang berusia 60 tahun dengan tingkat kontrol sekitar 10 per 1000 sel ekuivalen genom. Karena efisiensi deteksi translokasi dari kebanyakan kombinasi probe yang digunakan adalah 30 - 35%, maka 1000 sel ekuivalen genom berhubungan dengan sekitar 3000 sel metafase yang dihitung⁵.



Gambar 4. Kurva standar kalibrasi aberasi kromosom translokasi sederhana per sel sebagai fungsi dosis radiasi gamma (Gy) pada laju dosis yang berbeda¹⁷.

Pembuatan Kurva Standar Kalibrasi

Umumnya kurva standar respon dosis yang menggambarkan hubungan antara frekuensi aberasi kromosom dengan dosis radiasi sesuai dengan persamaan $Y =$

$c + \alpha D + \beta D^2$, dimana Y adalah jumlah aberasi kromosom, c adalah frekuensi latar, α and β adalah koefisien pembentukan aberasi, dan D adalah dosis serap (Gambar 4)¹⁷. Dengan radiasi *Linear*

Energy Transfer (LET) rendah (sinar x dan gamma), frekuensi disentrik dan translokasi meningkat dengan pola linear-kuadratik terhadap dosis, sementara dengan radiasi LET tinggi (neutron dan alpha) frekuensi disentrik dan translokasi linier terhadap dosis^{18,19}.

Sebagian besar kurva kalibrasi yang telah dipublikasikan menggunakan sel darah limfosit yang diirradiasi secara *in vitro*. Tetapi terdapat masalah dalam menghitung sel dengan jumlah besar untuk paparan radiasi dosis rendah sehingga cukup memadai untuk memperoleh perkiraan faktor kalibrasi linier yang baik. Sebuah laboratorium telah mengusulkan bahwa awalnya jumlah disentrik dan translokasi yang diinduksi radiasi adalah hampir sama. Koefisien linier untuk disentrik setelah irradiasi dengan sinar gamma ⁶⁰Co adalah ~ 15-20 per 1000 sel per Gy²⁰, yang berarti bahwa sebuah nilai yang sama harus diaplikasikan untuk translokasi. Untuk mengkalibrasi translokasi secara *in vitro*, diperlukan penghilangan sel tidak stabil. Pendekatan yang dilakukan untuk tidak melibatkan sel tidak stabil dalam penghitungan adalah mengidentifikasi sel tak stabil sebagai sel yang mengandung kromosom disentrik, asentrik, atau cincin sentrik. Studi persistensi menghasilkan sebuah koefisien

linier untuk sinar gamma adalah 33 ± 10 per 1000 sel ekuivalen genom per Gy⁵.

Pada prakteknya, kalibrasi untuk dosimetri retrospektif tidak dibutuhkan untuk dosis tinggi akut karena gejala simptom klinik yang muncul akan memastikan bahwa sebuah kecelakaan radiasi dengan dosis tinggi telah dapat dikenali pada awal kejadian kecelakaan, sehingga teknik disentrik dapat digunakan. Dosimetri retrospektif akan digunakan terutama untuk dosis tinggi yang protraksi atau dosis rendah yang tanpa ada gejala simptom klinik yang segera muncul. Oleh karena itu, istilah linier pada kurva dosis respon adalah penting. Faktor koefisien untuk translokasi, paling tidak untuk keperluan praktis, telah diketahui dengan baik. Nilai untuk radiasi gamma ⁶⁰Co adalah ~ 15 per 1000 sel ekuivalen genom per Gy. Ketidakpastian keseluruhan pada nilai ini adalah sekitar 30%. Untuk foton energi yang lebih rendah, nilainya ~ 30 per 1000 sel ekuivalen genom per Gy⁵.

Kalibrasi *in vivo* memungkinkan jika terdapat populasi manusia dengan dosis radiasi yang diterima diketahui dengan baik. Dari suatu populasi yang memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian, diketahui bahwa nilai rerata koefisien linier disentrik $11,1 \pm 1,9$ per

1000 sel ekivalen genom per Gy²¹ dan 28 ± 15 per 1000 sel ekivalen genom per Gy²².

Tingkat Kontrol / Latar Translokasi

Pada tahun 1999 jumlah translokasi pada orang yang tidak terpapar radiasi, kecuali radiasi latar normal dan faktor usia, telah diperoleh dengan kisaran 1 - 20 translokasi per 1000 sel ekivalen genom untuk usia 20 -80 tahun^{23,24}. Dalam rangka untuk mengukur tingkat kontrol yang lebih akurat dan untuk identifikasi masyarakat dengan jumlah translokasi yang tinggi, data dari laboratorium berbeda dikombinasi dengan menggunakan rumus Lucas untuk mengkoreksi jumlah translokasi terhadap keseluruhan genom^{25,26}.

Pengukuran jumlah translokasi pada setiap individu dapat diterima jika penghitungan dilakukan pada < 300 sel ekivalen genom. Ini adalah sekitar 1000 atau lebih sel metafase jika pengecatan dilakukan pada 3 pasang kromosom yang besar. Untuk tujuan dosimetri retrospektif, tingkat kontrol translokasi diasumsikan bergantung hanya pada usia dan variasinya dari 2 sampai 15 translokasi per 1000 sel ekuivalen genom masing2 untuk usia 20-80 tahun⁵. Tingkat kontrol translokasi sekarang telah diketahui dengan lebih baik. Diketahui jumlah translokasi mulai dari 0 pada neonatal sampai sekitar 15 per 1000

sel ekivalen genom pada usia > 80 tahun. Hubungan antara frekuensi translokasi dengan usia menunjukkan rerata kemiringan linier sekitar 1,7 per 10.000 sel per tahun. Diketahui bahwa jumlah translokasi yang banyak dijumpai pada masyarakat yang tinggal dalam rumah dengan tingkat radon yang sangat tinggi²⁷.

Frekuensi translokasi spontan lebih besar 3-6 kali dari disentrik. Untuk mengkaji paparan radiasi dosis rendah di masa lampau, sangat penting untuk memperoleh data yang cukup dari populasi kontrol yang tidak pernah terpapar radiasi. Data yang ada menunjukkan adanya beberapa faktor seperti usia, kebiasaan merokok dan/atau terpajan agen fisik dan kimia secara berlebih akibat kerja atau lingkungan, yang mungkin mempengaruhi frekuensi translokasi spontan antar populasi. Faktor usia sepertinya yang paling berpengaruh nyata, khususnya pada rentang usia > 40 tahun yang terbukti menunjukkan frekuensi translokasi lebih tinggi²⁸.

Pemilihan Kromosom untuk Dicat

Pertimbangan utama dalam aplikasi biodosimetri menggunakan uji sitogenetik adalah deteksi aberasi sebanyak mungkin yang ada dalam genom. Ini berarti pengecatan dilakukan pada sebanyak mungkin kromosom dengan sebanyak

warna yang dapat divisualisasikan. Semakin banyak kromosom yang dicat, semakin besar kepastian identifikasi aberasi secara lengkap. Ini khususnya penting jika pertukaran yang kompleks yang menjadi perhatian, seperti dalam studi yang melibatkan radiasi LET tinggi, atau dosis tinggi LET rendah. Untuk radiasi dosis rendah LET rendah, paparan kronik LET rendah, atau bahkan ketika dosis total yang relatif tinggi, mungkin cukup jika pengecatan hanya dilakukan pada beberapa kromosom dengan satu warna. Umumnya para peneliti memilih untuk melakukan pengecatan pada sejumlah kecil kromosom yang besar dibandingkan dengan pengecatan pada sejumlah besar kromosom yang kecil karena akan memudahkan proses hibridisasi dan analisis mikroskopik².

Sensitivitas kromosom terhadap radiasi ternyata berbeda satu sama lain dan bagian tertentu dari kromosom mungkin lebih sensitif terhadap mekanisme pertukaran kromosom^{29,30}. Dengan demikian pemilihan kromosom untuk analisis dengan teknik *chromosome painting* FISH sangat perlu untuk diperhatikan. Diketahui bahwa lokasi patahan pada kromosom tidak terjadi secara random pada kromosom 1, 2, dan 4 pada pekerja pembersih dalam kasus

kecelakaan Chernobyl dan kelompok individu sehat yang tidak terpajan⁸. Dilaporkan pula bahwa pada kromosom 1 dan 4 menunjukkan lebih banyak patahan terjadi pada bagian tangan lengan p dan q, sementara patahan dijumpai lebih merata sepanjang kromosom 2¹⁰.

Dua sistem nomenklatur komplem-tari telah dikembangkan untuk mengatasi kompleksitas yang ada, yaitu *S & S system*³¹ dan *PAINT (protocol for Aberartin Identification Nomenclature Terminology)*³². Lebih jauh lagi, uji *multi-colour fluorescence in situ hybridization* (M-FISH) telah dikembangkan untuk memvisualisasi semua kromosom manusia dalam 24 warna yang berbeda. Uji ini berdasarkan pada penggunaan simultan kombinasi dan rasio pelabelan yang disebut *COmbined Binary RAtio labelling* (COBRA)¹⁹.

Biodosimetri Retrospektif

Pengecatan seluruh kromosom untuk dosimetri biologi radiasi telah diaplikasikan terhadap sejumlah populasi terpajan radiasi. Diantaranya adalah korban bom atom Hiroshima dan Nagasaki³³, Chernobyl³⁴, pekerja di Sellafield British Nuclear Fuels³⁵, populasi di Mayak/Techa River³⁶, Semipalatinsk³⁷, Goiania³⁸, dan grup yang terpajan akibat kerja³⁹.

Biodosimetri Retrospektif pada Populasi Tanpa Dosimetri Personal

Pada kasus kecelakaan radiasi di Chernobyl, perkiraan dosis radiasi retrospektif dengan pengukuran frekuensi aberasi kromosom ditentukan pada 15 pekerja yang terpapar radiasi dan semua diberi tindakan medik terhadap tahap lanjut dari sindroma radiasi kutanius yang diderita. Studi ini dilakukan dari awal tahun 1991 sampai 1994. Pada tahun 1991, perkiraan dosis dilakukan dengan mengukur frekuensi kromosom disentrik, cincin, dan translokasi. Perkiraan dosis individual adalah 1,1 - 5,8 Gy pada 12 dari 15 individu, and 3 dari mereka tidak menunjukkan kenaikan frekuensi aberasi. Selama periode waktu tiga tahun, pengukuran frekuensi translokasi dilakukan pada pekerja yang sama. Frekuensi translokasi pada 11 dari 12 individu tersebut tetap konstan selama rentang waktu September 1991 - Juli 1994. Studi ini menunjukkan bahwa translokasi dapat tetap konstan selama 5 tahun setelah paparan dan pada tingkat dosis yang berbeda⁴⁰.

Biodosimetri Retrospektif pada Populasi dengan Dosimetri Personal Segera Setelah Kecelakaan

Dilakukan studi pada 75 pekerja di Mayak yang memakai dosimeter fisik dan

menerima paparan radiasi pada tahun 1948 – 1963. Diperoleh nilai dosis eksternal kumulatif antara 0,02 - 9,91 Sv dan kandungan plutonium antara 0,26 -18,5 kBq. Hasil pemeriksaan pada pekerja berusia 35-40 tahun setelah paparan radiasi secara protrakasi pada kromosom nomor 1, 4 dan 12 dengan *whole chromosome probe* dan *pancentromeric DNA probe* menunjukkan bahwa frekuensi translokasi lebih besar pada pekerja dari kelompok kontrol. Jika dikaitkan dengan pekerjaan yang dilakukannya, umumnya kisaran frekuensi translokasi lebih rendah dari yang diharapkan berdasarkan catatan dosis personal dan kurva kalibrasi⁴¹.

Pada korban bom atom Hiroshima menunjukkan korelasi yang baik antara dosimetri *electron spin resonance* dengan dosimetri sitogenetik menggunakan frekuensi translokasi dari sel limfosit 40 korban yang tinggal pada jarak sekitar 2 km dari hipocenter, dan paling tidak berusia 10 tahun pada saat terjadi ledakan bom atom⁴².

Biodosimetri Retrospektif Pada Korban Kecelakaan Radiasi Dengan Dosis Awal Yang Diketahui

Dilakukan studi pada beberapa korban kecelakaan radiasi di Goiania (Brazil) yang terpapar sumber radioterapi ¹³⁷Cs. Segera setelah kecelakaan, lebih dari

129 sampel darah dari individu yang terpapar dianalisis untuk mengetahui frekuensi disentrik dan cincin dalam sel limfosit. Hasil menunjukkan bahwa 29 individu yang dianalisis, menerima dosis sekitar 0,3 – 5,9 Gy. Pada sebagian dari korban dilakukan pemeriksaan lanjutan terhadap frekuensi disentrik selama beberapa tahun kemudian. Sedangkan pemeriksaan translokasi dengan FISH dimulai 5 tahun setelah kecelakaan sebagai dosimetri radiasi retrospektif⁴³. Frekuensi translokasi (pada sekitar 80% *whole human genome*) yang diperoleh dibandingkan dengan frekuensi awal kromosom disentrik dari korban yang sama untuk mengetahui ketepatan perkiraan dosis yang dilakukan.

Frekuensi translokasi yang diamati beberapa tahun setelah kecelakaan (dari tahun 1992) pada dosis 1 Gy adalah dua atau tiga kali lebih rendah dari jumlah kromosom disentrik awal (tahun 1987) pada korban yang sama. Untuk tingkat paparan yang diperkirakan < 0,9 Gy dijumpai perbedaan yang kecil antara frekuensi translokasi dan frekuensi disentrik awal. Persistensi sel limfosit yang mengandung translokasi, tingkat translokasi yang tidak proporsional dengan ukuran kromosom, dan variasi antar individu berpotensi mengurangi ketepatan

perkiraan dosis. Hal ini serupa dengan studi kasus Chernobyl yang menunjukkan tidak ada penurunan pada frekuensi translokasi dibandingkan dalam periode waktu 5 - 8 tahun setelah kecelakaan⁴⁰.

Pada kasus kecelakaan di Estonia tahun 1994, analisis sitogenetik dilakukan pada bulan ke 1, 2, 6, 10, 12, 17, 22, dan 24 setelah kecelakaan pada 5 individu yang terpapar. Tingkat paparan diperkirakan antara 1 - 3 Gy. Pada studi lanjutan sampai dua tahun, translokasi resiprokal tetap ada pada ke 5 individu yang terpapar, dan hanya pada individu yang menunjukkan penurunan nyata pada jumlah translokasi terminal (*one-way*). Frekuensi disentrik menurun pasca irradiasi, dan tereduksi pada semua subjek paling tidak sampai 50% dari frekuensi awal yang dianalisis pada 12 bulan setelah kecelakaan⁴⁴. Studi ini menunjukkan bahwa translokasi dapat bertahan bersama waktu. Kestabilan untuk waktu yang lama bergantung pada salah satu faktor yang penting yaitu dosis paparan. Pada tingkat dosis >3Gy terdapat penurunan frekuensi translokasi bersama dengan waktu⁴.

PENUTUP

Dosis radiasi yang diterima dari paparan radiasi latar tinggi, daerah terkontaminasi, pemeriksaan diagnostik

yang berlebihan, akibat kerja, dan tindakan radioterapi memberikan kontribusi lebih terhadap pembentukan kromosom translokasi. Analisis kromosom translokasi dengan teknik FISH dapat memperkirakan dosis kumulatif rerata sepanjang hidup secara objektif dan cepat. Secara keseluruhan, kelebihan *chromosome painting* ini melebihi kekurangannya, dan pengecatan nampaknya tetap sebagai metode pilihan sebagai biodosimetri radiasi yang dibutuhkan untuk populasi di masa akan datang. Pemantapan sebuah set frekuensi latar translokasi dari seratusan atau ribuan individu yang mewakili tingkat sosial, kultur, etnik, dan distribusi usia dari masyarakat kita harus menjadi prioritas pada studi berikutnya.

Berdasarkan hasil studi pada para pekerja radiasi di Sellafield dan korban bom atom, ditunjukkan bahwa paparan kronik menimbulkan sekitar 6 kali lebih sedikit aberasi kromosom per unit dosis dibandingkan dengan paparan akut. Ini membuktikan adanya akumulasi kromosom translokasi dalam kondisi paparan kronik akibat kerja dan kestabilan kromosom ini berlangsung selama beberapa dekade. Peningkatan nyata frekuensi translokasi sebagai konsekuensi dari paparan radiasi terutama sangat

dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu usia dan merokok.

Manfaat FISH untuk analisis translokasi telah memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman kita mengenai risiko jangka panjang paparan radiasi pengion. Meningkatkan jumlah sel yang dihitung dalam analisis aberasi kromosom ini memungkinkan untuk dapat melakukan pendeteksian terhadap aberasi kromosom akibat paparan radiasi dosis yang lebih rendah dan meningkatkan pemanfaatan biodosimetri yang lebih berarti pada dosis rendah.

DAFTAR PUSTAKA

1. HALL, E.J. and GIACCIA, A.J. Radiobiology for the Radiologist. 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2006.
2. KLEINERMAN, R.A., ROMANYUKHA, A.A., SCHOUER, D.A., dan TUCKER, J.D. Retrospective Assessment of radiation Exposure Using Biological Dosimetry: Chromosome Painting, Electron Paramagnetic Resonance and the Glycophorin A Mutation Assay. *Radiation Research* 166, 287-302. 2006.
3. PINKEL, D., STRUME, T., dan GRAY, J.W. Cytogenetic Analysis Using Quantitative, High Sensitivity, Fluorescence Hybridization. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 83, 2934-2938. 1986.
4. DARROUDI, F. dan NATARAJAN, A.T. Application of FISH-Chromosome Painting Assay for Dose Reconstruction: State of Art and

- Current Views. *Radiat. Protec. Dos.* 88, 51-58, 2000.
5. EDWARDS, A.A., LINDHOLM, C., DARROUDI, F., STEPHAN, G., ROMM, H., BARQUINERO, J., BARRIOS, L., CABALLIN, M.R., ROY, L., WHITEHOUSE, C.A., TAWN, E.J., MOQUET, J., LLOYD, D.C., dan VOISIN, P. Review of Translocations Detected by FISH for Retrospective Biological Dosimetry Applications. *Radiat. Protec. Dos.* 113 (4), 396-402, 2005.
 6. IAEA. Biological Dosimetry: Chromosome Aberration Analysis for Doses Assessment. Technical Report Series No. 260. International Atomic Energy Agency, Vienna. 1986.
 7. LUCAS, J.N. Dose Reconstruction for Individuals Exposed to Ionizing Radiation Using Chromosome Painting. *Radiat. Res.* 148, 33-38. 1997.
 8. TUCKER, J.D., dan SENFT, J.R. Analysis of Naturally Occuring and Radiation-Induced Breakpoint Locations in Human Chromosomes 1, 2, and 4. *Radiat. Res.* 140, 31-36. 1994.
 9. SCARPATO, R., LORI, A., TOMEI, A., CIPOLLINI, M., dan BARALE, R. High Prevalence of Chromosome 10 Rearrangements in Human Lymphocytes after *In Vitro* X-ray Irradiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 76, 661-666. 2000.
 10. LOUMAHAARA, S., LINDHOLM, C., MUSTONEN, R., dan SOLAMAA, S. Distribution of Radiation-Induced Exchange Aberrations in Human Chromosomes 1, 2, and 4. *Int. J. Radiat. Biol.* 75 (2), 1551-1556. 1999.
 11. LINDHOLM, C., TEKKEL, M., VEIDEBAUM, T., ILUS, T., dan SOLAMAA, S. Persistence of Translocations after Accidental Exposure to Ionizing Radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 74, 565-571. 1998.
 12. TUCKER, J.D. FISH Cytogenetics and the Future of Radiation Biodosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.* 97, 55-60. 2001.
 13. GARDNER, S.N., dan TUCKER, J.D. The Cellular Lethality of Radiation-Induced Chromosome Translocations in Human Lymphocytes. *Radiat. Res.* 157, 539-552. 2002.
 14. CAMPAROTO, M. L., RAMALHO, A.T., NATARAJAN, A.T., CURADO, M.P., dan SAKAMOTO-HOJO, E.T. Translocations Analysis by the FISH-Painting Method for Retrospective Dose Reconstruction in Individuals Exposed to Ionizing Radiation 10 Years after Exposure. *Mutation Research* 530, 1-7. 2003.
 15. SPRUILL, M.D., NELSON, D.O., RAMSEY, M.J., NATH, J., dan TUCKER, D. Lifetime Persistence and Clonality of Chromosome Aberrations in the Peripheral Blood of Mice Acutely Exposed to Ionizing Radiation. *Radiat. Res.* 153, 110-121. 2000.
 16. LINDHOLM, C. dan SALOMAA, S. Dose Assessment of Past Accidental or Chronic Exposure using FISH Chromosome Painting. *Radiat. Prot. Dosim.* 88, 21-25. 2000.
 17. RAO, B.S. dan NATARAJAN, A.T. Retrospective Biological Dosimetry of Absorbed Radiation. *Radiat. Prot. Dosim.* 95 (1), 17-23. 2001.
 18. BAUCHINGER, M., SCHIMD, E., ZITZELBERGER, H., BRASELMANN, H., dan NAHRSTEDT, U. Radiation-Induced Chromosomal Aberrations Analyzed by Two Colour Fluorescence *In Situ* Hybridization with Composite Whole Chromosome-Specific DNA Probes and a Pancentromeric DNA Probe. *Int. J. Radiat. Biol.* 64, 179-184. 1993.
 19. DARROUDI, F., BEZROOKOVE, V., WIEGANT, J.C.A.G., FOMINA, J., RAAP, A.K., dan TANKE, H.J. Development and Application of COBRA-FISH Technique for

- Detecting Ionizing Radiation Induced Chromosomal Aberrations in Human Lymphocytes and Fibroblast. Proceeding of Second Euroconference on Quantitative Molecular Cytogenetics. 222-226. 2001.
20. EDWARDS, A.A. The Use of Chromosomal Aberrations in Human Lymphocyte for Biological Dosimetry. *Radiat. Res.* 148, S39-S44. 1997.
 21. TAWN, E.J., WHITEHOUSE, C.A., dan TARONE, R.E. FISH Chromosome Aberration Analysis on Retired Radiation Workers from the Sellafield Nuclear Facility. *Radiat. Res.* 162, 31-38.2004.
 22. LINDHOLM, C. Stable and Unstable Chromosomal Aberrations among Finish Nuclear Power Plant Workers. *Radiat. Prot. Dosim.* 93, 143-150. 2001.
 23. SOROKINE-DURM, I., WHITEHOUSE, C., dan EDWARDS, A. The Variability of Translocation Yields amongst Control Populations. *Radiat. Prot. Dosim.* 88, 93-99. 2000.
 24. LUCAS, J.N. dan DENG, W. Views on Issues in Radiation Biodosimetry Based on Chromosome Translocations Measured by FISH. *Radiat. Prot. Dosim.* 88, 77-86. 2000.
 25. LUCAS, J.N. Rapid Translocation Frequency Analysis in Human Decades after Exposure to Ionizing Radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 62, 53-63. 1992.
 26. LUCAS, J.N., POGGENSEE, M., dan STRAUME, T. TRANSLOCATION BETWEEN Two Specific Human Chromosomes Detected by Three Colour 'Chromosome Painting'. *Cytogenet. Cell Genet.* 62, 11-12. 1993.
 27. OESTREICHER, U., BRASELMANN, H., dan STEPHAN, G. Cytogenetic Analysis in Peripheral Lymphocytes of Persons Living in Houses with Increased Levels of Indoor Radon Concentrations. *Cytogenet. Genome Res.* 104, 232-236.2004.
 28. TUCKER, J.D. dan MOORE, D.H. The Importance of Age and Smoking in Evaluating Adverse Cytogenetic Effects of Exposure to Environmental Agents. *Environ. Health Perspect.* 104, 489-492. 1996.
 29. JOHNSON, K.L., NATH, J., GEARD, C.R., BRENNER, D.J., dan TUCKER, J.D. Chromosome Aberrations of Clonal Origin in Irradiated and Unexposed Individuals: Assessment and Implications. *Radiat. Res.* 152, 1-5. 1999.
 30. RADFORD, I.R., HODGSON, G.S., dan MATTHEWS, J.P. Critical DNA Target Size Model of Ionizing radiation-Induced Mammalian Cells Death. *Int. J. Radiat. Biol.* 54, 63-79. 1988.
 31. SAVAGE, J.R.K. dan SIMPSON, P.J. FISH Painting Patterns Resulting from Complex Exchanges. *Mutat. Res.* 312, 51-60. 1994.
 32. TUCKER, J.D., MORGAN, W.F., AWA, A.A., BAUCHINGER, M., BLAKEY, D., CORNFORTH, M.N., LITTLEFIELD, L.G., NATARAJAN, A.T., dan SHASSERRE, C. A Proposed System for Scoring Structural Aberrations Detected by Chromosome Painting. *Cytogenet. Cell Genet.* 68, 211-221. 1995.
 33. AWA, A. Analysis of Chromosome Aberrations in Atomic Bom Survivors for Dose Assessment: Studies at the radiation Effects Research Foundation from 1968 to 1993. *Stem Cells* 15, 163-173. 1997.
 34. MOORE, D.H. dan TUCKER, J.D. Biological Dosimetry of Chernobyl Clean-up Workers: Inclusion of Age and Smoking Data Provide Improved Radiation Dose Estimates. *Radiat. Res.* 152, 655-664. 1999.
 35. TUCKER, J.D., TAWN, E.J., HOLDSWORTH, D., MORRIS, S.,

- LANGLOIS, R., RAMSEY, M.J., KATO, P., BOICE, J.D., TARONE, R.E., dan JENSEN, R.H. Biological Dosimetry of Radiation Workers at the Sellafield Nuclear Facility. *Radiat. Res.* 148, 216-226. 1997.
36. BAUCHINGER, M., BRASELMANN, H., SAVAGE, J.R., NATARAJAN, A.T., TERZOUDI, G.I., PANTELAS, G.E., DARROUDI, F., FIGGITT, M., GRIFFIN, C.S., dan SNIGIRYOVA, G. Collaborative exercise in the Use of FISH Chromosome Painting for Retrospective Biodosimetry of Mayak Nuclear-Industrial Personnel. *Int. J. Radiat. Biol.* 77, 259-267. 2001.
37. SALOMAA, S., LINDHOLM, C., TANKIMANOVA, M.K., MAMMYRBAEVA, Z.Z., KOIVISTOINEN, A., HULTEN, M. MUSTONEN, R., DUBROVA, Y.E., dan BERSIMBAEV, R.I. Stable Chromosome Aberrations in the Lymphocytes of a Population Living in the Vicinity of the Samipalatinsk Nuclear Test Site. *Radiat. Res.* 158, 591-596. 2002.
38. SALOMAA, S., HOLMBERG, K., LINDHOLM, C., MUSTONEN, R., TEKKEL, M., VEIDEBAUM, T., dan LAMBERT, B. Chromosomal Instability in *in vivo* Radiation Exposed Subjects. *Int. J. Radiat. Biol.* 74, 771-779. 1998.
39. VERDPRFER, I., NEUBAUER, S., LETZEL, S., ANGERER, J., ARUTYUNYAN, R., MARTUS, P., WUCHERER, M., dan GEBHART, E. Chromosome Painting for Cytogenetic Monitoring of Occupationally Exposed and Non-Exposed Groups. *Mutat. Res.* 491, 97-109. 2001.
40. SALISSIDIS, K., GEOGIADOU-SCHUMACHER, V., BRASELMANN, H., MULLER, P., PETER, R. U., dan BAUCHINGER, M. Chromosome Painting in Highly Irradiated Chernobyl Victims: A Follow-up Study to Evaluate The Stability of Symmetrical Translocations and the Influence of Clonal Aberrations for Retrospective Dose Estimation. *Int. J. Radiat. Biol.* 68, 257-262. 1995.
41. SALISSIDIS, K., BRASELMANN, H., OKLADNIKOVA, N.D., PRESSL, S., STEPHAN, G., SNIGIRYOVA, G., dan BAUCHINGER, M. Analysis of Symmetrical Translocations for Retrospective Biodosimetry in Radiation Workers of the Mayak Nuclear-Industrial Complex (Southern Urals) Using FISH-Chromosome Painting. *Int. J. Radiat. Biol.* 74, 431-439. 1998.
42. NAKAMURA, N., MIYAZAWA, C., SAWADA, S., AKIYAMA, M., dan AWA, A.A. A Close Correlation between Electron Spin Resonance (ESR) Dosimetry from Teeth Enamel and Cytogenetic Dosimetry from Lymphocytes of Hiroshima Atomic-Bomb Survivors. *Int. J. Radiat. Biol.* 73, 619-627. 1998.
43. RAMALHO, A.T., NASCIMENTO, A.C.H., dan NATARAJAN, A.T. Dose Assessment by Cytogenetic Analysis in the Goiania (Brazil) Radiation Accident. *Radiat. Protec. Dosim.* 25, 97-100. 1988.
44. LINDHOLM, C., SALOMAA, S., TEKKEL, M., PAILE, W., KORVISTOINEN, A., ILUS, T., dan VEIDEBAUM, T. Biodosimetry after Accidental Radiation Exposure by Conventional Chromosome Analysis and FISH. *Int. J. Radiat. Biol.* 70, 647-656. 1996.

TEKNIK FISH DENGAN *DUAL PROBE* UNTUK DETEKSI KROMOSOM TRANSLOKASI

Yanti Lusiyanti, Zubaidah Alatas dan Sofiati Purnami
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

ABSTRAK

TEKNIK FISH DENGAN *DUAL PROBE* UNTUK DETEKSI KROMOSOM TRANSLOKASI. Perubahan struktur kromosom (aberasi kromosom) yang diinduksi oleh radiasi pengion pada sel limfosit dapat berupa aberasi tidak stabil, seperti kromosom disentrik dan cincin, dan aberasi stabil seperti translokasi. Pemeriksaan kromosom translokasi menjadi indikator yang sangat penting untuk mendeteksi kerusakan sitogenetik pada sel limfosit akibat radiasi dalam memprediksi efek tertunda dan sebagai biosimetri retrospektif. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemeriksaan kromosom translokasi pada sel limfosit pekerja radiasi menggunakan teknik *Fluorescence in situ hybridization* (FISH) variasi *dual probe*. Sampel darah tepi yang diperoleh dari 10 pekerja radiasi dibiakkan dan dipanen setelah diinkubasi pada suhu 37°C selama 72 jam. Larutan sel limfosit ditetaskan pada gelas preparat, untuk kemudian didenaturasi dan dihibridisasi dengan dua jenis *Whole chromosome Probe* (WCP). Pengecatan kromosom dilakukan dengan variasi dua WCP pada kromosom nomor 1 dan 2, 1 dan 5, 1 dan 8, 2 dan 5, 2 dan 10 serta 4 dan 8 yang berlabel FITC dan diamati dengan mikroskop epifluoresen. Dari pengamatan terhadap hasil visualisasi pada kromosom yang dicat dapat disimpulkan bahwa teknik FISH dengan *dual probe* telah mampu diterapkan untuk pemeriksaan translokasi pada pekerja radiasi. Penelitian ini perlu ditingkatkan lagi dengan pengembangan teknik FISH menggunakan 3 jenis WCP *probe* dengan kemampuan warna yang berbeda untuk memvisualisasikan adanya translokasi yang lebih baik.

Kata kunci : Sel limfosit, aberasi kromosom stabil, translokasi, FISH, chromosome painting

ABSTRACT

FISH TECHNIQUE WITH DUAL PROBE TO DETECT TRANSLOCATION CHROMOSOME. Chromosome aberration induced by radiation exposure on lymphocyte cells could be unstable aberrations, such as dicentric or ring chromosomes and stable aberrations such as translocations. Measurement of translocation becomes a very important indicator to detect cytogenetic damage in lymphocytes due to radiation exposure in the predictions of late radiation effects and as retrospective biosimetry. Aim of this study is to carry out examination of translocation in lymphocytes of radiation workers using *Fluorescence in situ hybridization* (FISH) technique with variation dual probes. Blood sample obtained from 10 radiation workers were cultured in enriched media and harvested after being incubated at 37°C for 48 hours. The lymphocyte cells suspension was dropped onto slides for denaturation and hybridization process using double whole chromosome probe (WCP). Numbers of chromosome that stained by chromosome painting FISH are probe 1 and 2, 1 and 5, 1 and 8, 2 and 5, 2 and 10 also 4 and 8 observed with a fluorescence microscope. The result of visualized chromosome showed that technique FISH with dual probe chromosome could be applied for detect translocations in radiation workers. This research must be improved with development FISH technique using triple type WCP probe with different colours that could visualize of translocations much better.

Keywords: Lymphocytes, stable chromosome aberrations, translocation FISH, Chromosome painting

PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi nuklir yang sudah semakin meluas di berbagai bidang, untuk kesejahteraan manusia harus selalu mengutamakan aspek keselamatan. Hal ini bertujuan untuk mencegah atau memperkecil kemungkinan terjadinya risiko dampak negatif radiasi. Terkait dengan aspek keselamatan maka perlu dilakukan tindakan pemantauan terhadap dosis radiasi yang diterima pekerja pengguna teknik nuklir supaya tidak melebihi batas dosis yang diijinkan. Selama penggunaan teknik nuklir yang berlangsung secara normal atau saat terjadi kasus kedaruratan nuklir, tubuh berpotensi menerima pajanan radiasi secara kronik seperti para pekerja radiasi dan akut pada kasus kedaruratan nuklir.

Pajanan radiasi pada tubuh dapat menimbulkan kerusakan baik pada tingkat molekuler, seluler, dan jaringan /organ. Kerusakan pada molekul dan sel meliputi kerusakan DNA dan kromosom yang berpotensi menyebabkan terjadinya mutasi pada sel dan proses transformasi pada sel. Kerusakan yang terjadi dapat pula mengakibatkan kematian sel yang tidak selalu berakhir dengan terbentuknya kanker atau penyakit hereditas¹.

Kromosom manusia yang berjumlah 23 pasang mengandung kurang lebih 150 ribu gen yang merupakan rantai pendek dari DNA yang membawa kode informasi genetik. Kromosom terdiri dari dua lengan atau kromatid yang dihubungkan dengan suatu penyempitan yang disebut sentromer^{1,2}.

Kerusakan pada DNA sebagai akibat radiasi dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur molekul gula atau basa, putusannya ikatan hidrogen antar basa dan hilangnya gugus gula atau basa. Kerusakan lain yang lebih parah adalah putusannya salah satu untai DNA yang disebut *single strand break* dan putusannya kedua untai DNA yang disebut *double strand break*. Secara alamiah sel mempunyai kemampuan untuk melakukan proses perbaikan terhadap kerusakan tersebut diatas dalam batas normal dengan menggunakan jenis enzim yang spesifik. Namun apabila kerusakan tersebut tidak dapat diperbaiki atau diperbaiki dengan tidak sempurna, maka akan berpotensi sebagai pemicu perubahan pada materi genetik berupa mutasi dan kerusakan pada kromosom^{2,3}.

Perubahan struktur kromosom (aberasi kromosom) yang diinduksi radiasi pengion dapat berupa aberasi tidak stabil, seperti kromosom disentrik

dan kromosom cincin, dan aberasi stabil seperti translokasi. Analisis frekuensi kromosom disentrik khususnya digunakan sebagai dosimetri biologi pada individu yang terpajan secara akut akibat kerja atau dalam kasus kecelakaan radiasi. Pemeriksaan ini harus dilakukan dalam waktu 24 jam – 30 hari paska pajanan radiasi, karena jumlah sel yang mengandung aberasi kromosom ini akan mengalami penurunan sebagai akibat dari proses seleksi dominan yang terjadi selama proliferasi sel^{4,5}.

Pada individu yang terpajan radiasi secara kronik dalam waktu yang lama dapat dilakukan pemeriksaan aberasi kromosom yang bersifat stabil yaitu translokasi. Kromosom ini tidak hilang dengan berjalannya waktu karena sel yang mengandung kromosom bentuk ini tidak mengalami kerusakan ketika melakukan pembelahan sel. Dengan demikian keberadaan kromosom translokasi dapat digunakan sebagai indikator kerusakan genetik pada sel darah individu yang terpajan radiasi setelah waktu yang lama atau sebagai indikator terjadinya akumulasi kerusakan untuk pendugaan risiko timbulnya kerusakan yang mengarah pada pembentukan kanker akibat radiasi^{5,6}. Translokasi berperan dalam proses

perkembangan kelainan atau penyakit genetik dan dalam karsinogenesis termasuk proses aktivasi onkogen yang menyebabkan sel normal berkembang menjadi sel malignan.

Kromosom translokasi terbentuk karena adanya penggabungan patahan dari dua lengan kromosom yang terinduksi oleh radiasi. Patahan yang satu berpindah posisi pada kromosom yang lain sehingga terbentuk kromosom yang baru yang berbeda dengan aslinya. Kromosom translokasi dapat terjadi baik di dalam kromosom yang sama (*intra chromosome*) seperti kromosom inversi parasentric, maupun antar dua kromosom (*inter-chromosome*) seperti kromosom translokasi resiprokal^{6,7}.

Visualisasi keberadaan aberasi kromosom translokasi dilakukan dengan menggunakan teknik pengecatan kromosom (*chromosom painting tehnic*) yang disebut *Fluorescence in situ hybridization* (FISH). Teknik FISH ini didasarkan pada hybridisasi pada molekul DNA pendek yang probenya dilengkapi dengan *complementari sequence* pada genom. *Probe* selanjutnya dilabel dengan *fluorescent dye* yang akan menunjukkan warna pendar pada fragmen kromosom yang mengalami translokasi. Penggunaan *probe* dengan urutan

genom yang spesifik memungkinkan untuk memperoleh informasi sejumlah gambaran dan lokasi patahan kromosom. Dengan proses hibridisasi yang simultan dengan *probe* yang dilabel dan penggunaan *flurescent dye* yang berbeda dapat mendeteksi beberapa translokasi yang berbeda pada genom secara bersamaan. Hal ini dapat memberikan informasi tentang sekuen amplifikasi, dileksi atau translokasi beserta lokasinya pada genom⁸.

Frekuensi aberasi kromosom stabil muncul mulai dari beberapa tahun pasca pajanan^{2,3}. Telah diketahui bahwa frekuensi kromosom disentrik oleh radiasi latar pada sel limfosit sekitar 1-2 dalam 1000 sel, sedangkan frekuensi kromosom translokasi latar akibat radiasi sekitar 5 – 10/1000 sel limfosit dan lebih bervariasi dibanding kromosom disentrik¹.

Teknik FISH, secara luas digunakan untuk berbagai keperluan di bidang sitogenetik, seperti untuk deteksi kanker, penanda kromosom (*chromosome marker*) translokasi spesifik atau aberasi spontan pada sindrom instabilitas atau pada populasi norma^{6,7,9}.

Pemeriksaan teknik aberasi kromosom disentrik menggunakan pewarna giemsa telah diaplikasikan untuk mendeteksi kerusakan kromosom pada sel para pekerja radiasi. Sedangkan saat ini teknik FISH dengan *probe* tunggal telah digunakan untuk memeriksa kondisi kromosom pada sel para pekerja radiasi khususnya yang telah menerima akumulasi dosis dalam jangka waktu yang lama. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengembangan lebih lanjut teknik FISH dengan *dual probe* yang digunakan untuk pemeriksaan translokasi pada sel limfosit para pekerja radiasi.

TATA KERJA

Subjek Penelitian

Sampel darah diperoleh dari 10 pekerja radiasi yang bekerja dengan sumber radiasi Co-60 dengan rentang usia antara 29 – 59 tahun, masa kerja 13 – 27 tahun. Data setiap pekerja radiasi yang meliputi usia dan masa kerja ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pekerja radiasi sebagai donor sampel darah

Nomor pekerja radiasi	Umur (tahun)	Masa kerja (tahun)
1.	46	13
2	31	13
3.	45	15
4.	59	17
5.	49	22
6.	29	22
7..	45	24
8.	44	24
9.	52	24
10.	52	27

Pembiakan dan Pemanenan Sel Darah Limfosit

Dari setiap pekerja radiasi diambil sekitar 5 ml darah tepi menggunakan *syringe* dan segera ditambah 0,03 ml heparin sebagai anti koagulan, untuk kemudian dibiakkan secara duplo. Ke dalam tabung kultur, dimasukkan media pertumbuhan 7,5 ml RPMI-1640, 0,1 ml L-Glutamin, 1 ml Fetal Bovine Serum, 0,2 ml Penicillin Streptomycin, 1 ml darah dan 0,06 ml Phytohaemagglutinin. Tabung kemudian ditutup disimpan dalam inkubator 37°C selama 72 jam. Pada 3 jam sebelum pemanenan, ke dalam biakan ditambahkan 0,1 ml colchisin untuk menghentikan proses pembelahan untuk memperoleh sel tahap metafase.

Darah hasil dibiakkan, 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. Larutan selanjutnya disentrifuse kembali dengan kecepatan yang sama selama 5 menit. Pada endapan ditambahkan 4 ml larutan carnoy (metanol : asam asetat = 3 : 1), divortex, dan kemudian ditambahkan lagi larutan carnoy sampai volume total mencapai 10 ml. Larutan tersebut disentrifus kembali beberapa kali sampai diperoleh endapan sel limfosit yang berwarna putih.

Pembuatan Preparat dan Pengecatan Kromosom dengan Teknik FISH

Endapan sel limfosit diteteskan di atas gelas preparat pada tiga tempat yang berbeda dan 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 di denaturasi dengan dimasukkan ke dalam larutan formamida dan diinkubasi pada *waterbarh* 65°C selama 1½ menit. Preparat dicuci secara berturut-turut dengan alkohol 70% dingin selama 4 menit, 70% selama 2 menit, 90% sebanyak 2 x masing-masing selama 2 menit dan 100% selama 5 menit. Kromosom pada preparat telah siap untuk dilakukan hibridisasi dengan *whole chromosome probe* (WCP) nomor 1, 2, 5, 8 dan 10. WCP dari *ID Labs. USA*, variasi *dual probe* yang dilakukan adalah kromosom no1 dan 2, 1 dan 5, 1 dan 8, 2 dan 5, 2 dan 10 serta 4 dan 8.

Dibuat campuran masing –masing untuk *probe* kromosom berbeda sebanyak 3 µl WPC berlabel *Fluorescent isothiocyanate* (FITC) dengan 4 µl *buffer*, disentrifus selama 1-3 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 di denaturasi, 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 berturut-turut preparat direndam dalam seri *coplin jar* yang berisi larutan pencuci *stringency* 45 °C sebanyak 2x masing-masing selama 5 menit, larutan 1 x SSC sebanyak 2 x selama 5 menit, dan larutan deterjen sebanyak 1x selama 4 menit. Preparat dikeringkan, diteteskan 10 µl 4,6 *diamidino-2-phenylindole* (DAPI), ditutup, dan didiamkan selama 10 menit. DAPI yang merupakan *counterstain* terhadap kromosom yang tidak dihibridisasi dengan WCP, diperoleh dari VYSIS (VX-32804830). Preparat segera diamati dengan mikroskop *epi-fluorescent* yang dilengkapi dengan filter biru, dan dilakukan pemotretan terhadap kromosom yang memiliki pendaran *probe* kromosom.

Pembuatan Preparat dan Pewarnaan Kromosom dengan Giemsa

Endapan sel limfosit diteteskan di atas gelas objek pada tiga tempat yang berbeda. Setelah kering, pada preparat diberi pewarnaan Giemsa 4% selama 5

menit. Setelah dicuci dan dikeringkan, preparat ditutup dan siap untuk dilakukan pengamatan dengan mikroskop dengan perbesaran 1000 kali terhadap jenis aberasi kromosom tak stabil. Penghitungan dilakukan terhadap jumlah kromosom pada setiap sel metafase. Bila kromosom berjumlah 45 atau 47, maka dilakukan penghitungan dan pencatatan

jumlah kromosom disentrik, cincin dan atau fragmen/potongan kromosom terhadap 200 – 1000 sel metafase.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pemeriksaan untuk aberasi kromosom disentrik, cincin dan fragmen serta pengecatan kromosom ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan aberasi kromosom stabil dan tidak stabil pada 10 pekerja radiasi.

No Pekerja radiasi	Masa Kerja (tahun)	Aberasi kromosom stabil		Aberasi kromosom tidak stabil			
		No. wcp <i>Dual probe</i>	Translokasi	Jumlah sel metafase	Disentrik	Fragmen asentrik	Cincin
1.	13	1 dan 2	-	500	-	-	-
2.	13	1 dan 8	-	1000	2	-	-
3.	15	4 dan 8	ada	1000	-	-	-
4.	17	2 dan 5	-	500	-	-	-
5.	22	1 dan 5	-	500	-	-	-
6.	22	1 dan 5	-	500	-	1	-
7.	24	2 dan 10	ada	500	-	-	-
8.	24	1 dan 5	-	500	-	-	-
9.	24	1 dan 2	-	500	-	-	-
10.	27	2 dan 10	-	1000	2	5	1

Sampel darah diperoleh dari 10 pekerja radiasi yang mempunyai masa kerja bervariasi 13-27 tahun, dengan penerimaan dosis berdasarkan data film badge berkisar antara 0,24 – 1,23 mSv/triwulan. Pemeriksaan terhadap aberasi kromosom dilakukan untuk jenis aberasi kromosom stabil yaitu translokasi sedangkan aberasi kromosom tak stabil yaitu disentrik, fragmen dan cincin.

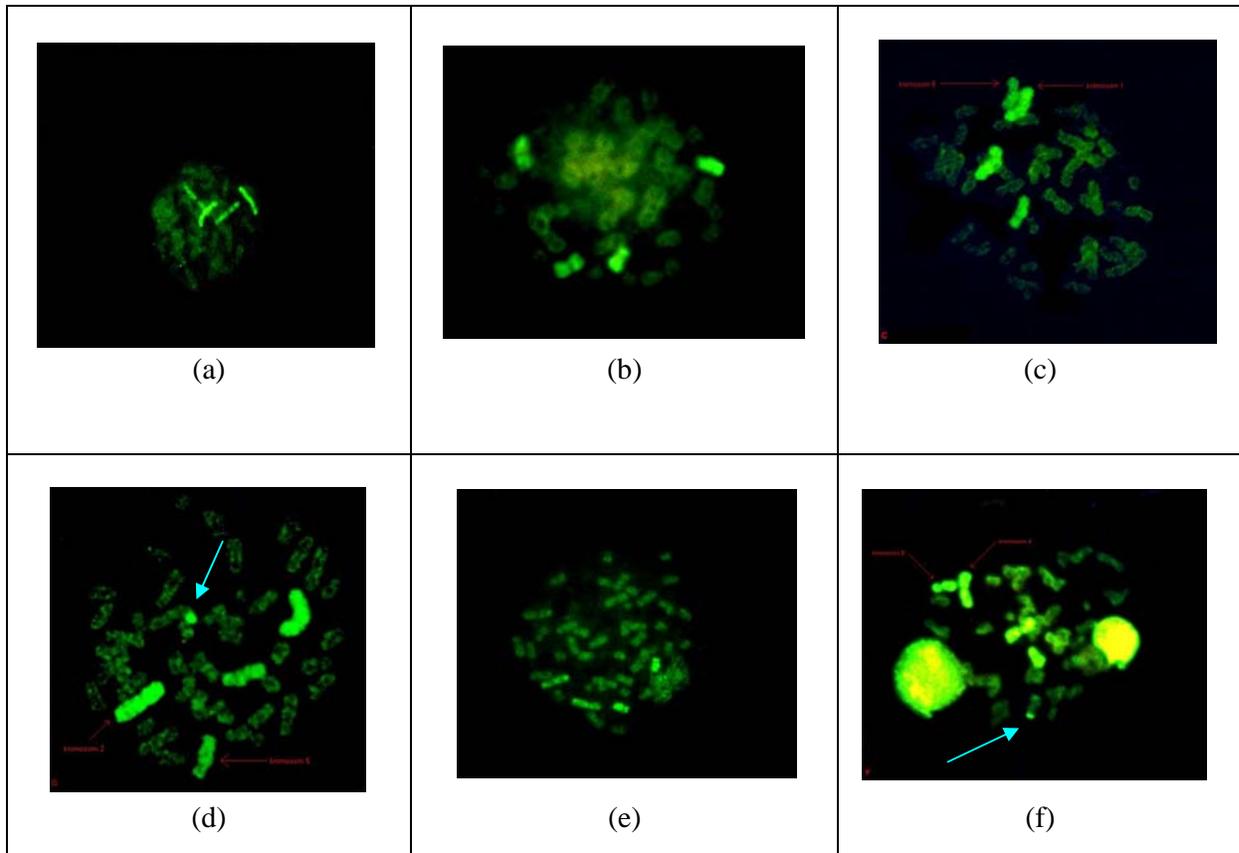
Teknik FISH dengan *chromosome specific* DNA probe diaplikasikan untuk mengidentifikasi terjadinya pertukaran kromosom (*Exchange chromosome*) terutama translokasi, yang sangat sulit apabila diidentifikasi dengan metode konvensional¹⁰. Untuk memvisualisasikan adanya translokasi pada kromosom, salah satu aspek yang penting adalah pemilihan nomor kromosom yang akan dicat, namun lebih disarankan untuk

memilih kromosom dengan ukuran besar dalam rangka memaksimalkan proporsi adanya perpindahan patahan pada kromosom yang dapat dideteksi. Menurut DARODI¹¹ disarankan untuk melakukan pengecatan pada 3 pasang kromosom dengan ukuran besar berkisar antara kromosom 1 hingga kromosom 12. karena kromosom tersebut mampu memvisualisasikan sekitar 20 % dari genom, sehingga secara efisien mampu mendeteksi adanya translokasi sekitar 33%.

Pada penelitian ini pengamatan terhadap translokasi pada sel limfosit pekerja radiasi dilakukan dengan pengecatan menggunakan pengecatan warna tunggal (*single colour*) FITC untuk melakukan pengecatan *dual probe* pada 2 nomor target kromosom untuk setiap preparat. Komposisi *dual probe* kromosom dengan label FITC yang digunakan adalah 1 dan 2, 1 dan 5, 1 dan 8, 2 dan 5, 2 dan 10 serta 4 dan 8. Untuk sel metafase yang terdeteksi dengan kromosom yang menunjukkan

sinyal berpendar warna hijau pada 2 pasang kromosom yang homogen didefinisikan sebagai kromosom normal (tanpa aberrant), sedangkan posisi patahan (*breakpoint*) pada kromosom didefinisikan sebagai adanya perpindahan posisi warna (*colour switc position*) antara kromosom dengan warna pendar hijau dengan kromosom yang tidak berpendar dikategorikan sebagai translokasi.

Hasil pengamatan kromosom stabil pada ke 8 sampel darah pekerja radiasi yang diamati pada sel limfosit tidak ditemukan adanya aberasi kromosom translokasi. Indikasi kromosom translokasi teramati pada pekerja radiasi 8 dengan masa kerja 15 tahun dan pekerja radiasi 10 dengan masa kerja 17 tahun yaitu pada kromosom *dual probe* dengan nomor kromosom 2 dan 5 dengan indikasi translokasi diduga terjadi pada kromosom no 5, sedangkan pada nomor kromosom 4 dan 8 indikasi translokasi diduga terjadi pada kromosom no 8. terlihat pada (d) dan (f) Gambar 1.



Gambar 1. (a) probe kromosom nomor 1 dan 2 (b) probe kromosom nomor 1 dan 5 (c) probe kromosom nomor 1 dan 8 (d) probe kromosom nomor 2 dan 5 dengan indikasi translokasi (tanda panah), (e) probe kromosom nomor 2 dan 10 dan (f) probe kromosom nomor 4 dan 8 dengan indikasi translokasi (tanda panah)

Dari Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa probabilitas patahan terjadi lebih didominasi pada lengan tengah kromosom dibanding dengan lokasi dekat telomer. Dengan demikian lokasi patahan pada setiap kromosom tidaklah random. Data selanjutnya dari hasil penelitian Tucker¹² menunjukkan bahwa untuk kromosom patahan lebih dominan terjadi pada posisi dekat tengah lengan kromosom dibanding dekat

telomer dan lebih banyak lagi patahan terjadi dekat centromer. Untuk kromosom no. 2 menunjukkan pola yang sama yaitu patahan terjadi dekat telomer, namun untuk sentromer tidak menunjukkan seperti halnya kromosom 1, sedangkan untuk kromosom 4 juga menunjukkan patahan lebih banyak pada dekat telomer^{12,13}. Pada penelitian Botwell⁹ telah dilaporkan frekuensi translokasi dan disentrik pada kromosom

nomor 1,3 dan 4 pada darah yang diiradiasi sinar X dengan dosis sampai 2Gy. Hasil penelitiannya kemudian digunakan untuk menetapkan teknik biodosimetri untuk menentukan hubungan antara variasi masing-masing pekerja radiasi yang berusia 51-82 tahun, frekuensi translokasi yang teramati adalah sebesar $14,33 \pm 0,87 \times 10^{-3}$ per genom ekuivalent.

Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa perubahan struktur kromosom no 1, 3 dan 10 yang diinduksi oleh sinar X dengan dosis 0,25 – 1 Gy terdistribusi secara tidak random¹⁵. Fraksi aberasi kromosom pada kromosom no 10 secara nyata lebih besar bila dibandingkan dengan kromosom no 1 atau 3. Data ini menunjukkan bahwa bila dibandingkan dengan kromosom 1 dan 3, keterlibatan kromosom no 10 dalam pembentukan aberasi kromosom ternyata lebih besar dari yang diperkirakan berdasarkan kandungan DNANYa. Namun studi lain dengan teknik FISH mengindikasikan keterlibatan berbagai kromosom dalam pembentukan aberasi tidak selalu berhubungan dengan kandungan DNA dari setiap kromosom^{16,17,18}.

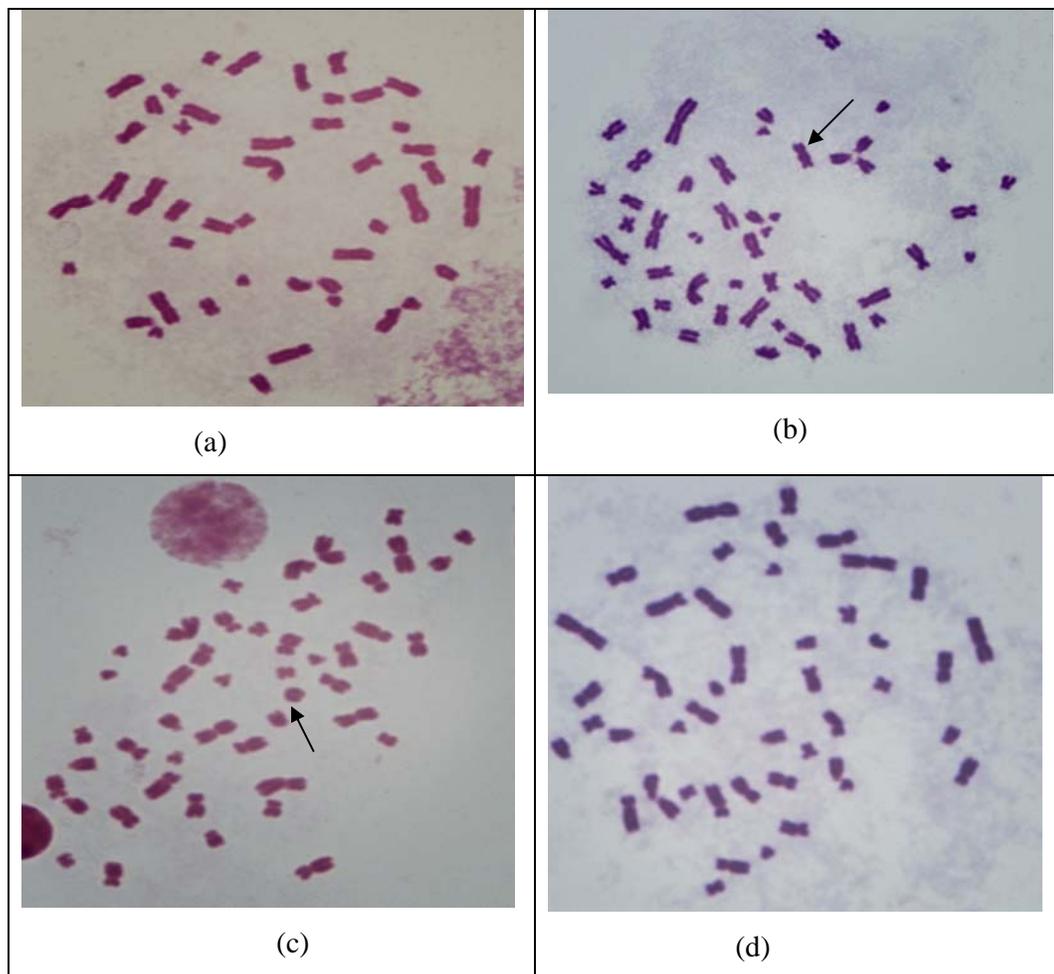
Secara umum aberasi kromosom merupakan gabungan semua perubahan

pada kariotip normal. Semua aberasi kromosom tipe pertukaran dapat terjadi paling tidak bila terdapat 2 patahan yang akan disambung kembali dengan mekanisme yang bervariasi. Ini berarti tidak selalu ada informasi yang hilang, tetapi hanya ditranslokasikan ke tempat yang berbeda. Lokasi patahan pada tempat yang baru akan mengarah pada terjadinya perubahan ekspresi gen yang berpotensi menimbulkan perubahan fenotip. Misalnya untuk kasus *Philadelphia chromosome* (translokasi resiplokal) antara kromosom no 9 dan no 1 yang umumnya ditemukan pada pasien leukemia dimana onkogen yang pada kondisi normal bersifat silent menjadi teraktivasi dan berekspresi¹⁹.

FISH telah menunjukkan bahwa DNA *strand break* yang disebabkan oleh radiasi pengion tidak bersifat random terdistribusi dalam genom. Kebanyakan terjadi pada bagian eukromatin. Namun demikian efisiensi perbaikan (repair) pada patahan tersebut cukup tinggi dibanding daerah pada heterokromatin. Karena disebabkan karakteristik pada *sequence base pair* pada daerah telomerik, kromosom 8 lebih *susceptible* mudah terpengaruh terhadap radiasi pengion dibanding kromosom lain²⁰.

Hasil pengamatan kromosom tak stabil (disentrik) pada 8 sampel darah pekerja radiasi adalah normal untuk setiap 500 atau 1000 sel metafase, sedangkan pada dua sampel pekerja radiasi dijumpai aberasi kromosom tak stabil yaitu disentrik serta cincin yaitu pada pekerja radiasi no 3 ditemukan 2 disentrik 1 cincin dan 1 fragmen dari

1000 metafase sel (Gambar 2). Namun untuk ketika jenis aberasi kromosom tersebut masih dikategorikan dalam kisaran normal, karena mengacu pada IAEA bahwa frekuensi latar untuk ketiga jenis aberasi tersebut berturut-turut 1-2 disentrik, 2-3 cincin, dan 4-7 fragmen masing-masing dalam setiap 1000 sel metafase masih dikategorikan normal⁴.



Gambar 2. (a) Sel metafase dengan kromosom normal (b) Sel metafase dengan kromosom disentrik dan fragmen (tanda panah) pada pekerja no (c) Sel Metafase dengan kromosom ring dan (d). Sel metafase dengan fragmen kromosom.

Indikasi aberasi kromosom stabil translokasi ditemukan pada pekerja dengan masa kerja 15 – 17 tahun, sedangkan aberasi kromosom tak stabil ditemukan pada pekerja radiasi dengan masa kerja 13 hingga 27 tahun, dari data pengamatan dalam penelitian ini tidak ditemukan adanya korelasi antara aberasi kromosom stabil dan stabil. Terdapat kemungkinan tidak ditemukan kromosom yang mengalami translokasi karena dosis radiasi yang mengenai kromosom tidak cukup besar untuk dapat menimbulkan patahan, atau translokasi terjadi pada kromosom yang tidak dilakukan pengecatan, sehingga translokasi tidak terdeteksi. Dosis ambang radiasi secara akut yang dibutuhkan untuk dapat menginduksi aberasi kromosom termasuk translokasi adalah 0,25 Gy.

Menurut buku IAEA Untuk kepentingan dosimetri biologi retrospektif (paparan panjang waktu lampau lebih dari 5 tahun, disarankan untuk memilih *single color* FISH painting untuk *triple Cocktail* target kromosom yang akan dipainting, karena akan lebih efisien untuk mendeteksi adanya translokasi pada kromosom para pekerja. Untuk itu Penguasaan teknik analisis dengan teknik FISH masih perlu pengembangan lebih lanjut dengan

melakukan pengamatan aberasi kromosom stabil dengan menggunakan 3 *probe*. (*triple probe*), Sedangkan dari hasil penelitian yang lain disarankan dalam hal seleksi kromosom untuk pemilihan *probe* kromosom kecil/pendek tidak disarankan, sebab kemungkinan sejumlah genom yang tercatat akan sedikit sehingga deteksi visualisasi adanya translokasi akan lebih sulit, dan dibutuhkan sejumlah sel untuk mengamatinya^{4,9}.

Untuk itu penelitian perlu dikembangkan tehnik analisis FISH yang mampu memvisualisasikan 3 jenis kromosom dengan 3 variasi probe dengan kemampuan warna yang berbeda atau dengan warna tunggal untuk 3 nomor kromosom, sehingga adanya pertukaran bagian kromosom yang mengalami translokasi akan lebih nyata, hal tersebut perlu menggunakan fasilitas mikroskop yang dilengkapi tiga filter yaitu filter yang mampu memvisualisasikan 3 warna secara bersamaan dengan warna yang berbeda.

KESIMPULAN

Kromosom translokasi dengan teknik pengecatan kromosom FISH merupakan aberasi kromosom stabil yang secara umum diyakini tetap ada pada sel

darah tepi untuk beberapa tahun, sehingga dapat digunakan secara retrospektif untuk mengkaji dosis radiasi akibat pajanan kronik. Telah diperoleh kesimpulan hasil pengamatan terhadap pekerja radiasi bahwa teknik FISH dengan *dual probe* kromosom telah mampu untuk mendeteksi adanya kromosom translokasi. Untuk lebih mengoptimalkan tehnik ini, perlu dilakukan deteksi translokasi pada para pekerja radiasi purna karya. Disamping itu perlu peningkatan kemampuan dalam memvisualisasikan aberasi kromosom translokasi yang lebih baik melalui pengembangan tehnik FISH menggunakan 3 jenis WCP probe dengan warna yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

1. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION 2000 REPORT TO GENERAL ASSEMBLY. Source and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. United Nations, New York. 2000
2. HALL., E.J. Radiobiology For The Radiobiologist. JB Lippincott Company, Philadelphia.5 Edition. 2000
3. KONDO.S. Health Effects of Low Level Radiations. Kinki University Press, Osaka Japan and Medical Physics Publishing, Madison USA 1993
4. IAEA Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment. Technical Reports Series No. 405. IAEA, Vienna. 2001.
5. CIGARRAN, S., BARQUINERO, J.F., BARRIOS, L., RIBAS, M., EGOZCUE, J., And CABALLIN M.R., Cytogenetic Analyses by Fluorescence *In Situ* Hybridization (FISH) in Hospital Workers Occupationally Exposed To Low Levels Of Ionizing Radiation. *Radiation Research* 155, 417-423. 2001.
6. COCO-MARTIN, J.M., SMEET, M.F.M.A., POGGENSEE, M., MOOREN, E., HOFLAND, I., VAN DE BRUG, M., OTTENHEIM, C., BARTELINK, H. AND BEGG, A.C. Use Of Fluorescence In Situ Hybridization to Measure Chromosome Aberrations as A Predictor of Radiosensitivity in Human Tumour Cells. *Int. J. Radiat. Biol.* 66 (3). 297-307. 1994.
7. BRENNER, D.J., OKLADNIKOVA, N., HANDE, P. BURAK, L., GEARD, C.R. and AZIZOVA, T. Biomarkers Specific to Densely-Ionizing (High LET) Radiations. *Radiation Protection Dosimetry.* 97(1), 69-73. 2001.
8. ZELJEZIC, D And GARAJVRHOVAC,V, Fluorescence In Situ Hibridisation in Detecting Chromosome Aberrations Caused By Occupational Exposure to Ionising Radiation, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia, Arh Hig Rada Toksikol 2006,57.65-68
9. JOSE M. GARCIAPSARGEDO, ISABEL VALLCORBA, ANA LOPEZ-YARTO, MARIA DEL CARMEN SANCHEZ-HOMBRE, MONICA RESINO, AND MARIA TERESA FERRO. *Chromosome Painting iIn Biological Dosimetry: Assessment Of The Ability To Score Stable Chromosome Aberration*

- Using Different Paers Of Paint Probes.* Environmental Health Perspective. Vol 104, Supplement 3. May 1996
10. KIURU. A, LINDHOLM. C., AUVINEN. A., and SALOMA. S. Localization of ra-induced Chromosomal Breakpoints Along Human Chromosom 1 Using a Combination Of G-Banding and FISH. *Int. J. Radiation Biologi.* Vol. 79 NO 5, 667 – 672 (2000).
 11. DARROUDI,F., Use of FISH Translocation Analices For Retrospective Biological Dosimetry How Stable Chromosome Aberratios. *Radiation Protection Dosimetri* 88 (2000) 101-109
 12. JAMES D. TUCKER AND JAMIE R.SENFT, ANALYSIS OF NATURALLY OCCURRING AND RADIATION-INDUCED BREAKPOINT LOCATIONS In HUMAN CHROMOSOME 1,2 AND *Radiation Research* 140, 31 – 36 (1994).
 13. LUOHAMARA, S., LINDHOLM, C., MUSTONEN, R. AND SLOMAA, S. Distribusi of Radiation-Induced Exchange Aberrations in Human Chromosome 1,2 and 4. *International Journal of Radiation Biologi* 75 9120, 1551-1556, 1999.
 14. STEPHAN, G. AND PRESSL, S. Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes Analised by Fluorescence *in situ* Hybridization after in vitro Irradiation, and in Radiation Workers, 11 Years after an Accidental Radiation Exposure. *International Journal of Radiation BIOLOGY* 71, 293-299, 1997
 15. BOUCHINGER, M., SCHMID, E., and BRASELMANN, H. Time-Course of Translocation and Dicentric Frequencies in A Radiation Accident Case. *International Journal of Radiation Biology* 77(5), 553-557, 2001
 16. BARQUINERO, J.F., KNHER, S., BRASELMANN, H., FIGEL, M., and BAUCHINGER, M. DNA-Proportional Distribution of Radiation-Induced Chromosome Aberrations Analysed by Fluorescence *in situ* Hybridization Painting of All chromosomes of A Human Female Karyotype. *International Journal of Radiation Biology* 74,315-323, 1998.
 17. KNEHR, S., ZITZELSBERGER, H., BRASELMANN, H., NAHRSTEDT, U., and BAUCHINGER, M. Chromosome Analysis by Fluorescence *in situ* Hybridization: Further Indications for A Non-DNA-Proportional Involvement of Single Chromosomes in Radiation-Induced Structural Aberrations. *International Journal of Radiation Biology* 70, 385-392, 1996.
 18. BOEL, J.J.W.A., VERMEULEN, S., and NATARAJAN, A.T. Differential Involvement of chromosomes 1 and 4 in the Formation of Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes After X-Irradiation. *International Journal of Radiation Biology* 72,139-145, 1997.
 19. BOTHWELL, A.M., WHITEHOUSE, C.A., and TAWN, E.J. The Application of FISH fro Chromosome Analysis in Relation to Radiation Exposure. *Radiation Protection Dosimetry* vol. 88 (1), 7-14. 2000.
 20. LINDHOLM, C AND SALOMAA, S. Dose Assessment of Past Accidental or Chronic Exposure Using FISH Chromosome Painting. *Radiation Protection Dosimetry* vol. 88 (1), 21-26. 2000.

PEMANTAUAN TINGKAT RADIASI GAMMA DI BEBERAPA LOKASI DI PULAU SULAWESI

Sutarman, Syarbaini, dan Kusdiana

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

PEMANTAUAN TINGKAT RADIASI GAMMA DI BEBERAPA LOKASI DI PULAU SULAWESI. Telah dilakukan pemantauan tingkat radiasi gamma di 41 lokasi di wilayah pulau Sulawesi yang meliputi Propinsi Sulawesi Tenggara, Propinsi Sulawesi Selatan, dan Propinsi Sulawesi Barat. Pemantauan ini merupakan lanjutan dari pemantauan tingkat radiasi gamma di beberapa wilayah Indonesia, seperti Jawa, Sumatra, dan Kalimantan. Tujuan akhir kegiatan ini adalah untuk mendapatkan data dasar tingkat radiasi gamma di seluruh wilayah Indonesia. Penentuan lokasi pemantauan berdasarkan grid 50 km × 50 km. Pengukuran laju dosis radiasi-gamma dilakukan menggunakan perangkat sebuah *Exploranium Radiation Detection System* model GR-130-mini SPEC (*Portable Gamma Ray Spectrometer*) dengan detektor NaI (Tl) dan penentuan letak lintang geografik menggunakan GPS (*Global Positioning System*) Model GPS 18 USB buatan Garmin. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma bervariasi berkisar dari 18 ± 7 nSv/jam ($3^{\circ}.95'LS$, $122^{\circ}.23'BT$) sampai 632 ± 49 nSv/jam ($2^{\circ}.96'LS$, $118^{\circ}.87'BT$). Di daerah Mamuju dan Majene di Propinsi Sulawesi Barat laju dosis radiasi gamma relatif tinggi dibandingkan pada lokasi-lokasi yang lain. Pada umumnya, tingkat radiasi gamma di wilayah Sulawesi lebih tinggi dari pada tingkat radiasi gamma di Kalimantan, yaitu 11 ± 8 nSv/jam sampai 349 ± 57 nSv/jam, Sumatra, yaitu 23 ± 1 nSv/jam sampai 186 ± 4 nSv/jam, dan Java, yaitu 11 ± 1 nSv/jam sampai 128 ± 6 nSv/jam.

Kata kunci : laju dosis, radiasi gamma, lingkungan, Sulawesi

ABSTRACT

MONITORING OF GAMMA RADIATION LEVEL AT SEVERAL LOCATIONS IN SULAWESI ISLAND. Monitoring of gamma radiation level have been carried out at 41 locations in Sulawesi that is Southeast Sulawesi Province, South Sulawesi Province, and West Sulawesi Province. This monitoring is the monitoring continuous of gamma radiation level at several areas in Indonesia, such as Java, Sumatra, and Kalimantan. The aim of the final monitoring is to obtain the baseline data of gamma radiation level in Indonesia. The determination of the monitoring locations are based on the grid of 50 km × 50 km. The measurement of gamma radiation dose rate have been carried out using a Exploranium Radiation Detection system, model GR-130 mini SPEC (Portable Gamma Ray spectrometer) with a NaI(Tl) detector and determination of geographic position using a Global Positioning System, model GPS 18 USB made by Garmin. The results of measurement showed that the gamma radiation data were the range from 18 ± 7 nSv/h ($3^{\circ}.95'LS$, $122^{\circ}.23'BT$) to 632 ± 49 nSv/h ($2^{\circ}.96'LS$, $118^{\circ}.87'BT$). The dose rate of radiation gamma at Mamuju and Majene areas in West Sulawesi Province was relatively higher compared to the other locations. In general, the gamma radiation level in Sulawesi area was higher than the gamma radiation level in Kalimantan, i.e. from 11 ± 8 nSv/h to 349 ± 57 nSv/h, Sumatra, i.e. from 23 ± 1 nSv/h to 186 ± 4 nSv/h, and Java, i.e. from 11 ± 1 nSv/h to 128 ± 6 nSv/h.

Keywords : dose rate, gamma radiation, environment, Sulawesi

PENDAHULUAN

Pemantauan radioaktivitas dan radiasi lingkungan secara nasional telah dilakukan oleh PTKMR tiap tahun secara terus-menerus disesuaikan dengan Landmark dan program BATAN. Tujuan pemantauan ini antara lain untuk mendapatkan data dasar tingkat radiasi lingkungan di beberapa wilayah Indonesia. Data dasar tersebut dapat dipakai untuk pembuatan batas lepas radioaktivitas dan radiasi lingkungan di Indonesia, sehingga distribusi radionuklida ke lingkungan dari kegiatan industri nuklir dapat dievaluasi, misalnya jika terjadi kecelakaan nuklir di suatu daerah atau dari mancanegara.

Pada umumnya radiasi gamma (γ) lingkungan berasal dari sumber radiasi alamiah, yaitu dari angkasa luar (radiasi kosmik) dan dari dalam bumi. Radiasi sinar kosmik dapat sampai ke permukaan bumi bergantung pada ketinggian dan letak lintang geografik. Oleh karena itu radiasi kosmik relatif tinggi di daerah lintang tinggi dibandingkan dengan lintang rendah. Demikianpula pada daerah dataran tinggi, intensitas radiasi kosmik lebih tinggi dibandingkan dengan daerah dataran rendah. Radiasi gamma dari dalam bumi (kerak bumi) umumnya berasal tanah atau batuan yang mengandung deret thorium (^{232}Th),

deret uranium (^{238}U), dan potasium-40. Dosis radiasi gamma alamiah tahunan rata-rata yang berasal dari dalam bumi yang diterima penduduk dunia berkisar dari 0,3 sampai 0,6 mSv dengan rata-rata 0,5 mSv^{1,2}.

Struktur geologi di wilayah penelitian, mulai dari Propinsi Sulawesi Tenggara sampai Sulawesi Barat dijumpai beberapa unsur batuan, antara lain batuan aluvium (berupa kerikil, pasir dan lempung), pualam dan batuan gamping batuan sedimen, batuan gunung api, batuan granit kapur, dan batuan basal. Propinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat banyak dijumpai batuan granit, granodiorit, diorit, silnit, monzoit kuarsa, dan riolit, terutama daerah Mamuju dan Mjene Propinsi Sulawesi Barat.

Sangat luasnya wilayah Indonesia, pada kegiatan tahun 2007 baru dilakukan penelitian tingkat radiasi gamma di 41 lokasi di wilayah Sulawesi, meliputi Propinsi Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Barat, sementara di propinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Gorontalo belum dapat dilakukan. Adapun kegiatan sebelumnya telah dilakukan pemantauan radiasi gamma

lingkungan di beberapa wilayah Indonesia, yaitu di Pukau Jawa, Pulau Sumatra, dan Pulau Kalimantan^{3,4,5}.

TATA KERJA

Daerah penelitian dibagi-bagi dalam grid yang berukuran 50 km × 50 km. Lokasi penelitian ditentukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS), model GPS 60CSx buatan Garmin (Gambar 1) untuk menunjukkan letak lintang geografik, yaitu bujur timur (BT) dan lintang selatan (LS)⁶.



Gambar 1. GPS (*Global Positioning System*) buatan Garmin Model GPS 60CSx⁶.

Pengukuran radiasi gamma dilakukan terhadap 41 lokasi yang terdiri atas 16 lokasi di Propinsi Sulawesi Tenggara meliputi beberapa wilayah, yaitu Kota Kendari, Kabupaten Konawe Selatan, Kabupaten Bombana, Kabupaten Kolaka, Kabupaten

Kolaka, Kabupaten Konawe, Kabupaten Konawe Utara, dan Kabupaten Kolaka Utara, dan 19 lokasi di Propinsi Sulawesi Selatan, meliputi, Kabupaten Luwu Timur, Kabupaten Luwu Utara, Kabupaten Palopa Selatan, Kabupaten toraja, Kabupaten Enrekang, Kabupaten Sidrap, Kabupaten Talakar, Kabupaten Jeneponto, Kabupaten Banteang, Kabupaten Gowa, Kabupaten Wajo, Kabupaten Soppeng, Kabupaten Bone, dan Kabupaten Maros), dan 6 lokasi di Propinsi Sulawesi Barat, meliputi Kabupaten Polman, Kabupaten Mejene, dan Kabupaten Mamuju. Lokasi pengukuran laju dosis radiasi gamma umumnya pada ketinggian rata-rata kurang dari 100 meter dari permukaan laut.

Pengukuran laju dosis radiasi-gamma lingkungan dilakukan menggunakan perangkat mini-instrumen *Exploranium Radiation Detection System* Model GR-130-mini SPEC (*Portable Gamma Ray Spectrometer*) dengan detektor NaI (Tl) yang dapat dilihat pada Gambar 2. Alat ukur ini dilengkapi dengan beberapa alat elektronik pendukung, yaitu tegangan tinggi (HV), ratemeter, penyekala otomatis dengan *preset time*,

daya dari baterai, layar peraga LCD, serta sebuah *joystick* yang berfungsi untuk mengoperasikannya⁷. Alat ukur tersebut dapat diatur (*setting*) setiap satu detik selama 2 sampai 3 menit.

Pengukuran dilakukan di setiap lokasi yang telah ditentukan dan dicatat posisi geografisnya menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Pengukuran laju dosis radiasi-gamma lingkungan menggunakan EXPLORANIUM GR 130 portable sangat praktis untuk dibawa ke lapangan karena mempunyai ukuran yang cukup kecil, yaitu panjang 235 mm, lebar 110 mm, dan tinggi 170 mm (termasuk pegangan) serta mempunyai berat 1,9 kg (tanpa baterai) atau 2,4 kg (termasuk 2 buah baterai) Satuan yang digunakan oleh alat ukur ini nSv/jam.

Alat ukur tersebut dapat dioperasikan dalam 3 mode, yaitu : *mode survey*, *mode dosimeter* dan *mode analysis*. Pada mode survey alat berfungsi sebagai survey-meter, hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk laju cacah dalam satuan cacah/detik (cps). Pada mode dosimeter, hasil pengukuran dapat ditampilkan dalam bentuk laju dosis maupun dosis akumulatif. Apabila dioperasikan dalam mode analisis alat berfungsi sebagai analisis jenis radionuklida yang dapat membedakan radionuklida

yang tercacah berdasarkan energinya, dengan resolusi 46 keV pada energi 662 keV (^{137}Cs).



Gambar 2. Pengukuran laju dosis menggunakan EXPLORANIUM GR 130 portable⁷.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di 41 lokasi umumnya berasal dari sumber radiasi alamiah yang ada di dalam bumi dalam bentuk radionuklida primordial, yaitu deret uranium (^{238}U) dan thorium (^{232}Th) serta potasium-40. Lokasi pengukuran radiasi gamma umumnya pada ketinggian kurang dari 100 meter dari permukaan tanah, dan di samping itu radiasi gamma yang berasal dari radiasi kosmik di daerah tropis relatif rendah. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di beberapa lokasi di Propinsi Sulawesi Tenggara, Propinsi Sulawesi Selatan dan Propinsi Sulawesi Barat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran radiasi gamma dari 41 lokasi di daerah Sulawesi bervariasi berkisar dari 18 ± 7 nSv/jam sampai 632 ± 49 nSv/jam dengan rata-rata 150 ± 1 nSv/jam. Nilai laju dosis rata-rata ini dua kali lebih besar dibandingkan dengan laju dosis radiasi gamma rata-rata dunia alamiah dari dalam bumi, yaitu adalah 0,5 mSv/tahun atau 57 nSv/jam. Tinggi rendahnya radiasi gamma alamiah yang berasal dari kerak bumi sangat bergantung pada keadaan struktur geologi dan kandungan unsur-unsur yang ada di dalam tanah. Kondisi di lokasi penelitian umumnya banyak dijumpai batuan vulkanik, batuan pualam, batuan gamping dan batuan granit.

Kondisi struktur geologi dan tanah di Propinsi Sulawesi Tenggara termasuk kota Kendari umumnya terdiri dari batuan kerikil, pasir, tanah lempung. Beberapa daerah terdapat batuan gamping dan pualam. Bahan galian ditemukan di beberapa daerah, antara lain nikel (terutama di daerah Pomala), bijih besi, pasir besi, dan batuan gamping^{8,9,10}. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma pada 16 lokasi di Propinsi Sulawesi Tenggara berkisar dari 18 ± 7 nSv/jam sampai 87 ± 19 nSv/jam dengan rata-rata 61 ± 1 nSv/jam.

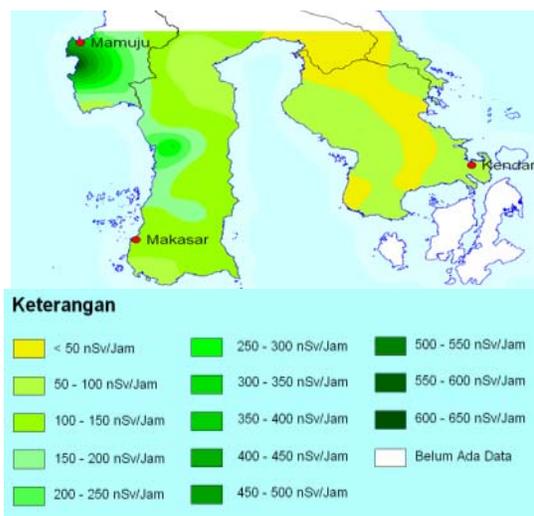
Kondisi struktur geologi dan tanah di Propinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat umumnya terdiri dari batuan vulkanik, batuan gamping, dan slate (batuan sabak). Beberapa lokasi dekat Teluk Mandar dijumpai endapan antar gunung konglomerat yang mengandung komponen batuan granit. Batuan terobosan umumnya batuan beku seperti granit, granodiorit, diorit, silmit, monozonit kuarsa dan riolit^{11,12}. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di Propinsi Sulawesi Selatan (19 lokasi) berkisar dari 18 ± 12 nSv/jam sampai 311 ± 27 nSv/jam dengan rata-rata 118 ± 1 nSv/jam. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di Propinsi Sulawesi Barat (6 lokasi) berkisar dari 97 ± 28 nSv/jam sampai 632 ± 49 nSv/jam dengan rata-rata 272 ± 3 nSv/jam.

Tabel 1. Data laju dosis radiasi gamma lingkungan di beberapa lokasi di wilayah Sulawesi

No. Kode	L o k a s i	Laju dosis (nSv/jam)	Keterangan
Sul-Teng-1	4° 04'LS 122° 49'BT (Kota Kendari)	66 ± 16	Propinsi Sulawesi Tenggara Laju dosis rata-rata = 61±1 nSv/jam
Sul-Teng-2	4° 36'LS 122° 48'BT (Kab.Konawe Selatan)	73 ± 18	
Sul-Teng-3	4° 47'LS 122° 48'BT (Kab.Konawe Selatan)	41 ± 12	
Sul-Teng-4	4° 73'LS 121° 98'BT (Kab.Bombana)	77 ± 18	
Sul-Teng-5	4° 81'LS 121° 80'BT (Kab.Bombana)	85 ± 19	
Sul-Teng-6	4° 72'LS 121° 52'BT (Kab.Bombana)	37 ± 12	
Sul-Teng-7	4° 50'LS 121° 50'BT (Kab.Kolaka)	29 ± 11	
Sul-Teng 8	-	-	
Sul-Teng-9	4° 08'LS 121° 65'BT (Kab.Kolaka)	82 ± 18	
Sul-Teng-10	4° 00'LS 121° 85'BT (Kab.Kolaka)	87 ± 19	
Sul-Teng-11	3° 95'LS 122° 23'BT (Kab.Konawe)	18 ± 7	
Sul-Teng-12	3° 81'LS 122° 44'BT (Kab.Konawe Utara)	79 ± 18	
Sul-Teng-13	3° 49'LS 122° 09'BT (Kab.Konawe Utara)	24 ± 9	
Sul-Teng-14	3° 24'LS 122° 15'BT (Kab.Konawe Utara)	66 ± 18	
Sul-Teng-15	3° 72'LS 121° 09'BT (Kab.Kolaka Utara)	81 ± 17	
Sul-Teng-16	3° 34'LS 120° 96'BT (Kab.Kolaka Utara)	82 ± 17	
Sul-Teng-17	3° 10'LS 121° 11'BT (Kab.Kolaka Utara)	42 ± 13	
Sul-Sel-1	2° 58'LS 121° 05'BT (Kab. Luwu Timur)	18 ± 12	Propinsi Sulawesi Selatan Laju dosis rata-rata = 118±1 nSv/jam
Sul-Sel-2	2° 57'LS 120° 75'BT (Kab. Luwu Timur)	91 ± 19	
Sul-Sel-3	2° 55'LS 120° 37'BT (Kab. Luwu Utara)	158 ± 36	
Sul-Sel-4	2° 76'LS 120° 15'BT (Kab.Palopo Selatan)	60 ± 17	
Sul-Sel-5	3° 01'LS 119° 79'BT (Kab.Toraja)	62 ± 15	
Sul-Sel-6	3° 30'LS 119° 83'BT (Kab.Enrekang)	112 ± 25	
Sul-Sel-7	3° 68'LS 119° 79'BT (Kab.Enrekang)	109 ± 23	
Sul-Sel-8	3° 98'LS 119° 80'BT (Kab.Sidrap)	311 ± 27	
Sul-Sel-9	5° 48'LS 119° 44'BT (Kab.Talakar)	88 ± 24	
Sul-Sel-10	5° 63'LS 119° 69'BT (Kab.Jeneponto)	52 ± 20	
Sul-Sel-11	5° 58'LS 120° 07'BT (Kab.Bantaeng)	151 ± 25	
Sul-Sel-12	5° 30'LS 120° 14'BT (Kab.Balakumba)	142 ± 28	
Sul-Sel-13	5° 22'LS 119° 95'BT (Kab.Gowa)	94 ± 20	
Sul-Sel-14	5° 26'LS 119° 69'BT (Kab.Gowa)	120 ± 22	
Sul-Sel-15	3° 53'LS 119° 53'BT (Perbatasan Sul-Bar)	163 ± 21	
Sul-Sel-16	4° 26'LS 120° 01'BT (Kab.Wajo)	104 ± 21	
Sul-Sel-17	4° 48'LS 119° 95'BT (Kab.Sopeng)	115 ± 24	
Sul-Sel-18	4° 78'LS 119° 98'BT (Kab.Bone)	178 ± 25	
Sul-Sel-19	5° 02'LS 119° 75'BT (Kab.Maros)	121 ± 32	
Sul-Bar.-1	3° 44'LS 119°36'BT (Kab.Polman)	191 ± 31	Propinsi Sulawesi Barat
Sul-Bar.-2	3° 51'LS 119°11'BT (Kab.Polman)	97 ± 28	

Sul-Bar.-3	3° 33'LS 119°84'BT (Kab.Majene)	188 ± 45	Laju dosis rata-rata = 272±3 nSv/jam
Sul-Bar.-4	2° 96'LS 118°87'BT (Kab.Majene)	632 ± 49	
Sul-Bar.-5	2° 64'LS 118°96'BT (Kab.Mamaju)	329 ± 34	
Sul-Bar.-6	2° 59'LS 119°13'BT (Kab.Mamaju)	196 ± 43	

Peta laju dosis (dalam satuan nSv/jam) di wilayah Propinsi Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Barat diperlihatkan pada Gambar 3. Tabel 1 atau Gambar 3 memperlihatkan bahwa beberapa lokasi memiliki laju dosis cukup tinggi, terutama di beberapa lokasi di Propinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat (Kabupaten Majene dan Mamuju). Kondisi di lokasi penelitian ini umumnya terdiri dari batuan vulkanik, batuan gamping dan batuan granit yang kemungkinan mengandung uranium alam dan felspar cukup tinggi.



Gambar 3. Pemetaan laju dosis radiasi gamma di propinsi Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Barat

Umumnya laju dosis radiasi gamma yang telah diperoleh di beberapa lokasi di wilayah Sulawesi relatif tinggi dibandingkan dengan data yang diperoleh dari beberapa lokasi di wilayah Pulau Jawa, Sumatra, dan Kalimantan. Laju dosis radiasi gamma di Jawa berkisar dari 19 ± 4 nSv/jam sampai 150 ± 12 nSv/jam dengan rata-rata 52 ± 37 nSv/jam³, di Sumatra berkisar dari 23 ± 1 nSv/jam sampai 186 ± 4 nSv/jam dengan rata-rata 50 ± 25 nSv/jam⁴, dan di Kalimantan berkisar dari 11 ± 8 nSv/jam sampai 349 ± 57 nSv/jam dengan rata-rata 53 ± 16 nSv/jam⁵, sedangkan di Sulawesi berkisar dari 18 ± 7 nSv/jam sampai 632 ± 49 nSv/jam dengan rata-rata 150 ± 1 nSv/jam. Peta laju dosis radiasi gamma lingkungan di wilayah Sulawesi, Kalimantan, Sumatra, dan Jawa diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta laju dosis radiasi gamma lingkungan (nSv/jam) di wilayah Indonesia yang telah dilakukan pada penelitian tahun 2005 - 2007.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pemantauan tingkat laju dosis radiasi gamma lingkungan 41 lokasi di wilayah Sulawesi bervariasi berkisar dari 18 ± 7 nSv/jam ($3^{\circ}.95'LS$, $122^{\circ}.23'BT$) sampai 632 ± 49 nSv/jam ($3^{\circ}.33'LS$, $119^{\circ}.84'BT$) dengan rata-rata 150 ± 1 nSv/jam. Nilai laju radiasi gamma rata-rata tersebut adalah dua kali lebih besar dibandingkan dengan laju dosis radiasi gamma alamiah rata-rata di dunia dan relatif tinggi dibandingkan dengan data laju dosis radiasi gamma alamiah rata-rata yang diperoleh dari Pulau Jawa, Sumatera, dan Kalimantan.

Saran

Data dasar laju dosis radiasi gamma lingkungan yang telah diperoleh di beberapa kegiatan yang dilakukan oleh PTKMR - BATAN selama ini belum mewakili wilayah Indonesia yang sangat luas. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan serupa untuk daerah lain agar diperoleh data dasar yang menggambarkan tingkat laju dosis radiasi gamma alamiah di wilayah Indonesia. Data yang perlu dilengkapi adalah untuk wilayah Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Papua, dan Maluku.

DAFTAR PUSTAKA

1. HENRIKSEN, T. dan MAILLIE, H., D., *Radiation and Health*, Taylor & Francis Group, London and New York, 2003.
2. IAEA, *Radiation, People and Environment*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2004.
3. SUHARYONO, G., BUCHARI, dan ISKANDAR, D., *Laju Dosis Radiasi Gamma Lingkungan di Pulau Jawa*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Buku III, Yogyakarta 10 Juli 2007, PTAPB-BATAN, Yogyakarta, 2007.
4. MAKHSUN, KUSDIANA, dan SYARBAINI, *Pemantauan Laju Dosis Radiasi-Gamma di Beberapa Propinsi di Pulau Sumatera*, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan II, DRN Puspiptek Serpong, 19 Desember 2006, PTKMR-BATAN, Jakarta, 2006.
5. SUTARMAN, *Pemetaan Tingkat Radioaktivitas dan Radiasi Lingkungan di Wilayah Kalimantan*, Laporan Teknis Kegiatan Penelitian Taghun 2006, PTKMR-BATAN, Jakarta, 2007.
6. GARMIN. *GPS III Plus Owner's Manual & Reference*, Garmin Corporation, Taiwan January 2001.
7. EXPLORANIUM, *GR-130 miniSPEC User Manual*, Exploranium, February 9, 2001.
8. SIMANDJUNTAK, T.O, RUSMANA, E, dan SUPANDJONO, *Geologi Lembar Bungku, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1994.
9. SIMANDJUNTAK, T.O, SURONO, dan SUKIDO, *Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1994.
10. RUMANA, E., SUKIDO, SUKARNA, D., HARYONO, E., dan SIMANDJUNTAK, T.O, *Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993
11. SUKANTO, R., *Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1982.
12. SUKANTO, R. dan SUPRIATNA, S., *Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai Quadrangles, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1982.

PENGARUH RADIASI GAMMA TERHADAP PROFIL PROTEIN *Plasmodium berghei* STADIUM ERITROSITIK

*Devita Tetriana**, *Darlina**, *Armanu***, dan *Mukh Syaifudin**)

*) Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

**) Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi

ABSTRAK

PENGARUH RADIASI GAMMA TERHADAP PROFIL PROTEIN *Plasmodium berghei* STADIUM ERITROSITIK. Malaria merupakan salah satu penyakit akibat infeksi parasit yang utama di dunia. Salah satu bagian sel yang berperan sebagai faktor virulensi adalah protein. Protein tersebut sekaligus dapat dijadikan sebagai kandidat vaksin malaria. Tujuan pada penelitian ini akan dipelajari kandungan dan profil protein *P. berghei* stadium eritrositik hasil iradiasi sinar gamma yang akan dimanfaatkan untuk pengembangan vaksin malaria dipelajari kandungan dan profil protein *Plasmodium berghei* stadium eritrositik pasca iradiasi gamma. Setelah kultur *P. berghei* diiradiasi dengan variasi dosis sinar gamma 150, 175, dan 200 Gy, dilakukan analisis terhadap kandungan protein dengan metode Lowry, dan profil protein dianalisis dengan SDS-PAGE dengan konsentrasi gel 10% dan berat molekul standar 10 – 220 kDa. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kandungan protein *P. berghei* semakin menurun sebanding dengan kenaikan dosis radiasi, dengan kadar tertinggi pada kontrol yaitu 490 mg/ml dan terendah pada dosis radiasi 200 Gy yaitu 315 mg/ml. Dosis radiasi gamma 150 Gy menyebabkan perubahan profil protein yaitu hilangnya protein pada kisaran 15 kDa. Pada dosis radiasi 175 dan 200 Gy tidak tampak adanya perbedaan profil protein sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan elektroforesis 2 dimensi untuk mengetahui pengaruh iradiasi gamma terhadap profil protein dengan berat molekul yang sama.

Kata kunci : malaria, Plasmodium berghei, radiasi gamma, protein

ABSTRACT

THE EFFECT OF GAMMA RAYS TO PROTEIN PROFILE OF ERYTHROCYTIC STAGE OF *Plasmodium berghei*. Malaria is the one of the most important parasite diseases in the world. One of cell components affecting its virulence factors is proteins. These proteins are also can be used as candidate of malaria vaccine. In this research the protein profile of irradiated *Plasmodium berghei* post irradiation with gamma ray was studied. After *in vivo* culture of *P. berghei* was irradiated with gamma rays at dose variations of 150, 175, and 200 Gy, protein concentrations of parasites were analyzed by Lowry method and their profiles were studied with SDS-PAGE at 10% gel concentration and the range of standard molecular weight was 10 – 220 kDa. The results showed that protein concentration was decreased by increasing of irradiation dose, the highest concentration is 315 mg/ml for 0 Gy and the lowest concentration is 215 mg/ml for 200 Gy. Irradiation with 150 Gy altered protein profiles where the 15 kDa protein was not appeared but there was no different protein profiles found at higher dose (175 and 200 Gy).

Keywords : malaria, Plasmodium berghei, gamma irradiated, protein

PENDAHULUAN

Malaria merupakan salah satu penyakit infeksi parasit yang utama di dunia. Setiap tahun 300 – 500 juta kasus malaria menyebabkan 2 juta kematian¹. Penyebab malaria adalah parasit dari genus Plasmodium. Ciri utama genus ini adalah siklus hidup terjadi dalam dua inang yang berbeda. Siklus seksual terjadi dalam tubuh nyamuk *Anopheles* betina, yang bertindak sebagai vektor perantara penyebaran parasit. Siklus aseksual terjadi dalam tubuh manusia². Penyebaran penyakit malaria dapat dikendalikan dengan beberapa cara, yaitu mencegah kontaminasi dari lingkungan, memutuskan siklus hidup parasit, mengendalikan perkembangan vektor perantara dengan menggunakan insektisida, mencegah terjadinya infeksi, dan mencegah pematangan parasit melalui kemo-profilaksis dan vaksinasi³.

Masalah yang timbul saat ini adalah munculnya resistensi plasmodium terhadap obat malaria dan insektisida. Selain itu, pemanasan global turut berperan dalam meningkatnya kasus malaria. Di dunia, mulai terjadi peningkatan transmisi malaria pada daerah dataran tinggi atau pegunungan⁴. Salah satu alternatif untuk pencegahan penyakit tersebut adalah dengan pembuatan vaksin malaria yang

memanfaatkan teknik nuklir. Strategi ini sedang dikembangkan oleh WHO dalam program *Roll Back Malaria*^{5,6}. Teknik nuklir digunakan untuk melemahkan Plasmodium dengan menggunakan sinar gamma. Keuntungan penggunaan teknik ini adalah memiliki efektifitas dalam peningkatan respon imun dibandingkan dengan teknik konvensional seperti pemanasan atau kimia⁷.

Salah satu cara pengendalian malaria yang mulai dikembangkan di dunia adalah vaksinasi. Empat macam tipe vaksin adalah (1) vaksin inaktif dari organisme patogen yang dimatikan, (2) vaksin aktif dari organisme yang dilemahkan, (3) vaksin dengan subunit protein hasil rekombinasi, dan (4) vaksin asam nukleat. Malaria merupakan penyakit yang disebabkan oleh protozoa dan umumnya vaksin untuk protozoa adalah vaksin aktif dengan menggunakan radiasi sinar gamma untuk melemahkan organisme target⁴.

Sasaran dari vaksin malaria adalah tahap perkembangan plasmodium yang berbeda yaitu: pre-eritrosit, aseksual dan seksual^{1,2,4}. Vaksin pre-eritrosit ideal untuk penduduk di daerah non endemis atau pengunjung yang akan masuk ke daerah endemis karena vaksin ini dapat memberikan perlindungan hingga 90%.

Vaksin ini dihasilkan dengan melemahkan parasit stadium sporozoit menggunakan sinar gamma dosis 150 – 200 Gy⁸. Vaksin stadium eritrositik dibagi berdasarkan fungsinya yaitu sebagai anti-komplikasi dan anti-invasi. Vaksin stadium aseksual bertujuan untuk menghambat perkembangan merozoit dan mengurangi angka kesakitan pada daerah endemis. Sedangkan vaksin seksual bertujuan untuk mencegah atau mengurangi transmisi parasit ke inang baru (anti-invasi)⁴.

Plasmodium berghei adalah protozoa yang menyebabkan penyakit malaria pada rodensia. Penelitian berbagai aspek imunologis malaria banyak menggunakan *P. berghei* dan mencit sebagai hospesnya karena dengan model ini ada kemungkinan dilakukan manipulasi pada hospes sehingga dapat dipelajari perubahan imunologis yang terjadi selama infeksi malaria⁹. Salah satu bagian sel yang berperan sebagai faktor virulensi adalah protein 10.

Genom plasmodium penyebab malaria tersusun dalam 14 kromosomnya dan berada dalam inti sel dan sebagian lainnya terletak di mitokondria serta hanya sebagian kecil yang berada di *apicoplast*. Ukuran genom *P. falciparum* misalnya hampir mencapai 23 Mbp. Dari hasil pembacaan sekuen genom ini

diketahui *P. falciparum* memiliki sekurangnya 5.300 gen penyandi berbagai macam protein yang berfungsi dalam proses metabolisme, fungsi transport materi organik dari dan ke dalam sel, fungsi dasar kehidupan seperti replikasi-perbaikan-rekombinasi DNA yang disebut sebagai gen *house-keeping*, dan lain-lain¹¹. Parasit malaria juga memiliki jumlah gen yang mengkode enzim yakni protein yang berfungsi sebagai biokatalis dan protein transport yang jauh lebih sedikit jumlahnya dibandingkan dengan organisme bersel satu non-parasit¹².

Bila sel terkena sinar gamma akan mengalami kerusakan secara langsung atau tidak langsung. Efek langsung adalah terjadinya pemutusan ikatan senyawa-senyawa penyusun sel. Efek tidak langsung terjadi karena materi sel terbanyak adalah air yang apabila terkena sinar gamma akan mengalami hidrolisis dan menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas akan menyebabkan kerusakan materi sel¹³.

Perubahan intensitas (konsentrasi) protein dapat disebabkan oleh kerusakan yang diakibatkan oleh iradiasi sinar gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi maupun degradasi protein. Hal ini terjadi

karena adanya perubahan yang diakibatkan oleh iradiasi gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi protein, degradasi protein, maupun perubahan DNA. Perubahan DNA dapat menyebabkan sintesis protein tertentu meningkat atau dihasilkannya protein baru. Tujuan pada penelitian ini akan dipelajari kandungan dan profil protein *P. berghei* stadium eritrositik hasil iradiasi sinar gamma yang akan dimanfaatkan untuk pengembangan vaksin malaria.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

A. Strain *P. berghei*.

P. berghei strain ANKA yang diperoleh dari Laboratorium Malaria, Lembaga Biologi Molekuler Eijkman dibiakkan secara *in vivo* dalam tubuh mencit Swiss di Laboratorium Hewan Bidang Biomedika PTKMR-BATAN.

B. Iradiasi *Plasmodium berghei* dengan Sinar Gamma.

Kultur *P. berghei* stadium eritrositik ditempatkan di dalam *microtube*. Selanjutnya dilakukan iradiasi gamma dengan dosis 150, 175, dan 200 Gy di Iradiator IRPASENA PATIR-BATAN dengan laju dosis 360,9 Gy/jam.

C. Pengukuran protein *P. berghei* stadium eritrositik dengan Metode Lowry

Setelah diiradiasi gamma kandungan protein dalam kultur diukur. Sampel dipecah terlebih dahulu dengan melarutkan kultur ke dalam aseton (1 : 1) dan disonifikasi selama 15 menit. Ke dalam 1 ml sampel ditambahkan 5 ml larutan Lowry I dan dibiarkan selama 10 menit. Kemudian ditambahkan 0,5 ml larutan Lowry II dan dibiarkan selama 30 menit. Dilakukan pembacaan dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 700 nm.

D. Karakterisasi Profil Protein *Plasmodium berghei*.

Profil protein dianalisis dengan menggunakan metode elektroforesis satu dimensi SDS-PAGE dengan sistem buffer Laemmli dan konsentrasi gel poliakrilamid 10% (BioRad). Kultur iradiasi sebanyak 20 µl ditambahkan 10 µl aseton dan disonikasi selama 15 menit. Kemudian ditambahkan buffer sampel Laemmli sebanyak 20 µl dan dipanaskan selama 15 menit dalam air mendidih. Setelah itu disentrifugasi pada 8000 rpm selama 5 menit. Sebanyak 5 µl filtrat sampel dan standar dimasukkan ke dalam kolom gel dan dielektroforesis pada kondisi 200 V dan 40 mA selama 90 menit. Gel diwarnai dengan commassie R-250 (BioRad) selama 1

jam lalu didestaining dengan destaining solution commassie R-250 (BioRad) selama 24 jam. Hasil yang diperoleh dianalisis untuk menentukan jumlah pita.

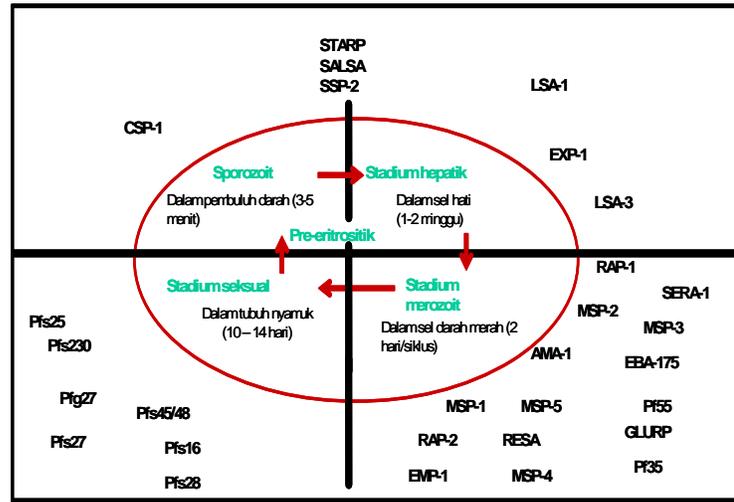
HASIL DAN PEMBAHASAN

Para peneliti telah mengidentifikasi sejumlah protein yang diproduksi oleh parasit yang bertanggung jawab terhadap keparahan penyakit (Gambar 1). Mereka berharap protein ini dapat dijadikan sebagai target pembuatan vaksin sehingga dapat menyelamatkan ribuan anak-anak penderita malaria. Temuan tersebut memfokuskan diri pada sejumlah protein yang ditemukan pada permukaan sel darah merah yang terinfeksi parasit. Protein tersebut diketahui membantu parasit malaria bertahan hidup dalam tubuh manusia dengan menghentikan pembuangan sel darah dalam limpa dan oleh karenanya memungkinkan parasit untuk melakukan reproduksi¹³.

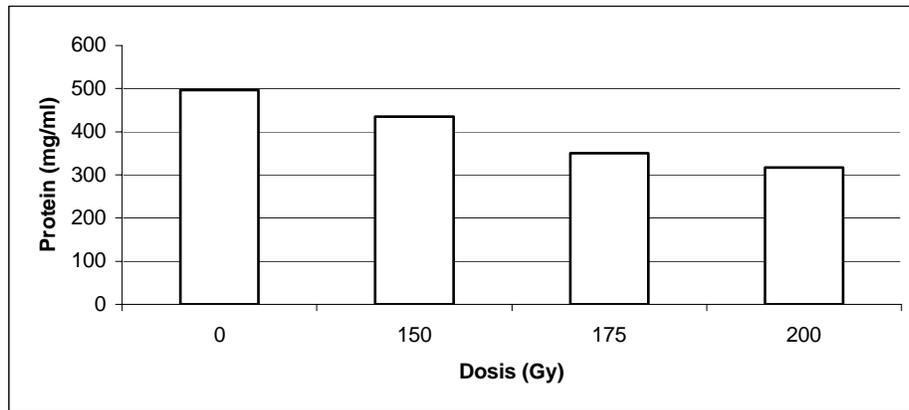
Parasit malaria menghasilkan berbagai macam protein, bergantung pada apakah seseorang yang terinfeksi tersebut adalah berusia muda (anak-anak) atau dewasa dengan respon kekebalan yang telah berkembang dengan baik. Pada saat tubuh manusia melawan parasit, tubuh mengembangkan respon imun terhadap parasit dengan

memproduksi antibodi melawan protein malaria. Hal ini menurunkan sejumlah protein yang dihasilkan oleh parasit dan tetap hidup, dan akhirnya menyebabkan parasit memproduksi protein yang kurang berbahaya. Para ilmuwan berharap vaksin yang didasarkan pada protein yang hanya pada malaria anak-anak dapat mempercepat proses ini akan tetapi mereka belum sepenuhnya berhasil mengidentifikasi protein yang terlibat. Salah satu yang ditemukan adalah PfEMP1 yang menyebabkan sel terinfeksi menjadi stuck dalam pembuluh darah atau dihilangkan dalam limpa. Sel darah terinfeksi terdegradasi yang menyebabkan demam¹⁴.

Dari penelitian ini diketahui bahwa iradiasi dengan dosis berbeda pada *P. berghei* stadium eritrositik menunjukkan adanya perubahan kadar protein total (Gambar 2). Kadar protein mengalami penurunan sebanding dengan peningkatan dosis iradiasi. Kadar protein pada dosis iradiasi 150 Gy adalah 435 mg/ml dan pada dosis iradiasi 200 Gy adalah 315 mg/ml. Hal ini diduga karena iradiasi menyebabkan terjadinya pemutusan rantai protein. Hasil statistik menunjukkan adanya pengaruh dosis iradiasi terhadap kandungan protein.



Gambar 1. Beberapa macam protein *Plasmodium sp* pada setiap stadium perkembangan⁴.



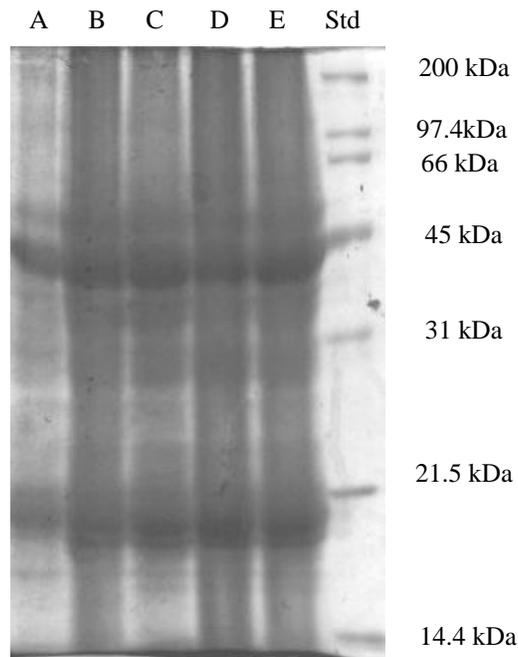
Gambar 2. Kandungan protein *P. berghei* stadium eritrositik pasca iradiasi gamma

Perubahan kadar protein diduga menyebabkan perubahan kadar antigen protein. Perubahan tersebut diketahui dengan mengamati profil protein setelah dilakukan elektroforesis. Profil protein dari darah yang terinfeksi *P. berghei* yang diiradiasi dan tidak diiradiasi memiliki

jumlah pita sebanyak 13 buah dengan berat molekul berkisar antara 10 – 60 kDa. Darah yang tidak mengandung *P. berghei* hanya memiliki 10 pita. Pasca iradiasi dosis 150 Gy terlihat bahwa kultur mengalami kehilangan protein pada kisaran 15 kDa. Hasil analisis

menunjukkan bahwa iradiasi dosis 150 Gy menyebabkan adanya perubahan profil protein, sedangkan dosis 175 dan 200 Gy tidak merubah profil (Gambar 3). Protein pada dosis 175 dan 200 Gy tidak menunjukkan adanya perbedaan jumlah

pita tetapi tampak adanya perbedaan ketebalan pita yang menunjukkan adanya perbedaan protein pada *p.i* yang berbeda. Perbedaan *p.i* ini akan tampak apabila profil protein dianalisis menggunakan 2 dimensi.



Gambar 3. Profil protein kultur *P. berghei* hasil iradiasi sinar gamma.
A: darah tanpa *P. berghei*; B: kultur *P. berghei* (0 Gy); C: kultur *P. berghei* (150 Gy); D: kultur *P. berghei* (175 Gy); E: kultur *P. berghei* (200 Gy)

Suatu materi hidup seperti sel, bila terkena sinar gamma akan mengalami kerusakan secara langsung atau tidak langsung. Efek langsung adalah terjadinya pemutusan ikatan senyawa-senyawa penyusun sel. Efek tidak langsung terjadi karena materi sel terbanyak adalah air yang apabila terkena sinar gamma akan mengalami hidrolisis dan menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas akan menyebabkan kerusakan materi sel¹⁵.

Perubahan intensitas (konsentrasi) protein dapat disebabkan oleh kerusakan yang diakibatkan oleh iradiasi sinar gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi maupun degradasi protein. Hal ini terjadi karena adanya perubahan yang diakibatkan oleh iradiasi gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi protein, degradasi protein, maupun perubahan DNA. Perubahan DNA dapat menyebabkan sintesis protein tertentu meningkat atau dihasilkannya protein baru.

Protein yang terdenaturasi mengalami dua kemungkinan, yaitu pengembangan rantai peptida dan pemecahan protein menjadi unit yang lebih kecil tanpa disertai pengembangan

molekul. Terjadinya kedua jenis denaturasi ini tergantung pada keadaan molekul. Yang pertama terjadi pada rantai polipeptida, sedangkan yang kedua terjadi pada bagian-bagian molekul yang bergabung dalam ikatan sekunder. Denaturasi protein, dimungkinkan terjadi degradasi protein. Degradasi protein dapat menyebabkan protein tersebut kehilangan fungsinya sebagai protein dan degradasi struktur dapat berasal dari hilangnya gugus samping¹⁶.

Hasil-hasil di atas menunjukkan bahwa iradiasi gamma sebagai metode untuk melemahkan Plasmodium berpotensi besar dalam pembuatan vaksin. Keuntungan vaksin ini adalah memberikan imunitas humoral yang tinggi bila *booster* diberikan, tidak menyebabkan mutasi atau reversion, dapat digunakan untuk pasien immuno-defisiensi, cocok digunakan untuk daerah tropis tetapi vaksin jenis ini membutuhkan biaya yang lebih tinggi karena membutuhkan booster¹⁷.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kandungan protein *P. berghei* akan semakin menurun seiring dengan kenaikan dosis iradiasi tetapi tidak merusak protein secara total sehingga protein ini dapat dijadikan sebagai salah

satu bahan antigen vaksin. Sinar gamma dengan dosis 150 Gy menyebabkan adanya perubahan profil protein yaitu dengan terjadinya kehilangan protein pada kisaran 15 kDa.

Profil protein pada dosis 175 dan 200 Gy tidak tampak adanya perbedaan jumlah pita tetapi terdapat perbedaan ketebalan pita yang menunjukkan adanya perbedaan protein pada *p.i* yang berbeda. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan elektroforesis 2 dimensi untuk mengetahui pengaruh iradiasi gamma terhadap profil protein dengan berat molekul yang sama.

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. DEPARTEMEN KESEHATAN, Mengendalikan penyakit malaria dan mulai menurunnya jumlah kasus malaria dan penyakit lainnya pada 2015.
3. GUNAWAN, S., Malaria: Epidemiologi, patogenesis dan manifestasi klinis, edited by Harijanto, Penerbit Buku Kedokteran EGC, pp 1-25. 2000
4. ANONIMUS. Parasite control, Nature reviews/immunology. Nature publishing group. 2005.
5. GROTH, S., KHAN, B., ROBINSON, A., & HENDRICH, J., Nuclear sciences fights malaria. Radiation and molecular techniques can play targeted roles, IAEA Bulletin 43/2/2001, pp. 33-36 (2001).
6. ABEKU, T.A., Response to malaria epidemics in Africa, Emerging Infectious Diseases Vol. 13, No.5, pp. 681- 686 (2007)
7. WORLD HEALTH ORGANIZATION / ROLL BACK MALARIA. Malaria early warning systems – concepts, indicators and partners. A framework for field research in Africa. Geneva : The organization. 2001
8. 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 – 64. 2002.
9. WIJAYANTI, M.A., SOERIPTO, N., SUPARGIYONO., FITRI, L.E., Pengaruh Imunisasi Mencit Dengan Parasit Stadium Eritrositik Terhadap Infeksi Plasmodium berghei. Berkala Ilmu Kedokteran. Vol 29, No. 2: 53-59. 1997
10. GOFFAUX, Secretion of Virulence Factors by *Escherichia coli*. Laboratoire de Bacteriologie, Faculte de Medicine Veterinaire, Universite de Liege. Belgium. 181-202. 1999.
11. THEISEN, M., SOE, S., BRUNSTEDT, K., FOLLMANN, F., BREDMOSE, L., ISRAELSEN, H., MADSEN, S.M., and DRUILHE, P., A *Plasmodium falciparum* GLURP–MSP3 chimeric protein; expression in *Lactococcus lactis*, immunogenicity and induction of biologically active antibodies, Vaccine 22 (9-10), 1188-1198, 2004.
12. BASTOS, M.S., DA SILVA-NUNES, M., MALAFRONT, R.S., HELLENA, E., HOFFMANN, E., WUNDERLICH, G., MORAES, S.L., and FERREIRA, M.U., Antigenic polymorphism and naturally acquired antibodies to

- Plasmodium vivax merozoite surface protein 1 in rural Amazonians. *Clinical and Vaccine Immunology*, 14. 10:1249-1259, 2007.
13. SHI, Q., LYNCH M.M., ROMERO M.; and BURNS J.M., Enhanced protection against malaria by a chimeric merozoite surface protein vaccine, *Infection and immunity*, 75(3), 1349-1358, 2007.
 14. DARUSSALAM, M., Radiasi dan Radioisotop: Prinsip Penggunaannya dalam Biologi, Kedokteran dan Pertanian. Tarsito. Bandung. 1996.
 15. WINARNO, H., Lipid A-Pusat Aktif Endotoksin, Struktur Kimia dan Bioaktivitasnya. *Jurnal Cermin Dunia Kedokteran*. 103: 59-62. 1995.
 16. SYAIFUDIN, M., Indikator Biokimia Sel terhadap Radiasi Pengion. Buletin ALARA, Pusat Penelitian dan Pengembangan Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Vol. 4, 125-131. 2005.
 17. GAFFAR, A., Parasitology: Blood and Tissue. University of South California, <http://www.med.sc.edu:85/parasitology/blood-proto.htm>.

PENENTUAN DOSIS INAKTIF *Escherichia coli* S1 HASIL IRADIASI GAMMA

Irawan Sugoro* dan Sandra Hermanto**

* Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN

** FSAINTEK UIN Syarif Hidayatullah

ABSTRAK

PENENTUAN DOSIS INAKTIF *Escherichia coli* S1 HASIL IRADIASI GAMMA.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui dosis inaktif bakteri *Escherichia coli* S1 hasil iradiasi gamma sebagai bahan vaksin mastitis. Tahapan percobaan adalah pembuatan kurva pertumbuhan untuk penentuan fase mid log dan iradiasi kultur bakteri dengan dosis 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1.000 Gy (laju dosis 1089,59 Gy/jam). Hasil percobaan menunjukkan bahwa fase midlog terjadi pada menit ke – 210 dan dosis inaktif sel bakteri *E.coli* adalah antara 800 Gy – 1000 Gy.

Kata kunci : Escherichia coli S1, iradiasi gamma, inaktif, protein.

ABSTRACT

DETERMINATION OF INACTIVE DOSES *Escherichia coli* S1 BY GAMMA IRRADIATED.

The experiment has been conducted to determine the inactive doses of *Escherichia coli* S1 which has been irradiated by gamma rays as inactive mastitis vaccine. The experiment stages were determination of mid log phase and irradiation of cells culture by gamma rays at doses of 0, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 and 1.000 Gy (dose rate was 1089,59 Gy/hour). The results showed that the mid log occurred at minute 120 and the inactive doses of *E. coli* were 800 – 1000 Gy.

Keywords : Escherichia coli S1, gamma irradiated, inactive, protein.

PENDAHULUAN

Escherichia coli merupakan salah satu bakteri utama dari jenis coliform yang dapat menyebabkan penyakit mastitis pada sapi perah. Kerugian yang ditimbulkan adalah terjadinya penurunan kualitas susu yang berdampak pada menurunnya pendapatan peternak. Pada peternak tradisional, bakteri ini menginfeksi sekitar 75 – 80 % sapi perah¹. Ciri-ciri dari bakteri ini adalah

Gram-negatif, motil, berkapsul, memfermentasi laktosa, anaerobik fakultatif, selnya berbentuk batang, dan dapat ditemukan sebagai flora normal di mulut, kulit dan usus².

Permasalahan mastitis dapat diatasi dengan menggunakan berbagai macam antibiotik. Cara pengobatan tersebut dapat menimbulkan resistensi pada mikroorganisme dan adanya residu pada susu, sehingga perlu mencari alternatif

lain untuk mencegah penyakit ini. Salah satunya adalah dengan pemberian vaksin³. Vaksin merupakan suatu suspensi mikroorganisme yang telah dimodifikasi dengan cara dimatikan atau dilemahkan sehingga tidak akan menimbulkan penyakit dan dapat merangsang pembentukan kekebalan/antibodi bila diinfeksi⁴.

Pembuatan vaksin dapat dilakukan dengan cara konvensional, baik secara kimia maupun fisika. Alternatif lainnya dengan menggunakan iradiasi sinar gamma untuk menginaktivasi sel bakteri. Metode inaktivasi dengan sinar gamma memiliki efektivitas dalam peningkatan respon imun dibandingkan dengan teknik konvensional, seperti pemanasan⁵. Vaksin dari bakteri yang dilemahkan dengan sinar gamma memiliki risiko tinggi saat diinfeksi ke manusia atau hewan sehat karena bakteri dapat bermutasi dan bersifat lebih patogen⁶.

Berdasarkan hal di atas, maka tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan dosis inaktif *E.coli* akibat radiasi gamma dan kemungkinan aman digunakan sebagai bahan vaksin. Kultur *E.coli* yang diiradiasi harus dalam kondisi aktif, yaitu pada kondisi fase midlog, sehingga dalam percobaan ini

pun akan dilakukan penentuan fase tersebut.

TATA KERJA

Bahan

Isolat *E.coli* S3 hasil isolasi dari susu sapi perah yang terinfeksi penyakit mastitis, merupakan kultur koleksi Laboratorium PATIR, BATAN. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini medium TSB (*Tryptose Soy Broth*) dan medium TSA (*Tryptose Soy Agar*) Pronadisa.

Pembuatan Kurva Tumbuh Untuk Menentukan Fase Mid Log

Kultur yang berumur 1 hari pada agar miring TSA diinokulasi sebanyak 3 ose ke dalam medium TSB 30 ml lalu diinkubasi pada suhu 37⁰C dengan agitasi 120 rpm selama 24 jam, dijadikan sebagai kultur inokulum. Contoh diukur dengan spektrofotometer pada λ_{660} nm, kemudian sebanyak 10% v/v (10^{13} sel/ml atau nilai absorbansinya=1) dimasukkan ke dalam 30 ml medium TSB untuk pembuatan kurva tumbuh. Nilai absorbansi kultur diukur pada menit ke - 0, 30, 60, 90, 150, 210, 270, 330, 390, dan 450. Hasil yang diperoleh dibuat kurva tumbuh dengan sumbu x: waktu dan y: absorbansi, untuk menentukan fase *mid log*. Fase *mid log* ditentukan

berdasarkan kecepatan perubahan nilai absorbansi tertinggi⁷.

Iradiasi sinar gamma Kultur sel *E.coli* S3

Kultur pada fase mid log disentrifugasi 10.000 rpm dan dibilas dengan larutan NaCl 0,85% 40 ml sebanyak 2 kali. Pelet yang diperoleh diencerkan hingga diperoleh jumlah sel 10^8 sel/ml dan ditempatkan di dalam vial gelas sebanyak 10 ml. Selanjutnya diiradiasi gamma dengan dosis 0, 100, 200, 400, 600, 800, 1.000 dan 1.500 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. Dari hasil yang diperoleh, didapatkan dosis inaktif kultur bakteri *E.coli* hasil iradiasi dengan cara melihat pertumbuhan bakteri *E.coli* pada medium TSA⁷.

HASIL DAN PEMBAHASAN

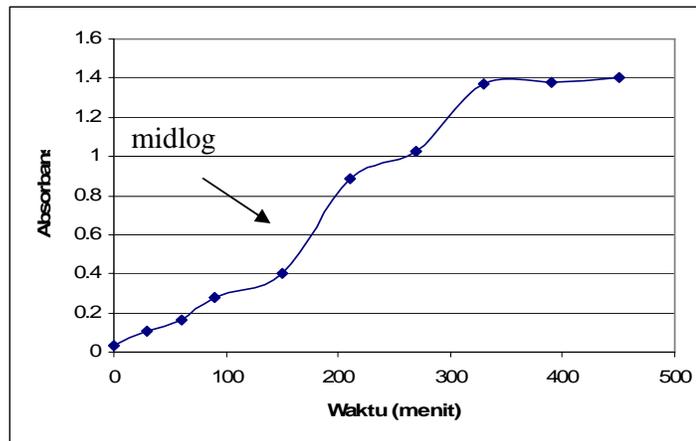
Kurva pertumbuhan *E.coli* S3

Isolat bakteri *E.coli* yang ditumbuhkan dalam medium TSB menunjukkan kurva tumbuh memiliki dua fase pertumbuhan, yaitu fase

logaritmik dan fase stasioner (Gambar 1). Fase logaritmik terjadi hingga menit ke-330, dan setelah itu memasuki fase stasioner. Pertumbuhan bakteri ini dapat dilihat dari perubahan nilai absorbansi yang didapat setelah dilakukan pengukuran pada menit yang berbeda. Kurva pertumbuhan bakteri terdiri dari suatu periode awal yang tampaknya fase adaptasi, diikuti oleh suatu periode pertumbuhan yang cepat (fase log), kemudian fase stasioner dan akhirnya diikuti oleh suatu penurunan populasi sel hidup⁴.

Pada kurva ini, tidak terdapat fase adaptasi (*lag phase*). Hal ini terjadi karena sebelumnya bakteri yang digunakan telah ditumbuhkan pada medium yang sama, sehingga bakteri tersebut tidak memerlukan adaptasi terlebih dahulu pada medium pertumbuhannya. Oleh karena itu, pada kurva tumbuh tersebut fase adaptasinya tidak teramati. Adanya interaksi positif antar sel mikroba dan berlimpahnya nutrisi menyebabkan kecepatan pertumbuhan sel mikroba menjadi lebih tinggi⁴.

Kurva tumbuh ini digunakan untuk menentukan fase mid log. Fase mid log merupakan suatu fase pertumbuhan dimana terjadi kecepatan pembelahan



Gambar 1. Pertumbuhan Bakteri *E. coli* dalam medium TSB yang diinkubasi pada suhu kamar dan agitasi 120 rpm.

tertinggi. Fase ini diperlukan karena pada fase inilah nantinya akan dilakukan iradiasi terhadap sel bakteri.

Fase ini terjadi pada menit ke-210, dengan kecepatan pertumbuhan berdasarkan nilai absorbansi adalah 0,0041/menit (Tabel 1). Fase mid log digunakan karena sel-sel bakteri dalam kondisi aktif melakukan metabolisme. Selain itu, pada fase tersebut terjadi pembelahan yang cepat sehingga dinding

selnya tipis dan efek radiasi dapat terjadi secara maksimal⁵. Sel yang paling sensitif adalah sel dengan tingkat proliferasi yang tinggi (aktif melakukan pembelahan) dan tingkat diferensiasi yang rendah, sedangkan sel yang resisten atau tidak mudah rusak akibat pengaruh radiasi yaitu sel dengan tingkat diferensiasi yang tinggi dan tidak aktif melakukan pembelahan⁸.

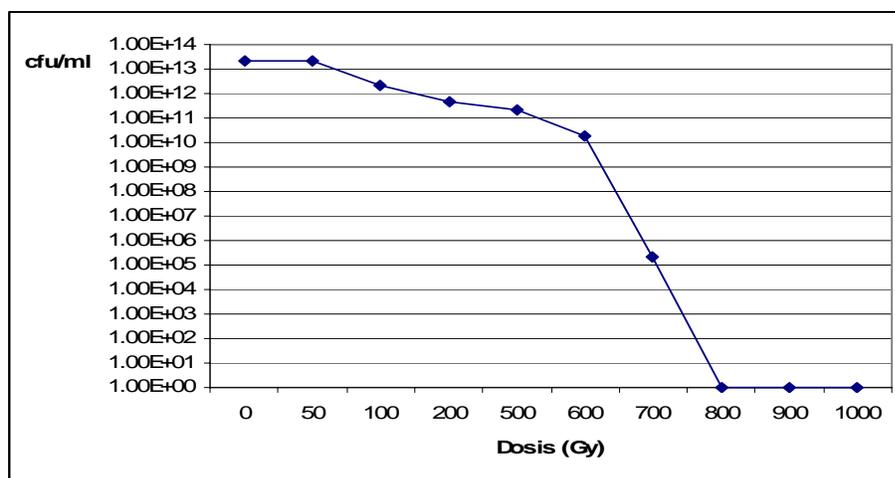
Tabel 1. Kecepatan perubahan absorbansi *E.coli*.

Waktu (menit)	Kecepatan perubahan Absorbansi/menit
0	0
30	0.0025
60	0.0022
90	0.0027
150	0.0025
210	0.0041
270	0.0037
330	0.0040
390	0.0035
450	0.0031

Penentuan dosis inaktivasi sel bakteri *E.coli* hasil iradiasi gamma

Iradiasi dengan dosis berbeda pada kultur bakteri menunjukkan adanya penurunan jumlah sel yang hidup sebanding dengan meningkatnya dosis (Gambar 2). Dosis yang diperlukan untuk menginaktivasi sel bakteri *E. coli* yaitu berkisar antara 800 Gy – 1000 Gy, sehingga dosis tersebut dapat digunakan untuk bahan vaksin. Kondisi inaktif dapat

terjadi karena terganggunya metabolisme sel yang menyebabkan sel bakteri tidak mampu bereplikasi atau hilangnya kemampuan membelah diri. Efek radiasi terhadap molekul-molekul penting, sel ataupun jaringan telah menimbulkan berbagai macam perubahan, gangguan ataupun kerusakan pada sistem biologi, seperti molekul protein, kromosom, molekul DNA, molekul enzim, lemak dan karbohidrat⁹.



Gambar 2. Hubungan Dosis Iradiasi Gamma terhadap Jumlah Sel *E. coli*

Kerusakan materi sel dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Efek radiasi secara langsung, di mana perubahan atau kerusakan terjadi pada molekul-molekul biologi yang menyerap langsung energi radiasi. Sedangkan efek radiasi tidak langsung, di mana perubahan atau kerusakan pada molekul-

molekul terjadi akibat pengaruh senyawa radikal-radikal bebas (OH, H) dan peroksida (H_2O_2), sedangkan senyawa radikal-radikal bebas dan peroksida merupakan hasil peristiwa pengaktifan (radiolisis) molekul air (H_2O) dalam plasma akibat radiasi. Baik radikal bebas maupun peroksida sangat reaktif dan

dapat menyerang atau merusak molekul-molekul penting biologi seperti molekul enzim, DNA, RNA dan yang lainnya . Mengingat bahwa 80% komposisi organisme hidup terdiri dari air, maka hampir setiap efek radiasi terhadap sistem biologi sebagian besar diawali oleh peristiwa pengaktifan (radiolisis) molekul air⁹.

Inaktivasi bakteri *E.coli* hasil iradiasi gamma memiliki prospek sebagai bahan vaksin, tetapi diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh dosis radiasi gamma terhadap profil antigennya seperti Lipopolisakarida (LPS) dan protein.

KESIMPULAN

Fase midlog kultur *E.coli* terjadi pada menit ke – 210 dengan kecepatan pembelahan 0,0041/menit dan dosis radiasi yang mampu menginaktivasi sel bakteri *E.coli* adalah antara 800 Gy – 1.500 Gy.

DAFTAR PUSTAKA

1. ABIDIN, Z., DAN SUGORO, I. Cemaran Bakteri Coliform Pada Susu Sapi Perah di Koloni Sapi Perah Bayongbong – Garut, Jurnal Biologi Lingkungan, UIN Syarif Hidayatullah (2008).
2. RYAN, KJ DAN RAY, CG. Sherris Medical Microbiology, 4th ed., McGraw Hill. (2004)
3. TUASIKAL, B. J., SUGORO, I., TJIPTOSUMIRAT, T., DAN LINA, M. 2003. Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma pada Pertumbuhan *Streptococcus agalactiae* sebagai Bahan Vaksin Penyakit Mastitis pada Sapi Perah. *Jurnal sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. P3TIR-BATAN Jakarta 4: 137-149.
4. PELCHZAR, M, J. *Dasar-Dasar Mikrobiologi* 2. UI press. Jakarta. (2005).
5. TETRIANA, D DAN I. SUGORO. Aplikasi Tehnik Nuklir dalam Bidang Vaksin. Buletin ALARA.Vol.2. PTKMR - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Jakarta. (2007).
6. HALL, E. J. *Radiobiology for The Radiobiologist*. Lippincott Williams and Walkin, Philadelphia. (1994).
7. IKMALIA, HERMANTO, S. DAN SUGORO, I. PROFIL PROTEIN *Escherichia coli* HASIL INAKTIVASI SINAR GAMMA. Prosiding Seminar Nasional Biokimia, Universitas Indonesia, Jakarta (2008).
8. ZUBAIDAH, A. Efek Paparan Radiasi pada Manusia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Jakarta. (2005).
9. DARUSSALAM, M. *Radiasi dan Radioisotop : Prinsip Penggunaannya dalam Biologi, Kedokteran dan Pertanian*. Tarsito. Bandung. (1996).

PEMANFAATAN LIMBAH *FIRE*D SCRAP PORSELIN SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BADAN KERAMIK PORSELIN DAN KARAKTERISASINYA

Muljadi, Deni S. Khaerudini, Anggito P. Tetuko, dan P. Sebayang
Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang

ABSTRAK

Fired scrap porselin merupakan limbah industri keramik ubin yang berupa produk ubin porselin yang cacat/ rusak setelah proses pembakaran (*reject*), selama ini *scrap* digunakan hanya untuk menimbun. Karena *scrap* memiliki kandungan unsur yang sama dengan porselin, sehingga memungkinkan dimanfaatkan kembali. Pada penelitian ini dibuat badan keramik porselin dengan komposisi bahan dasar: 52% kaolin, 35% kuarsa, dan 13% feldspar. Variasi komposisi yang dibuat adalah dengan menambahkan 0% *scrap* dan 10 % *scrap* dari total campuran bahan baku dasar. Pencampuran bahan baku dilakukan secara *solid-solid mixing* menggunakan *ball mill*, dan dicetak tekan membentuk pelet dengan tekanan 50 MPa. Selanjutnya sampel pelet di bakar dengan variasi suhu: 1100, 1150, 1200, 1250, 1300, dan 1350 °C, untuk masing-masing suhu ditahan selama 2 jam. Setiap sampel yang telah dibakar kemudian dilakukan karakterisasi uji. Hasil karakterisasi uji menunjukkan bahwa penambahan *scrap* dapat menurunkan suhu pembakaran, yaitu dengan penambahan 10% *scrap* dapat diperoleh badan keramik porselin dengan suhu bakar optimal 1250 – 1300 °C, sedangkan tanpa *scrap* suhu bakarnya harus 1300 – 1350 °C. Sifat-sifat fisika badan keramik porselin dengan 10% *fired scrap* setelah dibakar suhu 1250 – 1300 °C adalah: densitas 2,34 - 2,35 g/cm³, penyerapan air 0,3 – 0,31 %, susut bakarnya 0,89 – 0,90 %, dan kekuatan patah (MOR) 48,7 MPa.

Kata kunci: Porselin, *fired scrap*, sintering, *solid-solid mixing*

ABSTRACT

Fired scrap porcelain is waste from ceramic industry as defect/reject product of porcelain tile, until now this fired scrap is only for landfill application. The composition of scrap is similarly with ceramic porcelain, it is possible to reuse this fired scrap. At this research, body of ceramic porcelain was made with basic raw material composition: 52% kaolinite, 35% quartz, and 13% feldspar. The composition was varied by adding 0% and 10% of fired scrap from total weight of basic raw material. The mixing process was used according solid-solid mixing by using a ball mill, and then the samples were formed by dry pressing with pressure 50 MPa. All samples were fired at temperature: 1100, 1150, 1200, 1250, 1300, and 1350°C, with holding time 2 hours for each firing temperature, then all fired samples were characterized. The characterization results show that the adding of fired scrap can reducing firing temperature. The optimal firing temperature for sample with 10% scrap is 1250 – 1300 °C, but for sample without scrap has firing temperature about 1300 – 1350 °C. The physical properties of ceramic body porcelain with 10% fired scrap after firing at 1250 – 1300 °C are density 2,34 - 2,35 g/cm³, water absorption 0,3 – 0,31 %, firing shrinkage 0,89 – 0,90 %, and bending strength (MOR) 48,7 MPa.

Keywords: Porcelain, *fired scrap*, sintering, *solid-solid mixing*

PENDAHULUAN

Keramik porselin merupakan material keramik jenis alumina silikat yang memiliki sifat-sifat khusus yaitu translusen, umumnya padat dengan

penyerapan air < 0,5% dan bersifat isolator listrik, dan tahan bahan kimia¹. Di Indonesia banyak sekali industri keramik yang memproduksi keramik jenis porselin, seperti misalnya produk ubin keramik,

produk saniter, dan peralatan rumah tangga. Dalam proses produksi keramik porselin antara lain melalui tahapan proses pencampuran, pembentukkan, pengeringan dan proses pembakaran². Benda keramik yang telah dibentuk dan dikeringkan bila terjadi cacat atau rusak masih dapat dihancurkan kembali dan diproses ulang lagi. Akan tetapi bila benda keramik yang sudah dicetak, dikeringkan dan telah mengalami proses pembakaran dan terjadi cacat atau rusak umumnya menjadi produk cacat / rusak dan disebut sebagai *fired scrap*, yang selama ini masih harus dibuang sebagai bahan pengeras jalan atau di *landfill*. Limbah padat yang berupa *fired scrap* keramik memang sulit dimusnahkan karena mengandung bahan-bahan anorganik atau oksida-oksida logam. Dari hasil survei rata-rata jumlah produk cacat atau *fired scrap* per hari sekitar 2 – 5 % produksi. Bila tidak diatasi pengelolaan limbah ini, maka makin lama akan semakin menumpuk. Keramik porselin sendiri dibuat dari bahan dasar kaolin, kuarsa, dan feldspar. Semua bahan tersebut mengandung komponen utama berupa SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , dan Na_2O^2 . Sedangkan *fired scrap* sendiri memiliki kandungan utama yang sama dengan bahan baku. Tentunya akan lebih bermanfaat bila limbah yang berupa *fired scrap* tidak

hanya dibuang begitu saja. Jika melihat dari kandungan *fired scrap* menyerupai bahan baku keramik, maka cukup layak untuk dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan pencampur pembuatan keramik porselin. Hanya saja perbedaan bahan baku keramik yang dari alam tersebut struktur kristalnya masih berupa polikristalin, sedang dari *fired scrap* karena telah melewati pembakaran suhu tinggi maka strukturnya sudah berupa campuran antara polikristalin dan *amorfus silica*. Sebab bahan baku keramik seperti feldspar pada suhu diatas 1200 °C sebagian mulai mencair membentuk fasa gelas amorfus^{2,3}. Keberadaan fasa gelas dalam *fired scrap* dapat membantu proses densifikasi material keramik pada saat proses pembakaran, sehingga dapat dikatakan sebagai *flux* yang dapat menurunkan titik lebur. Mengingat harga bahan baku keramik dari alam semakin lama akan semakin mahal, sehingga dengan pemanfaatan *fired scrap* keramik dapat mengurangi biaya bahan baku.

Pada penelitian ini akan dilakukan perekayasaan keramik porselin dengan menambahkan bahan *fired scrap* porselin kedalam campuran bahan baku dasar (kaolin, kuarsa, dan feldspar) melalui variasi suhu pembakaran untuk melihat sejauh mana pengaruh penambahan *fired*

scrap terhadap suhu pembakaran dan karakteristik keramik porselin yang dibuat.

TEORI DAN TATA KERJA

Fired scrap keramik porselin tergolong limbah padat industri keramik yang memiliki komponen utama berupa: SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , dan Na_2O^2 . Ditinjau dari segi mikrostruktur tentu akan sama dengan mikrostruktur keramik porselin biasa yaitu berupa kristal fasa corundum [$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$], mullite [$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$], quartz [SiO_2], dan fasa gelas [2]. Fasa - fasa tersebut terbentuk dari hasil reaksi antara bahan baku keramik yaitu kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), feldspar ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) dan kuarsa (SiO_2). Teknik untuk memusnahkan limbah padat keramik ini tentunya cukup sulit, karena dilihat dari kandungan *fired scrap* keramik cukup stabil yang berupa oksida-oksida. Teknik pemusnahan limbah semacam ini selain di *landfill* dapat juga dilakukan dengan teknik lain yaitu dengan proses peleburan pada suhu tinggi hingga menjadi senyawa gelas dan tentunya teknik ini akan mahal. Alternatif lain adalah dimanfaatkan limbah padat tersebut sebagai bahan baku pembuatan keramik porselin lagi.

Secara umum pembuatan badan keramik porselin digunakan campuran bahan baku dasar yang berasal dari alam,

yaitu: 52% kaolin, 35% kuarsa, dan 13% feldspar^{2,3}. Pada penelitian yang dilakukan digunakan komposisi dasar seperti tersebut diatas dengan ditambahkan bahan *fired scrap* keramik adalah sebanyak 10% dari total jumlah bahan baku dasar.

Sumber bahan baku seperti kaolin diambil dari Bangka, pasir kuarsa dari Belitung, Feldspar dari Blitar, sedangkan *fired scrap* diambil dari buangan pabrik keramik Porselin.

Tabel 1. Komposisi dan jumlah bahan baku yang digunakan.

Bahan baku	Sampel 0 % fired Scrap	Sampel 10% fired scrap
Kaolin 52 %	156 g	156 g
Kuarsa 35 %	105 g	105 g
Feldspar 13 %	39 g	39 g
Total	300 g	300 g
Fired Scrap	0	30 g
Jumlah	300 g	330 g

Preparasi sampel dilakukan seperti cara pembuatan keramik secara umum, yaitu melalui pencampuran *solid-solid mixing*. Pada tahap awal *fired scrap* keramik dihancurkan dengan mesin *vibrating milling* hingga lolos ayakan 100 mesh. Kemudian bubuk halus *fired scrap* keramik ini bersama kaolin, kuarsa, dan feldspar ditimbang sesuai dengan

komposisi seperti ditunjukkan pada tabel 1 diatas. Selanjutnya semua bahan baku dicampur air kemudian di giling menggunakan alat *ball mill* selama 24 jam. Setelah melalui proses penggilingan 24 jam, kemudian dikeringkan untuk menguapkan air menggunakan oven pemanas pada suhu 100 °C selama 24 jam hingga terbentuk campuran serbuk yang kering. Selanjutnya campuran serbuk tersebut dicetak (*dry pressing*) membentuk pelet dengan tekanan 50 MPa. Kemudian sampel yang telah dicetak di lakukan pembakaran untuk proses pemadatan pada suhu tinggi (proses sintering) menggunakan tungku listrik, yaitu suhu pembakaran divariasikan pada suhu 1100, 1150, 1200, 1250, 1300, dan 1350 °C, serta pada masing-masing suhu ditahan selama 2 jam. Masing-masing sampel yang telah di bakar / sintering dilakukan karakterisasi yang meliputi: uji densitas, uji penyerapan air, uji susut bakar, dan uji kuat patah (*Modulus of Rupture*).

Uji densitas dilakukan dengan menggunakan metoda Archimedes⁴, dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Msk}}{\text{Msb} - \text{Msg} - \text{Mkw}} \times \rho \text{ air} \quad \text{g/cm}^3$$

$$\dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- Msk: Massa sampel kering, g
- Msb: Massa sampel jenuh direndam air, g
- Msg: Massa sampel digantung dalam air, g
- Mkw: Massa kawat penggantung, g
- ρ air : densitas air, g/cm^3

Pengukuran penyerapan air dilakukan dengan cara *Boiling Water Method* [4], dan nilai Penyerapan Air (PA) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{PA} = \frac{\text{Msb} - \text{Msk}}{\text{Msk}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- PA : Penyerapan Air, %
- Msk: Massa sampel kering, g
- Msb: Massa sampel jenuh dididihkan dalam air, g

Sedangkan nilai susut bakar adalah perubahan linier dimensi dari sampel yang sebelum dibakar dengan sampel yang telah dibakar, untuk menghitung nilai susut bakar (SB) digunakan persamaan sebagai berikut⁴.

$$\text{SB} = \frac{\text{Lo} - \text{Lt}}{\text{Lo}} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- SB : Susut Bakar , %
- Lo : Diameter sampel sebelum dibakar, cm
- Lt : Diameter sampel setelah dibakar, cm

Pengujian kekuatan patah atau *Modulus of Rupture* (MOR) dilakukan dengan metoda dua titik tumpu [4], dan nilai kuat patahnya (MOR) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

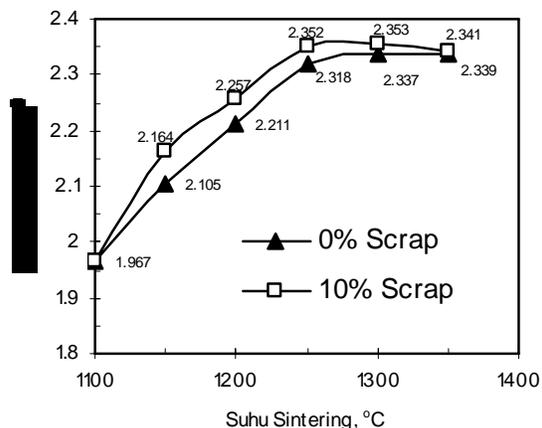
$$MOR = \frac{3 P L}{2 b h^2} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- MOR : Kuat patah, kgf/cm² .
- P : Beban gaya sampai sampel uji Patah, kgf
- L : Jarak dua titik tumpu, cm
- b, h : Penampang dari sampel uji, cm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel – sampel uji yang telah dibakar atau disinterring pada berbagai suhu dilakukan pengujian. Hasil dari pengujian densitas untuk sampel tanpa *fire scrap* maupun sampel dengan *fired scrap* dan disinterring pada berbagai suhu diperlihatkan pada Gambar 1.



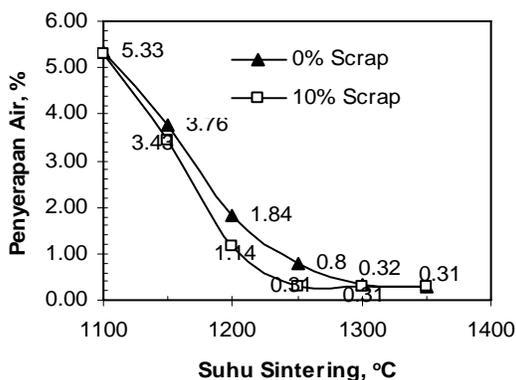
Gambar 1. Kurva hubungan densitas terhadap suhu sintering

Terlihat bahwa semakin tinggi suhu sintering dari suhu 1100 °C sampai suhu 1250⁰C untuk sampel tanpa *fired scrap* terjadi kenaikan densitas yang besar, sedangkan sampel dengan 10% *fired scrap* terjadi hal yang sama pada rentang suhu 1100 °C sampai suhu 1300 °C.

Adanyan perubahan densitas yang besar itu menunjukkan sesuatu, yaitu adanya proses pemadatan dimana butiran yang satu dengan yang lainnya saling menyatu membentuk ikatan kontak (*interface*) yang kuat. Untuk sampel tanpa *fired scrap* pada suhu antara 1250 °C sampai suhu 1350 °C hampir tidak terjadi perubahan densitas, berarti proses sintering atau pemadatan telah tercapai dengan densitas maksimum pada suhu 1300°C yaitu sebesar 2,353 g/cm³. Sedangkan untuk sampel dengan 10% *fired scrap* pada suhu 1350 °C baru tercapai kondisi

sintering yang optimal dengan densitas maksimal 2,339 g/cm³.

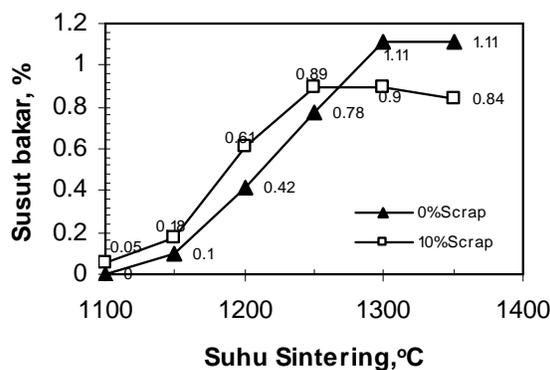
Hasil pengukuran penyerapan air diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva hubungan penyerapan air terhadap suhu sintering.

Seperti terlihat pada Gambar 2, bahwa semakin tinggi suhu sintering maka sampel akan semakin padat, dimana penyerapan air yang kecil dibawah 1 % terjadi pada daerah suhu sintering 1250°C sampai suhu 1350°C. Sampel dengan 10 % *fired scrap* memiliki nilai penyerapan air lebih kecil dibandingkan sampel tanpa *fired scrap*.

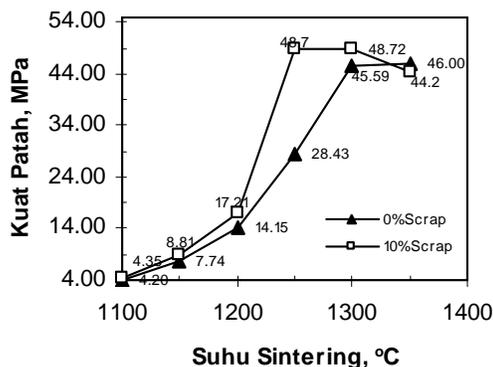
Hasil pengukuran nilai susut bakar (*firing shrinkage*) ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Kurva hubungan susut bakar Terhadap suhu sintering

Pengujian susut bakar dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan dimensi benda setelah mengalami proses pembakaran/sintering. Dari gambar 3 terlihat bahwa sampel dengan 10% *fired scrap* memiliki nilai susut bakar yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa *fired scrap*, yaitu nilai susut bakar sampel dengan 10% *fired scrap* adalah 0,89 – 0,90 % (pada suhu sintering 1250 – 1300°C) , tetapi untuk sampel tanpa *fired scrap* adalah 1,11% (pada suhu sintering 1300 – 1350°C). Hal ini dikarenakan bahan *fired scrap* merupakan limbah yang telah mengalami pembakaran sebelumnya, sehingga nilai penyusutannya menjadi kecil.

Hasil pengukuran kuat patah atau Modulus of Rupture (MOR) dari sampel - sampel yang telah disintering ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva hubungan Kuat Patah Terhadap suhu sintering

Sampel tanpa *fired scrap* nilai kuat patah cenderung naik tajam dari suhu sintering 1100 – 1300°C, yaitu terjadi perubahan kuat patah dari 4,20 MPa menjadi 45,59 MPa. Bila suhu dinaikkan lagi menjadi 1350°C maka nilai kuat patahnya mulai konstan yaitu 46 MPa. Karena pada suhu sintering 1350°C sampel tersebut telah mencapai proses pemadatan yang maksimal. Sedangkan Sampel dengan 10% *fired scrap* nilai kuat patah cenderung naik tajam dari suhu sintering 1100 – 1250 °C, yaitu terjadi perubahan kuat patah dari 4,35 MPa menjadi 48,70 MPa. Bila suhu dinaikkan lagi sampai 1350 °C maka nilai kuat patahnya akan turun menjadi 42 MPa. Hal ini disebabkan sampel dengan 10% *fired scrap* sudah mengalami kepadatan maksimal pada suhu sintering 1250 °C, dan bila di tinggikan lagi suhu sinteringnya akan terjadi

pengelasan, sehingga adanya fasa gelas akan menurunkan sifat mekaniknya.

KESIMPULAN

Penggunaan limbah padat produk keramik ubin porselin berupa *fired scrap* dapat dipergunakan sebagai tambahan bahan baku sebanyak 10% untuk pembuatan keramik ubin lagi.

Fired scrap sebanyak 10 % dapat memberikan penurunan suhu pembakaran keramik porselin secara signifikan, yang bila memakai 10% *fired scrap* suhu pembakaran/sinteringnya adalah 1250-1300 °C, jika tanpa menggunakan tambahan *fired scrap* memerlukan suhu sintering lebih tinggi lagi yaitu 1350°C.

DAFTAR PUSTAKA

1. SCHNEIDER .J. SAMUEL; *Ceramic and Glasses – Engineered Materials Hand Book*, Vol. 4, ASM International , p.4-45, 1991.
2. MARTIN MARQUEZ, MA.RINCON, M.ROMERO, *Effect of Firing Temperature on Sintering of Porcelain Stoneware Tile*; Ceramic International ,No2718, 2007.
3. SWAPAN KR DAS, KAUSIK DANA, NAR SINGH, RITWIK SARKAR; *Shrinkage and Strength Behaviour of Quartzitic and Kaolinitic Clays in Wall Tile Compositions*; Applied Clay Science, 29, 137-143, 2005.
4. MULJADI, PERDAMEAN SEBAYANG; *Pengaruh Aditif MgO dan Waktu Sintering Keramik $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ Terhadap Karakteristiknya*; Jurnal Nusantara Kimia No 2.3, Vol. VII , Tahun 2000.

PEMBAKUAN PROSES PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SENYAWA HIDROKSIAPATIT SEBAGAI BAHAN PENGGANTI TULANG

Yessy Warastuti dan Basril Abbas*

*Bidang Proses Radiasi Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR-BATAN)

ABSTRAK

PEMBAKUAN PROSES PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SENYAWA HIDROKSIAPATIT SEBAGAI BAHAN PENGGANTI TULANG. Hidroksiapatit, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ adalah bahan biomaterial yang potensial dan memiliki prospek yang baik sebagai bahan pengganti tulang. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pembakuan pada proses pembuatan dan karakterisasi senyawa hidroksiapatit agar tercapai hasil yang homogen untuk pemakaian medis. Hidroksiapatit dibuat dengan menggunakan metode basah, senyawa yang dipakai adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$, H_3PO_4 , dan amoniak, pemanasan dilakukan pada suhu 70°C dan endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C , kadar kalsium dan fosfor ditentukan dengan metode titrimetri dan gravimetri, gugus fungsi hidroksiapatit diidentifikasi dengan spektroskopi Infra Merah-435, struktur dan morfologi hidroksiapatit dikarakterisasi dengan *scanning electron microscopy* (SEM). Berdasarkan hasil penelitian, proses dan karakterisasi senyawa hidroksiapatit menunjukkan hasil yang serupa setelah dilakukan empat kali pengulangan. Penelitian ini menunjukkan bahwa proses dan karakterisasi senyawa hidroksiapatit sebagai bahan pengganti tulang telah dibakukan untuk produksi selanjutnya.

Kata Kunci : hidroksiapatit, kalsium hidroksida, metode basah, pembakuan

ABSTRACT

Hydroxyapatite, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ is a prospective biomaterial for bone substitution. The purpose of this study was establish a process and characterization of hydroxyapatite substrates as a main material of bone substitution in order to obtain homogenized products for medical application. Sample of hydroxyapatite was prepared by wet method. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, H_3PO_4 , and ammonia were used as reagents. Reaction temperature was set up at 70°C and the precipitate was dried out at 60°C . Calcium and phosphorus contents in the hydroxyapatite were determined by titration method and gravimetric method respectively. Functional groups of hydroxyapatite was identified by Infra Red Spectroscopy-435 (IR-435). Microstructure and morphology of hydroxyapatite were characterized by scanning electron microscopy (SEM). Based on this study, the process and characterization of hydroxyapatite substrate resulted at similar results as previous study after conducted for four times. The similarity was in the contents of calcium and phosphorus, functional groups, microstructure and morphology of hydroxyapatite substrates. This study showed promising result that the process and characterization of hydroxyapatite substrate for bone substitution could be established for continuous production.

Keywords : hydroxyapatite, calcium hydroxide, wet method, established

PENDAHULUAN

Hidroksiapatit (HAp) didefinisikan sebagai senyawa mineral dan anggota kelompok mineral apatit dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ¹. HAp merupakan komponen anorganik utama penyusun tulang atau gigi manusia dan hewan sehingga bahan ini disebut juga biomaterial. Disamping kalsium dan fosfat sebagai komponen utamanya, tulang dan gigi juga mengandung sedikit ion magnesium, natrium, kalium, karbonat, klorida, dan fluorida. Hidroksiapatit yang terdapat pada makhluk hidup disebut *biological hydroxyapatite* atau bio-HAp.

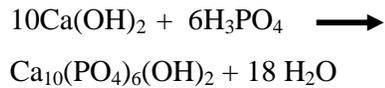
Bio-HAp dapat diaplikasikan di bidang kesehatan seperti pada bedah ortopedi, bedah gigi dan mulut, bedah plastik dan rekonstruksi, bedah mata dan sebagai *drug carrier*. Bahan ini dapat diperoleh dari berbagai sumber, diantaranya dari manusia yang bersangkutan yang disebut *autograft*, dari manusia lainnya yang disebut *allograft*, dan dari hewan yang disebut *xenograft*, akan tetapi penggunaan *graft* yang berasal dari makhluk hidup memiliki beberapa kelemahan. Pemakaian *autograft* tidak menimbulkan reaksi penolakan dari tubuh, tetapi ketersediaannya terbatas dan menimbulkan

morbiditas. Sedangkan *allograft* dan *xenograft* kadang-kadang menimbulkan reaksi penolakan dari tubuh, resiko adanya transfer penyakit dari sumber jaringan (*graft*) kepada pasien dan harganya mahal². Walaupun demikian produk tersebut tersedia dalam jumlah yang cukup dan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diperlukan.

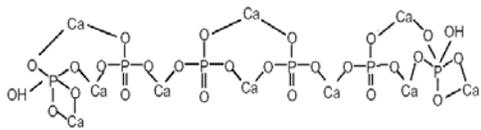
Keterbatasan tersebut memacu pengembangan *synthetic hydroxyapatite* (hidroksiapatit sintetis) yang dibuat berdasarkan reaksi kimia. Keunggulan HAp sintetis yaitu dapat menyatu dengan tulang manusia atau matriksnya (*bioactive*), cocok dengan matriksnya (*biocompatible*), dan tidak menunjukkan reaksi penolakan di dalam tubuh³. Hal tersebut penting ketika hidroksiapatit dipakai sebagai bahan pengganti tulang pada pemakaian ortopedi, periodontal, maupun sebagai *drug carrier*. Pemakaian tersebut diatas mengharuskan terjadinya kontak langsung dengan jaringan tubuh.

Hidroksiapatit sintetis dapat dibuat dengan beberapa metode, antara lain dengan metode basah. Metode ini merupakan cara yang umum digunakan karena sederhana dan menghasilkan serbuk HAp dengan sedikit kristal atau amorf, selain itu mudah diaplikasi secara masal atau komersial.

Pembuatan HAp sintetis pada penelitian ini menggunakan metoda basah. Bahan baku yang dipakai adalah larutan kalsium hidroksida sebagai sumber kalsium dan asam fosfat sebagai sumber fosfat dengan pelarut air. Reaksi kimia yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut :



Salah satu indikator yang dimiliki oleh kristal hidroksiapatit adalah nilai perbandingan Ca/P yaitu sebesar 1,67.¹ HAp yang terbentuk ini sering disebut HAp stoikiometri. Hidroksiapatit memiliki struktur kristal berbentuk heksagonal, dapat dilihat pada Gambar 1⁴.



Gambar 1. Struktur Kimia Hidroksiapatit
 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

Proses pembuatan hidroksiapatit sangat dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kondisi bahan baku, pH, dan suhu saat reaksi berlangsung. Selain itu ada faktor lain yang berpengaruh pada HAp yang dihasilkan yaitu proses pengerjaan seperti kecepatan pengadukan, lama pengadukan dan kecepatan penambahan asam fosfat.

Faktor-faktor tersebut akan

mengakibatkan hasil hidroksiapatit yang bervariasi, sehingga tidak dapat digunakan di bidang kesehatan, karena kondisi yang seragam pada proses merupakan persyaratan utama. Oleh karena itu, dilakukan pembakuan proses dan pengendalian untuk menghasilkan produk HAp sesuai dengan karakteristik yang diinginkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pembakuan proses pembuatan hidroksiapatit sintetis sehingga didapatkan produk yang konsisten dan seragam. Proses pembuatan dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ratih dan Firman [5,6]. Hidroksiapatit dibuat dengan pelarut air dan suhu reaksi yang digunakan 70°C. Karakterisasi senyawa hidroksiapatit dilakukan dengan menggunakan *infrared spectroscopy* (IR), *scanning electron microscopy* (SEM) dan pengukuran kadar kalsium (Ca) dan Fosfor (P) secara kuantitatif masing-masing dilakukan dengan metoda titrimetri dan gravimetri.

BAHAN DAN METODE

Preparasi Sampel

Senyawa hidroksiapatit dibuat dengan mereaksikan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan H_3PO_4 . Larutan asam dibuat dengan mencampur 22,2 g asam fosfat, H_3PO_4 dengan 150

ml aquadest. Suspensi dasar dibuat dengan mencampur 25 g Ca(OH)_2 dengan 250 ml H_2O , diaduk dan dipanaskan menggunakan magnetik stirer pada 300 rpm/min. Pemanasan dilakukan pada suhu 70°C . Larutan asam fosfat dimasukkan ke dalam larutan Ca(OH)_2 , setetes demi setetes dengan laju tetesan sekitar 17-18 tetes/menit (1 tetes setara dengan 0,05 ml). Larutan amoniak ditambahkan untuk menjaga larutan agar tetap basa, sebab penambahan H_3PO_4 akan menyebabkan larutan menjadi asam. Setelah larutan asam habis, proses pengadukan dilanjutkan selama 2 jam, kemudian didiamkan selama 24 jam. Endapan yang diperoleh disaring dan dicuci dengan aquades. Setelah itu, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C kemudian digerus dengan menggunakan mortar. Endapan hasil pengeringan kemudian diayak dengan menggunakan saringan 100 mesh.

Penetapan Kadar Kalsium dan Fosfor dalam Hidroksiapatit

Kadar kalsium dalam hidroksiapatit ditentukan menggunakan metode penitran substitusi, sedangkan kadar fosfor ditentukan dengan metode gravimetri.

Identifikasi Hidroksiapatit dengan IR

Alat IR yang digunakan adalah

Infra Red Spektrofotometer-435 (IR-435). Serbuk HAp kering dicampur dengan KBr, kemudian dipress sampai terbentuk disk yang transparan . Disk diukur pada daerah infra merah dengan frekuensi $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$. Spektroskopi IR dapat mengidentifikasi gugus fungsi senyawa yang terkandung dalam hidroksiapatit.

Karakterisasi Hidroksiapatit dengan SEM

Alat SEM yang digunakan adalah dari JEOL. Arus yg digunakan 20,1 kV dengan perbesaran 10.000 dan 20.000 kali. Hasil karakterisasi dengan SEM, dapat terlihat struktur mikro dari permukaan sampel hidroksiapatit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan serbuk hidroksiapatit dilakukan sebanyak empat kali, dimana pada masing-masing prosesnya dilakukan pengamatan, identifikasi, dan pengujian hasil serbuk hidroksiapatit yang diperoleh. Berdasarkan hasil pengulangan empat kali yang dilakukan, tidak terjadi perubahan nilai pH suspensi hidroksiapatit secara signifikan seperti terlihat pada Tabel 1. Tabel 1 menyajikan perubahan nilai pH suspensi diamati mulai dari sebelum, awal, dan akhir penetesan dengan larutan H_3PO_4 .

Tabel 1. Perubahan Nilai pH Suspensi Hidroksiapatit

Laju tetesan dan pH	Ulangan				SD
	1	2	3	4	
Laju tetesan H ₃ PO ₄ (tetes/menit)	17	18	18	18	
pH awal	11,37	11,35	11,36	11,34	11,36 ± 0,01
pH 1 jam	11,35	11,22	11,33	11,27	11,29 ± 0,05
pH 2 jam	11,28	10,37	11,3	11,12	11,02 ± 0,43
pH Akhir (+ 150 ml amoniak)	9,06	9,02	9,03	9,07	9,05 ± 0,02

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pH awal larutan Ca(OH)₂ berkisar antara 11,34 - 11,37. Derajat keasaman (pH) dari larutan Ca(OH)₂ mulai menurun seiring dengan penambahan H₃PO₄. Hal demikian dapat terjadi karena ion H⁺ dalam H₃PO₄ bereaksi dengan OH⁻ dari Ca(OH)₂. Agar pH larutan tidak bertambah menjadi asam, dilakukan penambahan larutan amoniak. Penambahan amoniak dilakukan untuk menjaga pH larutan agar tetap basa. Sesuai dengan diagram skema reaksi kimia antara nilai pH dengan jumlah H₃PO₄ yang ditulis oleh Hideki¹, pada suatu titik setelah penambahan H₃PO₄, pH larutan akan langsung menurun drastis menjadi asam, setelah awalnya turun secara perlahan. Kondisi basa diperlukan untuk mengontrol reaksi kimia dalam larutan. Kondisi pH harus dijaga antara 7,4-10 karena apabila pH larutan diluar kisaran nilai tersebut, akan

muncul fasa-fasa lain selain hidroksiapatit. Hidroksiapatit dapat terbentuk jika larutan dalam kondisi basa¹. Berdasarkan data perubahan nilai pH suspensi hidroksiapatit, dilakukan perhitungan nilai standar deviasi (SD). Pada pH awal, standar deviasi yang diperoleh sebesar 11,36 ± 0,01, pH 1 jam 11,29 ± 0,05, pH 2 jam 11,02 ± 0,43, dan pH akhir 9,05 ± 0,02. Dari keempat kondisi pH terlihat bahwa nilai standar deviasi tidak menunjukkan perbedaan secara nyata.

Hasil pengukuran kadar kalsium dan fosfor hidroksiapatit dari keempat pengulangan, disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Kalsium dan Fosfor

Ulangan	Kadar Kalsium (%)	Kadar Fosfor (%)
1	34,75	21,36
2	34,67	21,18
3	35,04	20,96
4	35,31	21,20
SD	34,94 ± 0,29	21,17 ± 0,16

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kadar kalsium dari empat kali pengulangan menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata, yaitu sekitar 34% sampai 35% dengan nilai rata-rata 34,94%. Perbedaan nilai jika dilihat dari rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 0,54% untuk ulangan pertama, 0,77% untuk ulangan kedua, 0,28% untuk ulangan ketiga, dan 1,03% untuk ulangan keempat. Sedangkan untuk kadar fosfor, rata-rata yang diperoleh sebesar 21,18%. Perbedaan kadar fosfor dari setiap sampel jika dilihat dari nilai rata-rata kadarnya adalah 0,88% untuk ulangan pertama, 0,003% untuk ulangan kedua, 1,02% untuk ulangan ketiga, dan 0,11% untuk ulangan keempat. Nilai standar deviasi dihitung untuk kadar kalsium dan fosfor. Untuk kadar kalsium, nilai standar deviasi adalah $34,94 \pm 0,29$, sedangkan standar deviasi kadar fosfor $21,17 \pm 0,16$. Berdasarkan data tersebut, dapat dianalisa bahwa perbedaan kadar kalsium dan fosfor untuk keempat ulangan menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata dari penelitian sebelumnya⁶. Setelah dilakukan perhitungan kadar kalsium dan fosfor, dilanjutkan dengan menghitung perbandingan nilai kalsium dan fosfor untuk masing-masing sampel hidroksiapatit. Nilai perbandingan kalsium dan

fosfor sampel ulangan hidroksiapatit (Ca/P) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Kalsium dan Fosfor (Ca/P)

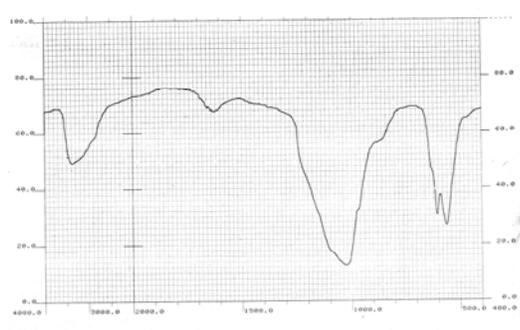
Ulangan	Perbandingan Ca/P
1	1,63
2	1,64
3	1,67
4	1,67
SD	$1,65 \pm 0,02$

Pada Tabel 3 terlihat bahwa nilai perbandingan kalsium dan fosfor (Ca/P) pada empat sampel pengulangan menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Nilainya berkisar antara 1,63 sampai 1,67. Nilai standar deviasi dari keempat sampel ulangan diperoleh sebesar $1,65 \pm 0,02$, menunjukkan perbedaan yang tidak berbeda nyata. Perbandingan nilai kalsium dan fosfor penting untuk dianalisa sebab perbandingan tersebut merupakan indikator terbentuknya senyawa hidroksiapatit. Seperti telah diketahui, hidroksiapatit merupakan salah satu senyawa dari beberapa senyawa kalsium fosfat. Beberapa senyawa yang termasuk kalsium fosfat memiliki nilai Ca/P yang berbeda satu dengan yang lainnya. Nilai teoritis dari Ca/P untuk senyawa hidroksiapatit adalah 1,67¹. Berdasarkan

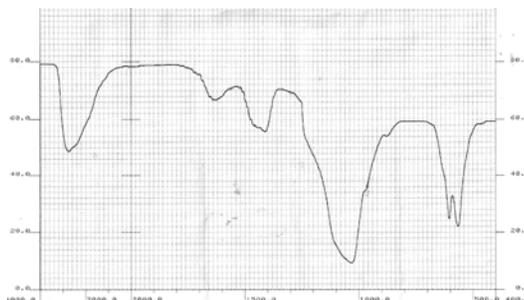
hasil Ca/P yang diperoleh dari penelitian ini dari keempat sampel menunjukkan telah terbentuk senyawa hidroksiapatit.

Hasil identifikasi senyawa hidroksiapatit dengan IR-435 untuk

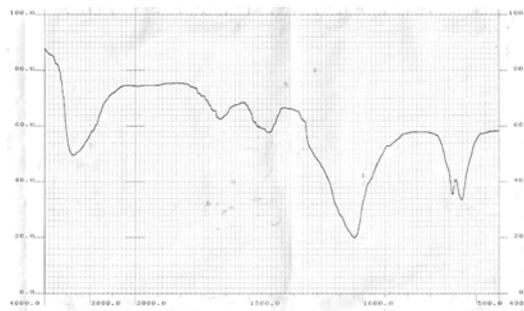
kontrol dengan HAp Aldrich ditampilkan pada Gambar 2. Sementara hasil identifikasi pada keempat ulangan masing-masing ditampilkan pada Gambar 3, 4, 5, dan 6.



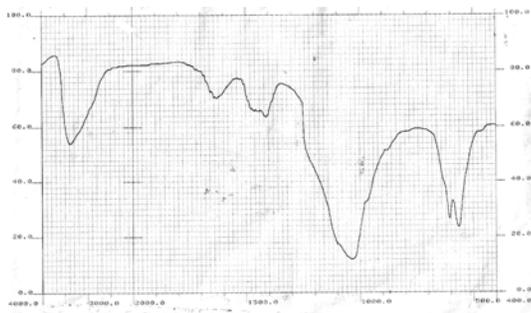
Gambar 2. IR Hap Aldrich



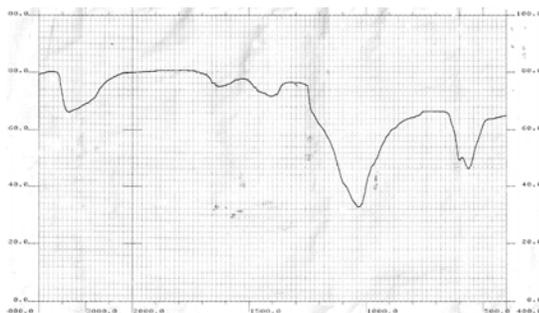
Gambar 3. Hasil IR ulangan 1



Gambar 4. Hasil IR ulangan 2



Gambar 5. Hasil IR ulangan 3



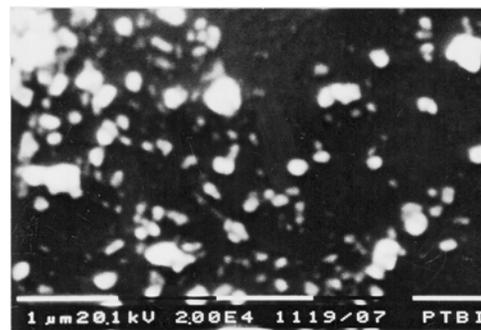
Gambar 6. Hasil IR ulangan 4

Berdasarkan identifikasi senyawa hidroksiapatit dengan IR menunjukkan bahwa pita serapan fosfat PO_4^{3-} masing-masing berada pada frekuensi 560 cm^{-1} , 605 cm^{-1} dan 1030 cm^{-1} . Pita serapan substitusi CO_3^{2-} masing-masing berada pada frekuensi 880 cm^{-1} dan 1410 cm^{-1} , dan pita serapan OH^- pada frekuensi 3400 cm^{-1} . Hasil identifikasi dari sampel HAp menunjukkan keseragaman bilangan gelombang pada keempat jenis sampel. Jika dilakukan perbandingan, terlihat bahwa pada keempat sampel pengulangan menunjukkan kesamaan bilangan gelombang dengan HAp

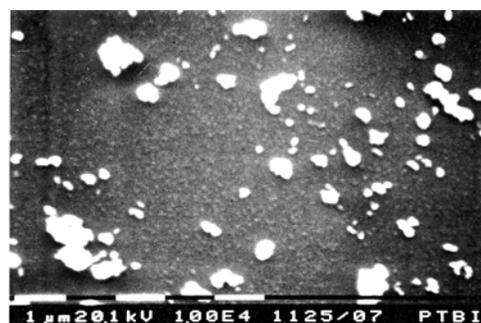
komersial Aldrich, yaitu terdapat pita serapan PO_4^{3-} dan OH^- . Perbedaannya terletak pada pita serapan karbonat yang ada pada empat sampel pengulangan, berbeda dengan HAp Aldrich. Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa hidroksiapatit yang terbentuk pada sampel adalah hidroksiapatit non stoikiometri. Selain HAp stoikiometri, dapat pula terbentuk HAp non stoikiometri yang juga disebut kristal apatit. Pembentukan itu terjadi akibat masuknya ion-ion kedalam kisi kristal. Ion karbonat merupakan salah satu ion yang dapat menggantikan ion kisi dalam

kristal⁷. Karbonat dapat terbentuk salah satunya dari bahan baku pembuatan HAp, yaitu Ca(OH)_2 yang mengandung ion karbonat. Hidroksiapatit karbonat (*carbonated hydroxyapatite*) secara kimiawi lebih mirip dengan HAp biologi (*biological hydroxyapatite*), yang dapat mengandung ion karbonat sampai dengan 8%. Ion karbonat dapat bersubstitusi dengan ion hidroksil dan ion fosfat dalam hidroksiapatit. Kandungan karbonat dalam hidroksiapatit memberikan suatu keuntungan jika digunakan untuk implant sebagai bahan pengganti tulang. Seperti yang telah diketahui, hidroksiapatit stoikiometri murni memiliki sifat yang sangat stabil, sulit sekali diabsorpsi oleh tubuh. Suatu bahan biomaterial yang akan digunakan sebagai implant diharapkan dapat menyatu dengan jaringan tulang disekitar implant, bahkan suatu saat diharapkan semua jaringan tulang dapat terbentuk dengan sempurna. Implant dapat diabsorpsi oleh tubuh seiring dengan proses pembentukan jaringan tulang baru, sehingga dapat menggantikan implant. Substitusi ion karbonat dalam HAp, terbukti sangat bermanfaat untuk meningkatkan proses osseointegrasi. Osseointegrasi adalah hubungan secara struktural dan fungsional antara tulang dalam jaringan

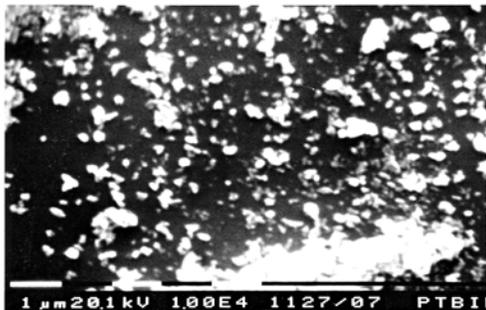
hidup dengan permukaan implant sintetis. Pengujian secara *in vivo* menunjukkan bahwa HAp karbonat lebih mudah larut jika dibandingkan dengan HAp murni, sehingga proses pembentukan tulang baru berjalan lebih maksimal⁸. Hasil Analisa hidroksiapatit dengan Scanning Electron Microscope (SEM) disajikan pada Gambar 7-9, pada ulangan 1 hasil SEM menunjukkan gambar yang kurang jelas sehingga gambar tidak ditampilkan.



Gambar 7. SEM ulangan 2



Gambar 8. SEM ulangan 3



Gambar 9. SEM ulangan 4

Pada Gambar 7 - 9 terlihat bahwa morfologi serbuk HAp berbentuk gumpalan dan strukturnya berbentuk mikro. Dengan perbesaran 10000 sampai 20000 kali terlihat bahwa serbuk hidroksiapatit memiliki ukuran terkecil berkisar antara 0,05 μm sampai 0,1 μm . Bentuk gumpalan dari ketiga hasil SEM terlihat sama. Gumpalan ada yang kecil dan besar, hal ini disebabkan karena serbuk hidroksiapatit memiliki kecenderungan untuk mengalami aglomerasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dari keempat pengulangan proses pembuatan dan karakterisasi hidroksiapatit dengan menggunakan IR dan SEM, dapat disimpulkan bahwa proses pembuatan dengan metode basah ini telah layak untuk dibakukan. Perlu dilakukan pula karakterisasi hasil hidroksiapatit ini dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) agar dapat diamati kristalinitas Hap tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Ir. Ratih Langenati M.T dari PTBN-BATAN, dan Dr. Darmawan Darwis dari PATIR-BATAN atas kesempatan, bimbingan, dan dukungan yang diberikan kepada penulis serta Dr. Sudaryanto dari PTBIN-BATAN atas bantuannya dalam proses karakterisasi di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

1. AOKI, H, *Science and Medical Application of Hydroxyapatite*. JAAS. Tokyo. 1991.
2. SHAH,R, *Alloplastic Bone Grafting Materials*, www.comptonimplants.com. 30 Juni 2008.
3. WILMANN,G, *Medical Grade Hydroxyapatite:State of the Art*. *British Ceramic Transactions* 95 (5): 212-216.1996.
4. YLINEN,P. *Applications of Coralline Hydroxyapatite with Bioabsorbable Containment and Reinforcement as Bone Graft Substitute*. Dissertation. University of Helsinki .Finland. 2006.
5. LANGENATI R, *Microstructures of Hydroxyapatite Powder from Precipitation Method in Different Solution*. 6th NSMM workshop. Bogor. 2006.

6. FIRMAN P.E, S.NIKMATIN and RATHI L, Pengaruh Suhu Reaksi terhadap Derajat Kristalinitas dan Komposisi Hidroksiapatit dibuat dengan Media Air dan Cairan Tubuh Buatan (SBF), *Jurnal Sains Materi Indonesia* 10(1):154-162.2006.
7. BARRALET,J, J.C.KNOWLES, S. BEST, Thermal Decomposition of Synthesised Carbonate Hydroxyapatite. *Journal of Materials Science In Medicine* 13: 529-533. 2002.
8. PORTER,A,N, PATEL,R, and BROOKS, Effect of carbonate substitution on the ultrastructural characteristics of hydroxyapatite implants. *Journal of Materials Science In Medicine* 16 (10) : 899-907. 2005.

PAPARAN RADIASI DAN RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN SEKITAR FASILITAS PENELITIAN TENORM PTKMR – BATAN

Muji Wiyono, Farida Tusafariah, Wahyudi dan Kusdiana
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

ABSTRAK

PEMANTAUAN PAPARAN RADIASI DAN RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN SEKITAR FASILITAS PENELITIAN TENORM PTKMR – BATAN. Telah dilakukan pemantauan paparan radiasi dan radioaktivitas lingkungan sekitar fasilitas penelitian TENORM di PTKMR - BATAN. Paparan radiasi diukur menggunakan surveimeter Ludlum 19, konsentrasi TENORM menggunakan spektrometer AT6101D dengan detektor NaI(Tl) dan radioaktivitas udara menggunakan sistem alat cacah gross alfa beta MPC 9400. Hasil pengukuran laju paparan radiasi berada antara 10,5 μ R/jam sampai 80,0 μ R/jam dan dosis radiasi berkisar dari 0,21 mSv/tahun sampai 1,60 mSv/tahun. Konsentrasi aktivitas radionuklida tertinggi untuk ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th adalah (619 ± 146) Bq/kg, (573 ± 124) Bq/kg dan (1.280 ± 260) Bq/kg. Sedangkan radioaktivitas udara tidak terdeteksi atau di bawah konsentrasi minimum terdeteksi (MDC) yaitu $< 0,04$ Bq/liter untuk gross alfa dan $< 0,05$ Bq/liter untuk gross beta. Dosis ekivalen radiasi di sekitar lokasi fasilitas penelitian TENORM cukup rendah sehingga cukup aman bagi pekerja radiasi dan masyarakat umum.

Kata kunci : paparan radiasi, radioaktivitas, TENORM.

ABSTRACT

MONITORING OF RADIATION EXPOSURE AND ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AROUND TENORM RESEARCH FACILITY OF PTKMR - BATAN. Monitoring of radiation exposure and environmental radioactivity around TENORM research facility of PTKMR – BATAN had been carried out. Radiation exposure was measured by using Ludlum 19 surveymeter, TENORM concentration by using spectrometer of AT6101D connected to NaI(Tl) detector and air radioactivity by using beta alpha gross counter system of MPC 9400. The measurement results of radiation exposure rate were within 10.5 μ R/hour to 80.0 μ R/hour, and radiation doses around from 0.21 mSv/year to 1.60 mSv/year. The highest activity concentration of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th radionuclides were (619 ± 146) Bq/kg, (573 ± 124) Bq/kg and $(1,280 \pm 260)$ Bq/kg. The air radioactivity was not detected or under minimum detectable concentration (MDC) that was < 0.04 Bq/liter for the alpha gross and < 0.05 Bq/liter for the beta gross. The radiation dose at storage of TENORM wastes were low enough so that it's safe enough for radiation worker and for public.

Keywords : radiation exposure, radioactivity, TENORM.

PENDAHULUAN

Menurut Peraturan Pemerintah nomor 33 Tahun 2007, setiap orang atau badan yang karena kegiatannya dapat menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM harus melaksanakan intervensi terhadap terjadinya paparan yang berasal dari TENORM melalui tindakan remedial. Intervensi merupakan tindakan untuk mengurangi atau menghindari paparan atau kemungkinan terjadinya paparan kronik dan paparan darurat.

Paparan kronik meliputi paparan yang berasal dari NORM, TENORM, sisa zat radioaktif pada kejadian masa lampau dan sumber yang tidak diketahui pemiliknya¹. Sedangkan paparan darurat adalah paparan yang diakibatkan terjadinya kondisi darurat nuklir atau radiologik. Batasan untuk dilakukan tindakan intervensi apabila konsentrasi aktivitas ^{226}Ra dan ^{232}Th lebih dari 1.000 Bq/kg, ^{40}K lebih dari 10.000 Bq/kg dan atau dosis radiasi efektif sebesar 1 mSv/tahun².

TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) adalah zat radioaktif alam yang terakumulasi dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi sehingga terjadi peningkatan konsentrasi jika

dibandingkan dengan keadaan awal¹. TENORM merupakan produk samping dari kegiatan industri pertambangan seperti uranium, timah, pupuk fosfat, minyak dan gas, dan lain-lain³.

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, maka pada bulan April 2008 PTKMR telah menambah satu fasilitas penelitian yaitu fasilitas penelitian TENORM. Kegiatan penelitian yang akan dilakukan antara lain : kalibrasi spektrometer gama lingkungan menggunakan sumber luasan, studi lepasan radon dan thoron, studi lindi, studi transfer dari tanah ke tanaman pangan dan lain-lain⁴.

Oleh karena TENORM adalah bahan radioaktif maka pemantauan paparan radiasi dan radioaktivitas lingkungan sekitar fasilitas penelitian TENORM perlu dilakukan. Tujuan pemantauan adalah untuk mengetahui besarnya paparan radiasi, konsentrasi aktivitas dan radioaktivitas udara di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya sehingga diketahui potensi bahaya yang ditimbulkan dan dapat

dilakukan langkah antisipasi pada saat kegiatan penelitian dilakukan.

Dalam makalah ini disampaikan cara pengukuran paparan radiasi dan radioaktivitas udara di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya dan pembahasan hasil yang diperoleh. Pemantauan dilakukan dua hari setelah kedatangan limbah TENORM di PTKMR-BATAN.

TATA KERJA

Pengukuran Laju Paparan Radiasi TENORM

Laju paparan radiasi pada beberapa titik pengukuran di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya diukur sebelum dan sesudah kedatangan limbah TENORM menggunakan surveimeter Ludlum 19 buatan TSI – USA pada ketinggian 1 meter. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui pengaruh adanya limbah TENORM terhadap paparan radiasi di lingkungan. Laju paparan radiasi yang terukur adalah besarnya laju paparan yang terbaca pada alat ukur dikalikan faktor kalibrasi alat ukur, dituliskan dengan persamaan :

$$X_g = X_a \times FK \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

X_g : laju paparan sebenarnya di tempat yang diukur ($\mu R/jam$)

X_a : bacaan laju paparan dari alat ukur ($\mu R/jam$).

FK : faktor kalibrasi alat ukur.

Perkalian laju paparan dengan faktor konversi dari nilai paparan ke dosis (f) dinamakan laju dosis serap (\dot{D})⁵.

$$\dot{D} = X_g \cdot f \quad (\mu Rad/jam) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Faktor konversi nilai laju paparan ke dosis untuk radiasi gamma adalah $1 \mu R/jam = 0,877 \mu Rad/jam$. Jika laju dosis serap dikalikan dengan faktor bobot radiasi (W_R) maka diperoleh laju dosis tara / ekuivalen (\dot{H})⁵.

$$\dot{H} = \dot{D} \cdot W_R \quad (\mu rem/jam) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Faktor bobot radiasi untuk foton, partikel dan neutron berbagai energi dapat dilihat pada Tabel 1.

Satuan cgs untuk laju dosis ekuivalen adalah $\mu rem/jam$ sedangkan untuk satuan SI adalah $\mu Sv/jam$, dimana $1 \mu Sv = 100 \mu rem$. Apabila laju dosis ekuivalen dikalikan dengan waktu paparan, akan diperoleh dosis ekuivalen total⁵.

Tabel 1. Faktor bobot radiasi untuk foton, partikel dan neutron ⁶.

No.	Jenis Radiasi	Faktor Bobot Radiasi (W_R)
1.	Foton, untuk semua energi	1
2.	Elektron dan Muon, semua energi	1
3.	Neutron dengan energi:	
	• < 10 keV	5
	• 10 keV hingga 100 keV	10
	• > 100 keV hingga 2 MeV	20
	• > 2 MeV hingga 20 MeV	10
	• > 20 MeV	5
4.	Proton, selain proton recoil, dengan energi > 2 MeV	5

$$H = \hat{H} \cdot t \quad \dots\dots\dots (5)$$

dengan

H = dosis ekuivalen (μrem)

\hat{H} = laju dosis ekuivalen ($\mu\text{rem}/\text{jam}$)

t = durasi terkena dosis radiasi (jam)

Nilai batas dosis (NBD) untuk dosis ekuivalen seluruh tubuh bagi pekerja radiasi adalah 50 mSv/tahun dan bagi masyarakat umum adalah 5 mSv/tahun ⁷. Laju paparan yang boleh diterima pekerja radiasi adalah 2,5 mR/jam dan masyarakat umum adalah 0,25 mR/jam.

Pengukuran Konsentrasi Aktivitas TENORM

Spektrometer AT6101D dengan detektor NaI(Tl) buatan ATOMTEX-Republik of Belarus yang terdiri dari unit deteksi radiasi gamma (*Detection Unit BDKG-11 : DU*) dan unit 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, data tersebut akan tersimpan secara otomatis.

Threeport diletakkan di lokasi pengukuran dan ujung bawah DU diatur pada jarak 14 cm dari tempat yang diukur dan pada jarak 0,2 meter dari drum limbah TENORM. Dipilih menu “geometry” kemudian “2pi” pada IPU dan di-ENTER untuk memulai proses pengukuran. Setelah 3600 detik pengukuran dihentikan dan dicatat nilai konsentrasi aktivitas ⁴⁰K, ²²⁶Ra dan ²³²Th

pada tampilan monitor IPU. Dengan cara yang sama dilakukan pengukuran pada titik-titik yang lain.

Pengukuran Radioaktivitas Udara

Filter Whatman diameter 47 mm buatan Whatman-USA dipasang pada head pencuplik TSP buatan PTKMR kemudian dipasang di atas *threeport* pada ketinggian 150 cm. Head pencuplik dihubungkan ke *flow meter* buatan Cole Parmer-USA dan pompa hisap buatan Andersen-TSI USA menggunakan selang buatan Cole Parmer-USA. Pompa hisap dihubungkan ke catu daya menggunakan kabel.

Pompa hisap dan *stop watch* dihidupkan bersamaan dan laju alir udara diatur pada 7 liter/menit. Suhu, kelembaban dan tekanan udara diukur menggunakan *thermohygrobarometer* buatan Baro-Jerman dan kecepatan angin diukur menggunakan *anemometer* buatan Cole Parmer-USA. Setelah 60 menit pompa hisap dimatikan.

Filter Whatman dilepas dari head pencuplik dan diletakkan di atas plansset menggunakan pinset dan diberi kode. Selanjutnya plansset diukur menggunakan alat cacah gross alfa beta MPC 9400 selama 60 menit. Konsentrasi

radioaktivitas udara dihitung dengan persamaan⁸:

$$C = \frac{(N_t - N_b)}{\varepsilon \cdot F \cdot T} \text{ Bq/liter} \dots\dots (6)$$

dengan

C : konsentrasi radioaktivitas udara (Bq/liter).

N_t : laju cacah bersih (cpm).

N_b : laju cacah latar (cpm).

E : efisiensi alat cacah (gross α : 2,97 % dan gross β : 48,57%)

F : laju alir pompa (liter/menit).

T : durasi sampling (menit).

Sedangkan konsentrasi minimum terdeteksi (*MDC = minimum detectable concentration*) alat cacah gross αβ MPC 9400 dengan tingkat kepercayaan 68 % dihitung dengan persamaan berikut⁸:

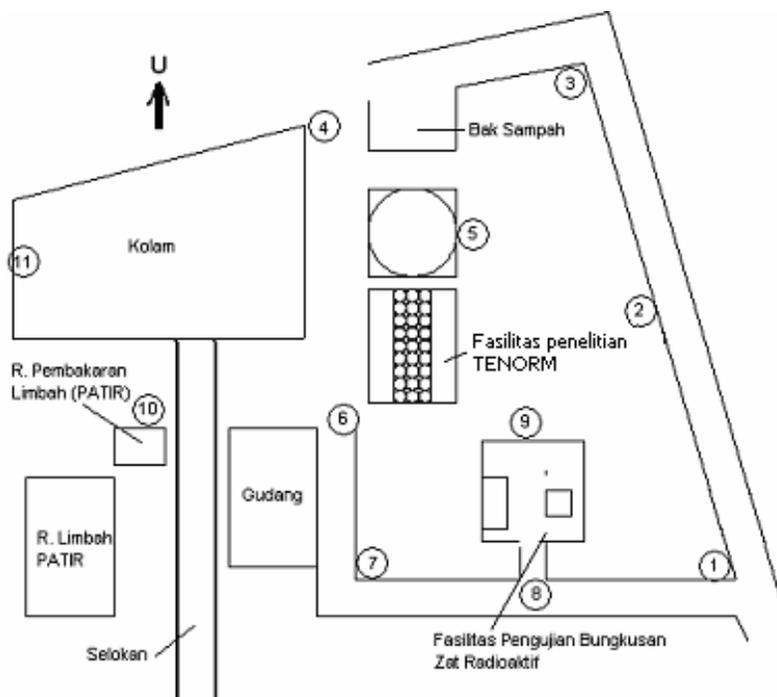
$$MDC = \frac{2,33 \sqrt{N_b / T_b}}{\varepsilon \cdot F \cdot T} \text{ (Bq/liter)} \dots (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran laju paparan radiasi latar di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat nilai laju paparan radiasi latar sebelum adanya TENORM berkisar dari 6,5 μR/jam sampai 15,5 μR/jam, terendah pada titik 9 (pagar belakang Fasilitas Pengujian Bungkusan Zat

Radioaktif) dan tertinggi pada titik 10 (samping ruang pembakaran limbah). Radiasi latar pada titik 10 lebih tinggi dari pada titik-titik yang lain, karena pada titik tersebut lokasinya berdekatan

dengan ruang pembakaran limbah radioaktif milik PATIR yang kemungkinan terkontaminasi sehingga ada sisa kontaminasi radioaktif.



Gambar 1. Denah lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya

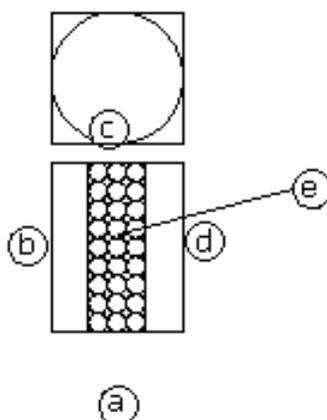
Tabel 2. Laju paparan pada sekitar lokasi fasilitas penelitian TENORM sebelum dan sesudah ada TENORM

Titik pengukuran	Rerata laju paparan radiasi ($\mu\text{R}/\text{jam}$)	
	Sebelum ada TENORM	Sesudah ada TENORM
1	8,5	9,5
2	7,5	8,5
3	8,5	8,5
4	7,8	8,5
5	7,5	9,5
6	8,0	39,0
7	9,5	11,0
8	7,5	9,5
9	6,5	7,5
10	15,5	18,0
11	8,5	9,5

Hasil pengukuran laju paparan radiasi di sekitar lokasi fasilitas penelitian TENORM setelah ada TENORM berkisar dari 8,5 $\mu\text{R}/\text{jam}$ sampai 39,0 $\mu\text{R}/\text{jam}$. Rendah pada titik 4 dan tinggi pada titik 6 (dekat drum TENORM). Terjadi kenaikan laju paparan radiasi sekitar lima kali pada titik 6 dari radiasi sebelumnya, namun nilainya masih

dibawah 50 $\mu\text{R}/\text{jam}$ yaitu batasan untuk dilakukan tindakan intervensi terhadap TENORM. Tetapi pengukuran di titik-titik yang lain tidak ada kenaikan paparan radiasi yang cukup berarti.

Laju paparan radiasi di beberapa titik di lokasi fasilitas penelitian TENORM disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 3.



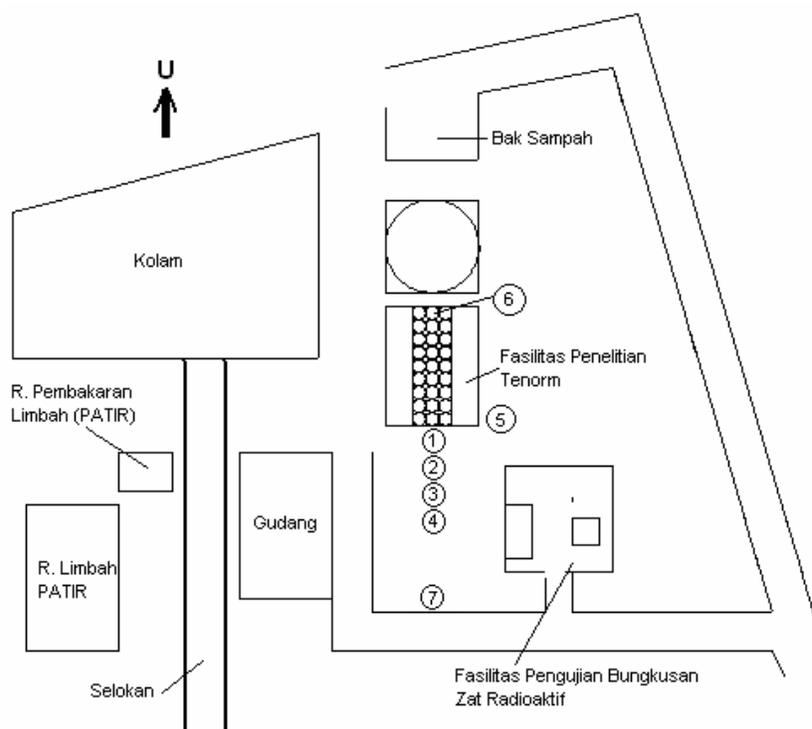
Gambar 2. Denah lokasi fasilitas penelitian TENORM.

Nilai laju paparan radiasi tersebut berkisar dari 10,5 $\mu\text{R}/\text{jam}$ sampai 80,0 $\mu\text{R}/\text{jam}$ dan dosis yang diterima pekerja radiasi selama 1 tahun (2.000 jam) berkisar dari 0,60 mSv sampai 1,6 mSv. Berdasarkan hasil tersebut dosis yang diterima pekerja radiasi masih jauh dibawah nilai batas dosis yang diizinkan dan masih dibawah nilai batas dosis bagi masyarakat umum. Jika pekerja radiasi tidak bekerja terus menerus selama 8 jam setiap hari maka dosis yang akan diterima

jauh lebih kecil dari dosis tersebut di atas. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas TENORM pada beberapa titik disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 4. Pada Tabel 4 terlihat bahwa konsentrasi aktivitas ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th di lokasi fasilitas penelitian TENORM berkisar dari (175 ± 128) Bq/kg sampai (619 ± 146) Bq/kg, $(12,7 \pm 7)$ Bq/kg sampai (573 ± 124) Bq/kg dan $(33,8 \pm 8,5)$ Bq/kg sampai (1.280 ± 260) Bq/kg.

Tabel 3. Laju paparan radiasi di lokasi fasilitas penelitian TENORM

Titik Pengukuran	Rerata Laju paparan radiasi ($\mu\text{R}/\text{jam}$)	Dosis radiasi (mSv/tahun)	Keterangan
a	40,0	0,80	Jarak 1 meter dari drum
b	10,5	0,21	Di atas tembok pembatas
c	80,0	1,60	Di atas tembok pembatas
d	30,0	0,60	Di atas tembok pembatas
e	80,0	1,60	Jarak 1 meter di atas drum



Gambar 3. Titik pengukuran konsentrasi aktivitas di lokasi fasilitas penelitian TENORM

Dari ketiga radionuklida yang diukur, nilai konsentrasi ^{232}Th termasuk harus dilakukan intervensi karena diatas 1.000 Bq/kg.

Tindakan intervensi bertujuan untuk mengurangi atau menghindari terjadinya paparan kronik dan paparan darurat. Langkah yang perlu dilakukan

antara lain: membuat fasilitas penampungan TENORM yang kedap air untuk menghindari resapan radionuklida ke tanah dan pemasangan pagar dan tanda bahaya radiasi untuk membatasi orang lain yang tidak berkepentingan memasuki lokasi penampungan TENORM. Di samping itu perlu dilakukan pemantauan

Tabel 4. Konsentrasi aktivitas TENORM di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya

Titik pengukuran	Konsentrasi aktivitas (Bq/kg)			Keterangan
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	
1	542 ± 266	573 ± 124	1280 ± 260	Jarak 0,2 m dari drum
2	433 ± 156	135 ± 35	196 ± 42	Jarak 0,5 m dari drum
3	175 ± 128	191 ± 45	322 ± 64	Jarak 0,75 m dari drum
4	230 ± 108	16,2 ± 14,3	43,8 ± 13,4	Jarak 2 m dari drum
5	619 ± 146	27,4 ± 11,2	35,9 ± 9,7	Jarak 0,1 m dari tembok
6	273 ± 179	307 ± 70	614 ± 123	Jarak 0,15 m di atas drum
7	412 ± 98	12,3 ± 7	33,8 ± 8,5	

Tabel 5. Konsentrasi radioaktivitas udara (gross alfa beta) di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya.

Titik Pengukuran	Konsentrasi radioaktivitas (Bq/liter)		Kondiosisi Pengukuran				
	Gross Alfa	Gross Beta	Suhu (° C)	Kelembaban (%)	Tekanan (mmHg)	Kecepatan Angin (m/detik)	Arah Angin
2	ttd	ttd	32	75	740	0,2 – 3,6	Ke Timur
8	ttd	ttd	33	73	740	0,3 – 4,2	Ke Timur

Catatan:

Batas deteksi terendah untuk gross alfa : 0,04 Bq/liter.

gross beta : 0,05 Bq/liter.

pemantauan paparan radiasi dan radioaktivitas lingkungan secara rutin minimal setiap 6 bulan sekali, dan lain-lain.

Hasil pengukuran radioaktivitas udara pada beberapa titik pengukuran di lokasi fasilitas penelitian TENORM disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 5. Konsentrasi radioaktivitas udara gross alfa dan beta dari 2 titik pengukuran tersebut adalah tidak terdeteksi (ttd) atau dibawah konsentrasi minimum terdeteksi yaitu untuk gross alfa adalah < 0,04 Bq/liter dan untuk gross beta adalah < 0,05 Bq/liter. Hal ini terjadi karena pada

saat pengambilan sampel udara belum dilakukan kegiatan penelitian TENORM, karena TENORM tersebut masih ditempatkan dalam wadah drum yang ditutup rapat dan kondisinya masih basah, sehingga tidak ada debu dari limbah TENORM.

Berdasarkan hasil pengukuran paparan radiasi eksternal, konsentrasi radionuklida dan radioaktivitas udara di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya dapat dikatakan bahwa fasilitas cukup aman untuk pekerja radiasi. Yang perlu mendapat perhatian adalah potensi bahaya radiasi interna

yaitu masuknya zat radioaktif ke dalam tubuh melalui jalur pernapasan, mulut dan kulit, khususnya pada saat melakukan kegiatan penelitian. Hal itu terjadi karena anggota tubuh bersentuhan secara langsung dengan TENORM dan kondisi TENORM yang kering sehingga dimungkinkan ada debu dari TENORM yang berterbangan. Oleh karena itu pada saat bekerja harus menggunakan pakaian proteksi seperti: masker, sarung tangan, sepatu dan lain-lain.

KESIMPULAN

Laju paparan radiasi di lokasi fasilitas penelitian TENORM dan sekitarnya berada antara dari 10,5 μ R/jam sampai 80,0 μ R/jam dan dosis radiasi berkisar dari 0,21 mSv sampai 1,60 mSv. Nilai konsentrasi aktivitas ^{40}K , ^{226}Ra dan ^{232}Th tertinggi adalah (619 \pm 146) Bq/kg, (573 \pm 124) Bq/kg dan (1.280 \pm 260) Bq/kg. Sedangkan konsentrasi radioaktivitas udara gross alfa dan beta adalah tidak terdeteksi atau di bawah konsentrasi minimum terdeteksi alat ukur yaitu < 0,04 Bq/liter untuk gross alfa dan < 0,05 Bq/liter untuk gross beta. Nilai tersebut cukup aman bagi pekerja radiasi dan masyarakat umum, namun perlu dilakukan tindakan intervensi terhadap TENORM karena dosis ekuivalen radiasi

lebih dari 1 mSv/tahun dan konsentrasi ^{232}Th lebih dari 1000 Bq/kg.

DAFTAR PUSTAKA

1. PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 33 TAHUN 2007, tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta (2007).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources", Safety Series No. 115, IAEA, Vienna, (1996).
3. DJAROT S. WISNUBROTO, "Pengelolaan Limbah NORM/TENORM dari Kegiatan Industri Non Nuklir", Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan Pada Industri Non Nuklir, Hal: 49 – 59, Jakarta, (2003).
4. ANONIM, Proposal Pemanfaatan Limbah NORM dari Industri Minyak dan Gas PT. Conocophilips untuk Studi Lingkungan, Jakarta (2008).
5. CEMBER, H., "Introduction to Health Physics", Second Edition-revised and Enlarged, Health

- Professions Division, McGraw-Hill, Inc (1983).
6. SUWARNO WIRYOSIMIN, “Mengenal Asas Proteksi Radiasi”, Penerbit ITB, Bandung (1995).
7. KEPUTUSAN KEPALA BAPETEN Nomor: 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, (1999).
8. BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, “Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan”, halaman : 137 - 155, BATAN, Jakarta, (1998).

Tanya Jawab :

1. Penanya : Ellen Rhosa R (FMIPA – Universitas Andalas).

Pertanyaan:

Tolong dijelaskan apa yang dimaksud dengan tindakan intervensi terhadap TENORM dan beberapa contohnya?.

Jawaban: Muji Wiyono (PTKMR – BATAN)

Tindakan intervensi terhadap TENORM adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi atau menghindari paparan atau kemungkinan terjadinya paparan kronik dan paparan darurat yang diakibatkan oleh TENORM. Contoh tindakan intervensi TENORM adalah mengumpulkan TENORM pada satu tempat yang aman dan jauh dari aktifitas pekerja, memasang tanda bahaya radiasi, memberi tulisan peringatan agar yang tidak berkepentingan mendekati TENORM, memasang perisai radiasi dan lain-lain.

PENGUJIAN SISTEM PENCACAH PROPORSIONAL 4π : PENCACAHAN SECARA ABSOLUT CI-36 DAN Sr-90.

Pujadi dan Holnisar

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

ABSTRAK

PENGUJIAN SISTEM PENCACAH PROPORSIONAL 4π : PENCACAHAN SECARA ABSOLUT CI-36 DAN Sr-90. Telah dilakukan modifikasi sistem pencacah proporsional 4π PTKMR telah dimodifikasi menggunakan penguat awal buatan sendiri, skema rangkaian elektronik penguat awal mengadopsi dari penguat awal buatan Jepang. Ketelitian, ketepatan dan kebenaran hasil pengukuran di laboratorium sangat bergantung pada tingkat ketelitian, kebenaran alat ukur. Verifikasi dan evaluasi diperlukan terutama untuk mengetahui apakah sistem bekerja secara baik atau belum, dengan jalan melakukan pengukuran sumber pemancar beta murni CI-36 dan Sr-90 buatan LMRI-Perancis. Makalah ini menyajikan hasil pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan, kestabilan, unjuk kerja sistem pencacah proporsional 4π . Pencacahan sumber CI-36 dan Sr-90 menggunakan metode absolut, variasi diskriminator dan dilakukan koreksi terhadap serapan diri dan serapan penyangga sumber. Stabilitas pencacahan relatif baik dengan rentang deviasi $\pm 0,04$ %. Hasil pengukuran aktivitas menggunakan sistem ini cukup baik dibandingkan dengan harga aktivitas LMRI – Perancis, untuk Sr-90 berbeda 0,48% dan CI-36 berbeda 0,64%.

Kata kunci: modifikasi, detektor proporsional 4π , ketelitian, ketepatan dan kebenaran

ABSTRACT

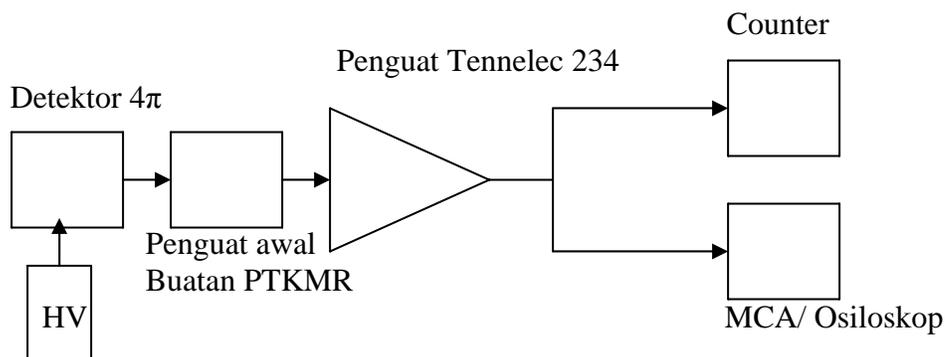
THE TEST OF 4π PROPORTIONAL COUNTER SYSTEM: ABSOLUT MEASUREMENT OF CI-36 DAN Sr-90. The modification of 4π proportional system of PTKMR has been carried out with PTKMR pre amplifier, the schematic electronic of pre-amplifier was adopted by Nagoya University Japan pre-amplifier. The correctness, accuracy and truth of measurement result in laboratory are based on correctness and truth of measuring instrument. Verification and evaluation have been carried out with measured of pure beta emitter radionuclide Chlorine-36 and Stronsium-90 LMRI- France, do applied measuring instrument have worked correctly or not yet. This paper will present of the test result done for evaluation of quality, stability and performance of 4π proportional system. The CI-36 and Sr-90 were measured using absolute method, discriminator variation and correction of self and backing source absorption. The counting stability fairly good with deviation range are 0.2 to 0.4%. The result of activity measurement using this instrument compare to activity of LMRI – France is good, for having discrepancies Sr-90 as 0,48% and CI-36 having discrepancies 0,64%.

Keywords: Modified, 4π proportional detector, correctness, accuracy and truth

PENDAHULUAN

Sistem pencacah proporsional 4π merupakan suatu perangkat yang terdiri dari detektor 4π isian gas, rangkaian penguat awal, penguat, diskriminator berupa penganalisa salur tunggal dan tampilan cacah, blok diagram disajikan pada Gambar 1. Untuk keperluan standardisasi radionuklida pemancar beta – gamma, sistem ini biasanya di gabung dengan rangkaian pencacah gamma menggunakan detektor NaI(Tl), yang dikenal dengan sistem pencacah koinidensi $4\pi(PC)\text{-}\gamma$, apabila digunakan untuk standardisasi pemancar zarah beta murni sistem ini bisa berdiri sendiri, dikenal dengan sistem pencacah proporsional 4π . Detektor proporsional 4π dan rangkaian penguat awal biasanya dibuat sendiri oleh masing-masing laboratorium standardisasi, karena detektor proporsional 4π tidak dijual dipasaran. Sistem pencacah proporsional yang dipunyai Laboratorium Standardisasi Pusat Teknologi Keselamatan Metrologi Radiasi (PTKMR) sudah cukup lama tidak berfungsi dengan baik, terutama pada bagian detektor 4π dan rangkaian

penguat awal. Untuk menunjang kebutuhan pengukuran aktivitas radionuklida secara absolut diperlukan sistem pencacah proporsional 4π dan sistem pencacah gamma yang mempunyai kualitas yang baik, maka telah dicoba memodifikasi detektor proporsional 4π buatan NPL Inggris, dengan penguat awal buatan PTKMR yang mengadopsi rangkaian elektronik dari Universitas Nagoya - Jepang. Komponen elektronik untuk pembuatan penguat awal digunakan komponen yang tersedia dipasaran dalam negeri. Untuk mengetahui ketelitian dan keakuratan serta kebenaran sistim tersebut pada pengukuran aktivitas perlu dilakukan pengujian dan pengecekan pada setiap tahapan seting alat, sehingga sistem memenuhi persyaratan sesuai kondisi yang diinginkan. Selain itu dilakukan pula pengujian sistem yang telah dimodifikasi, menggunakan penguat awal buatan PTKMR, untuk mencacah sumber radionuklida pemancar beta murni ^{36}Cl dan ^{90}Sr buatan LMRI – Perancis, komparasi hasil cacah terhadap nilai cacah LMRI akan menunjukkan kemampuan sistem pencacah proporsional 4π PTKMR.



Gambar 1. Blok diagram sistem pencacah proporsional 4π

TEORI

Ketelitian dan ketepatan pengukuran sangat bergantung pada ketelitian dan kebenaran alat ukur. Kualitas hasil pengukuran pada laboratorium standar-disasi sebagai acuan tingkat nasional harus selalu ditingkatkan seiring dengan kebutuhan pasar yang menginginkan hasil yang berkualitas. Oleh sebab itu alat ukur / alat uji yang ada di laboratorium standardisasi harus secara berkala dikalibrasi atau diuji terhadap alat ukur yang lebih tinggi ketelitiannya atau menggunakan sumber standar¹. Dalam kaitannya sistem pencacah proporsional 4π , karena sistem pencacah proporsional 4π ini merupakan sistem pencacah absolut, maka tidak dilakukan kalibrasi menggunakan sumber standar.

pengujian hanya bisa dilakukan dengan membandingkan hasil ukur terhadap hasil ukur alat atau laboratorium lain yang setingkat atau yang lebih tinggi. Untuk meningkatkan kemampuan pengukuran, khususnya pengukuran aktivitas sumber pemancar beta murni, laboratorium standardisasi PTKMR mencoba memfungsikan kembali sistem pencacah proporsional 4π yang telah cukup lama tidak berfungsi, dengan memodifikasi pada detektor proporsional 4π dan penguat awalnya. Untuk mengetahui kualitas, ketelitian dan ketepatan pengukuran, terhadap alat tersebut maka dilakukan pengujian pengukuran aktivitas sumber ^{137}Cs dan ^{90}Sr buatan LMRI / DAMRI, dan hasilnya di bandingkan dengan hasil

pengukuran laboratorium LMRI Perancis. Pada pencacahan sumber pemancar beta murni menggunakan sistem pencacah proporsional 4π harus disertai koreksi-koreksi : waktu mati detektor, proses serapan diri maupun serapan penyangga sumber^{2,3}. Persamaan laju cacah beta menggunakan menggunakan sistem pencacah proporsional 4π adalah sebagai berikut^{2,3,4}:

$$N_{\beta} = A_{cupl} \cdot Eff_{cupl} \quad \dots\dots (1)$$

dengan :

- N_{β} : laju cacah beta
- A_{cupl} : aktivitas cuplikan
- Eff_{cupl} : Efisiensi pencacahan cuplikan

Menurut KF Walz dan Van der Eijk, harga serapan diri pada sumber Cl-36 yang terdistribusi dengan baik dengan E_{β} maksimum 700 keV adalah 1,75%. Sedangkan harga serapan pada penyangga sumber dengan E_{β} maksimum 700 keV adalah 0,75%³. Sehingga total serapan pada pencacahan Cl-36 menggunakan sistem pencacah proporsional 4π adalah : 2,5%, atau efisiensi pencacahan adalah sebesar 0,975%. Apabila harga ini disubstitusikan pada persamaan (1) maka untuk

menghitung nilai aktivitas Cl-36 adalah sebagai berikut :

$$N_{\beta} = A_{Cl-36} \cdot Eff_{Cl-36}$$

$$A_{Cl-36} = N_{\beta} / 0,975 \quad \dots\dots (2)$$

dengan

- N_{β} : laju cacah beta
- A_{Cl-36} : aktivitas cuplikan Cl-36
- Eff_{Cl-36} : Efisiensi pencacahan cuplikan Cl-36

Sedangkan untuk Sr-90 yang mempunyai E_{β} maksimum 546 keV dengan intensitas 100% meluruh ketingkat energi Y-90 yang tidak stabil, kemudian meluruh dengan E_{β} maksimum 530 keV dan 2280 keV yang masing-masing mempunyai intensitas 0,016 % dan 99,984%^{3,4,5}. Persamaan laju cacah Sr-90 adalah sebagai berikut^{3,5}:

$$N_{\beta} = A_{Sr-90} \cdot Eff_{Sr-90} + A_{Y-90} \cdot Eff_{Y-90}$$

.....(3)

dengan

- N_{β} : laju cacah beta
- A_{Sr-90} : aktivitas Sr-90
- Eff_{Sr-90} : Efisiensi pencacahan Sr-90
- A_{Y-90} : aktivitas Y-90
- Eff_{Y-90} : Efisiensi pencacahan Y-90

Karena Sr-90 dan Y-90 dalam keadaan kesetimbangan maka $A_{Sr-90} = A_{Y-90}$, sehingga persamaan (3) menjadi:

$$N_{\beta} = A_{Sr-90} (\text{Eff}_{Sr-90} + \text{Eff}_{Y-90}) \dots\dots\dots (4)$$

Koreksi serapan diri pada tenaga E_{β} maksimum 546 keV (Sr-90) adalah 2,5% dan koreksi penyangga sumber 0,9%, sedangkan untuk tenaga 2280 keV (Y-90) faktor koreksi serapan diri sebesar 0,5% dan koreksi penyangga sumber 0,15%^{3,5}. Untuk E_{β} maksimum 530 keV dari Y-90 karena intensitasnya kecil dapat diabaikan³. Total koreksi Sr-90 adalah 3,4% dan Y-90 adalah 0,65, efisiensi pencacahan Sr-90 sebesar 96,6% dan Y-90 sebesar 99,35%, maka persamaan (4) menjadi :

$$N_{\beta} = A_{Sr-90} (0,966 + 0,9935)$$
$$A_{Sr-90} = N_{\beta} / 1,9595 \dots\dots\dots (5)$$

Pengukuran terhadap Cl-36 dan Sr-90 menggunakan perhitungan tersebut hasilnya dibandingkan dengan hasil pengukuran LMRI.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN Bahan dan Peralatan

1. Sumber Cl-36 dan Sr-90 buatan LMRI – Perancis

2. Gas P-10 (Campuran Argon – Metana).
3. Sistem pencacah proporsional 4π PTKMR (setelah modifikasi), menggunakan penguat awal PTKMR.
4. Osiloskop

Pencacahan

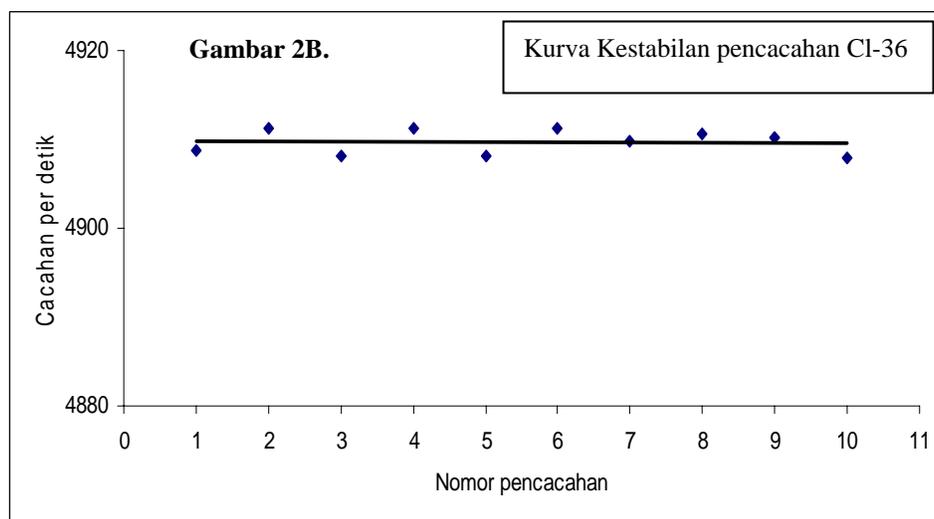
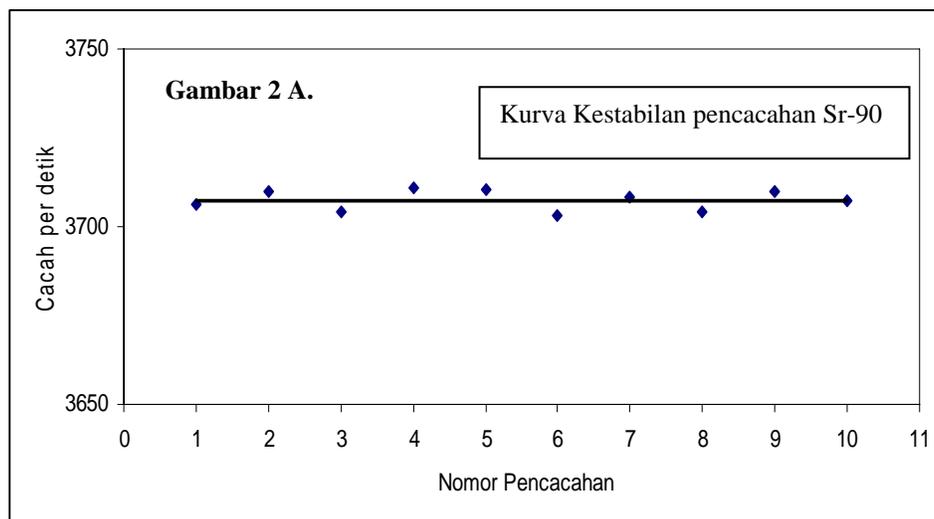
Sumber Cl-36 maupun Sr-90 pada penyangga aluminium tipis yang berlapis emas buatan LMRI, dicacah menggunakan sistem pencacah proporsional 4π PTKMR (setelah modifikasi), menggunakan penguat awal PTKMR. Pencacahan dilakukan dengan variasi diskriminator, dimulai dari mulainya spektrum beta muncul. Gambar spektrum beta disajikan pada Gambar 2 dan 3. Setiap kondisi pencacahan dilakukan pengulangan 20 kali. Selain itu juga dilakukan pencacahan terhadap cacah latar pada setiap perubahan diskriminator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 A dan B disajikan kurva stabilitas pencacahan Sr-90 dan Cl-36 menggunakan sistem pencacah proporsional 4π PTKMR

(setelah modifikasi), menggunakan penguat awal PTKMR. Pemasangan diskriminator untuk membatasi pulsa asli dan pengotor dipasang sedikit diatas

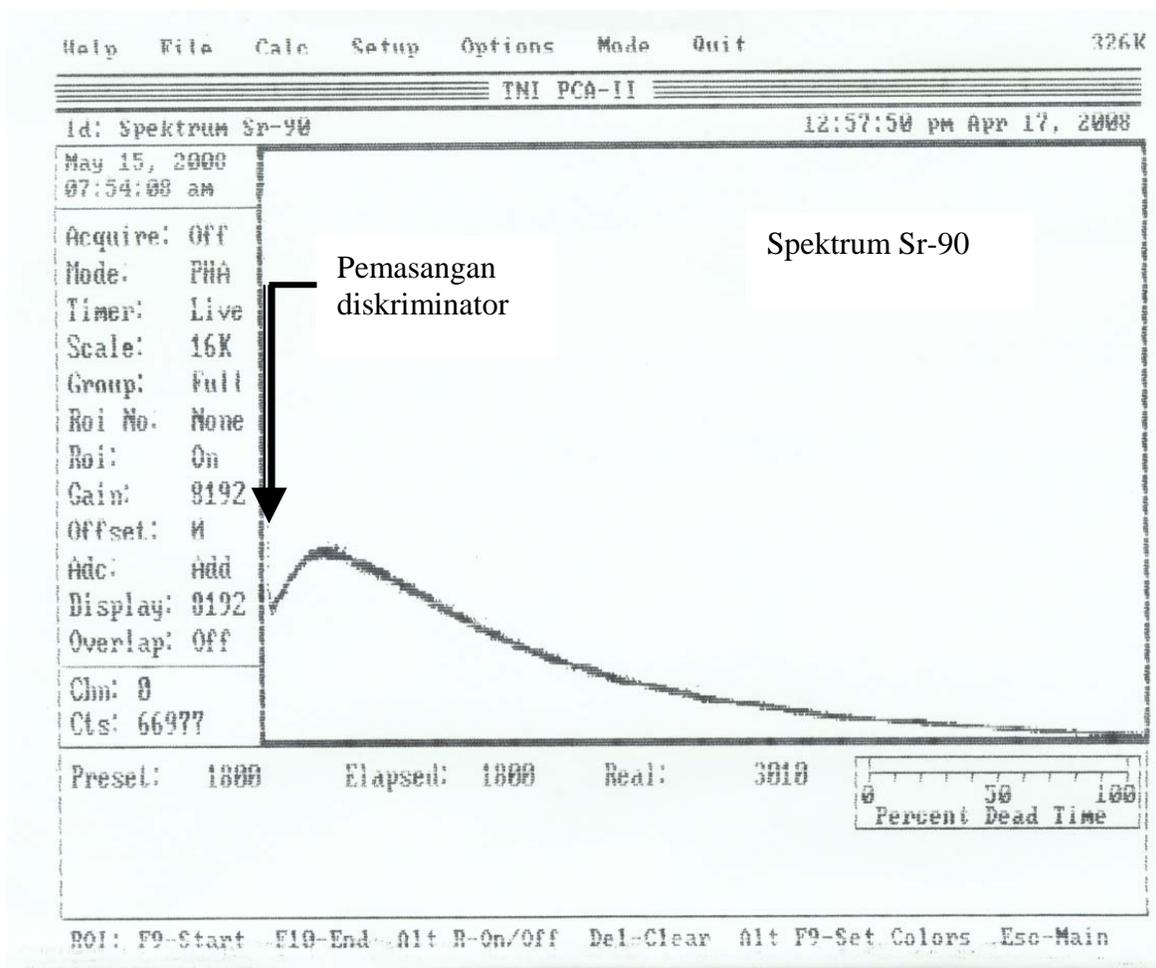
setelah muncul spektrum beta. Terlihat dari kurva tersebut stabilitas pencacahan relatif baik dengan deviasi berkisar antara $\pm 0,04\%$.



Gambar 2. Kurva stabilitas pencacahan

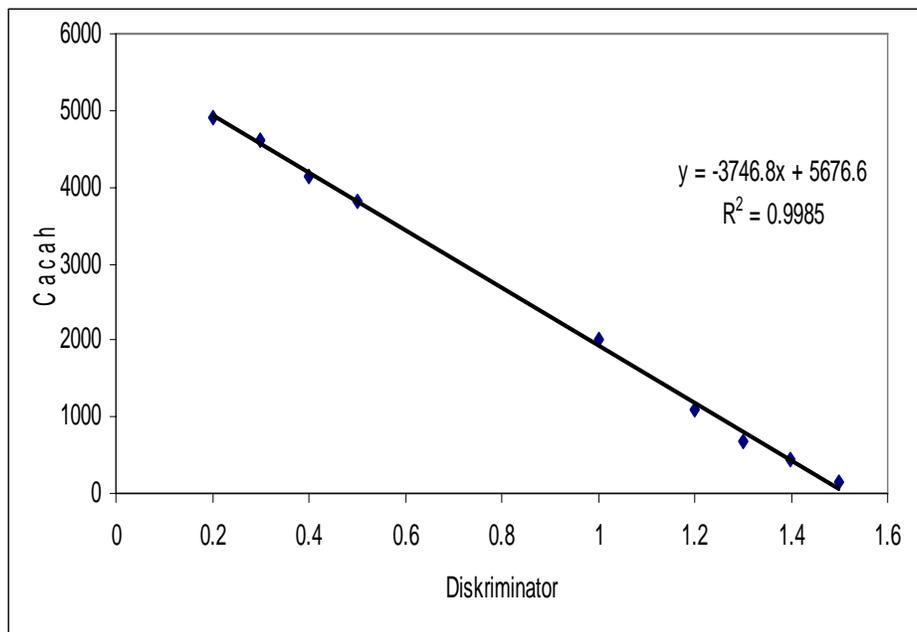
Gambar 3. disajikan gambar spektrum beta dari hasil pencacahan radionuklida Sr-90. Pada gambar ini terlihat bahwa

pembentukan spektrum beta cukup baik. Untuk pemasangan diskriminator dimulai dari kenaikan spektrum.

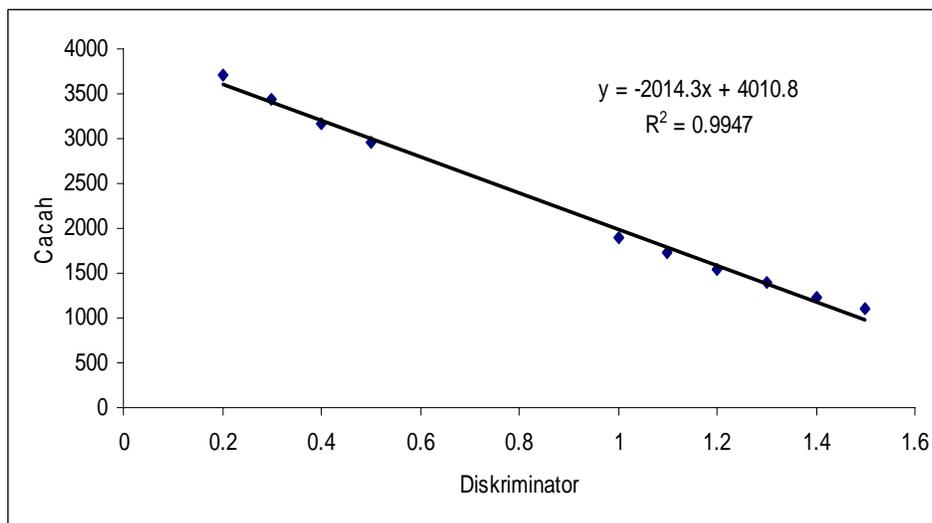


Gambar 3. Spektrum beta Sr-90

Gambar 4 menyajikan hasil pencacahan ^{136}Cl dengan variasi diskriminator. Harga aktivitas aktivitas dengan menarik garis ekstrapolasi ke arah diskriminator 0,16 yaitu tepat timbulnya spektrum beta didapatkan harga aktivitas ^{136}Cl sebesar 5077.11 Bq. Koreksi terhadap serapan diri dan penyangga sumber menggunakan persamaan (2), sehingga diperoleh nilai pengukuran menggunakan sistem pencacah proporsional 4π PTKMR (setelah modifikasi), menggunakan penguat awal PTKMR adalah 5207.29 Bq. Sedangkan nilai aktivitas dari LMRI adalah 5174 Bq pada 20 Juli 2008. Hasil pengukuran relatif baik dengan perbedaan dengan nilai LMRI sebesar 0,64%



Gambar 4. Kurva ekstrapolasi variasi diskriminator pencacahan CI-36



Gambar 5. Kurva ekstrapolasi variasi diskriminator pencacahan Sr-90

Pada Gambar 5. menyajikan hasil pencacahan Sr-90 dengan variasi diskriminator. Harga aktivitas diperoleh dengan menarik garis ekstropolasi ke

arah diskriminator 0,16 yaitu tepat pada munculnya spektrum beta didapatkan harga aktivitas Sr-90 sebesar 3688.51 Bq. Koreksi terhadap serapan diri dan

penyangga sumber menggunakan persamaan (3), sehingga diperoleh nilai pengukuran menggunakan sistem pencacah proporsional 4π PTKMR (setelah modifikasi), menggunakan penguat awal PTKMR adalah 1882.37 Bq. Sedangkan nilai aktivitas dari LMRI adalah 1891,51 Bq, pada 20 juli 2008. Hasil pengukuran Sr-90 cukup baik, perbedaan dengan nilai LMRI sebesar 0,48%.

KESIMPULAN

Sistem pencacah proporsional 4π PTKMR setelah dimodifikasi, menggunakan penguat awal PTKMR cukup baik digunakan sebagai pencacah absolut zarah beta. Kestabilan alat cukup baik ditunjukkan dengan deviasi berbagai pengukuran berkisar $\pm 0,04$ %. Hasil pengukuran aktivitas sumber Sr-90 dan Cl-36 menunjukkan keakuratan dalam pengukuran relatif baik, perbedaan dengan nilai LMRI masing-masing 0,48% dan 0,64%.

DAFTAR PUSTAKA

1. NAZAROH, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan radiasi dan lingkungan XI, Jakarta 2005.
2. KF WALZ, Radioaktive Standards und Ihre Anwendung im Bereich der Kern Technik und Umgebungsüberwachung, PTB Bericht, 1983
3. W VAN DER EIJK, Self absorbtion of betas particle on VYNS film, Journal EUR.2248.e, 1965
4. PUJADI dan HERMAWAN CHANDRA, Prosiding PIKRL VIII, Puslitbang Keselamatan Radiasi Biomedika Nuklir BATAN, 2000.
5. PUJADI dan H. CHANDRA, Prosiding PIKRL 2006.
6. N. CURSOL, Tabel de Radionuclide, LMRI France, 1983.
7. NCRP Report No. 58: A Hand Book of Radioactivity Measurement Procedures, 1978.

PENGGUNAAN METODE SPEKTROMETRI GAMMA DETEKTOR HPGe UNTUK PENENTUAN KANDUNGAN RADIOISOTOP DALAM TENORM

Wijono, Pujadi dan Hermawan Candra

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

ABSTRAK

PENGGUNAAN METODE SPEKTROMETRI GAMMA DETEKTOR HPGe UNTUK PENENTUAN KANDUNGAN RADIOISOTOP DALAM TENORM. Penggunaan metode spektrometri gamma detektor HPGe untuk penentuan kandungan radioisotop di dalam TENORM telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode cepat pengukuran radioisotop di dalam TENORM sebagai analisis pendahuluan sebelum dilakukan tindakan intervensi. Sebanyak 4 (empat) cuplikan TENORM dengan berat masing-masing ± 2 gr yaitu T1, T2, T3 dan T4 ditempatkan di dalam *mylar* berdiameter 28 mm dengan ketebalan 2 mm. Kemudian cuplikan diukur radioisotopnya menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe GC1018 yang telah dikalibrasi terhadap energi dan efisiensi pada rentang energi 121 sampai 1408 keV dengan sumber standar Eu-152 LMRI. Kalibrasi energi memperlihatkan kurva linier $y = 0,1894 x + 0,5851$ dan kalibrasi efisiensi memperlihatkan kurva eksponensial $y = 0,0946 x^{-0,9035}$. Hasil pengukuran menunjukkan cuplikan TENORM mengandung radioisotop deret thorium (Pb-212, Tl-208 dan Ac-228), deret uranium (Pb-214 dan Bi-214) dan K-40. Dengan demikian metode spektrometri gamma detektor HPGe dapat digunakan untuk analisis pendahuluan TENORM sebelum dilakukan analisis lebih lanjut untuk penentuan konsentrasi masing-masing radioisotop.

Kata kunci : TENORM, spektrometri gamma, isotop, thorium dan uranium

ABSTRACT

UTILIZING OF HPGe DETECTOR GAMMA SPECTROMETRY METHOD FOR DETERMINATION OF RADIOISOTOPE CONCENTRATION IN TENORM. Utilizing of HPGe detector gamma spectrometry method for determination of radioisotope concentration in TENORM have been carried out. This research purposes is to obtain fast method of radioisotope measurement in TENORM as preliminary analysis before intervention act is taken. Four samples of TENORM consisted of T1, T2, T3 and T4 having ± 2 gr weight each were placed in *mylar* having 28 mm diameter and 2 mm width. Then samples were radioisotope concentration measured by using gamma spectrometer counting system OF GC1018 HPGE detector which have calibrated curve efficiency and energi of spanning energi 121 until 1408 keV with standard source of Eu-152 LMRI. Energy calibration showed a linear curve $y = 0.1894 x + 0.5851$ and efficiency calibration showed an exponential curve $y = 0.0946 x^{-0.9035}$. Measurement result showed that TENORM samples contain isotope of thorium decay series (Pb-212, Tl-208 and Ac-228), isotope of uranium decay series (Pb-214 and Bi-214) and K-40 isotope. So the gamma spectrometry method by HPGe detector can be used for TENORM preliminary analysis before detailed analysis taken for determining each radioisotope concentration.

Keywords : TENORM, gamma spectrometry, isotope, thorium and uranium

PENDAHULUAN

Isotop-isotop deret uranium, thorium dan K-40 seperti Ra-226, Th-232, U-238 dan lain-lain merupakan radioisotop alam dan biasanya disebut NORM (*Naturally Occuring Radioactive Material*). NORM sudah ada sejak bumi ini terbentuk dan tersebar dengan konsentrasi yang berbeda-beda antara daerah satu dengan yang lain. Dalam kegiatan industri, salah satu di antaranya industri pertambangan minyak dan gas (migas) yang memproses bahan baku dari dalam kulit bumi, dapat meningkatkan konsentrasi radioaktivitas alam (NORM) sehingga terbentuk TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*). TENORM dapat memiliki radio-aktivitas alam mendekati batas potensi risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan apabila tidak terkontrol dengan baik¹.

TENORM pada industri migas sering bercampur dengan bahan-bahan lain seperti tanah dan pasir sehingga sulit dibedakan. Sehubungan dengan itu TENORM memiliki peluang bahaya radiasi sesuai nilai/jenis radioaktivitasnya. Dalam penelitian ini kandungan radioaktivitas TENORM ditentukan menggunakan spektrometri gamma

detektor HPGe. Metode spektrometri gamma adalah metode pengukuran secara langsung terhadap radioisotop tanpa melalui proses pemisahan kimia.

Dengan penggunaan metode spektrometri gamma detektor HPGe untuk penentuan kandungan radio-isotop dalam TENORM diharapkan kandungan dalam TENORM dapat diketahui secara cepat, sehingga dapat ditentukan tindakan yang paling tepat yang harus dilakukan terhadap TENORM tersebut agar terpenuhi aspek keselamatan dan keamanan bagi pekerja maupun lingkungan setempat.

TATA KERJA

Persiapan cuplikan

TENORM yang berasal dari industri minyak dan gas dicuplik menjadi empat bagian. Selanjutnya dilakukan penimbangan menggunakan Neraca Digital Mettler PM 4600 SNR H63971 sehingga diperoleh berat cuplikan T1, T2, T3 dan T4 masing-masing 2,00; 2,00; 2,01 dan 2,15 gram. Masing-masing cuplikan tersebut ditempatkan pada milar berdiameter 28 mm (sesuai luas penampang detektor HPGe GC1018 yang akan digunakan) dengan ketebalan 2 mm. Keempat cuplikan TENORM tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Cuplikan TENORM

Kalibrasi Spektrometer Gamma

Alat ukur radiasi yang digunakan dalam analisis kandungan TENORM ini adalah sistem Spektrometer Gamma dengan Detektor HPGe Model GC1018², sistem Komputer dengan Program Genie

2000, osiloskop dan sumber standar Europium 152 (Eu-152) LMRI ; Waktu paro = $13,33 \pm 0,1$ Tahun³ ; Aktivitas awal (A_0) = $15,18 \mu\text{Ci}$ pada tanggal 4 Januari 1980.



Gambar 2. Sistem Spektrometer Gamma Detektor HPGe GC1018



Gambar 3. Beberapa Sumber Standar LMRI

Pengoperasian sistem spektrometer gamma dimulai dengan memeriksa kondisi nitrogen cair dalam dewar untuk memastikan kondisi aman detektor. Kondisi aman ini terpenuhi apabila jumlah berat nitrogen cair dan dewar antara 24 - 38 kg. Hal ini ditandai lampu detektor hijau yang menyala. Apabila yang menyala adalah lampu merah maka sistem pendingin detektor tidak memenuhi syarat, sehingga harus mengisi nitrogen cair terlebih dahulu sebelum pengoperasian detektor dilanjutkan.

Setelah kondisi aman detektor terpenuhi maka dapat dilakukan pengoperasian sistem *High Voltage* (HV) dengan memastikan pada keadaan awal skala tegangan tinggi pada posisi 0 (nol) terlebih dahulu. Saat “off” indikator HV harus positif dan *disable*. Setelah HV dinyalakan maka skala potensio HV dapat dinaikkan secara perlahan (per satu

skala) sampai 4500 Volt. Kestabilan kenaikan HV dapat dipantau dengan osiloskop yang disambungkan ke “output” preamplifier melalui “input” signal amplifier. Agar pemantauan kenaikan HV dapat dilakukan dengan teliti maka skala osiloskop diatur maksimal 0,2 Volt. Pada HV posisi 4500 Volt, *channel signal input* osiloskop dipindahkan ke *output* amplifier pada posisi *unipolar*.

Meletakkan sumber standar Eu-152 pada jarak 25 cm dari muka detektor, sehingga diperoleh *dead time* < 5%. Pada kondisi ini sistem spektrometer gamma dipastikan sudah siap operasi, sehingga sistem komputer dengan program Genie 2000 dapat diaktifkan. Agar analisis kalibrasi energi dan efisiensi dapat dilakukan dengan prosentase *error* yang kecil maka pencacahan dilakukan sebanyak 10 kali

dan dalam waktu yang relatif lama (2 jam). Untuk menentukan lama pencacahan dalam program Genie 2000 dapat dipilih menu MCA, *acquire set up* dan mengisi *live time* sesuai pilihan. Menu *edit*, *sampel info*, *ok* dan lainnya digunakan untuk mengatur tampilan dan penyimpanan data. Tanda *ROI* diatur dengan arah ke kiri dan ke kanan pada kaki spektrum, lalu menekan *insert*. Untuk membatalkannya dengan menekan *delete*.

Setelah proses pencacahan sumber standar Eu-152 sebanyak 10 kali selesai, maka dapat dilakukan evaluasi data-data hasil cacahannya. Analisis dan perhitungan kalibrasi energi meliputi nomor salur puncak dan energi (keV)⁴ tertera pada program Genie 2000. Selanjutnya data-data nomor salur dan energi tersebut dibuat dalam kurva fungsi persamaan sumbu x dan y, di mana x = nomor salur dan y = energi (keV). Agar konstanta kalibrasi energi dalam pengukuran tidak berubah, hasil kalibrasi tersebut disimpan dalam program Genie 2000 melalui menu *file* dan *save*.

Setelah diperoleh kurva kalibrasi energi, maka dapat dilakukan analisis dan perhitungan konstanta kalibrasi efisiensi yang meliputi energi kalibrasi (keV), cacah per detik (cps), prosentase

kesalahan pencacahannya (%), *yield* (%), efisiensi perhitungan manual dari 10 kali pencacahan dan deviasi standarnya. Sehingga diperoleh hasil akhir berupa kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe model GC1018 dengan sumber standar Eu-152 LMRI. Kurva kalibrasi efisiensi tersebut berbentuk eksponensial dengan fungsi persamaan sumbu x = energi (keV) dan sumbu y = efisiensi.⁴ Penyimpanan konstanta kalibrasi efisiensi dalam program Genie 2000 ini dilakukan dengan cara yang sama seperti pada penyimpanan konstanta kalibrasi energi yang sudah dilakukan sebelumnya. Selanjutnya dengan memilih menu *calibrate*, *efficiency show* dan *list peaks* maka diperoleh koreksi kurva kalibrasi efisiensi. Koreksi kurva tersebut meliputi energi kalibrasi (keV), efisiensi perhitungan, pengukuran, kesalahan pengukuran (%) dan penyimpangannya (%).

Pencacahan cuplikan TENORM

Pencacahan cuplikan TENORM diawali dengan pencacahan latar/BG (*background*) selama 16 jam tanpa menggunakan cuplikan, sehingga diperoleh nilai *area* BG integral, Cacah per detik (cps) BG sebelum koreksi dan Cps BG terkoreksi. Nilai Cps BG terkoreksi ini nantinya digunakan untuk menghitung

nilai Cps net dari hasil pencacahan cuplikan.

Pencacahan cuplikan T1 sampai T4 dilakukan dengan *setting* yang sama seperti pada pencacahan latar. Dari pencacahan cuplikan diperoleh nilai Cps net. Dari pembagian Cps net dengan nilai Yield (Y), efisiensi (η) dan massa cuplikan (kg) maka diperoleh nilai aktivitas persatuan berat (Bq/kg).

$$A = \frac{C}{Y \cdot \eta \cdot m}$$

dengan A = Aktivitas cuplikan (Bq/kg)

C = Cacahan cuplikan (Cps)

Y = Yield (probabilitas radiasi)

η = Efisiensi detektor

m = massa cuplikan (kg)

Dengan menganalisis hasil nilai Cps dan aktivitas (Bq) masing-masing radio-nuklida/radioisotop terhadap tingkat energinya secara keseluruhan (*Visual grafis dan puncaknya*) maka jenis radioisotop dan deretnya dapat diidentifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pencacahan sumber standar Eu-152 LMRI yang terdiri atas nomor salur puncak, standar deviasi, energi acuan⁴, dan deviasi standar energi ditunjukkan dalam Tabel 1. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa dari 10 kali pencacahan ternyata terjadi perubahan/

pergeseran canel puncak. Sehingga menimbulkan deviasi standar yang nilainya berkisar antara 0,33 sampai 0,78. Nilai-nilai deviasi standar pergeseran canel tersebut mengakibatkan relevansi linieritas garis hubungan canel versus energi tidak lurus 100%. Dari perhitungan diperoleh penyimpangan maksimum reratanya sebesar 1,2438%. Deviasi tersebut kemungkinan disebabkan adanya ketidakstabilan sistem pendingin. Hal ini terbukti saat gas nitrogen cair pada sistem pendingin berkurang maka nilai canel puncak semakin bergeser ke kanan. Sebaliknya setelah gas nitrogen cair diisi penuh, maka nilai puncak canel pada tingkat energi yang sama kembali bergeser ke kiri. Kemungkinan lain pergeseran puncak canel ini disebabkan ketidak-tepatan pembatasan ROI kaki spektrum, sehingga posisi puncak area tiap-tiap tingkat energi tidak sama (mengalami pergeseran).

Sumber Eu-152 memiliki lebih dari 12 puncak spektrum yang jelas. Namun untuk kalibrasi energi dan efisiensi yang baik hanya dianjurkan memakai 9 puncak energi seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 kolom 4.² Masing-masing energinya memiliki deviasi standar yang bervariasi antara

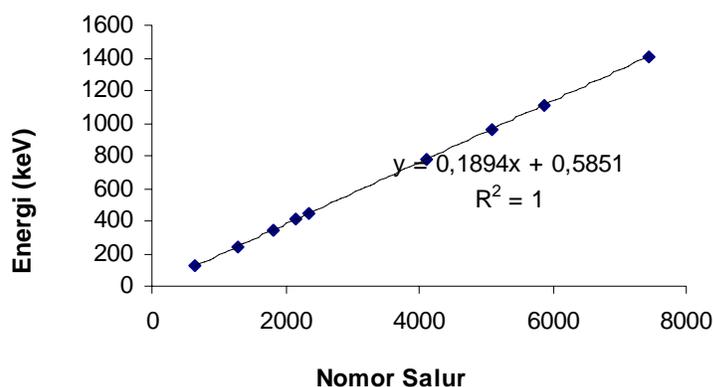
0,02 sampai 0,10 (Tabel 1 kolom 5). Nilai deviasi tersebut diambil dari sertifikat sumber standar Eu-152 LMRI pada tingkat kepercayaan 99,7%. Sesuai sertifikat tersebut diperlihatkan bahwa untuk tingkat energi 444,0 keV memiliki

deviasi standar yang menyolok dan terbesar, yaitu 0,10. Hal ini akan memungkinkan terjadinya penyimpangan data yang lebih besar pada evaluasi data selanjutnya (kalibrasi efisiensi pada tingkat energi tersebut).

Tabel 1. Nomor salur puncak, energi acuan dan deviasi standar sertifikat Eu-152

No	Nomor Salur	Deviasi standar Nomor Salur (%)	Energi Acuan (keV)*	Deviasi Standar Energi Sertifikat Eu-152
1	640	0,47	121,8	0,02
2	1289	0,33	244,7	0,02
3	1814	0,48	344,3	0,02
4	2167	0,52	411,1	0,02
5	2341	0,41	444,0	0,10
6	4109	0,63	778,9	0,03
7	5087	0,53	964,1	0,03
8	5868	0,76	1112,0	0,04
9	7431	0,78	1408,0	0,03

*) ICRP



Gambar 4. Kurva Kalibrasi Energi Detektor HPGe Model GC1018 dengan Sumber Standar Eu-152 LMRI

Apabila distribusi data nomor salur dan energi dari 9 puncak spektrum (Tabel 1) dibuat hubungan grafik maka akan terbentuk kurva kalibrasi energi detektor HPGe model GC1018 dengan sumber standar Eu-152 LMRI (Gambar 4). Hubungan interpolasi dari 9 titik puncak hasil pencacahan seperti yang ditunjukkan dalam gambar tersebut memperlihatkan hubungan mendekati linier. Hal ini dibuktikan dengan kecilnya penyimpangan rerata tiap titik terhadap garis kurva linier sebesar 1,2438%. Kurva kalibrasi energi tersebut memiliki persamaan $y = 0,1894 x + 0,585$ di mana x = nomor salur dan y = energi dalam satuan keV. Selanjutnya hasil kalibrasi energi ini disimpan dalam program pencacahan spektrometer gamma (Genie 2000). Dengan demikian maka pencacahan dengan spektrometer gamma selanjutnya sudah terkalibrasi energinya.

Untuk mengevaluasi kurva efisiensi diperlukan data-data hasil kalibrasi energi, nilai *counting per second* (cps) dan prosentase kesalahan pencacahannya. Data-data tersebut dicantumkan pada Tabel 2. Dalam tabel tersebut terdapat energi kalibrasi yang merupakan *print-out* dari kurva kalibrasi energi program Genie 2000 setelah

dikalibrasi. Distribusi energi kalibrasi tersebut memiliki sedikit perbedaan terhadap acuannya pada tingkat energi 344,2; 1112,1 dan 1408,1 keV. Terjadinya perbedaan tersebut mungkin akibat hasil koreksi linieritas garis kurva kalibrasinya. Hal demikian wajar terjadi, apalagi perbedaannya jauh lebih kecil dibanding perbedaan nilai tingkat energi antar jenis sumber standar yang berbeda, misalnya menurut standar Amersham, ETL atau yang lainnya.

Nilai cps diperoleh dari pembagian *net area* terhadap lamanya pencacahan (dalam satuan detik) pada masing-masing tingkat energi. Hasil perhitungan nilai cps ini ditunjukkan dalam Tabel 2 kolom 2. Sedangkan koreksi kesalahan pencacahan (dalam %) dicantumkan pada kolom 3. Nilainya berkisar antara 0,20% sampai 1,49%. Prosentase kesalahan terbesar (> 1%) terjadi pada tingkat energi 411,1 dan 444,0 keV. Hal ini membuktikan bahwa pada tingkat energi tersebut kemungkinan terjadinya kesalahan paling besar sesuai dengan besarnya angka deviasi standar sertifikat Eu-152 yang digunakan. Dengan memasukkan data-data cps, *yield* dan aktivitas Eu-152 (hasil peluruhannya saat pencacahan) ke dalam persamaan 3 maka diperoleh efisiensinya untuk setiap

Tabel 2. Data hasil satu dari sepuluh kali pencacahan Sumber Standar Eu-152

No	Energi Kalibrasi (keV)	Cacah per Detik (cps)	Prosentase Kesalahan (%)
1	121,8	45,8475	0,20
2	244,7	8,1753	0,53
3	344,2	20,5558	0,28
4	411,1	1,3908	1,49
5	444,0	1,8314	1,22
6	778,9	4,4136	0,66
7	964,1	3,9899	0,66
8	1112,1	3,2493	0,73
9	1408,1	4,1558	0,59

tingkat energi.

Hasil perhitungan efisiensi tersebut untuk sekali pencacahan. Setelah dilakukan per-hitungan terhadap 10 data pencacahan maka diperoleh deviasi

standarnya untuk masing-masing tingkat energi. Hasil ke-seluruhan efisiensi dan deviasi standar-nya menurut perhitungan manual data pencacahan ditunjukkan dalam Tabel 3.

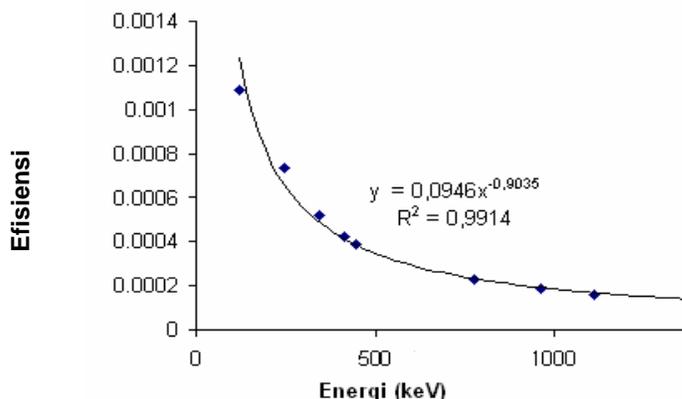
Tabel 3. Efisiensi hasil perhitungan manual cacahan Eu-152

No	Energi Kalibrasi (keV)	Yield *) (%)	Efisiensi perhitungan manual	Deviasi Standar
1	121,8	28,40	0,0010897	0,00661
2	244,7	7,51	0,0007347	0,00599
3	344,2	26,60	0,0005181	0,00618
4	411,1	2,23	0,0004214	0,00475
5	444,0	3,19	0,0003872	0,01472
6	778,9	13,00	0,0002264	0,00707
7	964,1	14,50	0,0001873	0,00641
8	1112,1	13,60	0,0001615	0,00433
9	1408,1	20,90	0,0001331	0,00526

*) ICRP

Dengan memasukkan data-data energi dan efisiensi hasil perhitungan manual (Tabel 3) ke dalam program kalibrasi efisiensi genie 2000 maka diperoleh kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe Model GC1018 dengan sumber standar Eu-152 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5. Kurva kalibrasi efisiensi tersebut berbentuk eksponensial dan memiliki persamaan $y = 0,0946 \cdot x^{-0,9035}$ di mana x = tingkat

energi (dalam satuan keV) dan y = efisiensi. Sedangkan hubungan kontinuitas titik efisiensi dari tiap-tiap tingkat energi yang membentuk garis kurva kalibrasi memiliki persamaan $R^2 = 0,9914$. Setelah diperoleh persamaan kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe model GC1018 dengan sumber standar Eu-152 maka dalam pencacahan selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas sampelnya.



Gambar 5. Kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe Model GC1018 dengan sumber standar Eu-152 LMRI

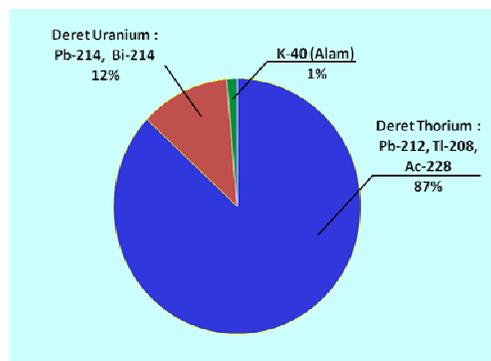
Hasil pengukuran/ analisis kandungan radioisotop cuplikan TENORM dari salah satu hasil industri pertambangan minyak dan gas menggunakan sistem spektrometer gamma dan detektor HPGe GC1018 ditunjukkan dalam Tabel 4. Tabel tersebut menunjukkan kandungan radionuklida cuplikan T1, T2, T3 dan T4 terdiri dari deret thorium (Pb-212, Tl-208, Ac-228), deret uranium (Pb-214 dan Bi-214) dan radionuklida

alam K-40. Secara keseluruhan aktivitasnya berkisar antara 49,56 Bq/kg sampai 4763 Bq/kg. Aktivitas isotop deret thorium (Pb-212, Tl-208 dan Ac-228) berkisar antara 313,96 – 4754,01 Bq/kg, isotop deret uranium (Pb-214 dan Bi-214) berkisar antara 206,44 – 2126,92 Bq/kg dan isotop alam (K-40) berkisar antara 49,56 – 337,54 Bq/kg. Total kandungan isotop ke empat cuplikan ditunjukkan dalam Gambar 6. Dari gambar tersebut

diketahui kandungan isotop terbesar didominasi oleh deret thorium = 6.111,95 Bq/kg (87%), deret uranium = 820,84 Bq/kg (12%) dan isotop alam K-40 = 96,77 Bq/kg (1%).

Hasil pengukuran radioisotop dalam sampel TENORM ini belum menunjukkan nilai yang sesungguhnya dan hanya sebagai pendahuluan yang masih membutuhkan beberapa perlakuan koreksi dan analisis lebih lanjut. Hal ini disebabkan :

- Preparasi masing-masing sampel belum sama (ada yang kering,



Gambar 6. Grafik prosentase kandungan isotop dari cuplikan TENORM

setengah basah dan basah)

- Tidak dilakukan kesetimbangan antara induk dan anak luruhnya terhadap sampel sebelum diukur.

Tabel 4. Hasil pencacahan sampel TENORM hasil industri migas menggunakan Spektrometer Gamma

E (keV)	Yield	Area BG Integral	CPS BG Sebelum koreksi	CPS BG terkoreksi	CPS Net	Efisiensi	Aktivitas (Bq)	Akt/m (Bq/kg)	Isotop	Deret
Sampel T1										
239	0,446	4812	0,1671	0,1672	0,0208	0,0049	9,508	4754	Pb-212	Thorium
583	0,858	1669	0,0580	0,0580	0,0053	0,0019	3,136	1568	Tl-208	Thorium
911	0,277	1164	0,0404	0,0404	0,0011	0,0013	3,260	1630	Ac-228	Thorium
1461	10,67	2518	0,0874	0,0875	0,0008	0,0008	0,099	50	K-40	Alam
Sampel T2										
239	0,446	4812	0,1671	0,1672	0,0080	0,0049	3,664	1832	Pb-212	Thorium
352	0,372	3003	0,1043	0,1043	0,0005	0,0033	0,413	206	Pb-214	Uranium
583	0,858	1669	0,0580	0,0580	0,0016	0,0020	0,939	469	Tl-208	Thorium
Sampel T3										
239	0,446	4812	0,1671	0,1672	0,0171	0,0049	7,821	3891	Pb-212	Thorium
352	0,372	3003	0,1043	0,1043	0,0052	0,0033	4,275	2127	Pb-214	Uranium
583	0,858	1669	0,0580	0,0580	0,0063	0,0020	3,747	1864	Tl-208	Thorium
609	0,463	2170	0,0753	0,0754	0,0012	0,0019	1,415	704	Bi-214	Uranium
911	0,277	1164	0,0404	0,0404	0,0033	0,0013	9,575	4763	Ac-228	Thorium
1461	10,67	2518	0,0874	0,0875	0,0056	0,0008	0,678	338	K-40	Alam
Sampel T4										
239	0,446	4812	0,1671	0,1672	0,0061	0,0049	2,770	1289	Pb-212	Thorium
352	0,372	3003	0,1043	0,1043	0,0006	0,0033	0,529	246	Pb-214	Uranium
583	0,858	1669	0,0580	0,0580	0,0011	0,0020	0,675	314	Tl-208	Thorium

KESIMPULAN

Hasil kalibrasi sistem spektrometer gamma detektor HPGe GC1018 menunjukkan kurva linier kalibrasi energi ($y = 0,1894 x + 0,5851$) dan kurva eksponensial kalibrasi efisiensi ($y = 0,0946 x^{-0,9035}$). Dari analisis TENORM dengan metode pengukuran spektrometer gamma detektor HPGe GC1018 untuk mengetahui kandungan isotop menunjukkan cuplikan TENORM mengandung isotop deret thorium (Pb-212, Tl-208 dan Ac-228), isotop deret uranium (Pb-214 dan Bi-214) dan isotop K-40.

Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa cuplikan TENORM hasil produk sampingan industri migas memiliki total kandungan isotop terbesar yang didominasi oleh deret thorium = 6.111,95 Bq/kg (87%), ke dua deret uranium = 820,84 Bq/kg (12%) dan ke tiga isotop alam K-40 = 96,77 Bq/kg (1%).

DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *International Basic Safety Standard (BSS) for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation*
2. INSTRUKSI KERJA UNIT STANDARDISASI, No. Dokumen : IK-LMR-STD-11, P3KRBiN – Batan, 2004
3. ICRP PUBLICATION 38, *Radio-nuclide Transformations Energy and Intensity of Emissions*, Volumes 11 – 13, 1983.
4. SUSETYO, W., *Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Gadjah Mada University Press, ISBN : 979-420-091-3, 1988
5. NICHOLAS TSOULFANIDIS, *Measurements Procedures*, NCRP Report No.58, I edition, 1978
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*, Safety Series No. RS-G-1.7 (DS161), 2004

**ANALISA “DOUBLE PEAKS” ENERGI GAMMA 244,7 keV dan 1112,1 keV PADA
RADIONUKLIDA Eu-152 UNTUK KALIBRASI EFISIENSI
PADA SPEKTROMETER GAMMA**

Hermawan Candra, Pujadi dan Gatot Wurdianto

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

ABSTRAK

ANALISA “DOUBLE PEAKS” ENERGI GAMMA 244,7 keV dan 1112,1 keV PADA RADIONUKLIDA Eu-152 UNTUK KALIBRASI EFISIENSI PADA SPEKTROMETER GAMMA. Telah dilakukan analisa *double peaks* energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV pada radionuklida Eu-152 untuk kalibrasi efisiensi pada spektrometer gamma. Analisa *double peaks* energi gamma 244,7keV dan 1112,1 keV dilakukan dengan cara menentukan koreksi perhitungan pada energi gamma akibat sumbangan dari energi gamma 251,8keV dan 1109,2keV. Koreksi perhitungan akan menentukan nilai luas puncak serapan total pada energi gamma 244,7 keV dan 1112,1keV. Nilai koreksi perhitungan pada energi gamma 244,7keV sebesar 1,005 dan energi gamma 1112,1keV sebesar 1,012. Hasil kalibrasi efisiensi dengan menggunakan koreksi dibandingkan dengan tanpa menggunakan koreksi mempunyai perbedaan pada energi gamma 244,7 sebesar 0,5% dan pada energi gamma 1112,1keV sebesar 1,19%. Kurva kalibrasi efisiensi dengan kedua cara tersebut digunakan untuk mengukur radionuklida Ba-133 program interkomparasi *Asia Pasific Metrology Programme* (APMP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengukuran dengan kurva kalibrasi efisiensi dengan menggunakan koreksi, tanpa menggunakan koreksi dan perbandingan langsung dengan sumber standar Ba-133 Amersham dibandingkan dengan hasil interkomparasi APMP mempunyai perbedaan berturut-turut adalah 1,838%, 1,879% dan 2,692%. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan aktivitas dengan sistem pencacah spektrometer gamma dengan menggunakan nilai koreksi perhitungan mendekati hasil yang sebenarnya.

Kata kunci: Kalibrasi Efisiensi, Analisa double peaks, koreksi perhitungan, Spektrometer Gamma

ABSTRACT

ANALYZE THE “DOUBLE PEAKS” AT 244.7keV and 1112.1keV GAMMA ENERGY OF Eu-152 RADIONUCLIDE FOR EFFICIENCY CALIBRATION USING GAMMA SPECTROMETER. Analyze of the *double peaks* of 244.7 keV and 1112.1 keV gamma energy of Eu-152 radionuclide at efficiency calibration using gamma spectrometer has been done. Analyze of the *double peaks* of 244.7keV and 1112.1keV gamma energy conducted by determining the calculation correction at gamma energy of effect of contribution from gamma energy 251.8keV and 1109.2keV. Calculation correction will determine the wide value of total absorption peaks area at 244.7keV and 1112.1keV gamma energy. Corrective value of calculation at 244.7keV gamma energy equal to 1.005 and 1112.1keV gamma energy equal to 1.012. Result of Efficiency calibration by using correction compared to without using correction have the difference at 244.7 gamma energy equal to 0.5% and 1112.1 gamma energy equal to 1.19%. Efficiency calibration curve both the methods used to measure of Ba-133 radionuclide of *Asia Pacific Metrology Programme* (APMP) inter-comparison program. Result of research indicate that the measurement with the calibration curve the efficiency by using correction, without using

calculation correction and direct comparison with Ba-133 Amersham standard source compared to the result of APMP program had discrepancies respectively that were 1.879%, 2.234% and 2.692%. This indicates that the calculation of radionuclide radioactivity with gamma spectrometer counting system uses statistical methods approximates the true value.

Keywords: Efficiency calibration, analyze of double peaks, Calculation correction, gamma spectrometer

PENDAHULUAN

Spektrometer gamma merupakan alat ukur relatif, berdasarkan analisa spektrum yang terbentuk dari pengukuran sumber radioaktif. Spektrum yang terbentuk seringkali berhimpit bahkan tumpang tindih antara spektrum satu dengan yang lain. Apabila energi gamma berdekatan dan resolusi detektor tidak memisahkan dengan baik, sehingga menyulitkan dalam analisisnya. Selain itu ketepatan dan ketelitian pengukuran tergantung pada kondisi pencacahan dan *set-up* peralatan. Pada pengukuran aktivitas menggunakan spektrometer gamma harus dilakukan kalibrasi efisiensi sebelum melakukan pengukuran. Kalibrasi efisiensi ini biasanya menggunakan sumber standar multigamma seperti Eu-152 atau Ho-166m. Sumber radionuklida Eu-152 mempunyai rentang energi gamma dari 121 – 1408 keV, yang terdiri 21,8keV, 244,7keV, 344,3keV, 411,1keV, 444keV, 778,9keV, 964keV, 1085,8keV, 1112,1 keV dan 1408,1keV¹.

Pada energi gamma 244,7 keV dan 1112,1 keV pada kenyataannya berhimpit dengan energi gamma 251,8 keV dan 1109,2 keV, sehingga cacah energi 244,7keV mendapat sumbangan dari energi gamma 251,8 keV dan cacah energi gamma 1112,1 keV mendapat sumbangan dari energi gamma 1109,2keV. Untuk meningkatkan ketelitian dan keakuratan hasil pengukuran agar diperoleh hasil yang berkualitas, maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan metode analisa pada spektrum yang berhimpit, sehingga hasil kalibrasi efisiensi dapat dipertanggungjawabkan.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa penentuan puncak ganda *double peaks* energi gamma 244,7 keV dan 1112,1 keV dari sumber radioaktif standar multi gamma Eu-152 untuk kalibrasi efisiensi spektrometer gamma. Untuk menguji hasil analisa tersebut dilakukan pengukuran terhadap sumber Ba-133 hasil interkomparasi Asia Pasifik Metrology Programme (APMP).

DASAR TEORI

Pada pengukuran radioaktifitas 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 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.

Pada sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe efisiensi yang sering dipakai adalah efisiensi mutlak. Nilai efisiensi tersebut menurut persamaan :

$$\varepsilon(E) = \frac{cps}{dps \times Y(E)} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$\varepsilon(E)$: efisiensi mutlak pada energi E

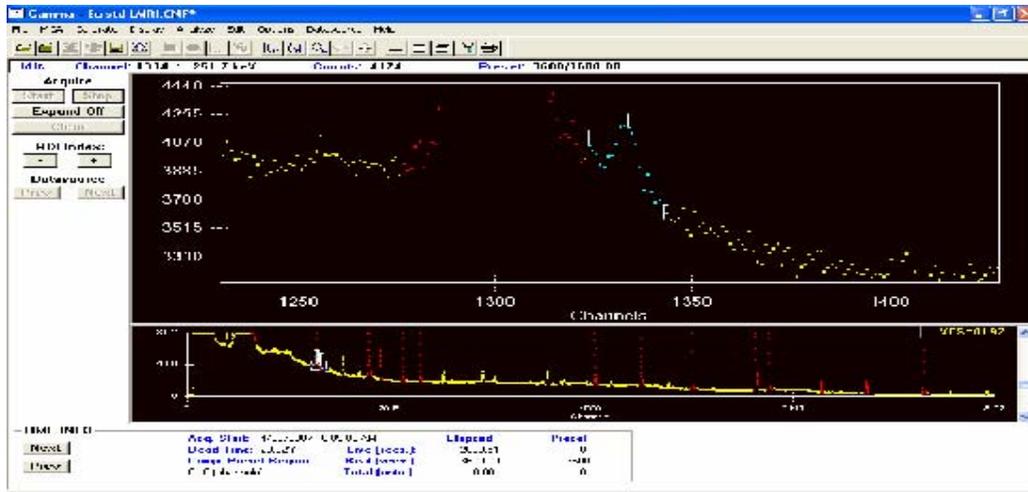
cps : laju cacah per detik

dps : aktivitas standard pada saat pengukuran dilakukan

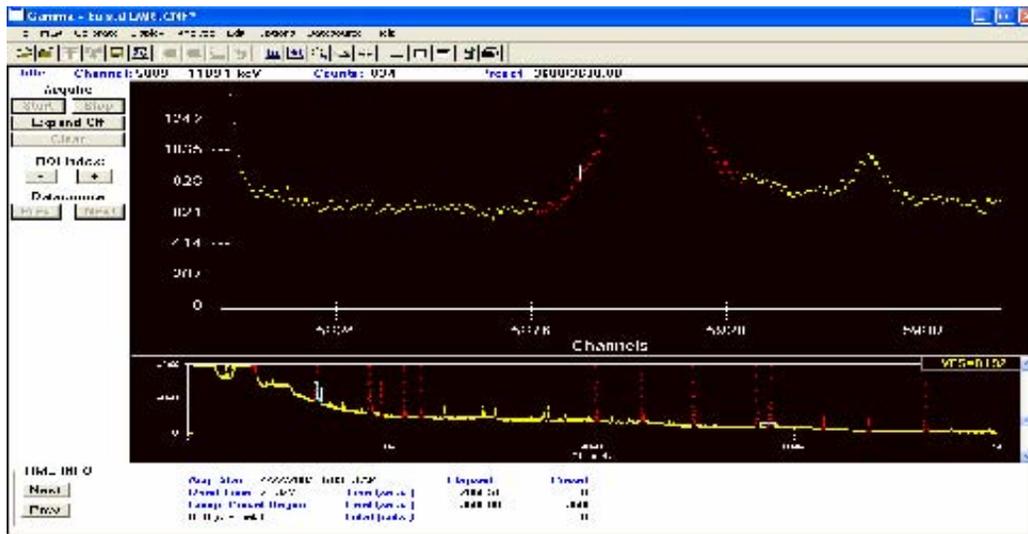
Y(E) : yield sebagai fungsi energi γ

Untuk mencari hubungan antara energi sinar gamma dengan efisiensi detektor maka dilakukan kalibrasi efisiensi yang ditunjukkan dengan 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.

Pencacahan sumber radioaktif standar Eu-152 terlihat pada energi gamma 244,7keV spektrum bersebelahan bahkan dapat dikatakan berhimpit dengan energi gamma 251,8 keV dan pada energi gamma 1112,1 keV spektrumnya berdekatan dengan energi



Gambar 1. Spektrum *double peaks* pada energi gamma 244,7keV



Gambar 2. Spektrum *double peaks* pada energi gamma 1112,1keV

gamma tsb sebesar 1109,2 keV. Spektrum *double peaks* pada energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV disajikan pada Gambar 1 dan 2.

Untuk ketelitian dan keakuratan penentuan luas puncak serapan total maka perlu dilakukan koreksi terhadap sumbangan dari puncak-puncak yang

bersebelahan. Menurut KLAUS DEBERTIN (1978) inter-ferensi puncak energi gamma 251,8 keV terhadap 244,7 keV pada pengukuran Eu-152 berkisar 0,5%. Sedangkan pada puncak energi gamma 1112,1 keV mendapat sumbangan dari energi gamma 1109,2 sebesar 1,2%. Untuk itu perlu dilakukan koreksi

perhitungan pada energi gamma tersebut agar diperoleh nilai yang sebenarnya.

Pada interkomparasi internasional pengukuran Eu-152 menggunakan spektrometer gamma, koreksi nilai luas puncak serapan total pada energi gamma 244,7 keV dirumuskan sebagai berikut :

$$N(244,7) = \{N(244,7) + N(251,8)\} / 1,005 \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

N(244,7) : luas puncak serapan total energi 244,7 keV

N(251,8) : luas puncak serapan total energi 251,8 keV

Sedangkan untuk perhitungan koreksi nilai luas puncak serapan total pada energi gamma 1112,1 keV dirumuskan sebagai berikut :

$$N(1112,1) = \{N(1112,1) + N(1109,2)\} / 1,012. \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

N(1112,7) : luas puncak serapan total energi 1112,7 keV

N(1109,2) : luas puncak serapan total energi 1109,2 keV

BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA **Bahan dan Alat**

Bahan-bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah Sumber standar Eu-152 LMRI, sumber standar Ba-133 Amersham,

Radionuklida Ba-133, 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

Tata Kerja

Kalibrasi efisiensi

Kalibrasi efisiensi sistem pencacah spektrometer gamma dilakukan dengan menggunakan sumber standar multigamma Eu-152 buatan LMRI Perancis dihitung menggunakan dua cara, yaitu:

1. Tanpa koreksi pada energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV:

Kurva kalibrasi dibuat dengan perhitungan menggunakan pers. (1) di atas. Pada perhitungan tersebut nilai efisiensi yang telah diperoleh pada energi gamma 244,7 keV dan 1112,1keV dilakukan tanpa koreksi energi gamma 251,8keV dan 1109,2keV.

2. Koreksi pada energi gamma 244,7keV dan 1112,1:

Kurva kalibrasi dibuat dengan perhitungan menggunakan pers. (1) di atas. Pada perhitungan tersebut nilai

efisiensi yang telah diperoleh pada energi gamma 244,7 keV dan 1112,1keV dilaku-kan dengan koreksi energi gamma 251,8keV dan 1109,2keV. Pada cara ini penentuan luas puncak serapan total sangat menentukan dalam hasil pengukuran

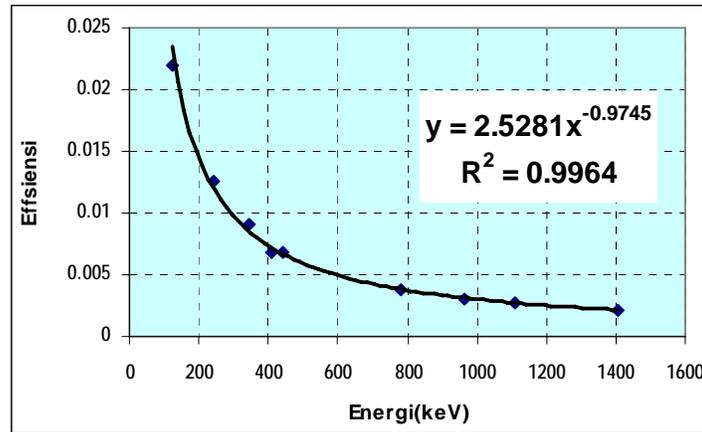
Preparasi dan pencacahan sumber Ba-133

Pembuatan cuplikan sumber Ba-133 dalam bentuk padat (titik) atau *point source* pada penyangga sumber mylar, sebanyak 15 buah. Berat setiap cuplikan ditentukan secara gravimetri menggunakan timbangan semimikro H54R. Masing-masing sampel mempunyai berat yang bervariasi. Selanjutnya cuplikan sumber tersebut dicacah dengan sistem pencacah spektrometer gamma menggunakan detektor HPGe. Jarak pengukuran antara detektor dan sampel adalah 25 cm. Nilai aktivitas sampel Ba-133 ditentukan menggunakan tiga cara yaitu: perbandingan dengan sumber standar Ba-133 buatan Amersham, kurva kalibrasi efisiensi

tanpa dan dengan koreksi pada energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV. Sampel Ba-133 tersebut merupakan radionuklida program interkomparasi dengan APMP. Hasil pengukuran aktivitas sampel Ba-133 menggunakan tiga cara tersebut dibandingkan dengan nilai aktivitas diperoleh dari interkomparasi APMP.

HASIL PEMBAHASAN

Hasil pencacahan menggunakan sumber standar Eu-152 LMRI digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi setiap energi gamma. Dari nilai efisiensi deteksi tersebut dapat dibuat kurva kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi gamma. Kurva kalibrasi efisiensi dari penentuan luas puncak serapan total tanpa koreksi perhitungan pada energi 244,7keV dan 1112,1 keV menggunakan Eu-152 disajikan pada Gambar 3. Sedangkan perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan tanpa koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152 disajikan pada Tabel 1.



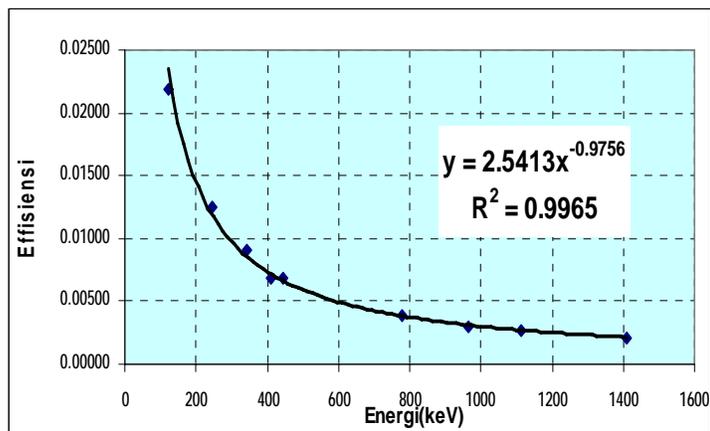
Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152 tanpa koreksi pada energi 244,7keV dan 1112,1keV

Tabel 1. Perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan tanpa koreksi pada energi 244,7keV dan 1112,1 keV

E (keV)	Yield	Net Cps TANPA KOREKSI	Eff terukur (TANPA KOREKSI	Eff perhitungan (TANPA KOREKSI	$\Delta\epsilon$	(()
121.8	0,2837	824,354	0,021927488	0,02346	-0,0015	0,935
244.7	0,0751	125,490	0,01260967	0,01189	0,0007	1,061
344.3	0,2658	321,031	0,009114376	0,00852	0,0006	1,069
+411.1	0,0223	20,224	0,006831596	0,00717	-0,0003	0,953
444	0,0312	28,460	0,006881392	0,00665	0,0002	1,035
778.9	0,1296	66,119	0,003849949	0,00385	0,0000	1,001
964	0,1462	58,744	0,003032165	0,00312	-0,0001	0,970
1112	0,1356	48,774	0,002714308	0,00272	0,0000	0,998
1408	0,2085	58,943	0,002133349	0,00216	0,0000	0,988

Pada kurva kalibrasi efisiensi tanpa koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152 diperoleh nilai korelasi r sebesar 0,9964 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y = 2,5281 X^{-0,9745}$. Nilai efisiensi pada masing-masing energi gamma yang diperoleh dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan pada energi memberikan perbedaan $\Delta\epsilon$ relatif kecil berkisar antara 0 – 0,0015.

Gambar 4 menyajikan kurva kalibrasi efisiensi dari penentuan luas puncak serapan total dengan koreksi pada energi 244,7keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152 dan perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan tanpa koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1 keV menggunakan Eu-152 disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152 dengan koreksi pada energi 244,7keV dan 1112,1keV

Tabel 2. Perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan dengan koreksi pada energi 244.7 keV dan 1112.1keV

E (keV)	Yield	Net Cps DNG KOREKSI	Eff terukur (ϵ) DNG KOREKSI	Eff perhitungan (ϵ_0) DNG KOREKSI	$\Delta\epsilon$	(ϵ/ϵ_0)
121.8	0,2837	824,354	0,02193	0,02346	-0,0015	0,935
244.7	0,0751	124,866	0,01255	0,01188	0,0007	1,056
344.3	0,2658	321,031	0,00911	0,00851	0,0006	1,071
411.1	0,0223	20,224	0,00683	0,00716	-0,0003	0,954
444	0,0312	28,460	0,00688	0,00664	0,0002	1,036
778.9	0,1296	66,119	0,00385	0,00384	0,0000	1,003
964	0,1462	58,744	0,00303	0,00312	-0,0001	0,973
1112	0,1356	48,195	0,00268	0,00271	0,0000	0,989
1408	0,2085	58,943	0,00213	0,00215	0,0000	0,990

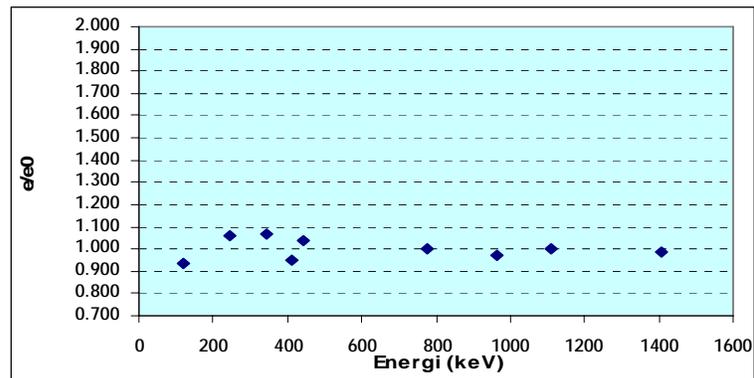
Kurva kalibrasi efisiensi tanpa koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1 keV menggunakan Eu-152 diperoleh nilai korelasi r sebesar 0,9965 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y = 2,5413 X^{-0,9756}$. Nilai efisiensi pada masing-masing energi gamma yang diperoleh dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan

pada energi memberikan perbedaan $\Delta\epsilon$ relatif kecil berkisar antara 0 – 0,0015.

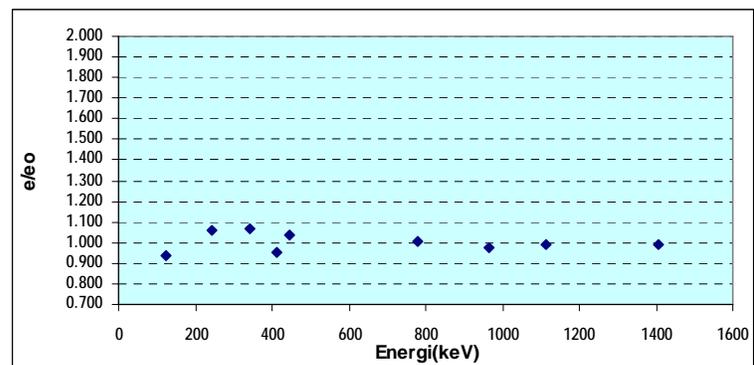
Kurva antara ϵ/ϵ_0 vs energi hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan tanpa koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152 disajikan pada Gambar 5. Sedangkan kurva antara ϵ/ϵ_0 vs energi hasil pengukuran dibandingkan dengan

hasil perhitungan dengan koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152 disajikan pada Gambar 6. Hasil perbandingan antara hasil pengukuran dibandingkan dengan perhitungan tanpa koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV diperoleh hasil

yang cukup baik yaitu antara 0,935 – 1,069 . Perbandingan antara hasil pengukuran dibandingkan hasil perhitungan dengan koreksi pada energi 244keV dan 1112keV diperoleh hasil yang cukup baik juga yaitu antara 0,935 – 1,071.



Gambar 5. Fungsi ϵ/ϵ_0 sebagai fungsi Energi Gamma tanpa koreksi perhitungan pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV



Gambar 6. Fungsi ϵ/ϵ_0 sebagai fungsi Energi Gamma dengan koreksi perhitungan pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV

Perbedaan nilai efisiensi masing-masing energi hasil pengukuran tanpa dan dengan koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152

disajikan pada Tabel 3. Perbedaan nilai efisiensi pada energi 244,7keV dan 1112,1keV adalah 0,5% dan 1,19%.

Tabel 3. Perbandingan Nilai efisiensi antara hasil pengukuran tanpa dan dengan koreksi pada energi 244,7 keV dan 1112,1keV menggunakan Eu-152

E (keV)	Yield	Net Cps TANPA KOREKSI	Net Cps DNG KOREKSI	Effisiensi TANPA KOREKSI	Effisiensi DENGAN KOREKSI	Beda (%)
121,8	0,2837	824,354	824,354	0,021927488	0,021927488	0,00
244,7	0,0751	125,490	124,866	0,01260967	0,012546935	0,50
344,3	0,2658	321,031	321,031	0,009114376	0,009114376	0,00
411,1	0,0223	20,224	20,224	0,006831596	0,006831596	0,00
444	0,0312	28,460	28,460	0,006881392	0,006881392	0,00
778,9	0,1296	66,119	66,119	0,003849949	0,003849949	0,00
964	0,1462	58,744	58,744	0,003032165	0,003032165	0,00
1112	0,1356	48,774	48,195	0,002714308	0,002682123	1,19
1408	0,2085	58,943	58,943	0,002133349	0,002133349	0,00

Efek sumbangan pada energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV oleh energi yang berhimpitan yaitu 251,8keV dan 1109keV disebabkan karena efek penjumlahan korelasi. Efek ini berakibat pada penentuan luas puncak serapan total pada kedua energi tersebut. Untuk mendekati nilai yang sebenarnya maka diperoleh koreksi perhitungan pada energi tersebut.

Faktor koreksi perhitungan pada energi gamma 244,7keV dan 251,1keV adalah 1,005. Sedangkan pada energi gamma 1112,1keV dan 1109,1keV adalah 1,012. Energi gamma 251,8keV memberikan sumbangan pada energi gamma 244,7keV. Sehingga pada penentuan luas puncak serapan total pada energi gamma 244,7 keV merupakan gabungan dengan energi gamma 251,8keV.

Pada energi gamma 1109,1 keV juga akan memberikan sumbangan pada energi gamma 1112,1keV sehingga pada penentuan luas puncak serapan total pada energi gamma 1112,1 merupakan gabungan dengan energi gamma 1109,1keV. Perbedaan nilai efisiensi tanpa dan dengan koreksi perhitungan energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV adalah 0,5% dan 1,19%.

Untuk menguji hasil pengukuran aktivitas radionuklida maka hasil kalibrasi efisiensi hasil pengukuran tanpa dan dengan koreksi pada energi 244 keV dan 1112keV maka dilakukan pengukuran aktivitas radionuklida Ba-133. Radionuklida Ba-133 ini merupakan radionuklida hasil antar banding pengukuran aktivitas yang dikoordinir Asia-Pacific Metrology Programme. Hasil pengukuran aktivitas Ba-133 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Aktivitas Sampel Ba-133

	Aktivitas(kBq/g)	Perbedaan dengan APMP (%)
APMP	1841,57 ± 0,44%	
Dengan Koreksi	1875,417 ± 1,37%	1,838
Tanpa Koreksi	1876,165 ± 1,39%	1,879
Perbandingan langsung dengan sumber standar Ba-133	1891,15 ± 3,14%	2,692

Dari tabel di atas terlihat bahwa hasil pengukuran aktivitas radionuklida Ba-133 dengan koreksi bila dibandingkan hasil pengukuran APMP mempunyai perbedaan yang kecil yaitu 1,838%. Hasil pengukuran dengan koreksi ini lebih mendekati hasil APMP bila dibandingkan tanpa koreksi dan perbandingan langsung dengan perbedaan berturut-turut 1,879% dan 2,692%.

KESIMPULAN

Pada analisa *double peaks* pada energi gamma 244,7keV dan 1112keV sumber radioaktif standar Eu-152 pada kalibrasi efisiensi menggunakan spektrometer gamma dengan koreksi pada energi gamma 251,8keV dan 1109,2keV, diperoleh nilai efisiensi deteksi sistem pencacah pada energi 251,8keV dan 1109,2keV yang diperhitungkan dengan luas puncak serapan total pada energi tersebut.

Perbedaan perhitungan nilai efisiensi pada kurva kalibrasi efisiensi sistem pencacah spektrometer gamma

menggunakan Eu-152 antara tanpa dan dengan koreksi pada 244,7keV dan 1112keV cukup kecil, yaitu pada energi gamma 244,7keV dan 1112,1keV berturut-turut adalah 0,5% dan 1,19%. Untuk penelitian di bidang metrologi radiasi hal ini perlu dilakukan untuk memperoleh hasil ketelitian dan keakuratan hasil pengukuran.

Perbedaan pengukuran aktivitas radionuklida Ba-133 program interkomparasi APMP menggunakan kurva kalibrasi efisiensi dengan koreksi, tanpa koreksi dan perbandingan langsung dengan sumber standar Ba-133 Amersham bila dibandingkan dengan pengukuran hasil interkomparasi APMP berturut-turut adalah 1,838%, 1,879% dan 2,692%. Pengukuran aktivitas radionuklida Ba-133 dengan spektrometer gamma dengan koreksi mendekati hasil APMP, sehingga metode ini perlu dilakukan dalam pengolahan data spektrometer gamma.

DAFTAR PUSTAKA

1. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, A Handbook of

- Radioactivity Measurements
Procedures, NCRP Report No. 58,
November 1978.
2. ICRP PUBLICATION 38,
Radionuclide Transformation Energy
& Intensity of Emissions, Vol. 11-13,
Pergamon Press, Oxford.
 3. K. DEBERTIN AND RG. HELMER,
Gamma and X-Ray Spectrometry
With Semiconductor Detector, 1988
 4. DEBERTIN, SCHOTZIG, KF WALZ,
Efficiency Calibration of
Semiconductor Spectrometers
Techniques and Accurate, PTB
GERMANY
 5. DEBERTIN, International Inter-
comparison of Gamma-Ray Emission
Rate Measurement by Means of
Germanium Spectro-meters and ^{152}Eu
Sources
 6. APMP/ TCRI. APMP comparison of
the activity measurements of ^{133}Ba ,
2006.
 7. DEBERTIN, A Guide and Instruction
for Determining Gamma-ray
Emission Rates with Germanium
Detector Systems, PTB, 1985.
 8. WISNU SUSETYO, Instrumentasi
Nuklir II, BATAN

KALIBRASI DOSIMETER STANDAR FARMER TERHADAP DOSIMETER STANDAR KEITHLEY DI LABORATORIUM DOSIMETRI IAEA

Nurman Rajagukguk

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Batan

ABSTRAK

KALIBRASI DOSIMETER STANDAR FARMER TERHADAP DOSIMETER STANDAR KEITHLEY DI LABORATORIUM DOSIMETRI IAEA. Makalah ini menguraikan kalibrasi dosimeter standar Farmer yang terdiri dari elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1319 yang dihubungkan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154 terhadap dosimeter standar milik Laboratorium Dosimetri IAEA yang terdiri dari elektrometer Keithley tipe 6517 no. seri 0736002 yang dihubungkan dengan detektor ionisasi volume 0,33 cc tipe NE 2611 no. seri 211. Seluruh kalibrasi dilakukan dengan metoda substitusi. Detektor ionisasi dan elektrometer dikalibrasi dalam besaran kerma udara N_K dan dosis serap di air $N_{D,w}$ untuk berkas radiasi Co-60. Kalibrasi dilakukan baik untuk sistem (detektor + elektrometer) dan hanya detektor. Faktor kalibrasi dalam besaran kerma udara N_K dan dosis serap di air $N_{D,w}$ dari sistem dosimeter ditentukan sebagai perbandingan laju kerma udara dan dosis serap di air yang diperoleh dengan dosimeter standar IAEA dengan dosimeter yang dikalibrasi setelah dikoreksi tekanan udara dan temperatur ruang. Faktor kalibrasi dalam besaran kerma udara N_K dan dosis serap di air $N_{D,w}$ dari detektor sendiri (kalibrasi hanya detektor) ditentukan sebagai perbandingan laju kerma udara dan dosis serap di air yang diperoleh dengan dosimeter standar IAEA dengan arus dari detektor yang dikalibrasi setelah dikoreksi tekanan udara dan temperatur ruang. Kalibrasi dalam besaran kerma udara dilakukan di udara bebas pada jarak sumber radiasi ke detektor 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm sedangkan kalibrasi dalam besaran dosis serap di air dilakukan dengan meletakkan detektor di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm dengan jarak sumber radiasi ke detektor 100 cm dan lapangan radiasi pada bidang acuan 10 cm x 10 cm. Hasil kalibrasi yang diperoleh menunjukkan bahwa faktor kalibrasi kerma udara untuk sistem dosimeter adalah 41,3 mGy/digit \pm 0,3 %, untuk detektor sendiri adalah 41,2 mGy/nC \pm 0,3 % dan faktor kalibrasi dosis serap di air adalah 45,4 mGy/digit \pm 0,5 % dan untuk detektor sendiri 45,3 mGy/nc \pm 0,5 %. Dibandingkan dengan kalibrasi terakhir, tidak terdapat perubahan yang signifikan pada sistem dosimeter maupun detektornya.

Kata kunci : kalibrasi, faktor kalibrasi kerma udara, faktor kalibrasi dosis serap di air, metoda substitusi, detektor ionisasi, elektrometer, dosimeter Farmer, dosimeter Keithley

ABSTRACT

CALIBRATION OF A FARMER STANDARD DOSEMETER AGAINST A KEITHLEY STANDARD DOSEMETER AT THE IAEA DOSIMETRY LABORATORY. This paper presents the calibration of a Farmer standard dosimeter consists of an electrometer of type NE 2570/1B serial number 1319 connected with a 0.6 cc ionization chamber of type NE 2571 serial number 1319 against the IAEA reference standard dosimeter consists of a Keithley electrometer of type 6517 serial number 0736002 connected with a 0.33 cc ionization chamber of type NE 2611 serial number 211. All calibration has been performed by substitution method. The ionization chambers and

electrometer were calibrated at the IAEA Dosimetry Laboratory in term of air kerma N_K and absorbed dose to water $N_{D,w}$ for Co-60 gamma beam. Calibration were made for a system composed of an ionization chamber plus an electrometer or for an ionization chamber only. The air kerma N_K and absorbed dose to water $N_{D,w}$ calibration factors of the system (system calibration) were determined as the ratio of the air kerma and absorbed dose to water rate obtained with the IAEA reference standard, and the reading of the dosimeter corrected for the influence quantities P and T. The air kerma N_K and absorbed dose to water calibration factors of the chamber (when calibrating detector only) were determined as the ratio of the air kerma and absorbed dose rate obtained with the IAEA reference standard, and the ionization current from the chamber under calibration corrected for the influence quantities P and T. The calibration in term of air kerma has been performed free in air at the source to the detector distance of 100 cm and field size of 10 cm x 10 cm, and for the absorbed dose calibration the detector was placed inside a water phantom at 5 cm depth with the source to the detector distance of 100 cm and the field size at the reference plane of 10 cm x 10 cm. The results obtained showed that the air kerma calibration factor for the dosimeter system was 41.3 mGy/digit \pm 0.3 %, for the detector only was 41.2 mGy/nC \pm 0.3 % and the absorbed dose calibration factor for the dosimeter system was 45.4 mGy/digit \pm 0.5 % and for the detector only was 45.3 mGy/nC \pm 0.5 %. Compared to the previous calibration, there were no significant changes both for the dosimeter system and its detector.

Keywords : calibration, air kerma calibration factor, absorbed dose calibration factor, substitution methode, ionization chamber, electrometer, Farmer dosimeter, Keithley dosimeter.

PENDAHULUAN

Dosimeter Farmer yang terdiri dari elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1319 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154 merupakan dosimeter standar tertinggi untuk tingkat terapi yang digunakan untuk mengkalibrasi dosimeter standar kerja di Laboratorium Metrologi Radiasi, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi –BATAN.

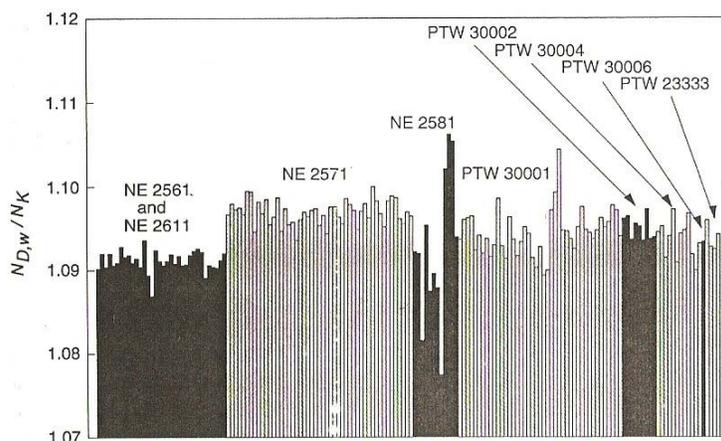
Dosimeter tersebut di atas pernah dikalibrasi di Laboratorium Dosimetri

IAEA pada tahun 2001 dalam besaran kerma udara dan dosis serap di air¹. Faktor kalibrasi dalam besaran kerma udara N_K digunakan untuk menentukan keluaran pesawat terapi berdasarkan protokol IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 277 dengan judul Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams : An International Code of Practice². Sedangkan faktor kalibrasi dalam besaran dosis serap di air $N_{D,w}$ berdasarkan protokol IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dengan

judul Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy ; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water³.

Dasar pemikiran untuk mengkalibrasi detektor ionisasi dari besaran kerma udara menjadi dosis serap di air adalah untuk mengurangi ketidakpastian dalam penentuan dosis serap sebuah pesawat teleterapi. Pengukuran yang didasari pada kalibrasi di udara dalam besaran kerma udara membutuhkan faktor konversi yang bergantung pada detektor ketika digunakan untuk menentukan dosis serap di air dari sebuah pesawat teleterapi. Faktor konversi ini

tidak memper-timbangkan perbedaan - perbedaan individu detektor dari suatu tipe tertentu. Sebaliknya kalibrasi dalam besaran dosis serap di air dapat dilakukan sesuai dengan kondisi yang sama ketika detektor tersebut digunakan untuk menentukan dosis serap di air sebuah pesawat teleterapi. Dengan demikian respon masing-masing individu detektor dipertimbangkan. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan variasi beberapa detektor, yang menggambarkan kekurangan konstansi dalam ratio $N_{D,w}/N_K$ terhadap berkas radiasi Co-60 untuk sejumlah detektor yang digunakan dalam dosimetri radioterapi³.



Gambar 1. Nilai ratio dari faktor kalibrasi untuk berkas radiasi Co-60 $N_{D,w}/N_K$ adalah indikator yang berguna dari keseragaman dalam suatu tipe detektor tertentu

Dalam kalibrasi alat ukur radiasi standar, dosimeter biasanya dikalibrasi sebagai suatu sistem yang terdiri dari

elektrometer dan detektornya⁴. Namun perkembangan menunjukkan bahwa kalibrasi dapat juga dilakukan secara

terpisah artinya hanya detektornya saja yang dikalibrasi (component calibration)⁵. Hal ini dengan pertimbangan bahwa untuk sebuah elektrometer yang dirangkaikan dengan beberapa buah detektor, membawa detektornya ke laboratorium kalibrasi akan lebih ringan dan mengurangi risiko dibandingkan dengan membawa satu sistem dosimeter.

Sesuai dengan perkembangan tersebut di atas maka kalibrasi dosimeter Farmer tersebut di atas dilakukan baik secara sistem maupun secara terpisah. Dengan demikian dapat diperoleh nilai faktor kalibrasi sistem dosimeter dan

detektornya saja. Dengan terkalibrasinya dosimeter tersebut maka Laboratorium Metrologi Radiasi, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN dapat memelihara ketertelusuran dosimeter standarnya ke laboratorium primer.

Makalah ini menguraikan kalibrasi dosimeter Farmer tersebut di atas yang dilakukan di Laboratorium Dosimetri IAEA, Austria. Dibahas juga hasil kalibrasinya dibandingkan dengan kalibrasi sebelumnya di laboratorium yang sama untuk mengetahui stabilitas jangka panjang dosimeter tersebut.



a



b

Gambar 2. Elektrometer Keithley tipe 6517 milik Laboratorium Dosimetri IAEA a) dan elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B milik Laboratorium Metrologi Radiasi, PTKMR-BATAN b)

TINJAUAN PUSTAKA

Metoda Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan metoda substitusi artinya detektor standar dan detektor yang dikalibrasi disinari

secara bergantian pada suatu jarak yang sama terhadap sumber radiasi. Kemudian bacaan masing masing dibandingkan. Faktor kalibrasi dosimeter diperoleh

dengan menggunakan persamaan 1 di bawah ini.

$$FK = \frac{M_{s\ tan\ dar} \cdot FK_{s\ tan\ dar}}{M}$$

..... (1)

dengan

- FK : faktor kalibrasi dalam besaran kerma udara atau dosis serap air (Gy/digit)
- $M_{standar}$: bacaan dosimeter standar terkoreksi temperatur dan tekanan udara (nC)
- $FK_{standar}$: faktor kalibrasi dosimeter standar (Gy/nc)
- M : bacaan dosimeter yang dikalibrasi terkoreksi temperatur dan tekanan udara (digit)

Kalibrasi Dalam Besaran Kerma Udara

Kalibrasi dalam besaran udara dilakukan di udara bebas. Detektor bersama *build-up cap* (selubung penimbul) diletakkan di udara dengan titik acuan detektor terletak pada sumbu utama berkas radiasi. Sumbu detektor tegak lurus terhadap sumbu utama berkas radiasi. Jarak dari sumber radiasi ke titik acuan detektor 100 cm.

Kalibrasi Dalam Besaran Dosis Serap Air

Kalibrasi dalam besaran udara dilakukan di dalam fantom air. Detektor yang dilindungi dengan selubung PMMA diletakkan di dalam fantom air pada

kedalaman 5 cm dengan titik acuannya terletak pada sumbu utama berkas radiasi. Jarak sumber radiasi ke titik acuan detektor adalah 100 cm dengan lapangan radiasi pada bidang acuan 10 cm x 10 cm.

Kalibrasi Sistem dan Komponen Dosimeter

Dalam kalibrasi alat ukur radiasi ada dua cara yang dapat dilakukan. Pertama adalah dengan mengkalibrasi sistem dosimeter yaitu detektor dan elektrometer dikalibrasi sebagai suatu sistem (system calibration). Sedangkan cara kedua hanya detektornya saja yang dikalibrasi (component calibration). Kalibrasi sistem dosimeter dilakukan dengan membandingkan bacaan sistem dosimeter (detektor+elektrometer) dengan sistem dosimeter standar. Sedangkan untuk mengkalibrasi detektor saja, elektrometer yang digunakan adalah elektrometer standar.

PERALATAN DAN TATA KERJA Peralatan

a. Sumber Radiasi

Sebagai sumber radiasi kalibrasi alat ukur radiasi tingkat terapi digunakan pesawat Co-60 Picker V4/60 dengan laju kerma udara 238 mGy/menit pada jarak 100 cm , lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dan laju dosis serap di air 239

mGy/menit pada kedalaman 5 cm dengan sumber radiasi ke detektor 100 cm dan lapangan radiasi di bidang acuan 10 cm x 10 cm.

b. Dosimeter Standar

Sebagai dosimeter standar untuk kalibrasi alat ukur radiasi tingkat terapi digunakan elektrometer Keithley 6517 no. seri 0736002 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi volume 0,33 cc tipe NE 2611 no. seri 211⁶. Elektrometer Keithley dan detektor NE 2611 dikalibrasi secara sistem dan komponen di laboratorium standar primer BIPM, Perancis. Elektrometer Keithley tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.a, sedangkan detektor volume 0,33 cc tipe NPL 2611 dapat dilihat pada Gambar 3

c. Dosimeter Yang Dikalibrasi

Dosimeter yang dikalibrasi adalah elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1319 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154^{7,8}. Dosimeter ini memiliki faktor kalibrasi sistem dalam

besaran kerma udara $N_K = 41,3 \pm 0,2$ mGy/digit, faktor kalibrasi detektor saja = $41,3 \pm 0,2$ mGy/nC dan faktor kalibrasi sistem dalam besaran dosis serap di air $N_{D,w} = 45,4 \pm 0,2$ mGy/digit. Elektrometer Farmer tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.b dan detektornya dapat dilihat pada Gambar 3.

TATA KERJA

1. Kalibrasi sistem

1.1. Kalibrasi Dalam Besaran Kerma Udara

Kalibrasi dalam besaran kerma udara dilakukan di udara pada jarak sumber radiasi ke detektor 100 cm dengan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Susunan peralatan dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini. Mula-mula dilakukan pengecekan kebocoran arus dari kedua dosimeter. Setelah itu detektor standar dan detektor yang dikalibrasi disinari secara bergantian. Pengambilan data dilakukan sebanyak sepuluh buah. Tekanan udara dan temperatur dicatat.



Gambar 3. Kalibrasi dosimeter dalam besaran kerma udara. Jarak sumber radiasi ke detektor 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm

1.2. Kalibrasi Dalam Besaran Dosis Serap Di Air

Kalibrasi dalam besaran dosis serap di air dilakukan di dalam fantom air berukuran 30cm x 30cm x 30cm. Detektor ditempatkan dalam selubung pelindung dan kemudian diletakkan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm. Jarak

sumber radiasi ke titik acuan detektor adalah 100 cm dengan lapangan radiasi pada bidang acuan tersebut adalah 10 cm x 10 cm. Susunan peralatan dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini. Selanjutnya dilakukan langkah-langkah seperti pada kalibrasi dalam besaran kerma udara.



Gambar 4. Kalibrasi dosimeter dalam besaran dosis serap di air. Jarak sumber radiasi ke detektor 100 cm dengan lapangan radiasi pada bidang acuan 10 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 5 cm

2. Kalibrasi Terpisah (komponen)

Dalam kalibrasi terpisah (component calibration), yang dikalibrasi hanya detektor. Untuk mengkalibrasi detektor saja maka detektor yang dikalibrasi tidak dihubungkan dengan elektrometer pasangannya melainkan dihubungkan dengan elektrometer standar yang digunakan untuk mengkalibrasi sistem dosimeter. Langkah kerjanya sama dengan kalibrasi dalam besaran kerma udara dan dosis serap di air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi secara sistem dosimeter standar Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1319 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154 dengan faktor kalibrasi dalam besaran kerma udara dan dosis serap di air dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini⁹. Pada tabel tersebut disajikan juga faktor kalibrasi yang lama dalam besaran yang sama.

Tabel 1. Hasil kalibrasi sistem (elektrometer + detektor) yang baru dan lama dari dosimeter standar Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1319 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154

No.	Besaran Faktor Kalibrasi	Notasi Faktor Kalibrasi	Faktor Kalibrasi Baru (mGy/digit)	Faktor Kalibrasi Lama (mGy/digit)	Perbedaan (%)
1.	Kerma Udara	N_K	$41,3 \pm 0,3 \%$	$41,3 \pm 0,2 \%$	0
2	Dosis Serap air	$N_{D,w}$	$45,4 \pm 0,5 \%$	$45,4 \pm 0,2 \%$	0

Tabel 2. Hasil kalibrasi terpisah (hanya detektor) yang baru dan lama dari detektor ionisasi standar Farmer volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154

No.	Besaran Faktor Kalibrasi	Notasi Faktor Kalibrasi	Faktor Kalibrasi Baru (mGy/nC)	Faktor Kalibrasi Lama (mGy/nC)	Perbedaan (%)
1.	Kerma Udara	N_K	$41,2 \pm 0,3 \%$	$41,3 \pm 0,2 \%$	0,2
2	Dosis Serap air	$N_{D,w}$	$45,3 \pm 0,5 \%$	$45,4 \pm 0,2 \%$	0,2

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa tidak terdapat perubahan respon sistem dosimeter tersebut (elektrometer + detektor) antara kalibrasi pada tahun

2001 dan tahun 2007. Sedangkan dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang tidak signifikan sebesar 0,2 % pada respon detektor itu sendiri.

Perubahan respon pada detektor namun tidak merubah respon pada sistem dosimeter ini disebabkan karena ketika kalibrasi detektor saja elektrometer standar Keithley yang digunakan lebih peka dibandingkan dengan elektrometer Farmer sehingga mampu membaca perubahan yang kecil pada detektor.

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 diperoleh nilai ratio $N_{D,w}/N_K$ masing-masing 1,099 dan 1,100. Dengan membandingkan hasil ini dengan nilai ratio $N_{D,w}/N_K$ yang terdapat pada Gambar 1, terdapat kesesuaian yang cukup baik karena ke dua nilai tersebut di atas berada pada rentang nilai pada gambar tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa hasil kalibrasi dosimeter tersebut cukup baik.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi perubahan respon yang signifikan pada sistem dosimeter standar untuk tingkat terapi yang terdiri dari elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1319 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 3154. Demikian juga halnya dengan detektor yang hanya mengalami perubahan respon yang kecil Hal ini

menunjukkan bahwa elektrometer dan detektor sistem tersebut memiliki stabilitas jangka panjang yang cukup baik.

Dari nilai rasio $N_{D,w}/N_K$ yang diperoleh menunjukkan bahwa hasil kalibrasi dosimeter tersebut sudah sesuai dengan data referensi.

Dengan terkalibrasinya dosimeter tersebut di atas maka Laboratorium Metrologi Radiasi, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN dapat tetap memelihara ketertelusuran dosimeter standarnya ke laboratorium standar primer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf IAEA yang telah memungkinkan pengukuran ini dapat terlaksana

DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Calibration certificate No. IDN/03/01, Dosimetry and Medical Radiation Physics Section IAEA, Vienna, 2001
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of

- Practice, Technical Report Series No.277, IAEA, Vienna ,1987
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy; An International Code of Practice for Dosimetry Base on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna , 2000
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Calibration of Dosemeters used in Radiotherapy, Technical Report Series No. 374, IAEA, Vienna, 1984
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance System, Ionization Chamber Calibration Procedures at The IAEA Dosimetry Laboratory, 2005
6. Instruction Manual for NPL Secondary Standard, Therapy Level X-Ray Exposure Meter Type 2560, NE Technology Limited, England, 1972.
7. NE TECHNOLOGY LIMITED. Instruction Manual for 2570A and 2570B Farmer Dosemeter, England, 1984.
8. Instruction Manual for 0.6 cc Ionization Chamber (Guarded Stem) Type 2571 and 2581, NE Technology Limited , England, 1997
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Draft of Calibration certificate No. INS/2007/03, Dosimetry and Medical Radiation Physics Section IAEA, Vienna, 2007

STUDI PEMANFAATAN BIOGAS PADA PEMBUATAN SOUN DENGAN STRATEGI PRODUKSI BERSIH

Achmad Arslan dan Budiarto***

*) Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Serang, Banten
Jln. Sudirman no.1, Kabupaten Serang, Banten

***) Pusat Pengembangan Energi Nuklir - BATAN

ABSTRAK.

STUDI PEMANFAATAN BIOGAS PADA PEMBUATAN SOUN DENGAN STRATEGI PRODUKSI BERSIH. Telah dilakukan studi pembuatan tepung aren melalui strategi produksi bersih. Potongan batang aren kemudian dipecah membujur menjadi empat bagian sehingga nampak empelur yang mengandung sel-sel *parenchym* penyimpan tepung. Strategi produksi bersih yang diterapkan disini adalah memanfaatkan produk-produk lain (selain tepung aren) menjadi bahan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Khusus serat-serat panjang dapat digunakan untuk kasur tempat duduk (kursi atau jok mobil) dan makanan ternak (sapi, kuda) setelah diproses fermentasi atau cukup dicampur dengan dedak limbah penggilingan gabah. Sedangkan cairan mengandung bahan organik yang dapat diolah dengan fermentasi anaerobik menghasilkan biogas yang dapat digunakan untuk memasak dalam pembuatan soun. Cairan yang dihasilkan jika tidak diproses terlebih dahulu maka akan menyebabkan timbulnya bau disekitar lingkungan dan air sungai menjadi keruh kecoklatan yang disebabkan oleh proses pematangan dan pengendapan. Cairan penyaringan awal yang belum tercampur kaporit lebih kurang 3 m³ perhari dengan melalui proses fermentasi anaerobik (Fixed Bed Digester) dapat menghasilkan biogas lebih kurang 5 meter kubik perhari dengan kandungan metan 80 % digunakan untuk memasak di dapur pemilik usaha pembuat tepung aren.

Kata kunci : tepung aren, biogas, anaerobik

ABSTRACT

THE STUDY OF BIOGAS UTILIZATION OF SOUN PRDUCTION TROUGH CLEANER PRODUCTION STRATEGY. The each of the trunk of Sugar palm (Aren) flour was split into 4 pieces and can be seen the white part that consist of parenchyma where the flour is collected. Using a grating machine the flour mixed with fibrous and other powder was separated from the trunk. The Clean production strategy applied in this industry is how to utilize other product (beside Aren flour) as a material could be utilize for human life. Direct utilization is used for cooking fuel, or could be made as organic fertilizer or compost that can improve the structure of land and cattle or horse feed after fermentation processed and mixed with bran-rise. Utilization of long fiber with higher economic values is made as a filler of chair (usually for car). Get through filter liquid consist of high organic that can be process by anaerobic fermentation to produce biogas and can utilized as fuel for house cooking or mi-un cooking. The liquid will make an environmental problem, it will make if not be treat and directly trough away to the river. The first get through filter liquid that was produced if being not processed before then will cause the emergence to be smelly in and around the environment and the river water became turbid brownish that was caused by the process of the grating and the sedimentation. The beginning screening liquid that was not added yet with chlorine approximately 3 m³ per day is feed through the process of anaerobic fermentation (Fixed Bed Digester) could produce biogas approximately 5 m³ per day with the content of

methane 80 % was used to cook in the owner's kitchen of the manufacturer's efforts of sugar palm flour.

Keywords: sugar palm flour, biogas, anaerobic

PENDAHULUAN

Deskripsi Situasi dan Kondisi

Dukuh Legok, Desa Drangong, Kecamatan Taktakang, Kota Serang diperkirakan dari berpenduduk 1990 orang atau mencapai 420 KK. Sebagian penduduk melakukan usaha rumah tangga pembuatan tepung aren diperkirakan terdapat hingga 25 pengusaha kecil di wilayah ini.

Kegiatan pembuatan tepung aren ini mendatangkan batang aren dari daerah sekitarnya. Batang-batang yang didatangkan dalam bentuk potongan lebih kurang satu meter. Setiap pengangkutan batang ini mencapai berat 10 ton per truk.

Dari pengusaha pembuatan tepung aren ini tidak semua beroperasi setiap hari. Pada umumnya mereka melakukan proses pembuatan jika ada bahan baku yang datang (dari satu truk pengiriman). Untuk menghabiskan bahan baku ini membutuhkan waktu 3 hari. Sehingga secara rata-rata hampir kegiatan usaha rumah tangga ini beroperasi tiga hari seminggu. Tetapi ada beberapa usaha yang menerima pengerjaan dari bahan baku milik orang lain sehingga unit ini dapat beroperasi setiap hari mulai

jam 7.30 hingga jam 12.00 WIB. Tepung yang dihasilkan sebagian besar dijual kepada pembuat soun atau tepung Hun Kwe atau mereka olah sendiri menjadi soun.

Oleh karena diketahui bahwa bahan baku pembuatan tepung adalah bahan organik yang dapat diolah lebih lanjut dengan teknologi pencernaan biologis maka diusulkan produk belum terolah yang sampai saat ini belum tertangani dapat diolah lebih lanjut.

Padatan hasil penyaringan awal berupa ampas dapat diolah lebih lanjut dengan melakukan penyaringan untuk memisah-kan tepung yang ada dengan serat batang dimana tepungnya dapat digunakan sebagai bahan baku pakan ternak dengan memberikan teknologi yang sesuai atau paling tidak diolah dengan teknologi pencernaan aerobik untuk menstabilkan-nya dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk alam sedangkan serat-serat yang tersisa dapat digunakan sebagai bahan baku dinding lunak (*soft board*) juga dapat dipakai sebagai bahan pengisi kursi atau keperluan lain yang sesuai.

Produk belum terolah berupa cairan sebelum proses pemutihan dapat diumpungkan ke dalam tangki pencerna anaerobik untuk mengurangi bahan organik yang dikandungnya dengan hasil samping proses anaerobik tersebut berupa gas Bio yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk selanjutnya baru dapat diolah ke dalam proses pengolahan limbah. Sedangkan cairan hasil pemutihan tidak dapat diolah dengan proses biologis karena mengandung kaporit yang akan membunuh bakteri proses biologis.

Aren

Aren (*Arenga pinnata*) merupakan tumbuhan berbiji dan menyebar di sejumlah wilayah Indonesia. Di beberapa daerah, pohon aren ini dikenal dengan sebutan enau. Tanaman ini mirip dengan pohon kelapa, hanya dibedakan bagian batang. Jika batang pohon cukup bersih, maka pohon aren banyak dibalut ijuk berwarna hitam dan sangat kuat.¹

Semua bagian pohon aren dapat dimanfaatkan, mulai dari akar untuk obat tradisional, batang untuk peralatan dan bangunan, dan daun muda atau janur sebagai pembungkus rokok dan upacara keagamaan. Selain itu, buah aren muda dapat dibuat kolang-kaling (untuk makanan pembuka puasa), air nira sebagai bahan pembuatan gula merah atau cuka.

Sedangkan pati atau tepung dalam batang sebagai bahan dasar pembuatan berbagai macam makanan. Sumber air nira terletak di pucuk pohon aren dengan ketinggian antara 7-15 meter. Dalam membuat tepung, biasanya diambil dari batang aren yang sudah berumur lebih dari 20 tahun. Tepung aren digunakan untuk pembuatan bermacam-macam produk makanan seperti soun, cendol, bakmi, dan hun kwe. Cara pembuatan tepung ini pun tidaklah terlalu sulit. Potongan batang aren dengan panjang lebih kurang 1 meter dipecah membujur lalu diambil bagian dalam berupa empelur yang mengandung sel-sel *parenchym* penyimpan tepung. Empelur ini lalu diparut untuk mendapatkan tepung^{2,3}. Jika batang dapat dibuat tepung, maka ijuk dari pohon aren sangat terkenal kualitasnya. Ijuk yang melingkari batang aren dapat dibuat tali dalam bangunan tradisional hingga menjadi alat resapan air di lapangan-lapangan golf.

METODOLOGI

Proses pembuatan Tepung Aren

Proses pembuatan tepung aren yang dilakukan di Dukuh Legok, Desa Drangong, Kecamatan Taktakang, Kota Serang, meliputi tiga besar aktivitas terdiri dari:

- A. Penyiapan bahan baku
- B. Penyaringan bahan baku
- C. Pemutihan bahan
- D. Pembuatan Soun

Penyiapan bahan baku

Bahan baku sebagaimana dijelaskan diatas didatangkan dari daerah sekitar kabupaten Serang menggunakan truk berjumlah lebih kurang 110 – 115 potongan atau kira-kira 10 ton bahan mentah untuk setiap pengangkutan. Bahan baku berupa potongan sepanjang 1 meter dibelah menjadi tiga atau empat bagian (tergantung besarnya batang). Setelah siap dalam bilah-bilah maka dilakukan pamarutan untuk diambil empelur dari batang tersebut.

Dari setiap batang diperkirakan 80 % bahan terambil menjadi bahan baku tepung sedangkan sisanya berupa kulit batang yang keras tersisa antara 2 hingga 10 kg per bilah (tergantung dari bagian ujung atau pangkal pohon). Kulit batang aren sisa pamarutan dijemur untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar untuk bilah ringan (bagian ujung pohon) sedangkan bagian pangkal/bawah pohon dimanfaatkan sebagai bahan baku kerajinan (sebagian dikirim ke Bali).

Hasil parutan disaring dengan saringan halus diatas bak dengan ukuran 1,5 x 1,25 x 1,5 meter untuk diambil

patinya. Sedangkan ampas penyaringan yang secara phisik masih sejumlahnya asalnya sampai saat ini belum termanfaatkan dan tertumpuk disamping rumah. Diperkirakan setiap proses masih tersisa sekitar 7 ton ampas.

Pengayakan bahan baku

Pengayakan dilakukan oleh ibu-ibu setelah mereka selesai mempersiapkan kebutuhan rumah tangganya. Upah pekerja mencapai Rp. 8000,- per orang per hari ditambah makan siang. Bila diperlukan pekerjaan tambahan maka dapat dilakukan antara pukul 13.00 hingga 15.00 dengan upah Rp. 4000,- per orang per hari. Hasil pengayakan awal diaduk-aduk untuk memisahkan bahan pati dengan pengotor, untuk selanjutnya diterapkan beberapa waktu untuk mengumpulkan pati. Setelah mengendap cairan diatasnya dibuang/dikuras hingga tersisa patinya. Pati yang ada dikumpulkan dari 4 – 6 bak penyaringan menjadi 2 - 3 bak untuk dilakukan pemutihan dengan menambahkan kaporit pada tahap berikut.

Pemutihan bahan

Pati hasil pengayakan dan pemurnian awal diolah lebih lanjut oleh penampung pati awal lagi agar menjadi lebih putih dengan menambahkan bahan pemutih (kaporit) hingga 10 – 15 ppm dalam bak lain kemudian dilakukan pengurasan

kelebihan bahan pemutih hingga empat kali pembilasan. Proses pemurnian awal pati dilakukan dengan memenuhi bak dengan air bersih dan menambahkan 2 – 3 kg kaporit untuk setiap 5 – 6 kwintal pati. Pembersihan dilakukan dengan cara mengaduk-aduk kemudian dibuang dengan cara menguras bak penampung menggunakan slang setelah patinya mengendap. Demikian selanjutnya berulang-ulang diisi dengan air kembali kemudian diaduk lagi agar bahan non pati mengambang dan dapat dibuang dilakukan hingga beberapa kali. Buangan cairan penyaringan dan larutan pemurnian inilah yang menjadi bahan terbuang dan hingga kini dibuang ke saluran yang ada. Sampai saat ini buangan ini belum dapat ditangani lebih lanjut karena mengandung kaporit.

Hasil pemutihan siap dijual atau diolah lebih lanjut ditempat untuk dijadikan Soun.

Pembuatan Soun

Dalam pembuatan Soun, tepung pati aren diberikan air secukupnya kemudian dimasak hingga membentuk gelatin kemudian dipres dengan dasar yang telah disiapkan lubang sebesar soun yang diinginkan. Hasil pengepresan dijatuhkan diatas nampan untuk selanjutnya dijemur. Sampai saat ini penjemuran menggunakan tenaga panas matahari langsung. Urutan proses penanganan batang aren untuk

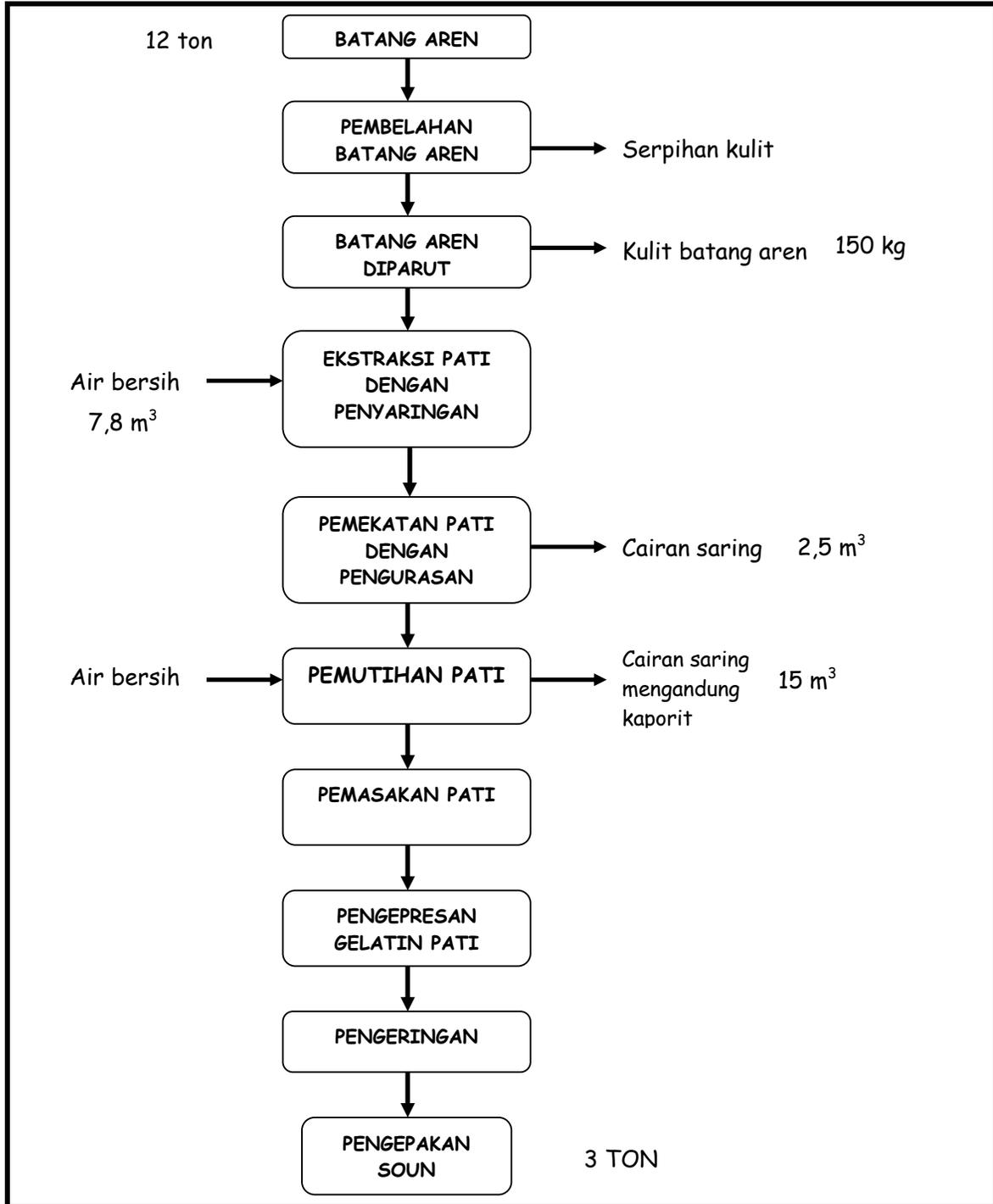
menghasilkan pati sebagai bahan baku Soun atau tepung Hun Kwe dapat dilihat dalam Gambar 1.

Situasi produk belum terolah padat dan cair

Sumber Limbah

Pembuatan tepung aren dilakukan melalui terlebih dahulu menebang batang pohon aren kemudian dipotong-potong sepanjang lebih kurang 1 meter. Potongan batang aren kemudian dipecah membujur menjadi tiga atau empat bagian yang sama besarnya sehingga nampak bagian dalamnya dimana terdapat empelur yang mengandung sel-sel *parenchym* penyimpan tepung. Kemudian empelur dipisahkan dari kulit dalamnya menggunakan mesin parut. Hasil parutan berupa serbuk yang keluar dari mesin dikumpulkan kemudian diayak dengan menambahkan air untuk memisahkan serbuk-serbuk dari serat-seratnya yang kasar. Proses selanjutnya adalah mengambil tepung dari serbuk-serbuk halus.

Proses pengayakan ini menghasilkan produk belum terolah cair berwarna coklat muda. Pati batang aren mengandung biopolimer protein yang cukup tinggi dibandingkan pati lain. Pati batang aren ternyata tidak mengandung biopolimer lemak, sedangkan pada pati sagu atau pati tapioka masing-masing mengandung 0,2 % dan 0,3 %. Selain itu



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan pati batang aren.

pati aren memiliki amilosa hingga 29,07 %. Kandungan lain adalah bahan impuritas yang merupakan residu proses penyaringan dan hasil percobaan kadar abu yang dimiliki paling rendah mencapai 0,17 %.

Sehingga diharapkan impuritas tersebut merupakan bahan yang mudah didegradasi secara biologis².

Adapun komposisi pati batang aren dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia pati batang aren dan beberapa jenis lain²

Komponen	Aren	Tapioka	Sagu
Protein	1,06	0,5	0,7
Lemak	N d	0,3	0,2
Amilosa	29,07	17	27
Air	17,41	12	13
Abu	0.17	1,5	1,5

Sebagaimana diketahui bahwa dalam proses pembuatan tepung pati aren terdapat produk sampingan meliputi:

1. Produk belum terolah cair hasil dari proses pamarutan dan pengendapan tepung aren
2. Produk belum terolah padat yang berupa ampas serbuk dan kulit batang aren yang telah diambil kulit empelurnya.

Dampak produk belum terolah terhadap lingkungan

Produk belum terolah cair yang dihasilkan jika tidak diproses terlebih dahulu maka akan menyebabkan timbulnya bau disekitar lingkungan dan air sungai menjadi keruh kecoklatan yang disebabkan oleh proses pamarutan dan pengan-

dapan. Sedangkan padatan akan semakin menggunung tidak terman-faatkan dan akan terbawa arus pada musim hujan mengotori sungai.

Pemanfaatan produk belum terolah padat

1. Ampas serbuk produk belum terolah diperoleh dari parutan yang sudah diambil tepungnya dan dapat dipisahkan menjadi 3 macam, yaitu serbuk kecil, serbuk besar, dan serat panjang. Secara sederhana keseluruhan serbuk dapat digunakan untuk bahan bakar, pupuk organik pada tanaman, dan dapat memperbaiki struktur tanah. Khusus serat panjang dapat digunakan untuk kasur tempat duduk (kursi atau jok mobil) dan

makanan ternak (sapi, kuda) setelah diproses fermentasi atau cukup dicampur dengan dedak produk belum terolah penggilingan gabah.

2. Kulit batang Pohon aren yang sudah diambil empelurnya maka tinggal kulit dalam dan kulit luar batangnya. Kulit batang ini dapat digunakan sebagai bahan bakar sehingga mempunyai nilai ekonomi. Sedangkan kulit batang pada pangkal batang pohon dapat digunakan untuk membuat tangkai kampak, tangkai cangkul atau sebagai bahan baku kesenian.

Penanganan produk belum ter-olah cair

Penanganan produk belum terolah cair dapat dilakukan mulai dari proses pamarutan hingga perendaman, dimana produk belum terolah yang dihasilkan diproses terlebih dahulu melalui teknologi fermentasi biologis Anaerobik sederhana dan tidak langsung dibuang ke sungai.

Diharapkan kelak air hujan yang jatuh di area terbuka dapat tersalur secara terpisah, tidak bercampur dengan saluran cairan hasil pengayakan dan mengalir masuk ke saluran pembuangan air umum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah dan komposisi produk belum terolah cair.

Besaran dalam penentuan jumlah dan komposisi didasarkan pada estimasi nilai rata-rata dari kondisi dilapangan.

Produk belum terolah cair.

Data hidraulik Hasil Pemekatan pati :

Jumlah bak per unit 3 buah, Volume bak $2,8 \text{ m}^3$,

Pengurasan (40 % cairan/bak), Jumlah cairan setiap bak $1,12 \text{ m}^3$, Setiap unit proses $3,13 \text{ m}^3$.

Sangat disarankan untuk benar-benar memisahkan saluran air hujan dan saluran pembuangan rumah tangga dengan saluran produk belum terolah sehingga tidak terjadi sama sekali pencampuran dengan air produk belum terolah. Total air produk belum terolah yang akan dihasilkan untuk setiap unit operasi antara $3 - 4 \text{ m}^3$ per hari.

Komposisi produk belum terolah cair hasil pengurasan sebagai hasil pengukuran yang telah dikakukan (dari sampel yang sudah tersimpan selama 5 hari):

Konsentrasi padatan tersuspensi = $3,148 \text{ mg/l}$.

COD total = 18.000 ppm .

Range COD total = $17.000-19.000 \text{ ppm}$

COD disolved = 16.000 ppm .

Range COD dis. = $14.000-17.000 \text{ ppm}$.

BOD disolved = 2.000 ppm .

Produk Biogas.

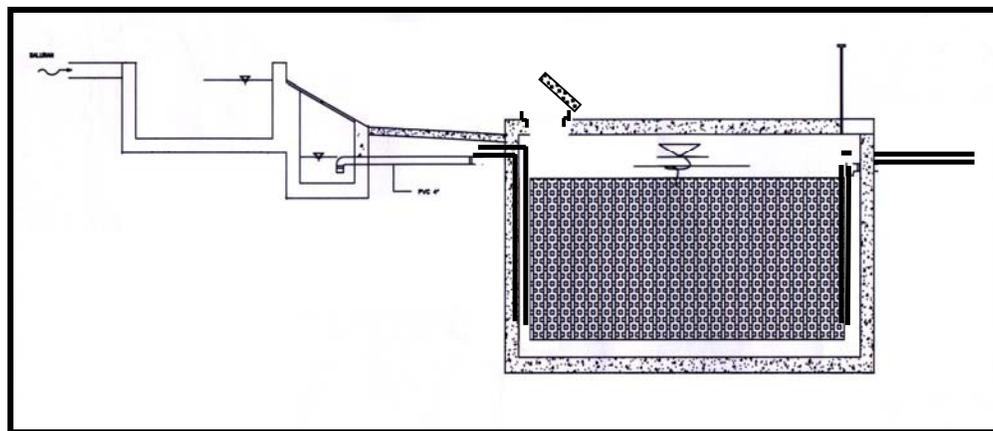
Produk belum terolah cair diolah dengan fermentasi anaerobik dengan teknologi Fixed Bed Reactor volume 10 m³ ditanam dibawah tanah menghasilkan Biogas.

Proses biologis Fixed Bed Reactor (FBR).

Fixed Bed Reactor adalah salah satu cara pengolahan limbah yang menerapkan proses biologis secara anaerob dengan menggunakan sistem pertumbuhan mikro-organisme melekat. Mikro-organisme tumbuh dan berkembang dengan menempel pada suatu media. Media tempat tumbuh mikroorganisme dapat berupa batu apung, plastik, glass

ring, expanded clay, porselin bahkan bambu atau bahan lain yang inert ke dalam reaktor sebagai bahan penunjang pertumbuhan mikro-organisme yang memiliki porositas sebesar mungkin dan luas permukaan spesifik seluas mungkin, sebagaimana terlihat dalam Gambar 2.

Limbah cair dialirkan ke dalam reaktor FBR melalui bagian bawah rektor dengan pipa yang terdistribusi merata didasar reaktor mengalir keatas melalui media tumbuh mikroorganisme sesuai tahapan proses, sehingga terjadi kontak antara bahan organik yang akan didegradasi dengan mikroorganisme (fixed film) yang melekat pada media tersebut.



Gambar 2. Reaktor Anaerobik untuk Cairan Saring Pati Aren

Dengan adanya kontak tersebut terjadilah proses degradasi oleh mikroorganisme anaerobik yang melekat. Proses anaerobik yang terjadi secara umum

dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap hidrolasi dan fermentasi, tahap pembentukan asam asetat dan tahap

pembentukan metana seperti dijelaskan dibawah ini.

Hidrolisis dan Fermentasi (Asidogenik)

Hidrolisis dan fermentasi adalah pengubahan senyawa organik yang bersifat kompleks menjadi bentuk sederhana dan bersifat organik terlarut.

Pengubahan senyawa ini dilakukan oleh bakteri fermentatif dengan menggunakan enzim yang diproduksinya. Senyawa organik yang bersifat kompleks, seperti polisakarida dihidrolisa menjadi monosakarida, protein menjadi asam amino dan lemak (lipid) menjadi gliserol dan asam lemak.

Asetogenik (Pembentukan asam Asetat)

Dalam proses hidrolisis dan asidogenik, selain dihasilkan asam lemak juga terbentuk senyawa-senyawa lain seperti senyawa alkohol, asam organik rantai panjang lain, senyawa unikarbon (HCOOH), dan senyawa multi karbon. Senyawa-senyawa ini dalam fasa ini diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik sebelum memasuki tahap pembentukan metana.

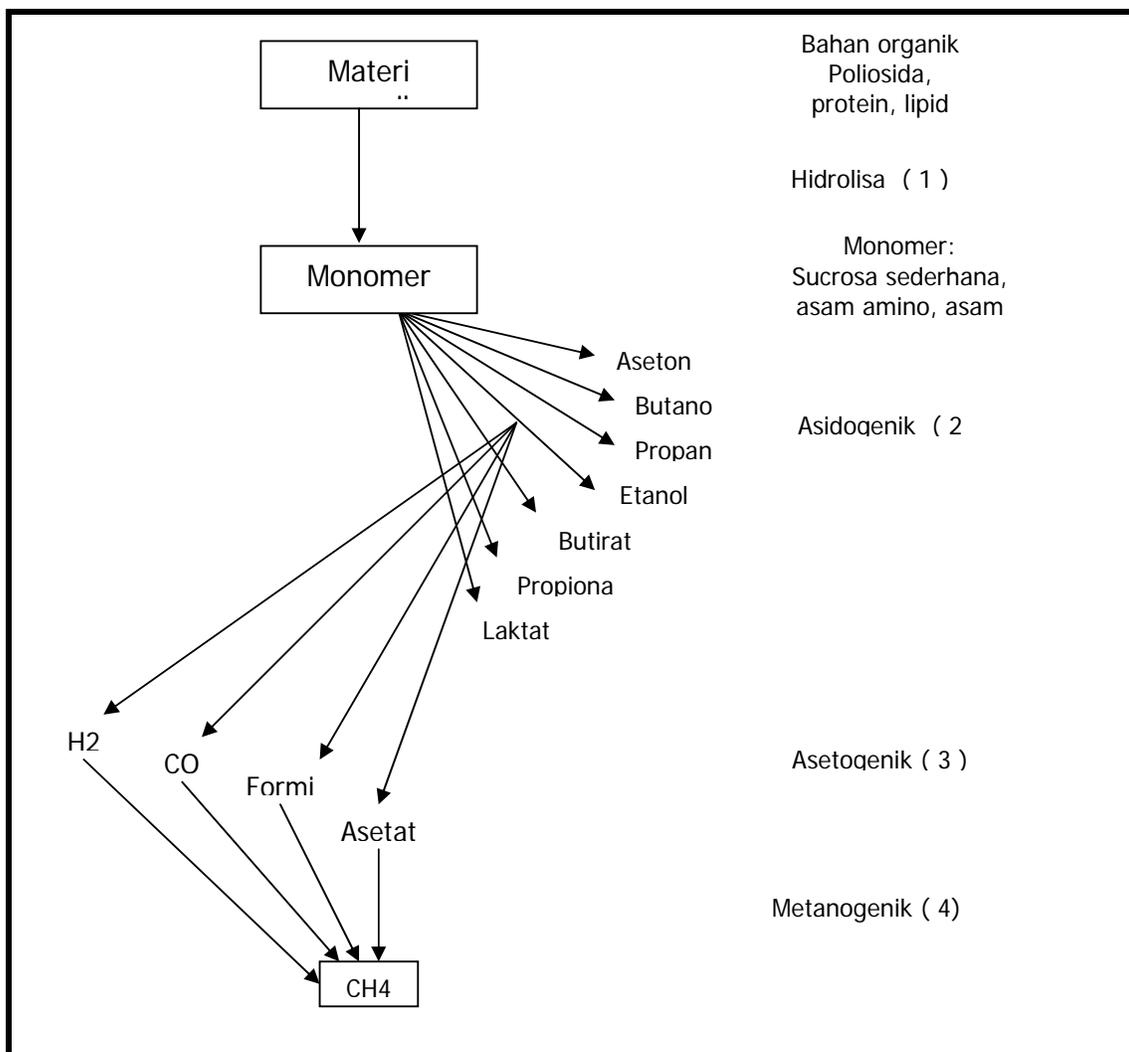
Metanogenik (Pembentukan Gas Metana).

Dalam tahapan pembentukan asetat diatas juga dihasilkan hidrogen. Kedua macam senyawa tersebut

merupakan bahan utama pembentuk gas metana. Pembentukan gas metana ini dilakukan oleh bakteri metanogen.

Tahap pembentukan metana ini merupakan tahap yang paling menentukan karena pertumbuhan bakteri metanogen relatif paling lambat dibandingkan dengan seluruh pertumbuhan bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik. Menurut George Tchobanoglous^[5], waktu yang dibutuhkan oleh bakteri metanogen untuk membelah diri (duplikasi) adalah 0.5 hingga 5 hari. Sedangkan bakteri sebelumnya dapat duplikasi dalam orde jam.

Disetiap tahap penguraian zat karbon akan terbentuk beberapa jenis gas sesuai dengan reaksi yang terjadi. Untuk itu gas yang dihasilkan oleh proses penguraian zat karbon ini akan selalu berupa campuran gas-gas tersebut. Prosentase ideal gas CH_4 yang diamati oleh David A. Stafford^{3,4}, yang dihasilkan dalam proses biologis anaerobik adalah sekitar 70 %, sedangkan menurut George Tchobanoglous dan M.N Rao^[5], dihasilkan gas CH_4 dalam setiap kg COD yang teroleh mencapai 0.350 m^3 . Diagram proses anaerobik terlihat dalam Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Diagram proses degradasi anaerobik

Produksi Biogas.

Fermentasi cairan saring endap dari proses pengayakan pati tepung batang aren menghasilkan biogas setiap hari: Biogas = 4,725 – 6,3 m³/hari dan Kandungan CH₄ = 80 %.

Biogas saat ini dimanfaatkan untuk memasak bagi keluarga pengelola industri pengayakan tepung pati batang aren.

KESIMPULAN

Dari uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa penanganan produk

belum terolah cair pembuatan pati aren adalah :

- Penerapan teknologi bersih untuk mengoptimalkan proses dengan memanfaatkan produk belum terolah secara mekanik dan biologis.
- Pengurangan direncanakan mencapai 80 % kandungan pencemaran (didasarkan pada konsentrasi COD total yang diukur pada produk belum terolah cair setelah pemisahan kasar mekanik dan keluaran tangki anaerobik).
- Preparasi penampungan bahan padatan tersaring dan lumpur endapan untuk kompos.
- Produksi biogas untuk penerangan lingkungan dan kandang dan memasak.

2. F. SINUNG PRANATA, DJAGAL W. ARSENO, HARYADI, Karakteristik sifat-sifat fisik dan mekanik edible film pati batang aren (*Arenga pinnata* Merr), Biota Vo. VII (3) : 121 – 130, Oktper 2002
3. HATTA SUNANTO. Pengolahan dan pemanfaatan limbah tepung aren Sumber: Aren, Budidaya dan Multigunanya.
4. KABELAN KUNIA, Kolang-kaling Teman Terbuka Sarat Manfaat dari berbagai sumber.
5. TARWIYAH, KEMAL. Tepung Aren, Teknologi Tepat Guna Agroindustri Kecil Sumatera Barat, Hasbullah, Januari 2001.

DAFTAR PUSTAKA

1. HERI S SOBA, Aren Bakal Dilirik?, Wartawan "Pembaruan",

**EVALUASI SISTEM PENANGGULANGAN KEBAKARAN
DI KAPAL PENUMPANG KM. LAMBELU
PT. PELAYARAN NASIONAL INDONESIA (PT. PELNI) TAHUN 2008**

Cintha Estria dan Fatma Lestari

Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja - FKM Universitas Indonesia

ABSTRAK

Kebakaran merupakan salah satu risiko yang dapat terjadi dalam kegiatan pelayaran kapal laut. Terkait dengan tingginya tingkat risiko kebakaran yang dapat terjadi di kapal laut dan menyebabkan kerugian finansial yang cukup besar bahkan sampai menelan korban jiwa yang jumlahnya tidak sedikit, maka diperlukan suatu sistem penanggulangan kebakaran khususnya pada kapal penumpang. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif dengan pendekatan observasional dan wawancara. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui evaluasi sistem penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan membandingkan faktor-faktor didalam sistem penanggulangan kebakaran yang meliputi: sarana proteksi aktif (berupa: detektor dan alarm, hidran dan *fire pump*, *sprinkler* dan APAR), sarana proteksi pasif berupa: *escape* (pintu, tangga, petunjuk arah dan jalan keluar darurat), *emergency lighting* (penerangan darurat), *muster station* (tempat berkumpul), *fire door* (pintu tahan api), *lifebuoy* (pelampung), *lifejacket* (jaket pelampung) dan *survival craft* (*lifeboat*, *rescue boat* dan *liferaft*) dan manajemen penanggulangan kebakaran (berupa: organisasi penanggulangan kebakaran, prosedur penanggulangan kebakaran dan latihan penanggulangan kebakaran) dengan standar dalam SOLAS '74. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KM Lambelu mempunyai risiko kebakaran berat namun kapal sudah diproteksi baik secara desain konstruktif dan sarana proteksi kebakaran kapal yang lulus standar IMO. Untuk sarana proteksi kebakaran aktif dan pasif sudah dilengkapi dengan semua persyaratan sebuah kapal penumpang hanya saja kondisi dari sarana proteksi kebakaran tidak terjaga dengan baik. Sedangkan manajemen penanggulangan kebakaran di KM Lambelu sudah berjalan baik. Oleh karena itu perlu mengintegrasikan sistem yang ada di kapal dengan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) sesuai dengan Undang-Undang No. 1 tahun 1970 demi berjalannya keselamatan dan kesehatan kerja di atas kapal.

Kata kunci: evaluasi sistem, penanggulangan kebakaran kapal, keselamatan kapal penumpang.

ABSTRACT

EVALUATION OF FIRE PROTECTION SYSTEM AT KM. LAMBELU PASSANGER SHIP AT PT. PELAYARAN INDONESIA (PELNI)

Fire may occur anywhere and everywhere including maritime shipping activity. Concerning to high risk of fire in maritime ships that can cause financial loss and kill many victims, fire protection system must be needed in passenger ship. Design in this research is qualitative description with observational and interview approach. This research is proposed to evaluate fire protection system in KM. Lambelu by factors comparing include: active protection devices (detectors and alarm, hydrant and fire pump, sprinkler and light fire extinguisher), passive protection such as escape (door, ladder, emergency direction and route), emergency lighting, muster station, fire door, lifebuoy, lifejacket, and survival craft (lifeboat, rescue boat and life raft) and emergency response management according to

SOLAS'74 standard. Research results showed that KM. Lambelu has high risk of fire but the ship has been protected by constructive design and ship fire protection devices passed IMO standard. Active and passive fire protection devices have been installed but it was no good condition. Emergency organization was operated normally. Therefore all fire protection systems in KM. Lambelu should be integrated in management system of occupational health and safety according UU No.1/1970.

Keywords: evaluation system, shipping fire protection, passenger ship safety

PENDAHULUAN

International Maritime Organization (IMO) mengeluarkan beberapa peraturan yang bertujuan untuk menjamin keselamatan pengoperasian kapal dan pencegahan polusi seperti MARPOL, *International Safety Management Code (ISM Code)*, *Safety of Life at Sea (SOLAS)*, *Internasional Industry Codes of Practices and Guidelines*, dll. *ISM Code* yang dibukukan dalam konvensi SOLAS *chapter IX (6)* telah menjadi keharusan sejak 1 Juli 1998 akan mengharuskan 128 negara dan hampir 97% kapal niaga di dunia untuk mengikuti aturan-aturan yang ada didalamnya, termasuk didalamnya adalah kapal penumpang, kapal penumpang cepat, kapal tanker dan pengangkut gas, kapal curah dan kapal-kapal lainnya. *ISM Code* juga dimaksudkan sebagai standar internasional dalam pengoperasian dan manajemen kapal dengan memberikan aturan-aturan keselamatan dalam

pengoperasian kapal serta lingkungan/kondisi kerja yang aman, pengamanan terhadap semua potensi risiko yang teridentifikasi, pengembangan secara berkelanjutan terhadap kemampuan manajemen keselamatan personil di kapal dan di darat.²

Sebagaimana disampaikan oleh Dirjen Perhubungan Laut H. Harijogi, dalam rangka keselamatan pelayaran nasional 2007 bahwa pada tahun 2007 hingga Juni kasus kecelakaan laut telah mencapai 119 kali, diantaranya kapal tenggelam 58 kali, kebakaran 12 kali, tubrukan kapal 10 kali, kerusakan mesin 1 kali, kapal kandas 14 kali dan kejadian lainnya 9 kali. Selama enam bulan terakhir korban jiwa di laut telah mencapai 124 orang dengan kerugian muatan 3.949 ton.¹

Hal ini menggambarkan bahwa dari seluruh jumlah kasus kecelakaan laut, risiko terjadinya kebakaran di kapal laut cukup besar karena jumlah kasus kebakaran menduduki peringkat kedua

setelah jumlah kasus tenggelamnya kapal. Oleh karena itu dibutuhkan partisipasi dari sebuah sistem manajemen yang ada di kapal dan dibantu oleh sistem proteksi kebakaran yang ada serta penghuni di kapal tersebut untuk dapat menanggulangi kebakaran di kapal.

PT. Pelayaran Nasional Indonesia (PT. PELNI) yang merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pelayanan jasa kapal laut yang berlokasi di Jakarta Utara dan sudah beroperasi sejak tahun 1952. Perusahaan ini pun tidak terlepas dari risiko dan telah mengalami kasus kebakaran yaitu terbakarnya KM. Lawit pada tahun 2007 yang mengakibatkan terbakarnya badan kapal, namun tidak ada korban jiwa. Tentu saja hal ini dapat dicegah, namun kurangnya sarana pemadam kebakaran dan sumber daya manusia yang memadamkan kobaran api di KM. Lawit tersebutlah yang memperparah kejadian ini. Hal tersebut tentu saja menimbulkan kerugian finansial dikarenakan hangusnya kapal dan kerugian pemasukan bagi perusahaan, walaupun tidak ada korban jiwa tetap saja kejadian ini dapat berdampak terhadap pandangan masyarakat kepada PT. PELNI dalam menggunakan jasa pelayanan pelayaran kapal laut.

Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem penanggulangan kebakaran di atas kapal. Sistem tersebut mencakup sarana proteksi kebakaran, sarana penyelamat jiwa dan manajemen penanggulangan kebakaran di atas kapal. Keberadaan sistem proteksi kebakaran di atas kapal sangat kritis, karena sistem tersebut adalah sistem penanggulangan kebakaran awal di kapal.

Namun sistem proteksi kebakaran di kapal harus diperkuat dengan manajemen penanggulangan kebakaran yang meliputi organisasi, prosedur dan latihan penanggulangan kebakaran di kapal. Karena itulah dibutuhkan perhatian yang lebih terhadap suatu sistem manajemen penanggulangan kebakaran di kapal sehingga pencegahan kebakaran dapat dilakukan untuk meminimisasi risiko terjadinya kebakaran di kapal. Perhatian tersebut dapat berupa perawatan dan inspeksi berkala yang terjadwal dan rutin terhadap semua sistem penanggulangan kebakaran di atas kapal, sedangkan pelatihan seperti *fire drill* di kapal dapat dilakukan dalam rangka pelatihan terhadap sumber daya manusia yang berada di kapal tersebut.

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam suatu sistem penanggulangan kebakaran meliputi

sarana proteksi kebakaran aktif, sarana proteksi kebakaran pasif yang termasuk didalamnya sarana penyelamat jiwa dan manajemen penanggulangan kebakaran di atas kapal. Kesiapan sarana proteksi kebakaran aktif dan pasif pun harus selalu dipastikan setiap saat ketika sebelum atau sesudah kapal berlayar maupun ketika kapal bersandar dengan melakukan inspeksi dan perawatan berkala.

Pada makalah ini dilakukan evaluasi sistem penanggulangan kebakaran di kapal penumpang KM. Lambelu, PT. PELNI dengan memasukkan variabel pada sarana proteksi aktif, berupa: detektor dan alarm, hidran dan *fire pump, sprinkler* dan APAR; sarana proteksi pasif, berupa: *escape* (pintu, tangga, petunjuk arah dan jalan keluar darurat) *emergency lights* (penerangan darurat), *muster station* (tempat berkumpul), *fire door* (pintu tahan api), *lifebuoy* (pelampung), *lifejacket* (jaket pelampung) dan *survival craft (lifeboat, rescue boat dan liferaft)*; sedangkan manajemen penanggulangan kebakaran, berupa: organisasi penanggulangan kebakaran, prosedur penanggulangan kebakaran dan latihan penanggulangan kebakaran.

II. Metodologi Penelitian

Desain penelitian yang digunakan bersifat deskriptif kualitatif melalui pendekatan observasional dan wawancara dengan menilai suatu sistem penanggulangan kebakaran yang diterapkan di kapal penumpang KM.Lambelu, PT. PELNI kemudian dibandingkan dengan standar yang ada, dengan rute Jakarta-Surabaya. Sumber data primer diperoleh dengan cara observasi langsung terhadap kondisi sistem penanggulangan kebakaran di kapal dan melakukan wawancara dengan pihak terkait di kapal penumpang KM. Lambelu. Sedangkan data sekunder diperoleh dari data-data dokumentasi kapal penumpang KM. Lambelu yang terdapat di kantor utama PT. PELNI. Analisa kualitatif dilakukan untuk membandingkan data yang diperoleh mengenai sistem penanggulangan kebakaran di kapal penumpang KM. Lambelu dengan standar dari *International Maritime Organization* (IMO) berupa *Safety of Life at Sea* (SOLAS '74)³ tentang keselamatan di laut, *National Fire Protection Association* (NFPA) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang mengacu pada NFPA.

III. Hasil Dan Pembahasan

KM Lambelu merupakan kapal motor penumpang yang dibuat di galangan Jos. L. Meyer. Papeburg, Jerman, tahun 1996 dengan no. IMO 9124548 dan dikirim ke Indonesia pada tanggal 4 September 1997. Rute KM Lambelu terdiri dari: Tanjung Priok-Kijang, Tanjung Priok-Surabaya-Makassar-(Bau-Bau)-Ambon-Bitung-Ternate. KM Lambelu merupakan kapal penumpang tipe 2000 yang dapat menampung total penumpang sebanyak 2003 orang dan total ABK sebanyak 157 orang, sehingga total jumlah penumpang dan ABK sebanyak 2160 orang. Kamar yang terdapat di KM Lambelu terdiri dari kamar kelas I A dan B, kamar kelas II A dan B, kelas III dan kamar kelas ekonomi. KM Lambelu mempunyai panjang seluruh 146,50 meter, lebar 23,40 meter

dan tinggi sampai geladak 5 yaitu 13,40 meter dengan berat kotor 14.649 ton dan berat bersih 4.395 ton. Sumber tenaga listrik yang menyuplai semua kebutuhan kapal berasal dari 2 motor induk yang masing-masing mempunyai *output* sebesar 6400 KW dan 4 motor bantu yang masing-masing mempunyai *output* sebesar 882 KW, selain itu terdapat 1 motor darurat sebagai generator darurat dan *accumulator battery* untuk menyuplai listrik darurat. Sumber air yang dipergunakan berasal dari tangki air dengan kapasitas total air tawar sebesar 1131,91 m³ dan kapasitas total air *ballast* sebesar 2283,22 m³.

Hasil dari identifikasi bahaya yang dapat mendukung terjadinya bahaya kebakaran, terdiri dari 3 unsur yang dirangkum dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Unsur bahan bakar atau bahan-bahan yang mudah terbakar di KM. Lambelu

Jenis Bahan	Bentuk Benda	Letak Benda
1. Padat dan mudah terbakar <ul style="list-style-type: none"> • Kayu • Kertas • Kain • • Kapuk 	<ul style="list-style-type: none"> • Bangku, lantai, meja, lemari • Buku • Kursi, korden, seprei, baju, taplak, lap, karpet • Bantal, guling, kursi, tempat tidur, sofa 	<ul style="list-style-type: none"> • Dek 2 sampai dek 8 • Dek 2 sampai dek 8 • Dek 2 sampai dek 8 • Dek 3 sampai dek 8
2. Cairan mudah terbakar	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan bakar penggerak kapal • Oli • Alkohol 	<ul style="list-style-type: none"> • Tank top • Tank top, cargo • Klinik
3. Gas	<ul style="list-style-type: none"> • LPG 	<ul style="list-style-type: none"> • Kafetaria dek 8

Tabel 2. Unsur sumber ignisi di KM. Lambelu dan lokasinya

Jenis Ignisi	Sumber Ignisi	Letak Ignisi
1. Listrik	<ul style="list-style-type: none"> • Kompor • Panel kontrol • Televisi • Perlengkapan band • Pemanas air atau ketel • Kamar pendingin bahan mentah makanan 	<ul style="list-style-type: none"> • Dapur di dek 4, dek 5 dan dek 6 • <i>Control station</i> dek 2 dan dek 8 • Dek 2 sampai dek 8 • Dek 6 • Dapur dan <i>pantry</i> dek 3 sampai dek 8 • Dek 4
2. Api terbuka	<ul style="list-style-type: none"> • Korek api • Puntung rokok 	<ul style="list-style-type: none"> • Dek 2 sampai dek 8 • Dek 2 sampai dek 8
3. Radiasi Panas	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin dan generator • Boiler • Peralatan masak di dapur 	<ul style="list-style-type: none"> • Dek 1 sampai dek 8 • Dek 8 • Dapur dan <i>pantry</i> dek 3 sampai dek 8

1. Unsur oksigen

Disamping unsur bahan bakar dan unsur sumber ignisi, unsur oksigen merupakan unsur pelengkap dalam segitiga api dan oksigen terdapat dimana

orang bisa bernapas termasuk di kapal penumpang KM Lambelu.

Adapun hasil dari evaluasi sistem penanggulangan kebakaran di kapal penumpang KM Lambelu ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kesesuaian saran proteksi kebakaran aktif dan pasif dengan standar

Sarana Proteksi Kebakaran Aktif	
Kesesuaian	Ketidaksesuaian
<p>1. Elemen detektor dan alarm Dari perbandingan elemen detektor dan alarm di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 72⁵, persentase kesesuaian sebesar 84%.</p> 	<p>1. Elemen detektor dan alarm Dari perbandingan elemen detektor dan alarm di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA, persentase ketidaksesuaian sebesar 16% yang meliputi ketidaksesuaian pada tidak adanya <i>fire patrol</i> dan peletakan dari detektor asap dekat dengan outlet pendingin ruangan.</p>
<p>2. Elemen hidran dan <i>fire pump</i> Dari perbandingan elemen hidran dan <i>fire pump</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 14, persentase kesesuaian sebesar 82,6%.</p>	<p>1. Elemen hidran dan <i>fire pump</i> Dari perbandingan elemen hidran dan <i>fire pump</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA, persentase ketidaksesuaian sebesar 17,3% yang meliputi ketidaksesuaian pada</p>

	<p>kelengkapan hidran di dalam <i>fire box</i>, panjang dari <i>fire hose</i> dan tidak adanya petunjuk pemakaian dari <i>fire hose</i>.</p>
<p>3. Elemen <i>sprinkler</i> Dari perbandingan elemen <i>sprinkler</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 13⁶, persentase kesesuaian sebesar 88%.</p> 	<p>2. Elemen <i>sprinkler</i> Dari perbandingan elemen <i>sprinkler</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 13, persentase ketidaksesuaian sebesar 11% yang meliputi ketidaksesuaian pada tidak adanya sistem pengaliran air hasil dari pancaran <i>sprinkler</i></p>
<p>4. Elemen APAR Dari perbandingan elemen APAR di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 10⁴, persentase kesesuaian sebesar 95,4%.</p> 	<p>3. Elemen APAR Dari perbandingan elemen <i>sprinkler</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 10, persentase ketidaksesuaian sebesar 4,5% yang meliputi ketidaksesuaian dalam melakukan inspeksi APAR setiap 1 tahun sekali</p>
<p>Sarana Proteksi Kebakaran Pasif</p>	
<p>Kesesuaian</p>	<p>Ketidaksesuaian</p>
<p>1. Elemen <i>escape</i> Dari perbandingan elemen APAR di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 94,4%.</p> 	<p>1. Elemen <i>escape</i> Dari perbandingan elemen <i>sprinkler</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase ketidaksesuaian sebesar 5,6% yang meliputi ketidaksesuaian pada penggunaan semua tangga sebagai tangga darurat.</p>
<p>2. Elemen <i>emergency lighting</i> Dari perbandingan elemen APAR di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 101, persentase kesesuaian sebesar 92,3%.</p>	<p>2. Elemen <i>emergency lighting</i> Dari perbandingan elemen APAR di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan NFPA 101, persentase ketidaksesuaian sebesar 7,69% yang meliputi ketidaksesuaian pada lampu penerangan darurat yang berwarna putih.</p>

<p>3. Elemen <i>muster station</i> Dari perbandingan elemen <i>muster station</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 66,7%.</p> 	<p>3. Elemen <i>muster station</i> Dari perbandingan elemen <i>muster station</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase ketidaksesuaian sebesar 33,3% yang meliputi ketidaksesuaian pada tidak semua <i>muster station</i> dekat dengan <i>embarktion station</i> dan memiliki ruang yang cukup dan hanya terdapat 1 tangga menuju setiap <i>survival craft</i>.</p>
<p>4. Elemen <i>fire door</i> Dari perbandingan elemen <i>fire door</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 81,8%.</p>	<p>4. Elemen <i>fire door</i> Dari perbandingan elemen <i>muster station</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase ketidaksesuaian sebesar 14,8% yang meliputi ketidaksesuaian pada sistem kontrol pintu yang tidak secara otomatis ketika terjadi gangguan sistem dan pintu yang terus tertutup apabila ada penghalang di tengahnya.</p>
<p>5. Elemen <i>lifebuoy</i> Dari perbandingan elemen <i>lifebuoy</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan SNI 10-0984-1989⁹, persentase kesesuaian sebesar 83,3%.</p> 	<p>5. Elemen <i>lifebuoy</i> Dari perbandingan elemen <i>lifebuoy</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan SNI 10-0984-1989, persentase ketidaksesuaian sebesar 16,7% yang meliputi ketidaksesuaian pada peletakan <i>lifebuoy</i> tidak pada tempat yang seharusnya melainkan disimpan di dalam ruang penyimpanan dan penandaan nomor registrasi serta penamaan kapal pada <i>lifebuoy</i> sudah tidak terbaca atau luntur.</p>
<p>6. Elemen <i>lifejacket</i> Dari perbandingan elemen <i>lifejacket</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan SNI 10-1774-1990¹⁰, persentase kesesuaian sebesar 41,7%.</p> 	<p>6. Elemen <i>lifejacket</i> Dari perbandingan elemen <i>lifejacket</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan SNI 10-1774-1990, persentase ketidaksesuaian sebesar 58,3% yang meliputi ketidaksesuaian pada beberapa <i>muster station</i> tidak dilengkapi dengan <i>lifejacket</i>, Tidak tersedia <i>immersion suit</i> dan <i>thermal protective aid</i> di <i>lifeboat</i>, Sebagian jaket pelampung mempunyai bantalan untuk menahan kepala dan condong kebelakang dan tidak dilakukan pengujian seperti uji daya apung, uji jatuh, uji suhu, uji ketahanan api, uji tekanan lebih terhadap <i>lifejacket</i>.</p>

<p>7. Elemen <i>survival craft</i> Dari perbandingan elemen <i>survival craft</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan SNI 10-0763-1989⁸, persentase kesesuaian sebesar 66,7%.</p> 	<p>7. Elemen <i>survival craft</i> Dari perbandingan elemen <i>survival craft</i> di KM Lambelu dengan SOLAS '74 dan SNI 10-0763-1989, persentase ketidaksesuaian sebesar 33,3% yang meliputi ketidaksesuaian pada peluncuran <i>survival craft</i> yang tidak dapat dilakukan secara cepat karena kelengkapan peralatan tidak ada di dalamnya.</p>
---	---

Manajemen Penanggulangan Kebakaran

Kesesuaian	Ketidaksesuaian
<p>1. Elemen organisasi penanggulangan kebakaran Dari perbandingan elemen organisasi penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 100%.</p>	<p>1. Elemen organisasi penanggulangan kebakaran Dari perbandingan elemen organisasi penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase ketidaksesuaian sebesar 0%.</p>
<p>2. Elemen prosedur penanggulangan kebakaran Dari perbandingan elemen prosedur penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 100%.</p>	<p>2. Elemen prosedur penanggulangan kebakaran Dari perbandingan elemen prosedur penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase ketidaksesuaian sebesar 0%.</p>
<p>3. Elemen latihan penanggulangan kebakaran Dari perbandingan elemen latihan penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 100%.</p>	<p>3. Elemen latihan penanggulangan kebakaran Dari perbandingan elemen latihan penanggulangan kebakaran di KM Lambelu dengan SOLAS '74, persentase kesesuaian sebesar 100%.</p>

Secara umum, dengan menganalisis kesesuaian dan ketidaksesuaian antara sistem proteksi kebakaran di KM. Lambelu dengan standar yang ada maka perlu dilakukan langkah-langkah atau upaya perbaikan untuk memenuhi standar tersebut. Terpenuhinya persyaratan sistem proteksi kebakaran yang ada di

KM. Lambelu dengan standar IMO dan NFPA akan dapat menjamin keselamatan dan kesehatan orang yang berada di dalam kapal, khususnya keselamatan para penumpang kapal. Analisis perbaikan terhadap persyaratan yang ada di KM. Lambelu dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Analisis perbaikan terhadap pemenuhan standar sistem proteksi kebakaran

No.	Keadaan yang tidak sesuai	Analisis perbaikan
Sarana Proteksi Kebakaran Aktif		
1.	Detektor dan alarm <ul style="list-style-type: none"> • Tidak mempunyai <i>fire patrol</i> dan pelatihan dilakukan pada seluruh perwira dan ABK • Tidak mempunyai <i>fire patrol</i> • Tidak mempunyai <i>fire patrol</i> • Beberapa detektor seperti detektor di dalam kamar kelas I terpasang dengan jarak kurang dari 50 cm dengan lubang <i>outlet</i> pendingin ruangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki tim <i>fire patrol</i> yang sudah diberi pelatihan mengenai kebakaran yang mempunyai tugas untuk patroli di lokasi dengan tingkat risiko kebakaran yang tinggi • Menghalangi detektor yang mempunyai jarak kurang dari 1,5 meter dari lubang <i>outlet</i> pendingin ruangan agar detektor dapat berfungsi dengan normal
2.	Hidran dan <i>fire pump</i> <ul style="list-style-type: none"> • Terdapat <i>fire hose</i> namun tidak semua <i>fire hose</i> ada di dalam <i>fire box</i> dan tidak terhubung pada <i>fire pipe</i> setiap waktu • <i>Fire hose</i> yang terdapat di ruang mesin mempunyai panjang 20 meter • Tidak terdapat <i>fire hose</i> dan <i>nozzle</i> karena sebagian besar disimpan di gudang penyimpanan FE 1, FE 2, FE 3 • Tidak terdapat petunjuk pemakaian 	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan petunjuk pemakaian, pemasangan atau penggunaan <i>fire hose</i> dan <i>nozzle</i> dengan <i>fire pipe</i> • Menggunakan <i>fire hose</i> dengan panjang minimal 10 m dan maksimal 15 m di ruang mesin • Mengembalikan <i>fire hose</i> dan <i>nozzle</i> di dalam <i>fire box</i> dengan keadaan <i>fire box</i> dapat tertutup dan memberikan keterangan pada <i>fire box</i> bahwa peralatan di dalamnya untuk kepentingan kebakaran atau apabila peralatan masih tetap ingin disimpan di gudang penyimpanan maka diberi keterangan di dekat <i>fire box</i> tempat <i>fire hose</i> dan <i>nozzle</i> disimpan
3.	<i>Sprinkler</i> <ul style="list-style-type: none"> • Tidak terdapat saluran <i>drainase</i> untuk air yang dikeluarkan <i>sprinkler</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan pemetaan terhadap jumlah, jenis dan letak <i>sprinkler</i> di setiap dek KM Lambelu serta menyediakan sistem pengaliran air bila <i>sprinkler</i> menyembrotkan air pada saat proses pemadaman api.
4.	APAR <ul style="list-style-type: none"> • Dilakukan inspeksi APAR setiap 1 tahun sekali 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan pemeriksaan atau inspeksi visual terhadap fisik APAR meliputi tabung, segel pengaman, selang, isi dan tekanan setiap 1 bulan sekali dan mencatat hasil pemeriksaan untuk didokumentasikan

Sarana Proteksi Kebakaran Pasif		
1.	<p><i>Escape</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Semua tangga digunakan untuk akses jalan keluar darurat termasuk tangga ke balkon dan ruangan lain 	<ul style="list-style-type: none"> • Melengkapi tangga yang digunakan untuk jalan keluar darurat dengan perlengkapan penunjang seperti lampu penerangan darurat, petunjuk arah jalan keluar, dll.
2.	<p><i>Emergency Lighting</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lampu penerangan darurat berwarna putih 	<ul style="list-style-type: none"> • Membedakan penerangan darurat dengan menggunakan cahaya berwarna kuning dengan cara melapisi plastik pelindung lampu dengan yang berwarna kuning. Hal ini dilakukan agar cahaya penerangan darurat tetap terlihat bila ruangan tertutup asap putih dari kebakaran.
3.	<p><i>Muster Station</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Muster station</i> A berada di dalam ruang restoran di dek 6 dan tidak dapat langsung menuju <i>embarkation station</i> • <i>Muster station</i> A terletak di restoran yang membutuhkan waktu mencapai dek terbuka • Hanya 1 tangga embarkasi yang menuju 1 <i>survival craft</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Membuat jalur evakuasi dari <i>muster station</i> A ke <i>embarkation station</i> dengan waktu yang cepat tanpa mengganggu jalur evakuasi dari <i>muster station</i> B dan C.
4.	<p><i>Fire door</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketika terjadi gangguan dari kontrol sistem pintu tidak akan tertutup secara otomatis • Pintu tetap tertutup walaupun ada benda di tengahnya 	<ul style="list-style-type: none"> • Pintu dilengkapi dengan tombol <i>reset</i> sehingga pintu dapat diberhentikan secara manual.
5.	<p><i>Lifebouy</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dilengkapi dengan 2 buah <i>lifebouy</i> dengan <i>lifeline</i> di setiap sisi kapal namun tersimpan di dalam gudang penyimpanan peralatan kebakaran • Tidak terdapat tanda nomor registrasi dan bahkan nama kapal sudah luntur 	<ul style="list-style-type: none"> • Melengkapi jenis <i>lifebouy</i> sesuai dengan simbol yang ada pada kapal • Memberikan tanda informasi pada <i>lifebouy</i> seperti nama kapal, nomor registrasi, dll • Melakukan pengawasan terhadap kelengkapan <i>lifebouy</i> yang terpasang setiap harinya oleh petugas yang diberi tanggung jawab terhadap <i>lifebouy</i> •

6.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Muster station</i> B dan C dilengkapi dengan akses yang mudah mendapatkan jaket pelampung, sedangkan untuk <i>muster station</i> A dan D keadaannya berbeda • Hanya terdapat jaket pelampung saja • Tidak tersedia <i>immersion suit</i> dan <i>thermal protective aid</i> di <i>lifeboat</i> • Tidak dilakukan pengujian • Sebagian jaket pelampung mempunyai bantalan untuk menahan kepala dan condong kebelakang • Sebagian jaket pelampung mencantumkan nama pabrik atau buatan mana dari jaket pelampung dan nomor <i>survival craft</i> yang dipakai 	<ul style="list-style-type: none"> • Jaket pelampung disediakan di <i>muster station</i> A dan D • Menyamakan jenis jaket pelampung demi keselamatan yang sama pada setiap penumpang • Mencantumkan informasi yang dibutuhkan di jaket pelampung seperti: merk, buatan mana, nama kapal, dll
7.	<p><i>Survival Craft</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Survival craft</i> tidak dapat cepat diluncurkan karena perlengkapan belum ada di dalamnya • Setiap memanaskan mesin <i>lifeboat</i> juga dilakukan inspeksi secara fisik namun kelengkapan di dalamnya tidak ada • <i>Rescue boat</i> tidak dapat diluncurkan kurang dari 5 menit karena kelengkapan di dalamnya tidak ada • <i>Survival craft</i> hanya terlindungi dengan atapnya saja tidak ditutup oleh terpal • Rumah mesin terbuat dari <i>fiber glass</i> • Tidak terdapat lampu dengan minyak karena peralatan tidak disimpan di dalam <i>survival craft</i> • Tidak terdapat peralatan untuk meminta bantuan karena kelengkapan peralatan tidak disimpan di dalam <i>survival craft</i> • Tidak dilengkapi dengan makanan atau air minum karena kelengkapan peralatan tidak siap di dalam kapal • 	<ul style="list-style-type: none"> • Melengkapi perlengkapan <i>survival craft</i> dan menutup <i>survival craft</i> dengan terpal. • Melakukan inspeksi dan pengawasan kelengkapan perlengkapan di dalam <i>survival craft</i> setiap harinya oleh petugas yang diberi tanggung jawab terhadap <i>survival craft</i> • Menggunakan rumah mesin yang dapat menahan panas dan api

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan klasifikasi sumber kebakaran menurut NFPA, KM Lambelu mempunyai sumber kebakaran api kelas A, B dan C karena memiliki sumber api kebakaran yang berasal dari benda padat, gas dan cair serta listrik. Sedangkan berdasarkan Kepmenaker No.186/MEN/1999, KM Lambelu mempunyai potensi bahaya kebakaran yang termasuk jenis klasifikasi kebakaran berat.
2. Sarana proteksi kebakaran aktif di kapal penumpang KM Lambelu sudah dilengkapi dengan detektor dan alarm, hidran dan *fire pump, sprinkler* dan APAR yang tersebar di seluruh dek kapal walaupun perawatan dan kondisi fisik sarana proteksi kebakaran aktif kurang baik.
3. Sarana proteksi kebakaran pasif di kapal penumpang KM Lambelu sudah dilengkapi dengan sarana *escape* yang meliputi pintu, tangga, petunjuk arah dan jalan keluar darurat, *emergency lighting, muster station, fire door, lifebuoy, lifejacket, survival craft* yang meliputi *lifeboat, rescue boat* dan *liferaft* walaupun perawatan dan kondisi fisik dari sarana proteksi kebakaran pasif kurang baik.

4. Terdapat manajemen penanggulangan kebakaran di kapal penumpang KM Lambelu yang meliputi organisasi, prosedur dan latihan penanggulangan kebakaran.

Saran

1. Mengintegrasikan sistem yang ada di kapal dengan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) sesuai dengan Undang-Undang No. 1 tahun 1970 demi berjalannya keselamatan dan kesehatan kerja di atas kapal.
2. Melakukan identifikasi sumber bahaya yang berpotensi menimbulkan bahaya kebakaran di atas kapal.
3. Melakukan pemetaan kelengkapan dari sarana proteksi kebakaran aktif dan pasif di kapal baik terhadap jumlah dan letaknya.
4. Melakukan pemeriksaan terhadap kelengkapan dan fungsi semua sarana proteksi kebakaran aktif dan pasif secara berkala dan rutin lalu didokumentasikan untuk dilaporkan.
5. Pelatihan terhadap semua ABK dan kru kapal terhadap pengenalan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di kapal.
6. Penyuluhan terhadap penumpang akan kesadaran memelihara sarana proteksi kebakaran aktif dan pasif di kapal agar

manajemen penanggulangan kebakaran di kapal dapat berjalan dengan baik.

7. Pengawasan oleh pihak manajemen pusat terhadap berjalannya manajemen di atas kapal.

8. Meningkatkan kualitas pemeliharaan semua sarana proteksi kebakaran aktif dan pasif di kapal.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Angka Kecelakaan Laut Capai 320 Kasus*. Kamis, 09 Agustus 2007 18:19. www.kapanlagi.com
2. KETUTBUDA, 2006. <http://www.its.ac.id/personal/files/material/379ketutbuda/Microsoft%20Word%20%20PROPOSAL%20HIBAH%20PASCA%202006.pdf>.
3. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. *Safety of Life at Sea (SOLAS '74)*. 2004. Consolidated Edition. 4Ed..
4. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA) 10. 2002. *Standard for Portable Fire Extinguisher*.
5. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA) 72. 2002. *Standard for Fire Alarm Code*.
6. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA) 13. 2002. *Standard for Installation of Sprinkler System*.
7. BADAN STANDARDISASI NASIONAL. Standar Nasional Indonesia 10-0983-1989. *Alat Apung*.
8. BADAN STANDARDISASI NASIONAL. Standar Nasional Indonesia 10-0763-1989. *Sekoci Penolong*.
9. BADAN STANDARDISASI NASIONAL. Standar Nasional Indonesia 10-0984-1989. *Pelampung Penolong*.
10. BADAN STANDARDISASI NASIONAL. Standar Nasional Indonesia 10-1774-1990. *Baju Penolong*.