

ISSN 1858-3601



**Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017
Bandung, 14 November 2017**

PROSIDING

**Peran Sains dan Teknologi Nuklir dalam Percepatan
Kesejahteraan Menuju Kemandirian Bangsa**

**Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
Jl. Tamansari No. 71 Telp. 022-2503997 Fax. 022-2504081 Bandung 40132**

ISSN 1858-3601



**Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017
Bandung, 14 November 2017**

PROSIDING

**Peran Sains dan Teknologi Nuklir dalam Percepatan
Kesejahteraan Menuju Kemandirian Bangsa**

**Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
Jl. Tamansari No. 71 Telp. 022-2503997 Fax. 022-2504081 Bandung 40132**

ISSN 1858-3601



**Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017
Bandung, 14 November 2017**

PROSIDING

**Peran Sains dan Teknologi Nuklir dalam Percepatan
Kesejahteraan Menuju Kemandirian Bangsa**

Penyunting:

Drs. Duyeh Setiawan, MT	(BATAN)
Dr. Dani Gustaman Syarif, M.Eng.	(BATAN)
Prof. Dr. Muhayatun, MT	(BATAN)
Dr. Hussein S. Kartamihardja, M.Kes., Sp.Kn	(UNPAD)
Prof. Dr. Ir. Rochim Supratman	(ITB)
Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, M.Sc.	(BATAN)
Prof. Dr. Ir. Ari Darmawan Pasek	(ITB)
Abdul Waris, M.Eng., Ph.D.	(ITB)
Dr. Alan Maulana, MT	(BATAN)
Dr. Hasnia Aliyah	(UIN SGD)
Ir. Sudjatmi Kustituantini Soedjadi, MT	(BATAN)
Dra. Rini Heroe Oetami, MT	(BATAN)
Koswara, S.Kom.	(BATAN)

**Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**
Jl. Tamansari No. 71 Telp. 022-2503997 Fax. 022-2504081 Bandung 40132



KEPUTUSAN
KEPALA PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI NUKLIR TERAPAN
NOMOR : 4626/SNT/IX/2017

TENTANG
PANITIA SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNOLOGI NUKLIR TAHUN 2017
PADA TANGGAL 14 NOVEMBER 2017

- Menimbang : bahwa dalam rangka menyebarluaskan hasil litbang yang menunjang pemanfaatan Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan dalam pengembangan dan pengelolaan potensi nasional, maka dipandang perlu menyelenggarakan Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir.
- Mengingat :
1. Peraturan Kepala BATAN Nomor : 14 Tahun 2013;
 2. Peraturan Kepala BATAN Nomor : 21 Tahun 2014;
 3. Keputusan Kepala BATAN Nomor: 52/KA/III/2017;
 4. Keputusan Kepala BATAN Nomor: 54/KA/III/2017;
 5. DIPA Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan Tahun 2017.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan : PANITIA SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNOLOGI NUKLIR 2017 PADA TANGGAL 14 NOVEMBER 2017.
- KESATU : Mencabut Surat Keputusan Kepala Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan Nomor: 2326/SNT/IV/2017 tanggal 25 April 2017, tentang Panitia Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir Tahun 2017 Pada Tanggal 15 Agustus 2017
- KEDUA : Membentuk Panitia Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir dan mengangkat pegawai yang nama-namanya tersebut pada lajur 2, dalam jabatan sebagaimana tersebut pada lajur 3, daftar lampiran keputusan ini.
- KETIGA : Dalam melaksanakan tugasnya Panitia bertanggung jawab kepada Kepala Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan.
- KEEMPAT : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal 04 September 2017 .sampai dengan selesai pelaksanaan Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, dengan ketentuan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam keputusan ini akan diadakan perbaikan seperlunya.

Ditetapkan di Bandung
pada tanggal 11 September 2017

KEPALA,

DR. JUPITER SITORUS PANE, M.Sc.
NIP: 19600511 198502 1 001



LAMPIRAN
SURAT KEPUTUSAN
NOMOR : 4626/SNT/IX/2017
Tanggal: 11 September 2017

NO	NAMA	JABATAN	KETERANGAN
1.	2.	3.	4.
1.	Deputi Bidang SATN	Pengarah	BATAN
2.	Dr. Jupiter Sitorus Pane, M.Sc.	Penanggung Jawab	BATAN
REVIEWER			
3.	Drs. Duyeh Setiawan, MT.	Ketua	BATAN
4.	Dr. Dani Gustaman Syarif, M.Eng.	Anggota	BATAN
5.	Prof. Dr. Muhayatun, MT.	Anggota	BATAN
6.	Dr. Hussein. S. Kartamihardja, M.Kes,Sp.Kn	Anggota	UNPAD
7.	Prof. Dr. Ir.Rochim Supratman	Anggota	ITB
8.	Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, M. Sc.	Anggota	BATAN
9.	Prof. Dr. Ir. Ari Darmawan Pasek.	Anggota	ITB
10.	Abdul Waris, M.Eng., Ph.D.	Anggota	ITB
11.	Dr. Alan Maulana, MT.	Anggota	BATAN
12.	Dr. Hasnia Aliyah	Anggota	UIN SGD
13.	Ir. Sudjatmi Kustituantini Soedjadi, MT	Anggota	BATAN

14.	Dra. Rini Heroe Oetami, MT.		Anggota	BATAN
15.	Koswara, S.Kom		Anggota	BATAN
Tim Prosiding				
16.	Dra. Azmairit Azis		Ketua	BATAN
17.	Muhamad Basit Febrian , M.Si		Anggota	BATAN
18.	Eva Maria Widyasari, M.Si		Anggota	BATAN
19.	Rizky Juwita Sugiharti, M.Pharm, Apt.		Anggota	BATAN
20.	Afida Ikawati, MT		Anggota	BATAN
21.	Yustika Kurniati, MT		Anggota	BATAN
22.	Haryo Seno, M.Si.		Anggota	BATAN
Tim Pelaksana				
23.	dr. Rudi Gunawan, Sp.KN		Ketua	BATAN
24.	Santiko Tri Sulaksono, M.Si.		Wakil Ketua	BATAN
25.	Yofi Ike Pratiwi, A.Md		Sekretaris	BATAN
26.	Supartini Parmis, SAB		Bendahara	BATAN
27.	Veri Trisnawan, A.Md.		Seksi Dana	BATAN
28.	Yayat Supriyatna, A.Md		Seksi Persidangan	BATAN
29.	dr. Prabandhini Wardhani		Anggota	BATAN
30.	Nailatussaadah, M.Si		Anggota	BATAN
31.	Mega Ardhya Garini, SAP		Anggota	BATAN
32.	Prasetyo Basuki, M.Si		Anggota	BATAN
33.	Woro Yatu Niken Syahfitri, S.Si		Anggota	BATAN

34.	Fuji Octa Indah Suciati, A.Md.		Seksi Kesekretariatan	BATAN
35.	Syukria Kurniawati, M.Sc		Anggota	BATAN
36.	Heni		Anggota	BATAN
37.	Ratnasih		Konsumsi	BATAN
38.	Rina Yuliyani		Seksi Acara	BATAN
39.	Avi Pradana Yulianti, A.Md		Anggota	BATAN
40.	Asep Yana Mulyana, SH.		Seksi Perlengkapan	BATAN
41.	Bahtiar Imanudin, S.ST.		Anggota	BATAN
42.	Dadang Fachrudin		Anggota	BATAN
43.	Setyo Purnomo, S.ST		Seksi Publikasi dan Website	BATAN
44.	Harry Mukhrivan, A.Md.Kep		Anggota	BATAN
45.	Danang Supriyanto, A.Md.		Anggota	BATAN
46.	Dra. Arie Widowati, MT.		Seksi Dokumentasi	BATAN
47.	Permana Dewa		Anggota	BATAN
48.	Dian Siswa, SAP		Seksi Keamanan	BATAN

KEPALA



DR. JUPITER SITORUS PANE, M.Sc.
NIP. 19600511-198502 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah S.W.T. karena atas ridhoNya, sehingga **Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017** dengan tema seminar “Peran Sains dan Teknologi Nuklir dalam Percepatan Kesejahteraan Menuju Kemandirian Bangsa” dapat diterbitkan. Prosiding ini memuat karya tulis ilmiah yang telah disampaikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 oleh para peneliti yang ada di lingkungan Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), di luar PSTNT-BATAN dan lembaga litbang lainnya di luar BATAN.

Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 diselenggarakan pada tanggal 14 November 2017 oleh PSTNT-BATAN yang bertempat di Aula Emas-PSTNT, Jl. Tamansari No. 71 Bandung. Pada seminar ini disajikan 77 buah karya tulis ilmiah berupa makalah hasil penelitian dan pengembangan serta pengkajian dari Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, dan Universitas Jendral Ahmad Yani. Adapun satuan kerja di lingkungan BATAN yang ikut berpartisipasi sebagai pemakalah adalah Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA), Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM), Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN), Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG), Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR), Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) dan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR).

Selain itu, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 juga menampilkan empat pembicara utama yaitu Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto (Kepala BATAN), Prof. Dr. Zaki Su’ud dari Fisika Nuklir dan Biofisika – Institut Teknologi Bandung, Dr. A. Hussein S. Kartamihardja, SpKN, MHKes. dari Fakultas Kedokteran - Universitas Padjadjaran/ RSUP Dr. Hasan Sadikin dan Dr. Muhamed G.A.H. Belal dari *International Atomic Energy Agency* (IAEA).

Setelah melewati proses penyuntingan, sebanyak 67 buah karya tulis ilmiah dicantumkan sebagai makalah lengkap di dalam Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 yang diklasifikasikan dalam topik energi, industri, kesehatan dan lingkungan. Semoga Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 ini dapat bermanfaat sebagai sumber informasi untuk kemajuan penelitian dan pengembangan sains dan teknologi nuklir di Indonesia.

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

Bandung, April 2018

Penyunting

SAMBUTAN KEPALA PSTNT – BATAN

Segala puji kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas rahmatNya Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 dengan tema “Peran Sains dan Teknologi Nuklir dalam Percepatan Kesejahteraan Menuju Kemandirian Bangsa” dapat diterbitkan. Prosiding ini memuat karya tulis ilmiah yang telah disampaikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 yang diselenggarakan pada tanggal 14 November 2017 oleh Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) – BATAN, Bandung. Seminar ini dilaksanakan dalam rangka menyebarluaskan hasil penelitian dan pengembangan serta pemanfaatan iptek nuklir. Melalui seminar ini diharapkan hasil penelitian dan pengembangan iptek nuklir yang sudah dilakukan dapat dimasyarakatkan.

Karya tulis ilmiah dalam prosiding ini ditulis oleh para peneliti baik yang berada di lingkungan PSTNT-BATAN, di luar PSTNT-BATAN, maupun di luar BATAN meliputi penelitian dan pengembangan di bidang energi, industri, kesehatan dan lingkungan. Di samping itu, prosiding ini juga memuat makalah yang dipresentasikan oleh empat pembicara utama yaitu tentang: Indonesia sebagai *Nuclear Technology Provider*; PLTN Generasi Lanjut dan Prospeknya bagi Indonesia; Prospek dan Tantangan Pemanfaatan Iptek Nuklir di Bidang Kesehatan; dan *Safety Analysis for Design and Operational Activities – a User Experience of The IAEA Safety Standards*.

Untuk itu, kami menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembicara utama, seluruh pemakalah seminar, undangan, panitia penyelenggara seminar dan semua yang telah berpartisipasi dalam menyukseskan penyelenggaraan Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017. Dengan telah terbitnya prosiding ini, kami juga mengucapkan terima kasih kepada Tim Penerbitan Prosiding dan semua pihak yang telah membantu sehingga Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017 dapat diterbitkan sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Besar harapan kami semoga Prosiding ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, April 2018

Kepala Pusat Sains dan Teknologi
Nuklir Terapan – BATAN

Dr. Jupiter Sitorus Pane, MSc

DAFTAR ISI

	Halaman
1. Kata Pengantar	i
2. Sambutan Kepala PSTNT BATAN Bandung	ii
3. Daftar Isi	iii
 MAKALAH SIDANG PLENO	
4. INDONESIA SEBAGAI <i>NUCLEAR TECHNOLOGY PROVIDER</i> Oleh: <i>Djarot Sulistio Wisnubroto (BATAN)</i>	1
5. PLTN GENERASI LANJUT DAN PROSPEKSNYA BAGI INDONESIA Oleh: <i>Zaki Su'ud (ITB)</i>	13
6. PROSPEK DAN TANTANGAN PEMANFAATAN IPTEK NUKLIR DI BIDANG KESEHATAN Oleh: <i>A. Hussein S. Kartamihardja (UNPAD)</i>	48
7. SAFETY ANALYSIS FOR DESIGN AND OPERATIONAL ACTIVITIES – A USER EXPERIENCE OF THE IAEA SAFETY STANDARDS Oleh: <i>Dr. Muhamed G.A.H. Belal (IAEA)</i>	66
 MAKALAH POSTER	
ENERGI	
8. PERHITUNGAN FLUKS NEUTRON PADA <i>BEAMPORT</i> REAKTOR TRIGA 2000 MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MCNP5 Oleh: <i>Alan Maulana, Epung Saepul Bahrum dan Prasetyo Basuki</i>	67
9. RANCANGAN SISTEM KONSOL KENDALI REAKTOR TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT PSTNT-BATAN BANDUNG Oleh: <i>Anang Susanto, Eko Priyono dan Kurnia Wibowo</i>	73
10. APLIKASI PERALATAN <i>ARC PLASMA SINTERING</i> DALAM SINTESIS PADUAN-ODS BERBASIS Fe-Cr UNTUK MATERIAL STRUKTUR REAKTOR Oleh: <i>Bandriyana dan Arbi Dimiyati</i>	85
11. MENENTUKAN DISTRIBUSI SUHU PEMANAS DAN SUHU PENDINGIN UNTUK ALIRAN ALAMIAH SUB-BULUH VERTIKAL SEGITIGA MENGGUNAKAN NANOFLUIDA ZRO ₂ SEBAGAI FLUIDA KERJA Oleh: <i>Budy Darmono</i>	92
12. ALIH TEKNOLOGI UNTUK PROGRAM PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA Oleh: <i>Dharu Dewi</i>	97
13. PEMBUATAN PROGRAM LADDER UNTUK SISTEM PENGATUR BATANG KENDALI REAKTOR TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT PSTNT-BATAN BANDUNG BERBASIS PLC Oleh: <i>Eko Priyono, Vika Arwida F dan Fajar Sidik Permana</i>	108
14. STUDI PENDAHULUAN: UPAYA PEMENUHAN PERKA BAPETEN NOMOR 5 TAHUN 2012 SEHUBUNGAN DENGAN KONVERSI REAKTOR TRIGA PELAT BANDUNG Oleh: <i>Enung Nurlia, Ketut Kamajaya, dan Nia Ratnaningsih</i>	118

15.	NEUTRON FLUX DISTRIBUTION CALCULATION AT CIP OF PLATE TYPE FUEL ELEMENT TRIGA 2000 REACTOR Oleh: <i>Epung Saepul Bahrum and Prasetyo Basuki</i>	124
16.	KORELASI HASIL ANALISIS GAYA BERAT DAN KELURUSAN STRUKTUR GEOLOGI DI TAPAK RDE SERPONG Oleh: <i>Hadi Suntoko, Sriyana dan Siti Alimah</i>	131
17.	ANALISIS TEGANGAN PIPA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA PELAT BANDUNG Oleh: <i>Henky Poedjo Rahardjo, V.Indriati Sri Wardhani</i>	138
18.	KAJIAN TEKNIS PERHITUNGAN NEUTRONIK KONVERSI REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG KE ELEMEN BAKAR TIPE PELAT Oleh: <i>K. Kamajaya, Jupiter S.P., dan P. Ilham Yazid</i>	145
19.	PEMBUATAN PERANGKAT UJI DETEKTOR FISSION CHAMBER UNTUK REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG Oleh: <i>Koswara dan Pardi</i>	150
20.	KAJIAN SIMULATIF DAN EKSPERIMENTAL FASILITAS IRRADIASI ALTERNATIF DI TERAS TRIGA 2000 PENGGANTI LAZY SUSAN Oleh: <i>Prasetyo Basuki, M. Basit Febrian, Wawan Handiaga, Pardi, Yayat Supriatna</i>	160
21.	PENGGANTIAN RESIN PENUKAR ION SISTEM PURIFIKASI KOLAM PENYIMPANAN ELEMEN BAKAR BEKAS (FAK01) RSG-GAS Oleh: <i>Purwadi dan Sutrisno</i>	166
22.	ANALISIS KELAYAKAN IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI ENERGI NUKLIR Oleh: <i>Rizki Firmansyah Setya Budi, Wiku Lulus Widodo, dan Arief Tris Yuliyanto</i>	172
23.	PERHITUNGAN KEMUNGKINAN SEBARAN EMISI NUKLIDA REAKTOR TRIGA PELAT PADA KONDISI SATU BAHAN BAKAR MELELEH Oleh: <i>Sudjatmi K.A., Prasetyo, Haryo Seno, Surian Pinem</i>	180
24.	ANALISIS NEUTRONIK DUMMY ALUMINIUM DI TERAS REAKTOR RSG-GAS Oleh: <i>Sutrisno, Purwadi</i>	186
25.	ANALISA PELUANG HEMAT ENERGI MELALUI RETROFIT PEMAKAIAN REFRIGERANT PENDINGIN UDARA MC-22 SEBAGAI PENGGANTI R-22 PADA GEDUNG PSTBM – BATAN Oleh: <i>Suyatno, Yana MK, dan Sairun</i>	193
26.	PENGGANTIAN BATANG KENDALI REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG DARI TIPE FFCR MENJADI BKRTTBB Oleh: <i>Koswara, Wawan H, Teguh S., Yayat S.</i>	201
27.	PREDIKSI PENGGUNAAN POMPA EXISTING UNTUK PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA PELAT Oleh: <i>V.Indriati Sri Wardhani, Henky PR, K.Kamajaya, Sudjatmi K Alfa, Reinaldy Nazar</i>	210
28.	ANALISIS KEEKONOMIAN PLTN SMR KLT40S UNTUK WILAYAH TERISOLASI DI INDONESIA Oleh: <i>Wiku Lulus Widodo</i>	215

INDUSTRI

29.	SINTESIS DAN KARAKTERISASI NI-TIO ₂ -C SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK ZAT WARNA Oleh: <i>Agus Salim Afrozi, Nida Farihah, Auring Rachminisari</i>	223
30.	ANALISIS MOLEKULER PROFIL PROTEIN DAN DNA POLIMORFISME KAPANG <i>TRICHODERMA HARZIANUM</i> YANG DIIRADIASI SINAR GAMMA Oleh: <i>Dadang Sudrajat, Nana Mulyana, Tri Retno. D.L., dan Rika Heriyani</i>	231
31.	PEMILIHAN MATERIAL PADA REDESAIN KONVEYOR HOT CELL LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA DI PTRR BATAN Oleh: <i>Diandono Kuntjoro Yoga, Syefudin Ichwan dan Aceu Turyana</i>	240
32.	TROUBLESHOOTING ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE (EDXRF) EPSILON 5 Oleh: <i>Dyah Kumala Sari, Diah Dwiana Lestiani, Syukria Kurniawati, Natalia Adventini</i>	246
33.	KOMPARASI PERHITUNGAN DALAM PENENTUAN RADIOAKTIVITAS ¹⁵³ Sm DENGAN SPEKTROMETRI GAMMA Oleh: <i>Indah Kusmartini, Dyah Kumala Sari, Syukria Kurniawati, Diah Dwiana Lestiani</i>	255
34.	ANALISIS METALOGRAFI SPESIMEN MINI UJI TARIK PELAT ALMG2 HASIL PEMOTONGAN TEKNIK <i>SHEAR CUTTING</i> Oleh: <i>Maman Kartaman A dan Sungkono</i>	261
35.	IN-VITRO CONSERVATION OF GINGER MUTANT LINES ON DIFFERENT STRENGTH OF MS MEDIUM WITH 2,4-D Oleh: <i>Marina Yuniawati and Nur Laela Wahyuni Meilawati</i>	268
36.	TEKNIK DEKONVOLUSI UNTUK ANALISIS <i>OVERLAPPING SPECTRUM</i> PADA EDXRF MINIPAL 4 Oleh: <i>Natalia Adventini, Woro YNS, Syukria Kurniawati dan Endah Damastuti</i>	274
37.	PENGUKURAN FLUKS NEUTRON ²⁴¹ AmBe dan ²⁵² Cf DENGAN BSS DAN DETEKTOR SINTILASI LiI(Eu) Oleh: <i>Nazaroh dan Rasito</i>	279
38.	REKAYASA PERMUKAAN BAJA KARBON MENGGUNAKAN ARC PLASMA SINTERING Oleh: <i>Rohmad Salam, Arbi Dimiyati, Ade Mardiyadi</i>	288
39.	KERAGAAN MUTAN PADI LOKAL PADA EKOSISTEM DATARAN TINGGI Oleh: <i>Sherly Rahayu, A.K. Dewi, D. Wirnas dan H. Aswidinnoor</i>	293
40.	UJI STABILITAS 10 GALUR MUTAN HARAPAN SORGUM HASIL IRRADIASI SINAR GAMMA DI BEBERAPA LOKASI Oleh: <i>Sihono, Wijaya M. Indriatama dan Soeranto Human</i>	305
41.	IMPROVEMENT OF FITTING RADIOTRACER - RESIDENCE TIME DISTRIBUTION CURVE USING CONVOLUTION INTEGRAL METHOD Oleh: <i>Sugiharto</i>	314
42.	KILAS BALIK KEJADIAN KEGAGALAN PENGGUNAAN PRODUK IR-192 UNTUK RADIOGRAFI INDUSTRI DI KUTAI KERTANEGARA Oleh: <i>Suhaedi Muhammad</i>	322

43. PENENTUAN KAPASITAS TUKAR ANION RESIN BIO RAD AG 4-X4 UNTUK PEMURNIAN RADIOISOTOP IODIUM-131(¹³¹I) DENGAN METODE KROMATOGRAFI KOLOM
Oleh: *Titin Sri Mulyati, Duyeh Setiawan* 328
44. SCAN ON GASOLINE FRACTIONATION COLUMN TO CONTROL PRODUCTION FLOW USING Co-60
Oleh: *Wibisono, Bayu Azmi* 333
45. SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZrO₂ DENGAN METODE SOL-GEL MENGGUNAKAN AMILUM SEBAGAI CAPPING AGENT UNTUK APLIKASI NANOFLUIDA
Oleh: *Arie Hardian, Fathnisa Ihsannurika Hasnah, Dani Gustaman Syarif dan Senadi Budiman* 338

KESEHATAN

46. PENENTUAN KEMURNIAN RADIOKIMIA LARUTAN RADIOISOTOP TERBIUM-161 (¹⁶¹TbCl₃) HASIL PEMISAHAN DENGAN METODE KROMATOGRAFI KOLOM MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ION
Oleh: *Ade Suherman dan Azmairit Aziz* 345
47. PENGUKURAN AKTIVITAS ^{99m}Tc SECARA ABSOLUT DENGAN METODE KOINSIDENSI 4πe-γ
Oleh: *Agung Agus Budiman, Holnisar* 351
48. PERBANDINGAN ALAT *PARTICLE COUNTER* UNTUK KLASIFIKASI *CLEAN ROOM* KELAS-A
Oleh: *Amal Rezka Putra*, Maskur, Suharmadi, Yayan Tahyan, Agus Ariyanto, Adang Hardi Gunawan* 356
49. PENENTUAN LUARAN BERKAS RADIASI ELEKTRON LAJU DOSIS TINGGI PESAWAT PEMERCEPAT LINIER ELEKTA VERSA HD DAN VARIAN CLINAC iX
Oleh: *Assef Firnando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati* 361
50. PENENTUAN PARAMETER PEMISAHAN RADIOISOTOP ¹⁶¹Tb DARI Matriks Gd/Tb BERBASIS RESIN PENUKAR ION
Oleh: *Azmairit Aziz, Ade Suherman* 366
51. DAMPAK KESEHATAN DALAM PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF
Oleh: *Moh. Cecep Cepi Hikmat, Moh. Hasroel Thayib, Dadong Iskandar* 374
52. EVALUASI IMUNITAS SELULAR (CD8) PADA PEKERJA RADIASI MEDIS
Oleh: *Darlina dan Yanti Lusiyanti* 383
53. PERAN SEMBILAN OBJEK PEMANTAUAN PADA SKEN HATI (LIVER SCAN) MENGGUNAKAN Tc-^{99m} SULFUR COLLOID UNTUK MEMPERTAJAM DIAGNOSTIK KELAINAN FUNGSI HATI DAN LIMPA
Oleh: *Fadil Nazir, Maria Evalisa* 389
54. GENETIC POLYMORPHISM IN DNA BASE EXCISION REPAIR GENE XRCC1 AMONG MEDICAL RADIATION WORKERS
Oleh: *Harry Nugroho Eko Surniyantoro, Yanti Lusiyanti, Wiwin Mailana, Devita Tetriana* 395

55. PERHITUNGAN TERIMAAN DOSIS RADIASI DARI LEPASAN REAKTOR TRIGA-PELAT PADA KONDISI KECELAKAAN YANG DIPOSTULASIKAN
Oleh: *Haryo Seno, Sudjatni K.A., Prasetyo Basuki* 401
56. PELAKSANAAN PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI DI LABORATORIUM X-RD DI PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI BAHAN MAJU – BATAN
Oleh: *Joko Nurhamid, Dodi Andrega S., Asep Nana S.* 410
57. PROGRAM PROTEKSI RADIASI PADA PENGOPERASIAN REAKTOR TRIGA 2000
Oleh: *Rini Heroe Oetami, Dadang Supriatna, Afida Ikawati* 416
58. PENGEMBANGAN PROGRAM KESIAPSIAGAAN NUKLIR DAN PENERAPANNYA DI PSTNT
Oleh: *Rini Heroe Oetami, Dadang Supriatna, Afida Ikawati, Tri Cahyo Laksono, Haryo Seno* 425
59. PEMANFAATAN BIOMARKER MIKRONUKLEI UNTUK Mendukung PROGRAM PROTEKSI RADIASI
Oleh: *Siti Nurhayati, Mukh Syaifudin* 436
60. HUBUNGAN FRAGMENT ASENTRIK KROMOSOM DAN MIKRONUKLEI PADA SEL LIMFOSIT DENGAN PAPARAN RADIASI SINAR X
Oleh: *Sofiaty Purnami, Farhanah Assagaf, Pudji Pertiwi dan Yanti Lusiyanti* 443
61. INTERAKSI OBAT DENGAN RADIOFARMAKA
Oleh: *Rizky Juwita Sugiharti dan Isti Daruwati* 450
62. PENCITRAAN DENGAN KAMERA GAMMA SPECT/CT AKUMULASI RADIOFARMAKA ^{99m}Tc -GLUTATION PADA *Rattus norvegicus* DENGAN MODEL HEWAN TUMOR YANG DIINDUKSI 7, 12-dimethylbenzanthracene
Oleh: *Iim Halimah, Rizky Juwita Sugiharti, Isa Mahendra, Eva Maria Widyasari, Maula Eka Sriyani, Rini Shintawati, Hussein S. Kartamihardja* 456
63. PENGEMBANGAN METODE PENENTUAN PENGOTOR RADIOKIMIA DAN KIMIA MENGGUNAKAN RADIO-HPLC DALAM PROSES PEMBUATAN ^{99m}Tc -DTPA-KETOKONAZOL
Oleh: *Maula Eka Sriyani, Rizky Juwita Sugiharti, Eva Maria Widyasari* 461
64. PEMERIKSAAN JUMLAH LEKOSIT, LIMFOSIT DAN HITUNG JENIS SEL DARAH PEKERJA RADIASI DI RUMAH SAKIT
Oleh: *Tur Rahardjo, Darlina, Kristina Dwi Purwanti, Siti Nurhayati* 466
65. MIKRONUKLEI PADA PASIEN KANKER SERVIKS PRA DAN PASCA RADIOTERAPI
Oleh: *Yanti Lusiyanti, Masnelly Lubis, Viria AS, Suryadi, Cahya Kurdjana, Nastiti Rahajeng* 472

LINGKUNGAN

66. LONG TERM STABILITY OF COAL FLY ASH REFERENCE MATERIAL CANDIDATE
Oleh: *Endah Damastuti, Woro Yatu Niken S., Natalia Adventini, and Muhayatur Santoso* 478

67.	DISTRIBUSI $Rn-222$ DALAM MATA AIR DI SEKITAR GUNUNG TAMPOMAS Oleh: <i>Neneng Laksminingpuri, Rasi Prasetyo</i>	485
68.	EFISIENSI DETEKTOR HPGe UNTUK ENERGI GAMMA ^{40}K DALAM SERBUK KCL DENGAN VARIASI VOLUME MARINELLI Oleh: <i>Putu Sukmabuana, Rasito Tursinah, Suhulman, Widanda dan Poppy Intan Tjahaja</i>	490
69.	TRANSFER RADIOSTRONSIUM DARI TANAH KE TANAMAN BAYAM (<i>Amaranthus sp</i>) Oleh: <i>Putu Sukmabuana, Neneng Nur Aisyah, Juni Chussetijowati, Widanda, dan Poppy Intan Tjahaja</i>	496
70.	PENENTUAN KARAKTERISTIK SUMBER PENCEMAR DI SERPONG MENGGUNAKAN POSITIVE MATRIX FACTORIZATION Oleh: <i>Rita, Diah Dwiana Lestiani, Muhayatun Santoso</i>	503
71.	OPTIMASI BEBERAPA FAKTOR YANG BERPENGARUH DALAM PENGUKURAN AAN Oleh: <i>Syukria Kurniawati, Diah Dwiana Lestiani, Natalia Adventini, Woro Yatu Niken Syahfitri, Endah Damastuti, Indah Kusmartini</i>	510
72.	PROFIL DISTRIBUSI VERTIKAL $Pb-210$ UNSUPPORTED PADA LAPISAN TANAH DAS WADUK DARMA - KUNINGAN Oleh: <i>Tommy Hutabarat</i>	515
73.	KONSENTRASI RADON DI RUMAH PENDUDUK DI WILAYAH KALIMANTAN TIMUR Oleh: <i>Wahyudi, Eka Djatnika Nugraha, Kusdiana, Dadong Iskandar</i>	522
74.	RADIOAKTIVITAS ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K DALAM BAHAN PANGAN DI DESA TAKANDEANG, KABUPATEN MAMUJU, SULAWESI BARAT Oleh: <i>Ceiga Nuzulia Sofyaningtyas, Eko Pujadi, Wahyudi dan Oktisya Devi W.</i>	529
75.	Daftar Peserta	534

PEMANFAATAN BIOMARKER MIKRONUKLEI UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PROTEKSI RADIASI

Siti Nurhayati, Mukh Syaifudin

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Cilandak, Jakarta Selatan, 12440

ABSTRAK

PEMANFAATAN BIOMARKER MIKRONUKLEI UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PROTEKSI RADIASI. Dalam proteksi radiasi yang menyertai perkembangan teknologi nuklir untuk kehidupan sehari-hari dibutuhkan suatu biomarker yang handal untuk menentukan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh seseorang akibat pekerjaan atau kecelakaan radiasi dan lebih lanjut digunakan untuk mengambil tindakan yang diperlukan. Dari sekian banyak biomarker paparan radiasi, salah satu yang dapat digunakan adalah mikronuklei (MN) baik untuk paparan akut maupun kronik setelah radiasi *in vivo* dan *in vitro*. MN yang merupakan salah satu indikasi kerusakan struktur pada kromosom akibat radiasi ini dapat diamati dengan cara mengeblok proses pembelahan sel pada tahap sitokinesis menggunakan cytochalasin-B yang dikenal dengan Cytokinesis Blocking (CB). MN tidak termasuk dalam inti utama sel selama mitosis karena kehilangan sentromer (fragment asentrik), atau lebih dari satu sentromer, ataupun kekurangan kinetochore (sentromer) atau fiber gulungan yang terluka. MN dapat diamati dengan mudah berada di sisi sel binukleat (sel dengan dua inti) dalam sitoplasma. Berbagai macam faktor mempengaruhi pembentukan MN dalam sel seperti umur, jenis kelamin, konstitusi genetik, dan jenis agensi fisika dan kimia yang menyebabkannya. Beberapa keunggulan MN antara lain lebih cepat dalam penghitungan, dapat digunakan untuk berbagai jenis sel, murah dan sederhana, namun memiliki kelemahan yakni bahwa MN juga dapat diinduksi oleh senyawa kimia.

Katakunci: Proteksi radiasi, mikronuklei, pengeblokan sitokinesis, biomarker

ABSTRACT

THE UTILIZATION OF MICRONUCLEI BIOMARKER FOR SUPPORTING RADIATION PROTECTION PROGRAM. In radiation protection that accompany the development of nuclear technology for daily life it is needed a biomarker that reliable to determine the radiation dose received by a person due to work or radiation accident and further it can be utilized to take the necessary action. Of many radiation exposure biomarkers, one of them that can be used is micronuclei (MN) either for acute or chronically exposure after *in vivo* and *in vitro* radiation. MN that is an indication of structural damage of chromosome due to radiation can be observed by blocking proliferation process at cytokinesis stage using cytochalasin-B that is known as Cytokinesis Blocking (CB). MN is excluded into the main nuclear of the cell during the mitosis due to the loss of centromer (acentric fragment), or more than one centromer, or lack of kinetochore (sentromer) or damaged spindle. MN can be observed beside binucleate cell (cell with two nucleus) in cytoplasm. A variety of factors influences MN formation in cells such as age, sex, genetic constitution, and type of physical and chemical agents that induce it. Several advantages of MN are faster in counting, can be used for many types of cells, cheaper and simple, however it has a weakness such as that MN can be induced by chemicals.

Keywords: Radiation protection, micronuclei, cytokinesis blocking, biomarker

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan meningkatnya penggunaan radiasi dan/atau sumbernya di berbagai keperluan dalam kehidupan manusia sehari-hari dan semakin sadarnya akan potensi efek yang ditimbulkannya, maka diyakini bahwa dosimeter biologi merupakan hal yang sangat penting sebagai pendukung dosimeter fisik terutama dalam kasus kedaruratan nuklir atau untuk memastikan kebenaran dalam pemakaian/pengelolaan dosimeter fisik [1,2]. Kedaruratan nuklir atau kecelakaan radiasi atau bahkan penyalahgunaan radiasi dapat terjadi dimana saja, di rumah sakit, industri, laboratorium, atau dalam perjalanan suatu sumber. Karena paparan radiasi berhubungan dengan risiko kerusakan sel yang akan berdampak pada kesehatan seseorang yang terkena paparan maka diperlukan suatu petunjuk praktis bagi dokter, tenaga medis atau petugas yang berwenang dalam menangani korban kecelakaan radiasi [3].

Aberasi kromosom telah dikenal secara luas sebagai dosimeter biologi atau biodosimetri yang menggambarkan tingkat kerusakan kromosom dalam sel limfosit darah perifer seseorang yang terpapar radiasi pengion. Penentuan mikronuklei (MN) sebagai indikator penyerapan dosis menarik perhatian para peneliti karena mempunyai hubungan yang erat antara aberasi kromosom dengan MN, dan terdapat korelasi yang positif dengan dosis. Dengan demikian teknik pengamatan MN pada limfosit yang telah dikultur selama 72 jam dapat dijadikan metoda alternatif sebagai indikator penyerapan dosis untuk memantau kerusakan kromosom [4-6]. MN terbentuk dari fragmen asentris atau berbagai patahan kromosom. Diduga bahwa semakin banyak aberasi kromosom yang timbul semakin banyak pula MN yang terbentuk. Keunggulan, dari analisa MN adalah dapat diamati pada seluruh siklus sel sehingga dapat dihitung dengan cepat dalam jumlah yang banyak. Sedangkan pada pengamatan analisa aberasi kromosom hanya dapat dilakukan pada sel yang mengalami metafase [7,8].

Untuk menjamin keselamatan pekerja dan anggota masyarakat serta melindungi lingkungan hidup, diperlukan adanya program proteksi radiasi dalam suatu instalasi atau kegiatan yang melibatkan radiasi. Program proteksi radiasi ini harus dilaksanakan secara konsisten dan konsekuen agar keselamatan radiasi dapat terwujud. Proteksi radiasi merupakan tindakan sistematis dan terencana agar pemanfaatan radiasi ini memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya dengan risiko yang serendah mungkin. Kejadian MN terbukti merupakan indikator biologi yang sensitif akan efek *clastogenic* dari berbagai macam

agensia fisika seperti radiasi atau senyawa kimia. Kemungkinan menggunakan teknik CB-MN dalam proteksi radiasi sebagai suatu alternatif untuk analisis kromosom selama ini telah menarik banyak peneliti. Ulasan ulang ini membahas aspek biologik utama dari MN dan mendiskusikan potensinya sebagai satu cara untuk menentukan dosis paparan berlebih dari suatu jenis radiasi untuk keberhasilan proteksi radiasi.

2. BIOMARKER DAN BIODOSIMETRI

Efek paparan radiasi pengion dapat diamati pada sel limfosit, yaitu salah satu jenis sel darah putih yang berperan dalam sistem kekebalan tubuh. Sel limfosit sering digunakan dalam pengujian efek radiasi karena limfosit merupakan sel yang paling sensitif terhadap radiasi [9]. Radiasi pengion dapat menyebabkan kerusakan tubuh seperti kerusakan kromosom atau disebut sebagai aberasi kromosom dan juga dapat menimbulkan penyakit kelainan genetik atau kanker. Jenis-jenis aberasi kromosom yang dapat muncul yaitu kromosom disentrik, fragmen asentrik kromosom atau *double minutes, gap*, cincin, interstitial, terminal, dan inversi [10]. Oleh karena itu diperlukan pengujian rutin terutama para pekerja radiasi untuk mengetahui dosis radiasi yang terserap dalam tubuhnya agar dapat dilakukan pencegahan dini dan pengkajian lebih lanjut.

Berbagai macam cara telah diambil untuk mengidentifikasi biomarker yang dapat digunakan untuk suatu terobosan dalam penyaringan (*screening*) biodosimetri dalam proteksi radiasi atau untuk mengevaluasi genotoksitas suatu senyawa. Selama ini salah satu yang banyak diandalkan adalah kromosom disentrik (kromosom dengan dua sentromer) yang merupakan *gold standard* untuk biodosimetri paparan radiasi yang dikombinasi dengan parameter dan/atau biomarker lain untuk memperoleh dosis paparan atau dosis serap yang akurat serta perkiraan risiko pada korban. Disentrik adalah biomarker yang khas untuk paparan radiasi tetapi biomarker ini bersifat tidak stabil yang artinya akan menghilang dengan berjalannya waktu karena sel yang mengandung kromosom ini akan mati [11,12]. Sedangkan kestabilan disentrik yang menyebabkan sel tetap menjalani mitosis atau meiosis diduga disebabkan karena aktifnya salah satu dari dua sentromer [13].

Akan tetapi terdapat beberapa faktor seperti variasi dosis yang dapat diperkirakan menggunakan berbagai macam uji biodosimetri, baik yang saat ini telah digunakan maupun yang sedang diuji di lapangan. Variasi antar individu juga merupakan faktor lain dalam banyak uji

tersebut. Salah satu contoh cara adalah pendekatan proteomik yang dapat diandalkan untuk menemukan biomarker potensial baru untuk paparan radiasi yang mendukung program proteksi radiasi. Proteomik merupakan kajian secara molekular terhadap keseluruhan protein yang dihasilkan dari ekspresi gen di dalam sel, terutama mengenai pengkajian atau analisis struktur dan fungsinya. Istilah proteomik pertama kali dikenal pada tahun 1997, yang juga dibuat berdasarkan analogi genetika untuk ilmu yang mempelajari tentang gen [14].

Setelah divalidasi biomarker ini dapat digunakan untuk biodosimetri dalam kondisi atau situasi kecelakaan atau insiden radiologik. Biomarker ini merupakan pelengkap mode dosimetri radiasi lainnya. Di samping perkiraan dosis radiasi yang diterima, biodosimetri juga digunakan untuk menduga konsekuensi kesehatan yang akan muncul pasca terpapar radiasi dalam suatu populasi. Biodosimetri akan memfasilitasi penggolongan individu yang memerlukan penanganan segera atau dapat ditunda dan penanggulangan yang diperlukan untuk mengurangi luka terkait radiasi. Dalam hal tertentu dimungkinkan untuk memperkirakan risiko jangka panjang terkait paparan radiasi. Sesungguhnya perbaikan atau pertolongan yang saat ini digunakan, identifikasi petanda (marker) baru yang kuat dan kerjasama diantara laboratorium di seluruh dunia akan sangat membantu menyempurnakan tindakan penanganan kedaruratan radiasi dalam hal kecelakaan radiologik yang tidak terduga atau korban massal [15].

3. MIKRONUKLEI

Selama ini metode yang digunakan untuk mengevaluasi genotoksitas atau potensi kerusakan genetic akibat suatu senyawa kimia atau fisika melibatkan suatu tindakan yang invasive, prosedurnya rumit dan biayanya mahal. Bahkan terkadang diperlukan lebih dari satu kali uji untuk memastikan sifat toksitas suatu senyawa [16]. Untuk itu diperlukan metode atau biomarker yang lebih mudah diperoleh, sederhana dan murah.

Mikronuklei menurut kamus kesehatan diartikan sebagai inti yang lebih kecil bila ada lebih dari satu yang hadir dalam sel dan diduga sebagai suatu petunjuk adanya kerusakan kromosom. Salah satu teknik uji yang juga dapat digunakan dalam biodosimetri adalah uji MN yang mana pada saat sitokinesis sel diblok dengan suatu senyawa kimia. Teknik ini dapat untuk mengidentifikasi *fragment* (patahan) atau kromosom utuh yang tidak tersegregasi secara

benar saat proses mitosis menjadi inti anak. MN keluar ke sitoplasma sebagai suatu bentuk kromatin yang diskret yang terlihat berada didekat dua inti anak (binukleat) [17] seperti ditampilkan pada Gambar 1.



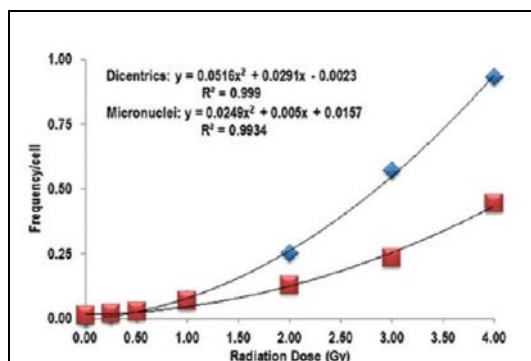
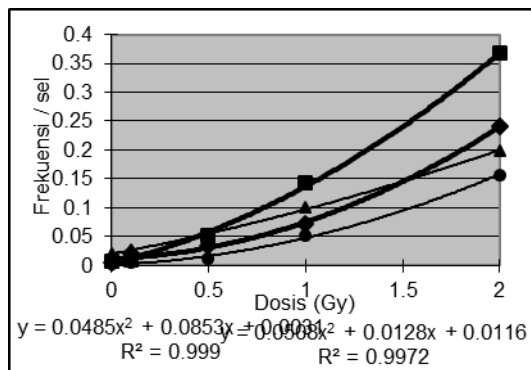
Gambar 1. Tampilan mikronuklei (tanda panah) yang berada disamping sel dengan dua inti dalam suatu sitoplasma.

MN adalah inti tambahan atau bulatan kecil yang terletak di luar inti utama, dan merupakan salah satu bentuk kelainan inti sel akibat kesalahan dalam proses pembelahan. Bila dilihat di bawah mikroskop, MN tampak sebagai inti kedua yang ukurannya kurang dari sepertiga diameter inti utama, berbentuk bulat atau oval dengan tepi halus, tidak bertumbukan atau memiliki hubungan dengan inti utama, serta memiliki warna, tekstur, dan pembiasan yang sama dengan inti utama. Sedangkan *binucleated cell* adalah kelainan inti sel yang tampak sebagai dua inti berukuran kurang lebih sama besar yang terdapat dalam satu sel dan keduanya saling terhubung. Sel ini terbentuk akibat kegagalan sitokinesis dimana terjadi pembelahan inti namun tidak diikuti pembelahan sel [18].

MN terbentuk karena adanya kerusakan kromosom atau kesalahan fungsi suatu benang *spindle* akibat proses genotoksitas. MN terbentuk pada mitosis antara metafase dan anafase. Pada saat metafase semua kromosom akan berjejer di ekuator kemudian masing-masing akan diikat sentromernya oleh benang *spindle* lalu ditarik ke kedua kutub pada saat anafase. Apabila dalam proses antara metafase dan anafase terdapat kerusakan nukleus, dimana akan menghasilkan fragmentasi kromosom yang tidak mengandung sentromer (asentrik), maka fragmen tersebut tidak dapat ditarik ke kutub sehingga akan tertinggal di salah satu sel baru yang terbentuk dari proses mitosis tersebut. Pada fase selanjutnya yaitu telofase, MN yang terbentuk ini akan mendapatkan perlakuan sama halnya dengan nukleus yang sejati yaitu akan mengalami proses pembentukan membrane inti. Oleh karena proses tersebut, MN

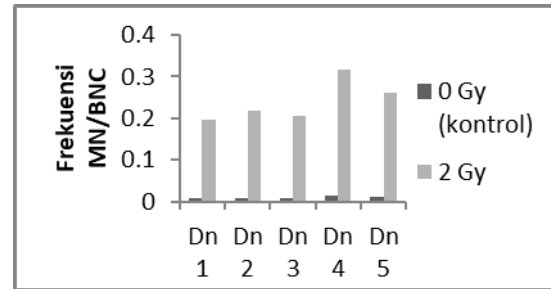
yang terbentuk akan terpisah sempurna dari inti sel yang sesungguhnya [18,19].

Keunggulan utama dari uji MN ini adalah waktu penghitungan yang cepat dan sangat sesuai untuk deteksi awal pada sejumlah besar korban kecelakaan radiasi [20]. Teknik pengeblokan yang dimaksudkan untuk memperoleh MN ini telah diperkenalkan lebih dari 40 tahun lalu, tepatnya tahun 1975 [21]. Karena berhubungan dengan aberasi kromosom, MN telah digunakan sejak tahun 1937 sebagai indikator pajanan genotoksik berdasarkan pada studi radiasi oleh Brenneke dan Mather [22]. 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. Jumlah atau frekuensi MN yang diinduksi radiasi menunjukkan ketergantungannya pada dosis dan kualitas radiasi (Gambar 2), dengan demikian MN dapat digunakan sebagai dosimeter biologi untuk maksud proteksi radiasi [23].



Gambar 2. Frekuensi disentrik+cincin (◆) dan MN (■) menurut dosis sinar gamma dari tiga sampel limfosit, serta hasil penelitian disentrik (●) dan MN (▲) oleh peneliti lain (atas) yang mirip dengan hubungan dosis-respon untuk disentrik dan MN berupa kurva hasil konstruksi oleh peneliti lain (bawah).

Peneliti lain menunjukkan adanya peningkatan frekuensi MN (terlihat pada Gambar 3) akibat radiasi dimana terdapat perbedaan nyata berdasarkan dosis paparan radiasi yang diterima. Hubungan dosis-respon pada terbentuknya MN dalam sel limfosit menunjukkan bahwa radiasi dosis 2 Gy sangat efektif dalam menimbulkan kerusakan sel yang ditunjukkan dengan sangat tingginya frekuensi MN dibandingkan dosis 0 Gy [24].



Gambar 3. Frekuensi MN per BNC akibat radiasi sinar gamma 2 Gy pada 5 sampel darah manusia.

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 [25]. Dalam penghitungan MN secara manual terkadang membutuhkan waktu lama dan jika sejumlah besar BNC harus dihitung untuk memperoleh data yang secara statistik relevan. Untuk otomatisasi analisis MN dapat digunakan perangkat lunak untuk pemrosesan citra secara lebih cepat dan lebih dapat diandalkan untuk analisis MN. Ramadhani dkk menggunakan pemrogram CellProfiler yang merupakan analisis citra yang dapat diakses secara terbuka untuk deteksi otomatis sel binukleat dan MN. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan penghitungan secara manual. Hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan antara penghitungan manual dan otomatisasi untuk sel binukleat ($P = 0,851$) dan untuk MN ($P = 0,917$). Dari hasil ini disimpulkan bahwa antara otomatisasi dan manual sebanding dan program CellProfiler tidak lebih baik daripada manual [26] dan masih terdapat metode otomatisasi lainnya [27]. Sedangkan Decordier dkk [28] mengembangkan program IMSTAR dalam kerangka kerja European Union-project New Generis.

5. PENUTUP

Dalam paragraf di atas telah dibahas biomarker MN yang merupakan biomarker untuk mengetahui faktor risiko kanker atau uji genotoksisitas yang menjanjikan saat ini dan di masa mendatang karena prosesnya yang sederhana dan hasilnya cukup sensitif. Diketahui bahwa keberadaan MN dalam sel mamalia terkait dengan beberapa tekanan (*stress*) mutagenetik. MN terbentuk sebagai akibat kerusakan kromosom dan dapat dengan mudah diketahui dalam sel epitelial terkelupas (*exfoliated*).

Meskipun MN dapat diinduksi oleh berbagai macam agen klastogenik dan tidak selalu spesifik akibat radiasi, dimana radiasi pengion dikategorikan sebagai klastogen dan sangat efisien menyebabkan MN. Uji CBMN ditetapkan teknik yang dapat diandalkan, secara rutin divalidasi dan merupakan teknik yang sudah terstandarkan di bidang biologi radiasi untuk mengkaji paparan radiasi akibat bekerja, tindakan medis ataupun kecelakaan/kedaruratan nuklir serta untuk menentukan radiosensitivitas sel kanker [29]. Di BATAN juga telah memiliki *Indonesian National Cytogenetic Biodosimetry Laboratory* yang bekerjasama dengan berbagai instansi atau lembaga penelitian biodosimetri di beberapa negara yang bernaung di bawah IAEA serta telah memiliki atau menyusun kurva dosis-respon untuk sinar gamma dan sinar-X sendiri. MN juga dapat digabungkan dengan metode lain untuk memperoleh informasi yang lebih tepat akan efek radiasi pada sel [30].

Metode MN juga memiliki peran yang menjanjikan sebagai metode invasif yang minimal untuk biomonitoring manusia, dan penghitungannya juga dapat dibuat otomatis meskipun masih perlu penyempurnaan guna mendukung program proteksi radiasi.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pemerintah Indonesia yang telah memberikan dana penelitian biodosimetri melalui DIPA/KAK PTKMR-BATAN dan juga seluruh staf Bidang TNKBR yang telah bekerjasama selama ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. PENNINGTON, C. Exposing America: Comparative assessments of ionizing radiation doses to U.S. populations from nuclear and non-nuclear industries. *Progress in Nuclear Energy* 49(6) (2007) 473-485.
2. SYAZA, S.K.F., UMAR, R., HAZMIN, S.N., KAMARUDIN, M.K.A., HASSAN, A. and JUAHIR, H., Non-Ionizing Radiation as Threat in Daily Life, *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 9(2S) (2017) 308-316.
3. MIRIAM, E., DYKE, V., MC.CORMICK, L.C., BOLUS, N.E., KAZZI, Z.N., Radiological Emergency Preparedness: A Survey of Nuclear Medicine Technologists in the United States, *J. Nucl. Med. Technol.* 41(3) (2013) 223-230.
4. LUSIYANTI, Y., ALATAS, Z., SYAIFUDIN, M., Lack of radioprotective potential of ginseng in suppressing micronuclei frequency in human blood lymphocyte under gamma irradiation, *Hayati* 22(2) (2015) 93-97.
5. LUSIYANTI, Y., ALATAS, Z., SYAIFUDIN, M., PURNAMI, S., Establishment of a Dose-response Curve for X-ray-Induced Micronuclei in Human Lymphocytes, *Genome Integrity* 7(1) (2016) (DOI: 10.4103/2041-9414.197162).
6. SYAIFUDIN, M., LUSIYANTI, Y., PURNAMI, S., LEE, Y.S., KANG, C.M., Assessment of ionizing radiation induced dicentric chromosome and micronuclei in human peripheral blood lymphocyte for preliminary reconstruction of cytogenetic biodosimetry. *Atom Indonesia Journal* 43(1) (2017) 47-54.
7. HOLLAND, N., BOLOGNESI, C., M. KIRSCH-VOLDER, M. et al., The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage: the HUMN project perspective on current status and knowledge gaps, *Mutation Research* 659(1-2) (2008) 93-108.
8. FENECH, M. The advantages and disadvantages of the cytokinesis-block micronucleus method, *Mutation Research*, 392(1-2) (1997) 11-18.
9. HALL, E.J., GIACCIA, A.J., *Radiobiology for the Radiologist*. 7th ed. Williams & Wilkins, Philadelphia (2012).
10. RIYANTO, A., Risiko paparan radiasi sinar-x terhadap pekerja radiasi di bagian radiologi rumah sakit umum pusat nasional cipto mangunkusumo jakarta tahun (tesis). FKM. Universitas Indonesia. Depok (2014).

11. GASCOIGNE, K.E., CHEESEMAN, I.M. Induced dicentric chromosome formation promotes genomic rearrangements and tumorigenesis. *Chromosome Res.* 21 (2013) 407–418.
12. LOPEZ, V., BARINOVA, N., ONISHI, M., POBIEGA, S., PRINGLE, DUBRANA, K. and MARCAND, S., Cytokinesis breaks dicentric chromosomes preferentially at pericentromeric regions and telomere fusions, *Genes Dev.* 29(3) (2015) 322–336.
13. STIMPSON, K.M., MATHENY, J.E., SULLIVAN, B.A. Dicentric chromosomes: unique models to study centromere function and inactivation. *Chromosome Res* 20 (2012) 595–605.
14. ANDERSON, N.L. and ANDERSON, N.G., Proteome and proteomics: new technologies, new concepts, and new words, *Electrophoresis* 19 (11) (1998) 1853–1861
15. ZEEGERS, D., VENKATESAN, S., KOH, S.W., LOW, G.K.M., SRIVASTAVA, P., SUNDARAM, N., SETHU, S., BANERJEE, B., JAYAPAL, M., BELYAKOV, O., BASKAR, R., BALAJEE, A.S., and HANDE, M.P. Biomarkers of Ionizing Radiation Exposure: A Multiparametric Approach, *Genome Integr.* 8 (2017) 6.
16. UGARIN, O.T., ZAVALA-CEWRNA, M.G., NAVA, A., GARCIA, A.F., and IBARRA, M.L.R., Potential uses, limitations, and basic procedures of micronuclei and nuclear abnormalities in buccal cells, *Disease Markers* 2014 (2014).
17. FENECH, M., KIRSCH-VOLDERS, M., NATARAJAN, A.T., SURRALES, J., CROTT, J.W., PARRY, J., NORPPA, H., EASTMOND, D.A., TUCKER, J.D., THOMAS, P., Molecular mechanisms of micronucleus, nucleoplasmic bridge and nuclear bud formation in mammalian and human cells, *Mutagenesis* 26(1) (2011) 125-132.
18. RAMADHANI, DIAN, T. and RESTADIAWAWATI, Pengaruh paparan aerosol cat semprot terhadap frekuensi pembentukan mikronukleus mukosa mulut pada pengguna cat semprot, Thesis, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro. (2013).
19. 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) (2003) 187-194.
20. 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 (1996) 12-30.
21. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Cytogenetic analysis for radiation dose assessment, Technical Report Series no. 405, Vienna (2001).
22. RAMIREZ, A. and SALDANHA, P.H., Micronucleus investigation of alcoholic patients with oral carcinomas, *Genetics and Molecular Research* 1(3) (2002) 246-260.
23. 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 (1997) 61-68.
24. FARHANA, A., Dampak radiasi pengion terhadap pembentukan mikronuklei dan fragmen asentrik kromosom pada sel limfosit, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas AlAzhar Indonesia, (2016).
25. SABHARWA, R., VERMA, P., SYED, M.A., SHARMA, T., SUBUDHI, S.K., MOHANTY, S., and GUPTA, S., Emergence of micronuclei as a genomic biomarker, *Indian J Med Paediatr Oncol.* 36(4) (2015) 212–218.
26. RAMADHANI, D. and PURNAMI, S., Automated Detection of Binucleated Cell and Micronuclei using CellProfiler 2.0 Software, HAYATI Journal of Biosciences 20(4) (2013) 151-156.
27. 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) (1996) 529-537.
28. DECORDIER, I., PAPINE, A., LOOCK, K.V., PLAS, G., SOUSSALINE, F., KIRSCH-VOLDERS, M., Automated image analysis of micronuclei by IMSTAR for biomonitoring, *Mutagenesis* 26 (2011) 163-168.
29. LUE, S.W., REPIN, M., MAHNKE, R., BRENNER, D.J., Development of a high-

throughput and miniaturized cytokinesis-block micronucleus assay for use as a biological dosimetry population triage tool. *Radiat Res.* 184 (2015) 134–142.

30. SMOLEWSKI, P., RUAN, Q., VELLON, L., and DARZYNKIEWICZ, Z., Micronuclei assay by laser scanning cytometry, *Cytometry* 45 (2001) 19-26.

DAFTAR PESERTA

DAFTAR PESERTA SEMINAR

No.	NAMA	INSTANSI
1	Abdul Fatah	PSTNT-BATAN
2	Ade Mardiyadi	PRFN-BATAN
3	Adi Hermansyah	DLH Jabar
4	Afida Ikawati	PSTNT-BATAN
5	Agus Rakhim	PSTNT-BATAN
6	Agus Supriyanto	RSUP dr. Hasan Sadikin
7	Anisiyah	PAIR-BATAN
8	Arie Widowati	PSTNT-BATAN
9	Asep Rizaludin	Universitas Padjadjaran (UNPAD)
10	Asep Yana Mulyana	PSTNT-BATAN
11	Avi Pradana Yulianti	PSTNT-BATAN
12	Bahtiar Imanudin	PSTNT-BATAN
13	Budi Yuliani	PTBGN-BATAN
14	Dadang Fachrudin	PSTNT-BATAN
15	Dadang Supriatna	PSTNT-BATAN
16	Danang Supriyanto	PSTNT-BATAN
17	Dandung Nurhono	PSTNT-BATAN
18	Dian Siswa	PSTNT-BATAN
19	Dikdik Sidik P	PSTNT-BATAN
20	Djoko HP	PSTNT-BATAN
21	Djoli Soembogo	PAIR-BATAN
22	Maria Evalisa	PTKMR-BATAN
23	Febi Luthfiani	Institut Teknologi Bandung (ITB)
24	Fuji Octa Indah Suciati	PSTNT-BATAN
25	Gilang Fajri A.	Universitas Padjadjaran (UNPAD)
26	Harry Mukhrivan	PSTNT-BATAN
27	Heni	PSTNT-BATAN
28	Hevnisar	PTKMR-BATAN
29	Jauharul Ardi	RSUP dr. Hasan Sadikin
30	Jhon Hadearon S	Jurusan Fisika-Universitas Nasional
31	Joko Wiyanto	RSUP dr. Hasan Sadikin
32	Juariah	Balitbang Jabar
33	Juni Chussetijowati	PSTNT-BATAN
34	Kharisma PK	RSUP dr. Hasan Sadikin
35	M. Yuyus	PSTNT-BATAN
36	Mardiana Napirah	Jurusan Fisika – Institut Teknologi Bandung (ITB)
37	Masnelli Lubis	PTKMR-BATAN
38	Meutia Sari	RSUP dr. Hasan Sadikin

39	Muhamad Abidin	Universitas Padjadjaran (UNPAD)
40	Muhamad Irfan	Jurusan Fisika –Institut Teknologi Bandung (ITB)
41	N. Elly Rosilawati	RSUP dr. Hasan Sadikin
42	Nana Suyana	BHHK-BATAN
43	Nurfadhlini	PAIR-BATAN
44	Patricia Marina	RSUP dr. Hasan Sadikin
45	Permana Dewa	PSTNT-BATAN
46	Prabandhini Wardhani	PSTNT-BATAN
47	Ratnasih	PSTNT-BATAN
48	Ridwan Fauzi	P3KLL-Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
49	Rina Aprishanty	P3KLL-Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
50	Rina Yuliyani	PSTNT-BATAN
51	Rosika Kriswarini	PTBBN-BATAN
52	Rr. Djarwanti Rahayu	PTRR-BATAN
53	Rudi Gunawan	PSTNT-BATAN
54	Rustamaji	PSTNT-BATAN
55	Ryan Nur Iman	UIN Sunan Gunung Djati-Bandung
56	Setyo Purnomo	PSTNT-BATAN
57	Shauli Nur Savitri	Jurusan Farmasi-Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia
58	Sri Mulyati	Institut Teknologi Bandung (ITB)
59	Sri Mulyati Latifah	Institut Teknologi Bandung (ITB)
60	Sri Royani	Jurusan Kimia-Universitas Padjadjaran (UNPAD)
61	Suharyono	PSTNT-BATAN
62	Suryadi	PTKMR-BATAN
63	Susyati	PTKMR-BATAN
64	Tarmizi	PAIR-BATAN
65	Teguh Hafiz	PSTNT-BATAN
66	Umar Abdul Hakim A.B	Universitas Padjadjaran (UNPAD)
67	Vina Nurafiah	Jurusan Pendidikan Fisika - Universitas Pendidikan Indonesia (UPI)
68	Widita Argyagani Mulyadi	Diplomasi Pertahanan-UNHAN
69	Wulan Septiani	Balai Besar Tekstil
70	Yanlinastuti	PTBBN-BATAN
71	Yasni Novi Hendri	Jurusan Fisika – Institut Teknologi Bandung (ITB)
72	Yayat Supriatna	PSTNT-BATAN
73	Yudi Setiadi	PSTNT-BATAN
74	Yulia Anggraini	Jurusan Farmasi-Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia
75	Yulidar	PAIR-BATAN

