

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 328
Oleh: *Titin Sri Mulyati, Duyeh Setiawan*
44. SCAN ON GASOLINE FRACTIONATION COLUMN TO CONTROL PRODUCTION FLOW USING Co-60 333
Oleh: *Wibisono, Bayu Azmi*
45. SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZrO₂ DENGAN METODE SOL-GEL MENGGUNAKAN AMILUM SEBAGAI CAPPING AGENT UNTUK APLIKASI NANOFLUIDA 338
Oleh: *Arie Hardian, Fathnisa Ihsannurika Hasnah, Dani Gustaman Syarif dan Senadi Budiman*

KESEHATAN

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

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 Muhayatun Santoso* 478

67.	DISTRIBUSI $Rn-222$ DALAM MATA AIR DI SEKITAR GUNUNG TAMPOMAS Oleh: <i>Neneng Laksminingpuri, Rasi Prasetio</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 Pujjadi, Wahyudi dan Oktisya Devi W.</i>	529
75.	Daftar Peserta	534

HUBUNGAN FRAGMENT ASENTRIK KROMOSOM DAN MIKRONUKLEI PADA SEL LIMFOSIT DENGAN PAPARAN RADIASI SINAR X

Sofiati Purnami¹, Farhanah Assagaf², Pudji Pertiwi³ dan Yanti Lusiyanti⁴

^{1,3,4} Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No.49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan Kode Pos 12440

²Jurusan Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar Indonesia
Jl. Sisingamangaraja, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan Kode Pos 12110

ABSTRAK.

HUBUNGAN FRAGMENT ASENTRIK KROMOSOM DAN MIKRONUKLEI PADA SEL LIMFOSIT DENGAN PAPARAN RADIASI SINAR X. Risiko paparan radiasi pada para pekerja, lingkungan hidup dan masyarakat perlu diperhatikan dan diawasi, untuk itu diperlukan pengujian rutin terutama para pekerja radiasi untuk mengetahui dosis radiasi yang terserap dalam tubuh agar dapat dilakukan pencegahan dini. Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kerusakan sel akibat radiasi adalah mikronuklei. Mikronuklei merupakan gambaran fragmen kromosom atau bagian dari kromosom yang tidak dapat bergabung dengan nukleus pada saat pembelahan sel. Induksi mikronuklei tidak hanya disebabkan oleh paparan radiasi tetapi juga makanan dan bahan kimia. Mikronuklei yang terbentuk akibat paparan radiasi berasal dari fragmen asentrik kromosom. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara fragmen asentrik kromosom dan mikronuklei yang diakibatkan oleh paparan radiasi. Pemeriksaan frekuensi fragmen asentrik kromosom dan mikronuklei dilakukan pada sel limfosit dengan teknik pewarnaan Giemsa dan pengamatan dengan mikroskop. Pemeriksaan dilakukan pada 5 sampel pendonor usia 20-30 tahun yang diberi paparan radiasi sinar X dosis 2 Gy dan dikultur di dalam media pertumbuhan. Hasil uji analisis menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) antara fragmen asentrik kromosom dan mikronuklei pada dosis 0 dan 2 Gy. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara fragmen asentrik kromosom dan mikronuklei, semakin tinggi jumlah fragmen asentrik kromosom maka semakin tinggi jumlah mikronuklei. Hasil penelitian menunjukan bahwa paparan radiasi sinar X 2Gy efektif membentuk fragmen asentrik kromosom dan mikronuklei

Katakunci: fragmen asentrik kromosom, mikronuklei, radiasi, sinar X

ABSTRACT

THE CORRELATION OF ACENTRIC CHROMOSOME FRAGMENTS AND MICRONUCLEI IN LYMPHOCYTES WITH X-RAY EXPOSURE. Risks of radiation exposure to the workers, environment and society has to be attended and controlled, therefore it is necessary to do routine assessment mainly on the radiation workers to determine the radiation dose absorbed in the body in order to do early prevention. One of the tests used to determine cell damage from radiation exposure is micronuclei. Micronuclei are structures that arise from acentric chromosome fragments or part of chromosomes that did not join to the nucleus during cell division. Micronuclei induction is not only caused by exposure of radiation, but also can be induced by food and chemicals. Micronuclei formed by radiation exposure resulted from acentric chromosome fragments. This research is aimed to know the correlation between acentric chromosome fragments and micronuclei induced by radiation exposure. In this research the frequency of micronuclei were examined in lymphocytes. Examination of chromosome fragments and micronuclei was performed using Giemsa technique and observed using a microscope. These examinations are carried out on five samples of donors with aged of 20-30 years who had been X ray exposed with 2 Gy dose of radiation exposure and were cultured in the growth medium. The results of the analysis showed a significantly different ($p < 0.05$) between acentric

chromosome fragments and micronuclei at dose of 0 and 2 Gy. It is shows that there is correlation between acentric chromosome fragments and micronuclei where higher number of acentric chromosome fragments would be higher number of micronuclei. The results showed that 2 Gy X ray exposure has been effectively to induce acentric chromosome fragments and micronuclei.

Keywords: acentric chromosome fragments, micronuclei, radiation, X-ray

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam bidang kedokteran, industri, energi, pertanian dan lingkungan semakin berkembang pesat. Disamping pemanfaatannya yang besar, teknologi nuklir memiliki potensi bahaya radiasi bagi para pekerja, lingkungan hidup, dan masyarakat apabila tidak diperhatikan dan diawasi dengan sebaik-baiknya. Paparan radiasi pengion dapat diamati pada sel limfosit, yaitu salah satu jenis sel darah putih yang berperan dalam sistem kekebalan tubuh. Sel limfosit digunakan dalam pengujian radiasi, karena limfosit merupakan sel yang paling sensitif terhadap radiasi. Radiasi pengion dapat menyebabkan kerusakan tubuh seperti kerusakan kromosom (aberasi kromosom) dan juga dapat menimbulkan penyakit seperti infeksi dan kanker. Jenis-jenis aberasi kromosom tersebut, yaitu kromosom disentrik, fragmen asentrik kromosom, cincin, interstitial, terminal, dan inversi. Oleh karena itu diperlukan pengujian rutin terutama pada para pekerja radiasi untuk mengetahui dosis radiasi yang terserap dalam tubuh agar dapat dilakukan pencegahan dini [1,2].

Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kerusakan sel akibat paparan radiasi pengion adalah mikronuklei (MN), yang juga untuk mendeteksi kerusakan kromosom atau gangguan proses mitosis sel, seperti yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti [3,4,5]. MN adalah partikel dalam sitoplasma yang mengandung bahan yang sama dengan inti utama. MN tidak termasuk dalam inti utama selama poses mitosis karena kehilangan sentromer (fragmen asentrik), atau lebih dari satu sentromer ataupun kekurangan kinetochore (sentromer) atau fiber gulungan yang terluka [6].

Teknik MN memiliki keunggulan utama yaitu waktu proses pengamatannya yang relatif cepat dan juga memiliki cara penghitungan lebih mudah sehingga sangat membantu dalam deteksi awal kerusakan sel. Namun pembentukan MN tidak hanya disebabkan oleh paparan radiasi tetapi juga dapat disebabkan oleh usia, makanan dan bahan kimia serta gender [1,7]. Hal ini membuat para peneliti melakukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahui dampak radiasi dalam

pembentukan MN.

Fragmen asentrik dan kromosom yang mengalami patahan apabila tidak dapat berinteraksi dengan benang-benang spindle pada tahap anafase akan membentuk nukleus kecil diluar nukleus utama saat proses sitokinesis [1,8]. Nukleus kecil tersebut dinamakan MN. Teknik analisis MN dikembangkan oleh Fenech dan Morley pada tahun 1985 dengan menggunakan Cytochalasin B sebagai penghambat proses sitokinesis. Analisis ini dapat mengidentifikasi fragmen atau patahan kromosom akibat paparan radiasi pengion maupun kromosom utuh yang tidak tersegregasi dengan baik pada tahap anafase. Fragmen atau kromosom utuh yang mengalami patahan akan menjadi MN pada tahap sitokinesis. MN akan tampak dalam sitoplasma dan berada dekat dua inti anak sebagai hasil pembelahan mitosis yang disebut binukleat (BNC) [7,9].

Fragmen asentrik kromosom (FAK) merupakan patahan atau potongan kecil kromosom yang tidak memiliki sentromer dan juga termasuk salah satu jenis aberasi kromosom akibat radiasi. FAK berasal dari proses terjadinya delesi atau pematahan pada lengan kromosom, baik terminal atau interstitial. FAK dapat terbentuk secara bebas dari pertukaran patahan lengan kromosom akibat radiasi. Paparan radiasi dengan dosis tinggi berpotensi untuk menginduksi terbentuknya kromosom dengan multisentrik lainnya, seperti kromosom trisentrik yang disertai oleh dua fragmen asentrik, kromosom kuadrisentrik dengan tiga fragmen asentrik, dan lainnya [1,10].

MN akibat radiasi berkembang dari FAK yang merupakan hasil patahan kromosom [11]. FAK biasanya terbentuk setelah terjadi kerusakan DNA yang luas dan rusak di penyusunan dan pertukaran ulang kromosom asimetris. Dalam penelitian Luzhna *et al.* [12], dinyatakan bahwa MN yang terbentuk akibat paparan radiasi berasal dari FAK, sedangkan MN yang terbentuk dari non radiasi berasal dari patahan kromosom yang tersegregasi saat proses mitosis. Oleh sebab itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut yang mempelajari sejauh mana FAK berpotensi membentuk MN yang muncul akibat radiasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara FAK dan MN yang diakibatkan

oleh paparan radiasi sinar-X pada dosis 2 Gy.

2. TATAKERJA

Sampel darah diperoleh dari 5 orang donor sehat dengan usia 20-30 tahun yang tidak merokok. Tiap donor diambil darahnya sebanyak 6 ml, selanjutnya darah dibagi dengan cara dimasukkan kedalam dua tabung *vacutainer heparin* 3 ml. Tabung pertama sebagai sampel kontrol dan tabung kedua diirradiasi sinar-X dengan laju dosis sebesar 175 mGy/menit selama 11,21 menit sehingga dosis yang diterima adalah 2 Gy. Radiasi dilakukan di Laboratorium PTKMR-BATAN. Sampel darah dari tabung kontrol maupun yang diirradiasi selanjutnya dilakukan kultur, yaitu kultur untuk pengamatan FAK dan pengamatan MN. Metode kultur yang diacu adalah buku IAEA 2011 [1].

Kultur FAK dan MN terdiri dari medium RPMI-1640 yang dilengkapi L-Glutamin, *Fetal Bovine Serum* (FBS), *Penicillin-Streptomycin*, sampel darah dan *Phytohaemagglutinin* (PHA). Tabung kultur kemudian ditutup dan disimpan dalam inkubator 37°C dengan aliran 5% ga CO₂. Tabung kultur MN pada jam ke-44 ditambahkan 15 µg/ml *cytochalasin-B* untuk menghentikan atau memblok proses pembelahan sel selanjutnya tabung diinkubasi kembali selama 27 jam. Sedangkan tabung kultur FAK pada jam ke-44 ditambahkan 1% *cholchisin* untuk menghentikan proses pembelahan sel selanjutnya inkubasi dilanjutkan sampai 48 jam.

Pemanenan sel limfosit hasil kultur MN dilakukan setelah 72 jam inkubasi sedangkan pemanenan FAK dilakukan setelah 48 jam inkubasi. Tabung kultur sampel MN disentrifugasi dengan kecepatan 800 rpm selama 10 menit,

selanjutnya endapan ditambahkan 6 ml larutan hipotonik KCl 0,56% (4°C). Kemudian tabung disentrifugasi dengan kecepatan 800 rpm selama 8 menit dan ditambahkan larutan *carnoy* sebanyak 3x pengulangan. Setiap setelah penambahan larutan *carnoy* (methanol:asam asetat = 10:1) dilakukan sentrifugasi selama 8 menit. Sedangkan pada pemanenan tabung kultur FAK sampel disentrifugasi 10 menit dengan kecepatan 1500 rpm lalu supernatant dibuang. Sampel ditambahkan KCl 0,56% (37°C) kemudian direndam dalam *waterbath* selama 25 menit. Selanjutnya sampel disentrifugasi kembali selama 10 menit dan supernatant dibuang. Larutan *carnoy* (metanol: asam asetat= 3:1) ditambahkan sebanyak beberapa kali sampai diperoleh endapan sel limfosit berwarna putih.

Preparasi preparat MN maupun FAK dilakukan dengan cara meneteskan endapan sel limfosit diatas slide preparat kemudian diberi pewarna Giemsa 4%, dikeringkan di suhu ruang selanjutnya ditutup dengan cover glass yang diberi perekat entellan. Setelah kering slide preparat siap diamati. Pengamatan MN dilakukan menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 400 kali dan dihitung jumlah MN dalam 1000 sel binukleat yang diamati. Sedangkan pengamatan fragmen asentrik kromosom dilakukan pada perbesaran 1000 kali

3. . HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan FAK dan MN pada sel limfosit yang diirradiasi sinar X dengan dosis 2 Gy maupun yang tidak diirradiasi (kontrol) dilakukan pada 5 donor dengan kisaran umur 20-30 tahun ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengamatan FAK dan MN

Dosis (Gy)	Nomer Sampel	Frekuensi fragmen asentrik kromosom (FAK)			Frekuensi mikronuklei (MN)		
		Jumlah sel metafase	Fragmen asentrik	FAK/ Jumlah sel	Jumlah sel BNC	MN	MN/ Jumlah BNC
0	Sampel 1	1000	0	0	1000	7	0.007
	Sampel 2	1000	0	0	1000	9	0.009
	Sampel 3	1000	0	0	1000	8	0,008
	Sampel 4	1000	0	0	1000	13	0.013
	Sampel 5	1000	0	0	1000	11	0.011
2	Sampel 1	1000	80	0,080	1000	196	0.196
	Sampel 2	1000	136	0,136	1000	218	0.218
	Sampel 3	1000	96	0,096	1000	205	0.205

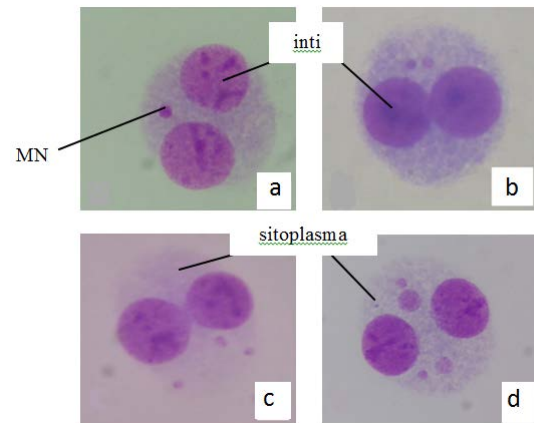
Dosis (Gy)	Nomer Sampel	Frekuensi fragmen asentrik kromosom (FAK)			Frekuensi mikronuklei (MN)		
		Jumlah sel metafase	Fragmen asentrik	FAK/ Jumlah sel	Jumlah sel BNC	MN	MN/ Jumlah BNC
	Sampel 4	1000	120	0,120	1000	317	0.317
	Sampel 5	1000	127	0,127	1000	260	0.260

Pemeriksaan aberasi kromosom yang diamati adalah bentuk FAK. Menurut Fenech [3], MN tersusun dari fragmen kromosom asentrik dan keseluruhan kromosom (*whole chromosome*) yang terbentuk ketika pembelahan sel (mitosis). Pemeriksaan FAK dosis 0 Gy terlihat bahwa semua sampel tidak memiliki FAK. FAK ini masih dikategorikan dalam kisaran normal. Hal ini sesuai dengan acuan buku IAEA [1], bahwa frekuensi 4-7 fragmen dalam setiap 1000 sel metafase masih dikategorikan normal. Sedangkan pada dosis 2 Gy dapat dilihat FAK sampel berkisar antara 0,080-0,136 FAK/sel metafase [13]. Visualisasi FAK dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Fragmen asentrik kromosom (FAK) pada sampel radiasi dosis 2 Gy pada perbesaran 1000x

Hal ini menunjukkan bahwa FAK akan terbentuk akibat paparan radiasi dan jumlah fragmen yang terbentuk akan merespon berbeda-beda oleh tubuh manusia. Jika beberapa orang menerima paparan radiasi yang sama, hasil kerusakannya akan berbeda tergantung respon tubuh masing-masing orang tersebut, karena setiap individu memiliki sistem imun yang berbeda [11]. FAK merupakan aberasi kromosom yang bersifat tidak stabil karena sel yang mengandung kromosom ini akan mengalami kematian ketika melakukan pembelahan sel. Dengan demikian, penggunaan kromosom ini sangat terbatas oleh waktu karena jumlah sel akan terus menurun bersama dengan bertambahnya waktu pasca paparan radiasi [1,2].

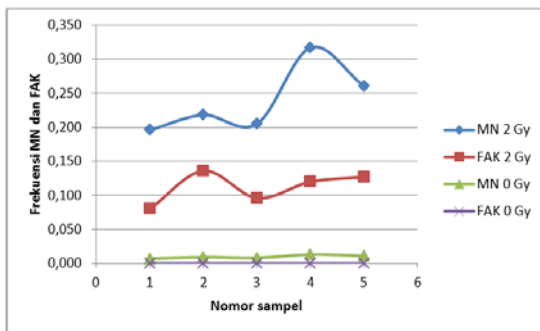


Gambar 2. MN pada sel BNC dalam sitoplasma pada perbesaran 1000x, (a) 1 MN, (b) 2 MN, (c) 3MN, dan (d) 4MN.

Penentuan MN dalam sel BNC pada sel limfosit darah manusia telah digunakan dalam pemeriksaan kelainan kromosom akibat paparan radiasi pengion atau bahan kimia. Hasil penelitian Fenech [3] menyatakan frekuensi MN yang terbentuk akibat radiasi menunjukkan ketergantungan pada dosis dan kualitas radiasi sehingga dapat digunakan sebagai dosimeter biologi pada proteksi radiasi. Seperti hasil pengamatan yang terlihat pada Gambar 2, menunjukkan adanya MN dalam BNC yang sesuai dengan kriteria perhitungan. Pada gambar juga terdapat MN yang berjumlah 1-4 dalam 1000 BNC, bentuk MN yang diperoleh sangat jelas yang dapat memungkinkan untuk dihitung dengan mudah [13,14]. Hal ini seperti terlihat pada Gambar 2.

Sedangkan pada pengamatan MN yang dilakukan pada dosis 0 Gy dan 2 Gy terlihat perbedaan frekuensi MN dimana jumlah MN pada 0 Gy (kontrol) adalah sekitar 7-13 MN, hasil ini sesuai dengan standar IAEA [1], bahwa jumlah MN pada 0 Gy (kontrol) yang normal adalah tidak lebih dari 30 MN. Sedangkan frekuensi MN dalam BNC sel limfosit darah pada dosis 2 Gy lebih tinggi daripada 0 Gy yang diakibatkan paparan radiasi sinar- X. Hal ini sesuai dengan pernyataan

Fenech *et al.* [3], bahwa jumlah frekuensi MN meningkat seiring dengan paparan radiasi yang diterima. Faktor lain yang mempengaruhi meningkatnya jumlah MN adalah umur dari pendonor seperti hasil penelitian Astari [15], menjelaskan bahwa penuaan dapat menandakan perubahan progresif terhadap sel, jaringan ataupun organ sehingga jumlah MN akan semakin meningkat. Selain itu penelitian Luzhna *et al.* [12] menyatakan bahwa makanan dan bahan kimia seperti alkohol dan nikotin pada rokok dapat meningkatkan kerusakan sel dan meningkatkan pembentukan MN.



Gambar 3. Grafik frekuensi MN dan FAK pada 5 donor yang diirradiasi sinar-X dosis 2 Gy

Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah frekuensi MN lebih tinggi daripada frekuensi FAK pada masing-masing sampel. Menurut Fenech *et al.* [3], FAK akan membentuk MN, tetapi tidak semua FAK akan berubah menjadi MN, sebagian fragmen akan mati saat proses pembelahan sel. Frekuensi FAK dan MN pada kontrol (0 Gy) memperlihatkan tidak ada pengaruh dari radiasi, melainkan adanya faktor lain seperti makanan dan bahan kimia.

Paparan radiasi dosis 2 Gy sangat efektif menginduksi dua bentuk pembelahan sel yaitu FAK dan MN. FAK yang terbentuk setelah paparan radiasi jumlahnya kira-kira adalah setengah dari jumlah MN. Nilai probabilitas dengan analisis uji T pada MN dan FAK masing-masing adalah 0,0013 dan 0,0004, nilai ini menunjukkan hasil yang signifikan karena $p < 0,05$, hal ini menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$) antara MN dan FAK pada dosis 0 dan 2 Gy. Hal ini juga menunjukkan adanya hubungan antara MN dan FAK pasca iradiasi, dimana semakin tinggi jumlah FAK maka semakin tinggi jumlah MN.

Pada Gambar 4 memperlihatkan adanya perbedaan jumlah frekuensi FAK pada masing-masing sampel. Hal ini karena respon tubuh manusia dan usia dapat mempengaruhi tingginya frekuensi FAK yang terbentuk dalam sel. Pada

radiasi dosis 0 Gy diperoleh hasil 0 untuk seluruh sampel. Hasil ini disebabkan tidak adanya kerusakan DNA dan tidak ada kerusakan yang diakibatkan oleh radiasi dalam sel limfosit pendonor. FAK muncul akibat kerusakan DNA (putus/patah) dan akibat paparan radiasi [12].

Frekuensi MN dan FAK pada dosis 0 dan 2 Gy ditunjukkan dalam Gambar 3, diketahui bahwa pembentukan MN yang tersusun oleh FAK karena adanya paparan radiasi. Hal ini dapat dilihat dari nilai frekuensi FAK pada dosis 0 dan 2 Gy yang mengalami kenaikan. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Luzhna *et al.* [12], yang menyatakan bahwa FAK akan terbentuk karena adanya paparan radiasi, semakin tinggi dosis yang dipaparkan akan semakin banyak jumlah FAK yang terbentuk. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa radiasi pengion dosis 2 Gy efektif dalam meningkatkan pembentukan MN dan FAK serta adanya keterkaitan antara pembentukan MN dengan FAK akibat paparan radiasi.

MN dideskripsikan tersusun dari FAK atau keseluruhan kromosom (*whole chromosomes*) yang terlepas saat proses mitosis [3]. Pembentukan MN dipengaruhi oleh usia, makanan dan bahan kimia, gender, dan dapat diakibatkan oleh radiasi yang menyebabkan kerusakan sel [1,12]. Pembentukan MN yang berasal dari keseluruhan kromosom memiliki jumlah yang lebih tinggi daripada yang berasal dari FAK

Faktor eksternal yang dapat mempengaruhi pengamatan jumlah BNC berkurang adalah konsentrasi larutan fiksatif. Pada tahap penambahan larutan fiksatif perlu diperhatikan konsentrasi yang digunakan dan kecepatan sentrifugasi sehingga sitoplasma tidak hilang pada proses panen kultur sel limfosit. Pengulangan dalam mengganti larutan fiksatif dan konsentrasinya serta kecepatan sentrifugasi perlu diperhatikan karena penggunaan larutan fiksatif yang berlebihan dan kecepatan sentrifugasi yang tinggi akan menyebabkan hilangnya sitoplasma [7,16].

Penentuan MN dalam sel BNC pada sel limfosit darah manusia telah digunakan dalam pemeriksaan kelainan kromosom akibat paparan radiasi pengion atau bahan kimia. Hasil penelitian Fenech [3] menyatakan frekuensi MN yang terbentuk akibat radiasi menunjukkan ketergantungan pada dosis dan kualitas radiasi sehingga dapat digunakan sebagai dosimeter biologi pada proteksi radiasi.

Pengembangan teknis analisis MN dapat dilakukan dengan menggunakan zat pewarna berpendar (fluoresense) khusus untuk mendeteksi dan memvisualisasi sentromer (pancentromic probe), sehingga dapat dibedakan MN yang

memiliki sentromer atau tidak di dalamnya. Teknik ini dapat meningkatkan sensitivitas dalam mendeteksi kerusakan akibat paparan radiasi pengion dosis rendah. Saat ini diketahui bahwa sebagian besar MN yang terbentuk akibat paparan radiasi berasal dari FAK dan tidak memiliki sentromer [1,17].

4. KESIMPULAN

Radiasi sinar-X dengan dosis 2 Gy efektif menginduksi FAK dan MN yang berasal dari pembelahan sel. Frekuensi MN pada dosis 0 Gy adalah 0,007-0,013 MN/sel yang masih dalam batas yang diperbolehkan dan frekuensi MN pada dosis 2 Gy adalah 0,196-0,317 MN/sel. Sedangkan FAK baru teramati pada dosis 2 Gy dan frekuensinya 0,080-0,136 FAK/sel. Analisis Uji-T menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$) antara MN dan FAK pada dosis 0 dan 2 Gy. Hal ini juga menunjukkan adanya hubungan antara MN dan FAK paska iradiasi sinar-X, yaitu semakin tinggi jumlah FAK maka semakin tinggi jumlah MN.

5. UCAPAN TERIMAKASIH.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Assef Fernando, S.ST atas bantuan proses iradiasi sinar-X yang telah dilakukan di SSDL (*Secondary Standart Dosimetry Laboratory*) Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Mampang Prapatan, Jakarta. Penulis juga mengucapkan terima kasih terhadap Dr. Mukh Syaifudin atas bantuan dan saran perbaikan makalah yang dibuat.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, “Cytogenetic Dosimetry :Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies, IAEA, Vienna (2011).
2. SYAIFUDIN, M., LUSIYANTI, Y., PURNAMI, S., LEE, Y.S., KANG C.M., Assesment of ionizing radiation induced dicentric chromosome and micronuclei in human peripheral blood lymphocytes for preliminary reconstruction of cytogenetic biodosimetry, *Atom Indonesia Journal* (2017) Vol.43 No.1 p 47-54.
3. FENECH, M., KIRSCH-VOLDERS, M., NATARAJAN, A.T., SURALLES, J., CROTT, J.W., PARRY, J., NORPPA, H., EASTMOND DA, TUCKER, J.D., THOMAS, P., Molecular mechanisms of micronucleus, nucleoplasmic bridge and nuclear bud formation in mammalian and human cells. *Mutagenesis* (2011) Vol. 26(1): 125-132 .
4. SYAIFUDIN, M., Pemanfaatan teknik premature chromosome condensation dan uji mikronuklei dalam dosimetri biologi, *Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IV dan International Seminar on Occupational Health and Safety I*, Jakarta (2008) 61-81.
5. PURNAMI, S., NURHAYATI, S., SYAIFUDIN, M., RAMADHANI, D., Biological dosimetry using micronucleus assay in simulated partial body exposure to ionizing radiation, *Atom Indonesia Journal* (2017) Vol.43 No.2 p 75-80.
6. SYAIFUDIN, M., “Biologi Radiasi Dasar-dasar dan Aplikasinya”, Cetakan Pertama, Ishak, Ed, BATAN Press, Jakarta (2016) 105-113
7. BONASSI, S., FENECH, M., LANDO, C., LIN, Y., CEPPI, M., CHANG, W.P, et al., Human Micronucleus Project: international database comparison for results with the cytokinesis-block micronucleus assay in human lymphocytes: I. Effect of laboratory protocol, scoring criteria, and host factors on the frequency of micronuclei. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, (2001) 37:31-45.
8. NURHAYATI, S., PURNAMI, S., SYAIFUDIN, M., Cytogenetic evaluation in peripheral blood lymphocytes of individuals living in high natural background radiation of Botteng village, Mamuju., *Proceedings 2nd International Conference on the Sources, Effect and Risks of Ionizing Radiation (SERIR2) & 14th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association*, BATAN (2016) p 80-84.
9. RAMADHANI, D., PURNAMI, S., Automated detection of binucleated cell and micronuclei using cellProfiler 2.0 software., *HAYATI Journal of Biosciences* (2013) Vol.20 No.4, p 151-156.
10. ALATAS, Z., LUSIYANTI, Y., Dosimetri biologik sitogenetik pada liquidator kecelakaan Chernobyl, *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah* (2014) Vol. 17(1): 29-36
11. WOLFF, H.A., HENNIES, S., HERMANN, M., RAVE-FRANK, M., EICKELMANN, D., VIRSIK, P., et al., Comparison of the micronucleus and chromosome aberration techniques for the documentation of cytogenetic damage in radiochemotherapy-treated patients with rectal cancer. *Strahlenther Onkol* (2011) Vol. 187: 52-58.
12. LUZNA, L., KATHIRIA, P., KOVALCLUK, O., Micronuclei in genotoxicity assessment: from genetics to epigenetics and beyond,

- Frontiers in Genetics* (2013) Vol. 4: 1-17.
13. ASSAGAFF, F., Skripsi Sarjana, Jurusan Bioteknologi, Universitas Al Azhar, Jakarta Indonesia (2016).
 14. PURNAMI, S., LUBIS, M., LUSIYANTI, L., Penentuan konsentrasi sitochalasin B dalam pembentukan sel binukleat pada uji mikronuklei., Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir IX., PTKMR-BATAN., Jakarta (2014).
 15. ASTARI, T.R., Skripsi Sarjana, FMIPA, Universitas Brawijaya, Malang Indonesia (2015).
 16. FENECH, M., Protocol cytocinesis block mikronucleus cytome assay, Nature Protocols (2007) Vol.2 No.5 p 1084-1104.
 17. RAMADHANI, D., Tesis Magister Ilmu Biomedik, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro, Semarang Indonesia (2016).

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

