

ISSN : 2477-0345

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

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

**Kawasan Nuklir Pasar Jumat - Jakarta**  
**25 Agustus 2015**

**Diselenggarakan oleh:**



PTKMR-BATAN



KEMENKES-RI

Dep. Fisika - ITB



FKM - UI

**PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI**  
**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**  
**JAKARTA**

Diterbitkan pada  
Nopember 2015

ISSN : 2477-0345

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

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

**Kawasan Nuklir Pasar Jumat - Jakarta**  
**25 Agustus 2015**

**Diselenggarakan oleh:**



PTKMR-BATAN



KEMENKES-RI



Dep. Fisika - ITB



FKM - UI

**PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI**  
**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**  
**JAKARTA**

Diterbitkan pada  
Nopember 2015

## **KATA PENGANTAR**

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

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

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

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

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

Jakarta, Nopember 2015

Panitia Penyelenggara  
dan Tim Editor

## **SAMBUTAN**

### **KEPALA PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI**

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Salam sejahtera bagi kita semua.

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



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

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jakarta, Nopember 2015

Kepala PTKMR,

  
Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc. 

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

**SUSUNAN TIM PENGARAH**

**Ketua :**

Dr. Ir. Ferhat Aziz, M.Sc.

(Deputi Bidang Sains dan Aplikasi Teknologi Nuklir)

Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc.

( Kepala PTKMR – BATAN )

**SUSUNAN TIM EDITOR DAN PENILAI MAKALAH**

**Ketua :**

Drs. Mukhlis Akhadi, APU. (BATAN)

**Wakil Ketua :**

Drs. Bunawas, APU. (BATAN)

**Anggota :**

Drs. Nurman Rajagukguk (BATAN)

Dr. Mukh Syaifudin (BATAN)

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

Dr. Eko Pudjadi (BATAN)

Dra. Rini Heroe Oetami, MT. (BATAN)

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

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

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

**PANITIA PENYELENGGARA**

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

## DAFTAR ISI

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

### Makalah Pleno

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

### Makalah Kelompok Keselamatan

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

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

18	Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Termal pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV Fatimah Kunti Hentihu, Johan A.E. Noor, Bunawas	124
19	Respon Film Gafchromic XR-QA2 Terhadap Radiasi Sumber Beta Sr-90, Kr-85, dan Pm-147 Nurul Hidayah, Chomsin S. Widodo, Bunawas	130
20	Respon Thermoluminescent Dosimeter BARC Terhadap Medan Radiasi Campuran Beta Gamma Riza Rahma, Chomsin S. Widodo, Nazaroh	137
21	Perkiraan Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Kalibrasi Alat Ukur Radiasi Neutron PTKMR-BATAN dengan Aktivitasi Keping Indium Nur Khasanah, Chomsin S. Widodo, Bunawas	143
22	Penentuan Dosis Serap Air Berkas Elektron Energi Nomonal 6 MeV Menggunakan Fantom “Air Padat” RW3 dan Fantom Air Sri Inang Sunaryati dan Nurman Rajagukguk	149
23	Perkiraan Distribusi Dosis Ekivalen Foton Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV Dengan Target Abdomen Adiar Febriantoko, Johan A.E. Noor, Hasnel Sofyan	156
24	Penentuan Dosis Fotoneutron Pada Pasien Terapi Linac 15 MV Menggunakan TLD-600H dan TLD-100H Muhammad Ibadurrohman, Johan A.E. Noor, Hasnel Sofyan	161
25	Penentuan Calibration Setting Dose Calibrator Capintec CRC-7BT Untuk F-18 Sarjono, Eko Pramono, Holnisar, Gatot Wurdianto	167

### **Makalah Kelompok Kesehatan**

1.	Faktor Koreksi Solid Water Phantom terhadap Water Phantom pada Dosimetri Absolut Berkas Elektron Pesawat Linac Robert Janssen Stevenly, Wahyu Setia Budi dan Choirul Anam	172
2.	Reduksi Noise pada Citra CT Scan Hasil Rekonstruksi Metode Filtered Back-Projection (FBP) menggunakan Filter Wiener dan Median Choirul Anam, Freddy Haryanto, Rena Widita, Idam Arif, Geoff Dougherty	179
3.	$\gamma$ -H2AX dan Potensinya untuk Biomarker Prediksi Toksisitas Radiasi pada Radioterapi Iin Kurnia, Yanti Lusiyanti	188
4.	Perbandingan Kepadatan Parasit dan Eritrosit pada Dua Strain Mencit Pasca Infeksi <i>Plasmodium berghei</i> Stadium Eritrositik Iradiasi Teja Kisananto, Darlina, Septiana, Tur Rahardjo, dan Siti Nurhayati	195



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

### **Makalah Kelompok Lingkungan**

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

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



Sekretariat :

**PANITIA – SNKKL-PTN**

Jakarta, 25 Agustus 2015

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

**Badan Tenaga Nuklir Nasional**

Jl. Lebak Bulus Raya No.49, PO Box 7043, JKSKL, Jakarta 12070

Telp. : (021) 7513906 (Hunting), Fax : (021) 7657950

E-mail : [ptkmr@batan.go.id](mailto:ptkmr@batan.go.id)



## STUDI AWAL KURVA KALIBRASI UNTUK BIODOSIMETRI DOSIS TINGGI DENGAN TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION (PCC)*

Sofiati Purnami, Yanti Lusiyanti dan Dwi Ramadhani

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No.49, Kotak Pos 7043 JKSKL Jakarta Selatan 12070  
Tel (021) 7513906/ 7659511 Fax (021) 7657950

### ABSTRAK

**STUDI AWAL KURVA KALIBRASI UNTUK BIODOSIMETRI DOSIS TINGGI DENGAN TEKNIK *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION*.** Biodosimetri adalah pengukuran respon biologis untuk mengetahui besarnya paparan dosis radiasi. Teknik biodosimetri yang dapat digunakan dalam prediksi dosis tinggi adalah *Premature Chromosome Condensation (PCC)*. Prediksi dosis dengan teknik *PCC* dilakukan dengan menggunakan kurva kalibrasi respon dosis yang menggambarkan hubungan antara nilai dosis radiasi dengan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah membuat persamaan matematis pada kurva kalibrasi respon dosis yang menggambarkan hubungan antara nilai dosis radiasi dengan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek. Sampel darah tepi dari donor wanita sehat berusia 41 tahun diiradiasi dengan sinar Gamma ( $^{137}\text{Cs}$ , laju dosis 0,649 Gy/menit) pada dosis 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7,5; 10; 15 dan 20 Gy dan kemudian dikultur dalam RPMI yang diperkaya dengan FBS dan antibiotik selama 48 jam. Calyculin A (50 nM) ditambahkan pada tiga puluh menit sebelum waktu panen untuk menginduksi terjadinya percepatan kondensasi kromosom. Proses panen dan preparasi preparat kemudian dilakukan setelah 48 jam masa kultur. Sebanyak 50 sel interfase pada fase G2 (*G2-PCC*) di tiap dosis dianalisis dengan mengukur kromosom yang terpanjang dan terpendek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek seiring dengan peningkatan nilai dosis sehingga prediksi dosis tinggi dengan teknik *PCC* dapat dilakukan menggunakan kurva kalibrasi respon dosis yang menggambarkan hubungan antara nilai dosis radiasi dengan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek

Kata kunci: Biodosimetri, Radiasi Pengion, *Premature Chromosome Condensation (PCC)*

### ABSTRACT

**INITIAL STUDY OF CALIBRATION CURVE FOR A HIGH DOSES BIODOSIMETRY USING *PREMATURE CHROMOSOME CONDENSATION TECHNIQUE*.** Biodosimetry is a measurement of biological response to determine the level of radiation exposure. Biodosimetry techniques that can be used in high radiation doses prediction is *Premature Chromosome Condensation (PCC)*. Radiation dose estimation in *PCC* technique can be done using a calibration curve that showed the correlation between radiation dose with a ratio of the longest and shortest chromosome. Aim of this research was to define a mathematical equation in the calibration curve in *PCC* technique. Peripheral blood from 41 years old healthy female donor was irradiated with gamma rays ( $^{137}\text{Cs}$ , dose rate 0,649 Gy/min) at doses 0; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 7.5; 10; 15 and 20 Gy then cultured for 48 hours in RPMI medium enriched with FBS and antibiotics. Calyculin A (50 nM) was adding at thirty minutes before harvest to induce premature chromosome condensation. Harvesting and slide preparations process were performed after blood culture. A total 50 interphase cells in the G2 phase (*G2-PCC*) at each dose were analyzed by measuring the longest and shortest chromosomes. Research results showed that there was an increase in ratio of the longest and shortest chromosomes values parallel with value of the dose, it can be concluded that high radiation dose prediction using *PCC* techniques can be performed using a calibration curve that showed the relationship between radiation dose with a ratio of the longest and the shortest chromosome.

Keywords: Biodosimetry, Ionizing Radiation, *Premature Chromosome Condensation (PCC)*

## I. PENDAHULUAN

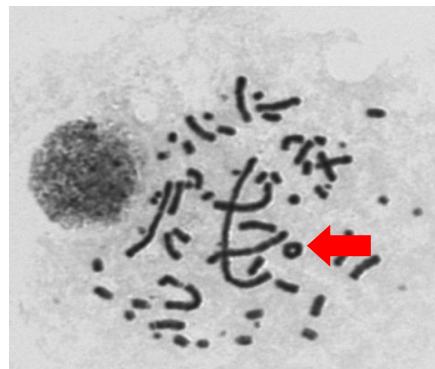
Pengukuran dosis radiasi yang diterima oleh korban kecelakaan radiasi seringkali tidak dapat dilakukan karena korban tidak menggunakan dosimeter fisik. Teknik yang dapat diandalkan untuk mengukur dosis serap pada kasus tersebut adalah dengan menggunakan teknik biodosimetri. Biodosimetri adalah penilaian secara biologis untuk mengetahui besarnya paparan dosis radiasi dan untuk mengetahui dosis serap. Analisis aberasi kromosom tak stabil pada sel limfosit darah tepi manusia merupakan metode biodosimetri yang paling sensitif untuk digunakan dan telah berhasil digunakan di Chernobyl, Goiania dan Tokaimura [1,2].

Prediksi dosis serap pada korban kecelakaan radiasi harus dilakukan sesegera mungkin untuk mengetahui tindakan medis yang paling tepat dalam penanganan korban. Masalah dapat muncul apabila korban menerima paparan radiasi dosis tinggi (6 hingga 40 Gy). Pertama jumlah sel limfosit dalam darah akan menurun secara drastis sebagai akibat respon fisiologik terhadap radiasi dosis tinggi. Kedua terjadi keterlambatan dalam menstimulasi sel limfosit untuk membelah dikarenakan keterlambatan pengiriman sampel darah korban kecelakaan radiasi menuju laboratorium rujukan untuk dilakukan analisis aberasi kromosom [3]. Terakhir adalah sel limfosit pada darah tepi korban akan tertahan (*arrest*) pada fase G2 atau G1 dan dapat mengalami kematian sel (apoptosis) [3-5].

Ketiga permasalahan tersebut dapat membatasi penggunaan teknik analisis aberasi kromosom tak stabil untuk memprediksi dosis serap korban yang terpapar radiasi dosis tinggi [3-5]. Teknik yang dapat digunakan sebagai biodosimetri dosis tinggi adalah teknik *Premature Chromosome Condensation* (PCC). Teknik PCC pertama kali diperkenalkan oleh Johnson dan Rao pada tahun 1970 [6]. Teknik PCC secara konvensional dilakukan dengan menggabungkan antara sel darah tepi pada tahap interfase dengan sel *Chinese Hamster Ovary* (CHO) yang berada pada tahap mitosis dengan bantuan polietilen-glikol (PEG) atau virus Sendai sehingga menyebabkan terjadinya percepatan (premature) kondensasi kromosom pada sel interfase [2,5,7]. Gotoh

dan Tanno (2005) kemudian sukses melakukan penggabungan antara sel darah tepi pada tahap interfase tanpa bantuan virus yaitu dengan menggunakan *calyculin A* atau asam okadaik [8].

Penerapan teknik PCC sebagai biodosimetri dosis tinggi sukses dilakukan pada tiga korban kecelakaan radiasi di Tokaimura Jepang pada tanggal 30 September 1999 [9]. Hayata dkk (2001) menggunakan metode analisis berdasarkan jumlah terbentuknya kromosom bentuk cincin (*ring*) pada teknik PCC (Gambar 1). Hal tersebut berdasarkan penelitian Kanda dkk (1999) yang menyatakan bahwa kromosom cincin yang terbentuk akibat paparan radiasi pada teknik PCC berbanding lurus dengan dosis radiasi hingga 20 Gy [10].



Gambar 1. Kromosom cincin pada G2-PCC (tanda panah).

Gotoh dan Tanno (2005) mengajukan metode lain selain berdasarkan jumlah kromosom cincin yaitu berdasarkan rasio antara kromosom terpanjang dan kromosom terpendek pada hasil teknik PCC [3]. Mereka menyatakan bahwa rasio tersebut akan meningkat seiring dengan peningkatan dosis radiasi. Hasil penelitian Gotoh dan Tanno memperlihatkan bahwa peningkatan nilai rasio antara kromosom terpanjang dan terpendek terlihat tidak linier seiring dengan peningkatan nilai dosis. Gotoh dan Tanno membuat persamaan matematis yang menggambarkan hubungan antara nilai dosis radiasi dan nilai rasio antara kromosom terpanjang dan terpendek sebagai berikut.

$$LR = 4,90 \times D^{0,5} + 2,14 \quad (1)$$

dengan :

LR : *Length Ratio* (Nilai Rasio)

D : Dosis Radiasi (Gy)

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah mencoba membuat persamaan matematis pada kurva kalibrasi respon dosis yang menggambarkan hubungan antara nilai dosis radiasi dengan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek. Penelitian yang dilakukan merupakan studi awal untuk mengetahui apakah metode Gotoh dan Tanno pada teknik PCC dapat digunakan sebagai biodosimetri dosis tinggi.

## II. TATA KERJA

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah *Roswell Park Memorial Institute* (RPMI) 1640 yang telah diperkaya dengan HEPES dan 25 mM *L-Glutamine*, *Fetal Bovine Serum* (FBS), *Kanamycin*, *Phytohemagglutinin* (PHA), *Calyculin A*, *Vacutainer CPT Tube* (BD Biosciences USA), Methanol, Asam Asetat Glasial, Ethanol, Giemsa, Mikroskop AxioImager Z2, Perangkat lunak SigmaPlot, Metafer 4, dan ImageJ 1.49u.

### Preparasi sampel

Total sebanyak 80 mL sampel darah tepi dari donor wanita berumur 41 tahun diiradiasi dengan sinar Gamma ( $^{137}\text{Cs}$ , laju dosis 0,649 Gy/menit) pada dosis 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7,5; 10; 15 dan 20 Gy. Proses iradiasi dilakukan di *Institute for Environmental Sciences* yang terletak pada kota Rokkasho, Prefektur Aomori Jepang. Proses isolasi sel limfosit dari sampel darah yang telah diiradiasi kemudian dilakukan dengan menggunakan *Vacutainer CPT Evacuated Tube*. Sel limfosit kemudian dikultur dalam media pertumbuhan RPMI 1640 yang telah diperkaya dengan HEPES dan *L-Glutamine* dengan 20% FBS, *Kanamycin* dan PHA. Tabung kultur kemudian ditutup rapat dan disimpan dalam inkubator pada suhu 37°C dengan konsentrasi  $\text{CO}_2$  sebesar 5% selama 48 jam. Ditambahkan *Calyculin A* dengan konsentrasi 50 nM ditambahkan pada waktu 30 menit sebelum panen.

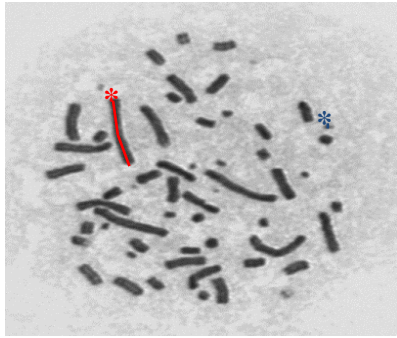
Setelah 48 jam masa kultur dilakukan proses panen. Tabung kultur disentrifus dengan kecepatan 1500 rpm selama 5 menit. Supernatan kemudian dibuang dan disisakan 0,2 ml. Tabung kultur digoyangkan agar tidak terjadi gumpalan. Pada endapan ditambahkan

larutan KCl 0,075 M dan diinkubasi selama 20 menit dalam *waterbath* dengan suhu 37°C. Larutan *carney* (methanol : asam asetat = 1: 3) sebanyak 30  $\mu\text{L}$  ditambahkan setelah masa inkubasi selesai. Larutan kemudian disentrifus kembali dengan kecepatan 1500 rpm selama 5 menit. Supernatan kemudian dibuang dan disisakan 0,5 ml. Tabung digoyangkan agar tidak terjadi gumpalan. Pada endapan ditambahkan larutan *carney* hingga 2 ml. Diulangi langkah tersebut beberapa kali hingga diperoleh supernatan yang jernih dan endapan sel limfosit berwarna putih.

Sebanyak 20  $\mu\text{l}$  endapan sel limfosit diteteskan diatas *object glass*. *Object glass* disimpan 1 jam dalam inkubator, dimasukkan dalam larutan ethanol 70% selama 10 menit, diwarnai dengan larutan giemsa 4% selama 10 menit, dicuci dengan air mengalir dan dibilas dengan air destilasi. Selanjutnya *object glass* dikeringkan dalam inkubator dan di tutup dengan *cover glass* menggunakan larutan 50  $\mu\text{l}$  larutan Eukit. Setelah kering *object glass* dapat diamati dengan mikroskop.

### Pengukuran Rasio Kromosom Terpanjang dan Terpendek

Pengukuran rasio kromosom terpanjang dan terpendek dilakukan dengan terlebih dahulu memindai slide secara otomatis dengan menggunakan perangkat lunak Metafer 4 (MetaSystems) yang terkoneksi dengan mikroskop AxioImager Z2 (Carl Zeiss). Proses identifikasi dan pengambilan citra digital sel interfase G2-PCC dilakukan secara otomatis dengan menggunakan MSearch dan AutoCapt *module* di Metafer 4. Citra digital yang terbentuk kemudian dianalisis yaitu dengan mengukur panjang kromosom yang terpanjang dan terpendek dari 50 sel interfase G2-PCC pada tiap dosis. Total sebanyak 550 citra digital dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan citra digital ImageJ 1.49u. Nilai rasio diperoleh dengan membagi nilai panjang kromosom terpanjang dan terpendek (Gambar 2).



Gambar 2. Kromosom terpanjang dan terpendek pada sel interfase G2-PCC (garis merah dan biru)

### Pembuatan Model Persamaan Matematis

Berdasarkan penelitian Gotoh dan Tanno (2005) maka dari data hasil penelitian dibuat tiga model persamaan matematis yaitu *square root*, *power* dan *exponential rise to max*. Pembuatan model persamaan matematis serta grafik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SigmaPlot 13 versi *trial* dan *Microsoft Excel*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai rasio tertinggi yaitu sebesar 23,66 terdapat pada dosis tertinggi yaitu 20 Gy. Sedangkan nilai rasio terendah terdapat pada dosis 0 Gy yaitu sebesar 5,09 (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek pada setiap dosis.

Nilai Dosis (Gy)	Nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek
0	5,09
0,5	5,35
1	6,36
2	6,50
3	9,10
4	9,51
5	9,99
7,5	14,79
10	19,84
15	19,14
20	23,66

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Gotoh dan Tanno yang menunjukkan bahwa nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek pada dosis 0 Gy adalah 5. Nilai itu

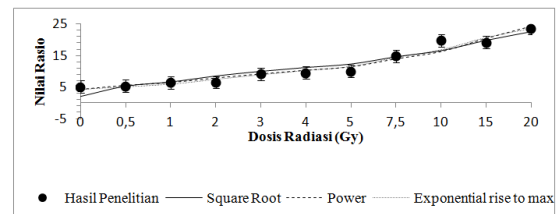
cenderung konstan pada seluruh donor yang digunakan pada penelitian Gotoh dan Tanno [3]. Gotoh dan Tanno membuat tiga model persamaan matematis yang berbeda dari data rasio yang diperoleh yaitu *square root*, *power* dan *exponential rise to max*.

$$LR = LR0 + aD^{0,5} \quad (\text{Square root}) \quad (2)$$

$$LR = LR0 + aD^b \quad (\text{Power}) \quad (3)$$

$$LR = LR0 + a(1 - e^{-bD}) \quad (\text{Exp. rise to max}) \quad (4)$$

LR0 adalah nilai rasio pada dosis 0 Gy dan  $a$ ,  $b$  adalah koefisien dari ketiga persamaan tersebut. Menurut Gotoh dan Tanno dari ketiga model tersebut model *exponential rise to max* memberikan hasil terakurat karena nilai LR0 yang diperoleh paling mendekati hasil penelitian mereka. Meskipun demikian dari sudut pandang kepraktisan model *square root* lebih sesuai untuk digunakan sehingga model tersebut yang dipilih untuk digunakan dalam proses biodosimetri.



Gambar 3. Grafik dari tiga model persamaan yang berbeda (*Square root*, *Power* dan *Exponential rise to max*) serta data nilai rasio yang diperoleh dari penelitian

Serupa dengan penelitian Gotoh, pada penelitian yang dilakukan model *exponential rise to max* memberikan nilai LR0 yang paling mendekati nilai hasil penelitian sebenarnya (Gambar 3). Sedikit berbeda dengan penelitian Gotoh dan Tanno maka pada penelitian yang dilakukan model *power* dan *exponential rise to max* memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan model *square root* (Tabel 2). Perbedaan yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jumlah donor yang digunakan. Hal itu dikarenakan penelitian yang dilakukan adalah penelitian awal untuk mengetahui kemungkinan penggunaan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek dalam teknik PCC sebagai biodosimetri dosis tinggi.

Tabel 2. Tiga model persamaan matematis (*Square root*, *Power* dan *Exponential rise to max*) pada penelitian Gotoh dan Tanno serta yang dilakukan

Model Persamaan	Gotoh dan Tanno	Penelitian yang dilakukan
$LR = LR0 + aD^{0,5}$ ( <i>Square root</i> )	$Y = 2,14 + 4,90D^{0,5}$	$Y = 1,97 + 4,61D^{0,5}$
Nilai a	4,90	4,61
Nilai LR0	2,14	1,97
Nilai R	0,97	0,95
$LR = LR0 + aD^b$ ( <i>Power</i> )	$Y = 3,75 + 3,16D^{0,6}$	$Y = 4,16 + 2,19D^{0,7}$
Nilai a	3,16	2,19
Nilai b	0,6	0,7
Nilai LR0	3,75	4,16
Nilai R	0,96	0,97
$LR = LR0 + a(1 - e^{-bD})$ ( <i>Exp. rise to max</i> )	$LR = 4,10 + 33,17(1 - e^{-0,05D})$	$LR = 4,33 + 26,77(1 - e^{-0,0631D})$
Nilai a	33,17	26,77
Nilai b	0,05	0,0631
Nilai LR0	4,10	4,33
Nilai R	0,99	0,98

Hasil penelitian yang dilakukan mendukung penelitian Gotoh dan Tanno yaitu bahwa penghitungan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek dapat digunakan pada teknik PCC untuk biodosimetri dosis tinggi [3]. Penggunaan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek memiliki kelebihan dibandingkan metode lain seperti penghitungan jumlah kromosom cincin oleh Hayata dkk. [9]. Hal tersebut dikarenakan dosis tertinggi yang dapat diprediksi dengan metode penghitungan jumlah kromosom cincin adalah sebesar 20 Gy [3].

Meskipun penghitungan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek lebih rumit bila dibandingkan dengan penghitungan jumlah kromosom cincin, metode tersebut memiliki kemungkinan untuk dapat dilakukan bahkan oleh laboratorium yang tidak memiliki peralatan memadai. Pengukuran panjang

kromosom dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan citra yang bersifat terbuka (*open source*) yaitu ImageJ dan dapat di unduh pada alamat berikut <http://imagej.nih.gov/ij/>. ImageJ adalah perangkat lunak pengolahan citra yang dikembangkan dalam bahasa Java sehingga dapat digunakan pada semua sistem operasi komputer [11].

ImageJ menyediakan fasilitas pembuatan *macro* yang dapat digunakan untuk mengolah citra digital. *Macro* adalah baris-baris kode pemrograman yang berisi perintah untuk menentukan masukan dan keluaran dalam bahasa pemrograman tertentu [12,13]. Pengukuran panjang kromosom sangat memungkinkan untuk dilakukan secara otomatis dengan menggunakan fasilitas *macro* pada ImageJ.

Gonzalez dkk (2014) bahkan telah



menggunakan perangkat lunak pengolahan citra khusus bidang biologi yaitu CellProfiler 2.0 untuk mengukur panjang kromosom pada sel interfase G2-PCC secara otomatis [14]. CellProfiler dikembangkan dalam bahasa pemrograman Python, sehingga dapat digunakan baik pada sistem operasi komputer Windows maupun Linux. CellProfiler dapat diunduh secara bebas pada situs <http://www.cellprofiler.org/> [15].

Lebih dari 10 tahun lalu paparan radiasi terhadap seluruh tubuh lebih dari 10 Gy sudah *lethal* sehingga tidak diperlukan proses sitogenetik biosimetri untuk memprediksi dosis di atas 10 Gy. Selain itu tidak memungkinkan untuk menggunakan teknik sitogenetik konvensional seperti analisis kromosom disentrik karena hampir sebagian besar sel limfosit tepi tertahan (*arrest*) di fase G2 atau G1 bahkan dapat menuju ke proses apoptosis [3]. Meskipun dosis di atas 10 Gy sudah merupakan dosis *lethal* pada tubuh dengan teknologi kesehatan terkini sangat memungkinkan untuk menyelamatkan korban kecelakaan radiasi yang terpapar radiasi lebih dari 10 Gy. Dengan demikian diperlukan pengembangan sitogenetik biosimetri yang dapat digunakan untuk memprediksi dosis di atas 10 Gy [3,4].

Penghitungan rasio kromosom terpanjang dan terpendek pada teknik PCC terbukti dapat digunakan sebagai biosimetri dosis tinggi. Dengan semakin banyaknya laboratorium yang memiliki sistem pencitraan untuk pengambilan citra digital melalui mikroskop akan memudahkan penghitungan rasio kromosom terpanjang dan terpendek pada teknik PCC [3].

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai rasio kromosom terpanjang dan terpendek seiring dengan peningkatan nilai dosis. Model persamaan matematis yang paling sesuai dengan data hasil penelitian adalah model *power* dan *exponential rise to max*. Penelitian lanjutan dengan memperbesar jumlah sampel penelitian harus dilakukan untuk memastikan bahwa model persamaan matematis yang paling sesuai adalah model *power* dan *exponential rise to max*. Secara keseluruhan

dapat disimpulkan bahwa prediksi dosis tinggi dapat dilakukan dengan teknik PCC menggunakan metode rasio kromosom terpanjang dan terpendek. Diharapkan teknik PCC dapat dikembangkan di laboratorium sitogenetika Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Mitsuaki Yoshida atas bantuan proses iradiasi serta proses kultur, panen dan preparasi preparat PCC yang telah dilakukan di Institute Radiological Emergency Medicine - Universitas Hirosaki, Jepang. Penulis juga mengucapkan terima kasih terhadap Dr. Eisuke Gotoh, dan Dr. Mukh Syaifudin atas bantuan dan saran perbaikan terhadap makalah yang dibuat.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. BALAKRISHNAN, S., SHIRSATH, K.S., BHAT,N., ANJARIA, K., Biosimetry for high dose accidental exposures by drug induced premature chromosome condensation (PCC) assay, *Mutation Research* **699** (2010) 11–16.
2. IAEA, “Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies”, IAEA, Vienna, 2011.
3. GOTOH, E., TANNO, Y., Simple biosimetry method for cases of high-dose radiation exposure using the ratio of the longest/shortest length of Giemsa-stained drug induced prematurely condensed chromosomes (PCC), *Int, J, Radiat, Biol* **81(5)** (2005) 379 – 385.
4. GOTOH, E., TANNO, Y., TAKAKURA, K., Simple biosimetry method for use in cases of high-dose radiation exposure that scores the chromosome number of Giemsa-stained drug induced prematurely condensed chromosomes (PCC), *Int, J, Radiat, Biol* **81(1)** (2005) 33 – 40.
5. 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, Depok 27 Agustus 2008), Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta (2008) 61.
6. JOHNSON, R.T., RAO, P.N., Mammalian cell fusion: induction of premature chromosome condensation in interphase nuclei, *Nature* 226 (1970) 717 – 722.
  7. GOTOH, E., DURANTE, M., Chromosome Condensation Outside of Mitosis: Mechanism and New Tools, *Journal of Cellular Physiology* 209 (2006) 297-304.
  8. GOTOH, E., ASAKAWA, Y., KOSAKA, H., Inhibition of protein serine/threonine phosphatases directly induces premature chromosome condensation in mammalian somatic cells, *Biomed Res* 16 (1995) 63-68.
  9. HAYATA, I., KANDA, R., MINAMIHISAMATSU, M., FURUKAWA, A., SASAKI, M.S., Cytogenetical Dose Estimation for 3 Severely Exposed Patients in the JCO Criticality Accident in Tokaimura, *J, Radiat, Res* 42 (2001): SUPPL., S149–S155.
  10. KANDA, R., HAYATA, I., LLOYD D.C., Easy biodosimetry for high-dose radiation exposures using drug-induced, prematurely condensed chromosomes, *Int J Radiat Biol*, 75(4) (1999) 441-446.
  11. HELMA, C., UHL, M., A public domain image-analysis program for the single-cell gel-electrophoresis comet assay, *Mutation Research* 466 (2000) 9–15.
  12. COLLINS, T.J., ImageJ for microscopy. *BioTechniques* 43 (2007): S25-S30.
  13. PUTRA, D., **Pengolahan Citra Digital**, Yogyakarta, Penerbit Andi (2010).
  14. GONZALEZ, J.E., ROMERO, I., GREGOIRE, E., MARTIN, C., LAMADRID, A.I., VOISIN, P., BARQUINERO, J.E., GARCIA, O., Biodosimetry estimation using the ratio of the longest and shortest length in the premature chromosome condensation (PCC) method applying autocapture and automatic image analysis. *Journal of Radiation Research* 55 (2014) 862–865.
15. CARPENTER, A.E., JONES, T.R., LAMPRECHT M.R., CLARKE, C., KANG, I.H., FRIMAN, O., GUERTIN, D.A., CHANG, J.H., LINDQUIST, R.A., MOFFAT, J., GOLLAND, P., SABATINI, D.M., CellProfiler: image analysis software for identifying and quantifying cell phenotypes. *Genome Biol* 7 (2006)

## TANYA JAWAB

### 1. Penanya : Dadong Iskandar

Pertanyaan :

- Pada dosis berapa teknik PCC ini dapat digunakan ?
- Apakah perbedaan teknik PCC dengan teknik aberasi kromosom dalam biodosimetri ?

Jawaban :

- Teknik PCC dapat digunakan pada paparan dengan dosis 0-40 Gy
- Teknik PCC biasanya digunakan pada paparan dengan dosis tinggi >5 Gy sedangkan teknik aberasi kromosom digunakan pada paparan dengan dosis < 5 Gy. Pada biodosimetri ketika terjadi paparan dengan dosis tinggi teknik PCC lebih dapat diandalkan dibandingkan teknik aberasi kromosom.

### 2. Penanya : Djarwanti

Pertanyaan :

- Apakah teknik PCC ini dapat membedakan jenis kelamin darah sampel ?

Jawaban :

- Teknik PCC tidak dapat membedakan jenis kelamin darah sampel.