

## FREKUENSI ABERASI KROMOSOM PADA PEKERJA RADIASI

Yanti Lusiyanti dan Zubaidah Alatas

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN

email: k\_lusiyanti@batan.go.id

### ABSTRAK

*FREKUENSI ABERASI KROMOSOM PADA PEKERJA RADIASI. Paparan radiasi pada tubuh dapat menyebabkan kerusakan pada materi genetik dalam sel (sitogenetik) berupa perubahan struktur atau aberasi kromosom dalam sel limfosit darah tepi. Aberasi kromosom dapat bersifat tidak stabil seperti kromosom disentrik dan cincin, dan bersifat stabil seperti translokasi. Kromosom disentrik merupakan biomarker gold standar akibat paparan radiasi sedangkan kromosom translokasi merupakan biomarker sito untuk biodosimetri retrospektif. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pemeriksaan aberasi kromosom pada para pekerja radiasi untuk mengetahui potensi kerusakan sel yang mungkin timbul karena paparan radiasi akibat kerja. Pemeriksaan dilakukan pada sampel darah dari 55 pekerja radiasi dengan kisaran masa kerja 5-30 tahun. Pengukuran frekuensi aberasi kromosom dimulai dengan pengambilan sampel darah, pembiakan, pemanenan, preparasi preparat, dan pewarnaan kromosom limfosit dengan giemsa dan atau pengecatan dengan teknik Fluorescence In Situ Hybridization (FISH). Hasil pemeriksaan menunjukkan tidak ditemukan kromosom translokasi pada sampel darah pekerja radiasi dan dijumpai adanya kromosom disentrik hanya pada 2 sampel darah pekerja radiasi dengan frekuensi 0,001/sel. Frekuensi aberasi kromosom pada sel darah pekerja tersebut berada dalam batas normal yang menunjukkan bahwa para pekerja tersebut telah bekerja dengan menerapkan aspek keselamatan radiasi dengan baik.*

*Kata kunci: Aberasi kromosom disentrik, translokasi, pekerja radiasi*

### ABSTRACT

*FREQUENCIES OF CHROMOSOME ABERRATION ON RADIATION WORKERS. Radiation exposure of the body can cause damage to the genetic material in cells (cytogenetic) in the form of changes in the structure or chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes. Chromosomal aberrations can be unstable as dicentric and ring chromosomes, and is stable as translocation. Dicentric chromosome is the gold standard biomarker due to radiation exposure, and chromosome translocation is a biomarker for retrospective biodosimetry. The aim of this study is to conduct examination of chromosomal aberrations in the radiation worker to determine the potential damage of cell that may arise due to occupational radiation exposure. The examination have been carried out on blood samples from 55 radiation workers in the range of 5-30 year of service. Chromosome aberration frequency measurement starts with blood sampling, culturing, harvesting, slide preparations, and lymphocyte chromosome staining with Giemsa and painting with Fluorescence In Situ Hybridization (FISH) technique. The results showed that chromosomal translocations are not found in blood samples radiation workers and dicentric chromosomes found only on 2 blood samples of radiation workers with a frequency of 0.001 / cell. The frequency of chromosomal aberrations in the blood cells such workers within normal limits and this means that the workers have been implemented a radiation safety aspects very well.*

*Keywords: Aberration of dicentric chromosome, translokasi, radiation workers*

### PENDAHULUAN

Aplikasi teknik nuklir dalam berbagai seperti di industri, pertanian, kesehatan, hidrologi, energi, pendidikan, penelitian dan bidang lainnya di samping mempunyai manfaat yang cukup besar, juga mempunyai potensi bahaya radiasi yang perlu diwaspadai, sehingga pemanfaatan teknologi ini harus berwawasan keselamatan yaitu dengan membuat peraturan yang ketat dan dilaksanakan dengan seksama serta dilakukan pengawasan agar potensi itu tidak menjadi kenyataan.

Radiasi pengion adalah gelombang elektromagnetik (foton) atau partikel berenergi yang

akan menimbulkan proses ionisasi bila melewati materi termasuk materi biologi. Apabila tubuh terpapar radiasi pengion, akan terjadi perubahan pada materi biologik tubuh, paling tidak pada tingkat molekuler dan seluler khususnya materi genetik sel (*sitogenetik*). Sejumlah perubahan atau kerusakan yang timbul dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan risiko akibat radiasi pada tubuh, antara lain kerusakan pada kromosom sel tubuh [1, 2].

Pekerja radiasi berpotensi menerima paparan radiasi dengan besaran dosis ekuivalen yang melebihi atau mendekati nilai batas dosis yang diizinkan, bila terjadi suatu kecelakaan yang dikarenakan tata kerja yang salah. Program pemantauan radiasi diterapkan secara rutin pada semua pekerja radiasi dengan

menggunakan dosimeter fisika dan dosimeter biologi sebagai alat pemantau. Pemantauan dilakukan secara rutin dan periodik misalnya setiap 3, 6 atau 12 bulan sekali, bergantung pada kondisi kerja atau hasil pemantauan dan dapat juga dilakukan sewaktu-waktu jika diperlukan, misalnya akibat kecelakaan kerja. Pemantauan radiasi eksternal diterapkan secara rutin pada semua pekerja radiasi, misalnya dengan menggunakan dosimeter sebagai alat pemantau, seperti dosimeter film dan dosimeter *termoluminescence* (TLD), *Film Badge*, dosimeter poket atau dosimeter cincin [3].

Analisis aberasi kromosom telah digunakan secara meluas sebagai *biomarker* pada pekerja radiasi dan masyarakat umum yang terpajan radiasi pengion. Metode ini digunakan untuk mendeteksi aberasi kromosom dalam limfosit darah perifer yang merupakan sel yang paling sensitif terhadap radiasi. Metode ini juga telah digunakan pada rekonstruksi pada populasi yang terpajan radiasi dalam skala besar populasi pada korban selamat dari Hiroshima dan Nagasaki di Jepang, pekerja pembersihan di kecelakaan reaktor Chernobyl, atau masyarakat yang terkena pajanan pada kecelakaan yang melibatkan sumber  $^{137}\text{Cs}$  di Goiânia Brazil, serta pada pekerja radiasi di Bulgaria [4, 5].

Jika tubuh terpajan radiasi, akan terjadi interaksi antara energi radiasi dengan materi biologik baik secara langsung ataupun tidak langsung. Disebut langsung jika penyerapan energi langsung terjadi pada molekul, terutama yang penting seperti DNA dan menimbulkan kerusakan; secara tidak langsung jika terlebih dahulu terjadi interaksi radiasi dengan molekul air menghasilkan radikal bebas yang kemudian akan mempengaruhi molekul seperti DNA. Mengingat sekitar 80% tubuh manusia terdiri dari air, maka sebagian besar interaksi radiasi dalam tubuh terjadi secara tidak langsung [2, 6].

Kromosom manusia yang berjumlah 46 (23 pasang) mengandung ribuan gen, yang merupakan suatu rantai *Deoxyribonucleic acid* (DNA) yang membawa kode informasi genetik tertentu dan spesifik. Kerusakan pada kromosom akibat radiasi pengion (aberasi kromosom) dapat menyebabkan terjadinya perubahan baik pada jumlah maupun pada struktur kromosom. Perubahan jumlah kromosom misalnya menjadi 47 buah pada sel somatik yang memungkinkan timbulnya kelainan genetik. Sedangkan kerusakan struktur kromosom dapat berupa patahnya lengan kromosom yang terjadi secara acak. Penyebab aberasi sama dengan mutasi gen, dapat berupa bahan fisika, kimia, atau bahan biologi. Sinar gelombang pendek non-radioaktif seperti sinar ultraviolet, tidak akan menyebabkan aberasi kromosom [6, 7, 8].

Radiasi pengion dapat menginduksi berbagai jenis kerusakan DNA, yaitu terjadinya perubahan

struktur molekul gula atau basa, putusnya ikatan hidrogen antar basa dan hilangnya gugus gula atau basa. Kerusakan lain yang lebih parah adalah putusnya salah satu untai DNA yang disebut *single strand break* dan putusnya kedua untai DNA yang disebut *double strand break*. Secara alamiah sel mempunyai kemampuan untuk melakukan proses perbaikan terhadap kerusakan tersebut diatas dalam batas normal dengan menggunakan jenis enzim yang spesifik. Namun apabila kerusakan tersebut tidak dapat diperbaiki atau diperbaiki dengan tidak sempurna, maka akan berpotensi sebagai pemicu perubahan pada materi genetik berupa mutasi dan kerusakan pada kromosom [2, 6, 7].

Paparan radiasi pengion dapat menyebabkan terjadinya perubahan, baik pada jumlah maupun pada struktur kromosom, yang dikenal dengan istilah aberasi kromosom. Kerusakan struktur berupa patahnya lengan kromosom terjadi secara acak dengan peluang yang makin besar sesuai dengan meningkatnya dosis radiasi. Aberasi kromosom yang mungkin dapat terjadi adalah 1) fragmen asentrik yaitu terjadinya delesi atau patahnya bagian kecil atau fragmen lengan kromosom yang tidak mengandung sentromer; 2) *ring* atau kromosom bentuk cincin yang merupakan hasil penggabungan dua lengan yang mengalami delesi pada kromosom yang sama; 3) disentrik berupa kromosom dengan dua buah sentromer sebagai hasil penggabungan dua buah kromosom yang mengalami patah. Gambar 2 dari semua kerusakan tersebut, kromosom disentrik diyakini spesifik terjadi akibat pajanan radiasi. Dosis tunggal 200 mGy sudah dapat menimbulkan aberasi kromosom yang dapat dideteksi. Frekuensi terjadinya aberasi kromosom bergantung pada jenis dan dosis radiasi yang diterima [6, 7]. Pemeriksaan ini harus dilakukan dalam waktu 24 jam - 30 hari paska pajanan radiasi, karena jumlah sel yang mengandung aberasi kromosom ini akan mengalami penurunan sebagai akibat dari proses seleksi dominan yang terjadi selama proliferasi sel [2].

Individu yang terpajan radiasi secara kronik dalam waktu yang lama dapat dilakukan pemeriksaan aberasi kromosom yang bersifat stabil yaitu translokasi yaitu terjadinya perpindahan atau pertukaran fragmen dari dua atau lebih kromosom. Sel yang memiliki kromosom translokasi ini tidak hilang dengan berjalannya waktu karena sel tersebut masih mampu melakukan pembelahan sel. Kromosom translokasi dapat digunakan sebagai indikator kerusakan genetik pada sel darah individu yang terpajan radiasi setelah waktu yang lama atau sebagai indikator terjadinya akumulasi kerusakan untuk pendugaan risiko timbulnya kerusakan yang mengarah pada pembentukan kanker akibat radiasi. Translokasi berperan dalam proses perkembangan kelainan atau penyakit genetik dan dalam

karsinogenesis termasuk proses aktivasi onkogen yang menyebabkan sel normal berkembang menjadi sel malignan [6, 9, 10].

Pemeriksaan teknik aberasi kromosom disentrik menggunakan pewarna giemsa telah diaplikasikan untuk mendeteksi kerusakan kromosom pada sel para pekerja radiasi industri. Sedangkan saat ini teknik *FISH* dengan *probe* tunggal telah digunakan untuk pemeriksaan aberasi kromosom pada sel para pekerja radiasi khususnya yang telah menerima akumulasi dosis dalam jangka waktu yang lama. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah melakukan pemeriksaan aberasi kromosom pada para pekerja radiasi untuk mengevaluasi dampak kesehatan akibat bekerja dengan radiasi atau kecelakaan yang melibatkan radiasi. Dari penelitian ini diharapkan akan diperoleh gambaran kondisi tingkat kerusakan kromosom pada sel darah pekerja yang diinduksi oleh paparan radiasi akibat kerja dalam rangka memantau penerapan ketentuan keselamatan kerja dengan radiasi.

## TATA KERJA

### Subjek Penelitian

Sampel darah diperoleh dari 55 pekerja radiasi di BATAN Jakarta, Tangerang dan dengan rentang masa kerja 5 - 30 tahun, dan 10 non pekerja radiasi. Setiap pekerja wajib mengisi formulir biodata meliputi riwayat penyakit dan riwayat bekerja dengan radiasi untuk mengetahui riwayat pekerjaan yang berkaitan dengan penerimaan dosis radiasi.

### Pembiakan dan pemanenan sel darah limfosit tahap Metafase

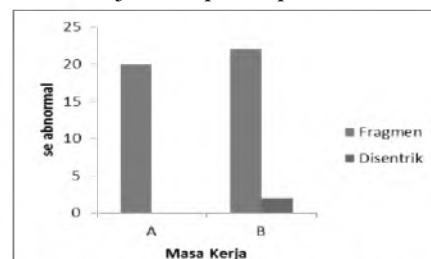
Dari setiap pekerja radiasi diambil sekitar 5 ml darah tepi menggunakan *syringe* dan segera ditambah 0,03 ml heparin sebagai anti koagulan. Sampel darah ini dibiakkan secara duplo. Ke dalam tabung kultur, dimasukkan media pertumbuhan 7,5 ml RPMI-1640, 0,1 ml L-Glutamin, 1 ml Fetal Bovine Serum, 0,2 ml Penicillin Streptomycin, 1 ml darah dan 0,25 ml Phytohaemagglutinin. Tabung kemudian di simpan dalam inkubator 37°C selama 48 jam. Pada 3 jam sebelum pemanenan, ke dalam biakan ditambahkan 0,1 ml colchisin untuk menghentikan proses pembelahan untuk memperoleh sel tahap metafase. Darah yang telah dibiakkan, disentrifus dengan kecepatan 1500 rpm selama 10 menit. Pada endapan darah ditambahkan 10 ml KCl 0,56%, diaduk dengan pipet Pasteur dan disimpan pada *waterbath* 37° C selama 20 menit. Larutan selanjutnya disentrifuse kembali dengan kecepatan yang sama selama 10 menit. Pada endapan ditambahkan 4 ml larutan carnoy (metanol : asam asetat = 3 : 1), divortex, dan kemudian ditambahkan lagi larutan carnoy sampai volume total mencapai 10 ml. Larutan tersebut disentrifus kembali beberapa kali sampai diperoleh endapan sel limfosit yang berwarna putih.

### Pembuatan preparat dan pengecatan kromosom dengan teknik *FISH*

Endapan sel limfosit ditetaskan di atas gelas preparat pada 1-2 tempat yang berbeda, dibawah mikroskop, dilakukan seleksi terhadap preparat yang mempunyai sebaran kromosom yang baik pada sel tahap metafase dan dikeringkan di atas *hot plate* 65° C selama 1½ jam. Preparat tersebut didehidrasi dengan dimasukkan ke dalam seri *coplin jar* yang berisi etanol 70% sebanyak 2x masing-masing selama 2 menit, etanol 90% 2x selama 2 menit dan etanol 100% sebanyak 1x selama 5 menit. Kromosom pada preparat selanjutnya di denaturasi dengan dimasukkan ke dalam larutan formamida dan diinkubasi pada *waterbarh* 65°C selama 1½ menit. Preparat dicuci secara berturut-turut dengan alkohol bertingkat 70% dingin selama 4 menit, 70% selama 2 menit, 90% sebanyak 2 x masing-masing selama 2 menit dan 100% selama 5 menit. Kromosom pada preparat telah siap untuk dilakukan hibridisasi dengan campuran *whole chromosome probe* (WCP) dengan fluorochrom *Fluorescent isothiocyanate* (FITC) nomor 1, 2, 5, 6 dan 10 WCP dengan fluorochrome texas red no 1 dan 5 yang digunakan merupakan produksi *ID Labs*. USA [11].

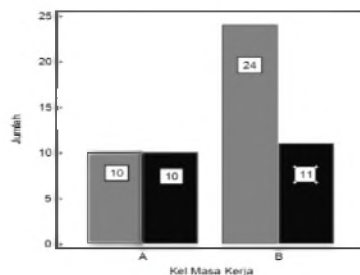
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan aberasi kromosom telah digunakan sebagai biomonitoring pada pekerja radiasi yang telah terpapar radiasi pengion sebagai konsekwensi pekerjaan. Dalam penelitian ini sampel darah limfosit diperoleh dari 55 pekerja radiasi dan 10 non pekerja radiasi. Untuk pekerja radiasi yang telah diambil sampel darahnya yaitu pekerja yang mempunyai masa kerja 5-30 th, dan dikelompokkan menjadi 2 kelompok pekerja dengan masing-masing kisaran masa kerja 5 – 20 tahun (A) masa kerja 21-30 tahun (B). Penerimaan dosis berdasarkan data rata2 film badge dan atau TLD untuk 3-5 tahun terakhir berkisar berkisar < 20 mSv/tahun. Pemeriksaan terhadap aberasi kromosom dilakukan untuk jenis aberasi kromosom tak stabil yaitu disentrik, fragmen ,menggunakan pewarna giemsa. Hasil pengamatan kromosom tak stabil diamati untuk setiap 500 sel metafase dikelompokkan berdasarkan kisaran masa kerja ditampilkan pada Gambar 1.

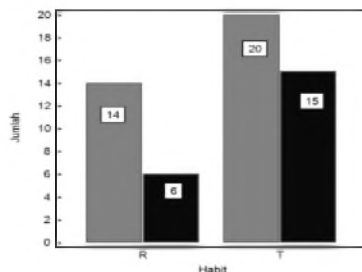


Gambar 1. Sebaran aberasi kromosom pada kelompok pekerja radiasi A dan B

Pada kelompok pekerja radiasi A kelainan kromosom yang ditemukan hanya fragmen kromosom asentrik, sedangkan pada kelompok B kelainan kromosom yang ditemukan adalah ditemukan adalah kromosom disentrik, dan fragmen asentrik sedangkan pada kontrol tidak ditemukan kedua bentuk aberasi kromosom tersebut. Frekuensi fragmen kromosom pada kelompok pekerja radiasi kelompok A yang ditemukan adalah 20 fragmen asentrik dari 10 orang pekerja pada kisaran frekuensi 1 – 4 fragmen/ 500 sel metafase. Sedangkan pada kelompok B kelainan kromosom yang ditemukan adalah ditemukan adalah 22 fragmen asentrik dari 11 orang pekerja dengan kisaran jumlah fragmen bervariasi 1 – 6 fragmen/500 sel metafase. Sedangkan frekuensi fragmen yang ditemukan pada kedua kelompok pekerja radiasi dengan latar belakang kebiasaan merokok ditampilkan pada Gambar 2 dan 3.

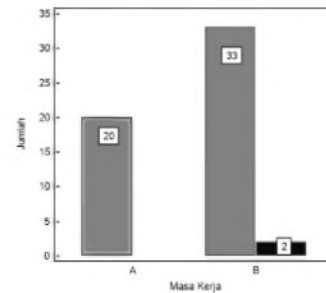


**Gambar 2.** Pekerja yang memiliki fragmen kromosom (■) yang ditemukan pada kelompok pekerja radiasi A dan B



**Gambar 3.** Pekerja radiasi yang memiliki fragmen kromosom (■) yang ditemukan pada kelompok dengan kebiasaan (*habit*) merokok (R) dan tidak merokok (T)

Pada penelitian ini rerata frekuensi fragmen pada kelompok A adalah  $0,002 \pm 0,0025/\text{sel}$  dan pada kelompok B rerata frekuensi fragmen  $0,0012 \pm 0,002$ . Tidak ada perbedaan signifikan untuk frekuensi fragmen kromosom untuk kedua kelompok maupun berdasarkan kebiasaan merokok pada tingkat kepercayaan  $p=0,05$ . Sedangkan frekuensi kromosom disentrik yang ditemukan pada dua kelompok pekerja A dan B ditampilkan dalam Gambar 4.



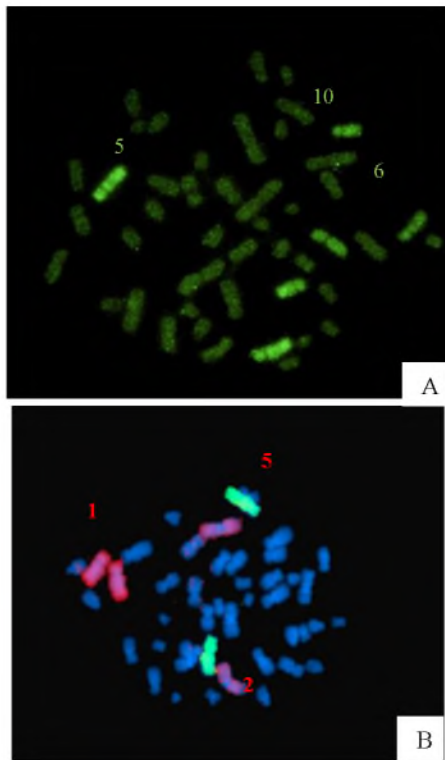
**Gambar 4.** Frekuensi kromosom disentrik (■) yang ditemukan pada kelompok pekerja radiasi A dan B

Dalam penelitian ini kromosom disentrik hanya ditemukan 2 kromosom disentrik pada 2 orang pekerja yakni pada kelompok pekerja B dengan masa kerja > 21 tahun yaitu masing-masing pada masa kerja 23 dan 25 tahun dengan rerata frekuensi kromosom disentrik  $0,001 \pm 0,0005/\text{sel}$ . Hasil yang relatif sama juga ditemukan pada pemeriksaan aberasi kromosom pada masyarakat yang tinggal pada daerah dengan kategori memiliki paparan radiasi alam yakni  $0,0014 \pm 0,0021/\text{sel}$  [12].

Kromosom disentrik telah dianggap sebagai indikator sensitif terhadap paparan radiasi pengion dan telah diaplikasikan untuk biomonitoring dan dosimeter biologi [4]. Namun demikian kromosom disentrik merupakan kromosom tak stabil karena frekuensi disentrik akan tereliminasi sejalan dengan umur dari limfosit. Rata-rata half life untuk kromosom disentrik adalah 130 hari [4, 5]. Pada kasus paparan kronik yang diterima pekerja dengan penerimaan dosis rendah pada laju dosis rendah kemungkinan aberasi kromosom yang diinduksi pada limfosit adalah hanya pada populasi limfosit yang mempunyai umur panjang (*long life population*) [13].

Disentrik terbentuk karena terjadinya patahan pada dua lengan kromosom yang bergabung membentuk kromosom dengan dua sentromer dan dilengkapi fragmen tanpa sentromer (asentrik). Fragmen yang terbentuk karena adanya patahan lengan kromosom disebabkan tidak saja karena radiasi namun dapat pula disebabkan oleh bahan kimia termasuk bahan tar yang terkandung dalam rokok [2].

Hal yang sama juga untuk kelompok pekerja dengan kebiasaan merokok pada kelompok A dan B tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan  $p=0,05$ . Namun untuk semua jenis aberasi kromosom tersebut masih dikategorikan dalam kisaran normal, karena mengacu pada IAEA bahwa frekuensi latar untuk jenis aberasi tersebut berturut-turut 1-3 disentrik dan 4-7 fragmen masing-masing dalam setiap 1000 sel metafase masih dikategorikan normal [2].



**Gambar 4.** Pewarnaan kromosom dengan teknik *FISH* prob kromosom nomor 5,6,10. pewarna tunggal FITC dan pewarna ganda FITC dan Texas probe kromosom nomor 1,2,5

Pada penelitian ini pemeriksaan kromosom stabil dengan teknik *FISH Painting*, dilakukan sampling pada sampel pekerja radiasi dengan masa kerja >20 tahun dan untuk masa kerja < 5 tahun. Mekanisme pengecatan dengan teknik *FISH* ini di dasarnya pada hibridisasi pada molekul DNA pendek yang probenya dilengkapi dengan *complementari sequence* pada genom. *Probe* selanjutnya dilabel dengan *fluorescent dye* yang akan menunjukkan warna pendar pada fragmen kromosom yang mengalami translokasi. Penggunaan *probe* dengan urutan genom yang spesifik memungkinkan untuk memperoleh informasi sejumlah gambaran dan lokasi patahan kromosom. Dengan proses hibridisasi yang simultan dengan *probe* yang dilabel dan penggunaan *fluorescent dye* yang berbeda dapat mendeteksi beberapa translokasi yang berbeda pada genom secara bersamaan. Hal ini dapat memberikan informasi tentang sekuen amplifikasi, delesi atau translokasi beserta lokasinya pada genom [14]. Visualisasi keberadaan aberasi kromosom translokasi dilakukan dengan menggunakan teknik pengecatan kromosom (*chromosom painting tehnic*) yang disebut *Fluorescence in situ hybridization (FISH)* dengan komposisi nomor probe kromosom nomor 5, 6, 10 yang dilabel dengan pewarna tunggal menggunakan fluorochrom FITC ditunjukkan dengan warna

berpendar pada kromosom target dan probe campuran dengan fluorochrome FITC dan Texas Red dengan probe kromosom no 1, 2, 5 ditampilkan pada Gambar 4.

Namun dari hasil sampling terhadap pengecatan kromosom yang telah dilakukan hasil pengamatan kromosom stabil untuk pekerja radiasi dengan masa kerja > 20 maupun untuk pekerja radiasi dengan masa kerja < 5 tahun yang diamati pada sel limfosit tidak ditemukan adanya aberasi kromosom translokasi hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan paparan radiasi yang diterima tidak cukup besar untuk menginduksi terbentuknya aberasi kromosom, atau translokasi. Dosis ambang radiasi secara akut yang dapat menginduksi aberasi kromosom translokasi adalah sekitar 0,25 Gy atau sebagai efek deterministik [2].

## KESIMPULAN

Pendeteksian adanya aberasi kromosom dalam sel limfosit yang diketahui sebagai biomarker yang spesifik hanya terinduksi oleh paparan radiasi pengion. Terhadap pekerja radiasi yang diperkirakan menerima paparan radiasi berlebih, dapat dilakukan suatu tindakan sebagai konfirmasi terhadap data dosis radiasi yang diperoleh dari dosimeter fisik. Pemantauan status kesehatan para pekerja radiasi berdasarkan pemeriksaan aberasi kromosom menunjukan aberasi kromosom, disentrif ditemukan pada pekerja radiasi sekitar 0,001 %, masih dalam batas normal. Hal yang menunjukkan bahwa para pekerja tersebut telah bekerja dengan menerapkan aspek keselamatan radiasi dengan baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pekerja yang telah menjadi volunteer, Dr Iin Kurnia telah membantu penelitian terkait analisis statistik

## DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. Safety Standards Series No. GSR Part 3. IAEA, Vienna, 2014.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies*. IAEA, Vienna, 2011.
3. BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, *Penyuluhan Peraturan Perundangan Keselamatan Nuklir*, Jakarta, 2002.
4. Q Liu, Md, *Dose estimation by chromosome aberration analysis and micronucleus assays in victims accidentally exposed to <sup>60</sup>Co radiation*, The British Journal of Radiology, 82, 1027–1032, 2009.

5. Tawn, E.J et al *Chromosome Aberrations Determined by FISH in Radiation Workers from*
6. *The Sellafield Nuclear Facility RADIATION RESEARCH* 184, 296–303, 2015.
7. Hall, E.J and Gaiccia, A.J., *Radiobiology for the Radiologist*. 7th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2012.
8. Rodrigues As, Oliver Ng, Monteiro Gil O, Leonard A, and Rueff J, *Use of Cytogenetic Indicators in Radiobiology Radiation Protection Dosimetry* ;115 1-4 455-460, 2005.
9. Alatas, Z., *Indikator biologik kerusakan tubuh akibat pajanan radiasi, Cermin Dunia Kedokteran*, 138, 41-45, 2003.
10. Tucker.J.D, *Low-dose ionizing radiation and chromosome translocations: A review of the major considerations for human biological dosimetry*, *Mutation Research* 659 211–220, 2008.
11. Rodriguez P, Montoro A, Barquinero JF, Caballin MR, Villaescusa I, and Barrios L. *Analysis of translocation in stable cells and their implication in retrospective biological dosimetry*, *Radiation Research*;162:31-38, 2004.
12. FISH. *Protocol for Human IDetect Chromosome Pain Probes*, ID Labs Inc. Canada, 2010.
13. Alatas, Z. Lusiyanti,Y., Purnami, S., Ramadhani, D., Lubis, M Dan Agesti, Vr, *Respon Sitogenetik Penduduk Daerah Radiasi Alam Tinggi di Mamuju, Sulawesi Barat*, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* Vol 13 No 1, 2012.
14. Zeljezic, D and Garajvrhovac,V, *Fluorescence In Situ Hibridisation in Detecting Chromosome Aberrations Caused By Occupational Exposure to Ionising Radiation*, *Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia*, *Arh Hig Rada Toksikol* 2006,57.65-68.
15. Edwards AA, Lindholm C, Darroudi F, Stephan G, Romm H,Barquinero J, *Review of translocations detected by FISH for retrospective biological dosimetry applications Radiation Protection Dosimetry* 113(4):396-402, 2005.

---

## TANYA JAWAB

### Elisabeth Supriyatni

- Apakah ada dosis minimum untuk terlihatnya efek abrasi kromosom ini ?
- Bagaimana menentukan bahwa abrasi tersebut masih latar karena radiasi?

### Yanti Lusiyanti

- *Dari literatur menyatakan bahwa minimal dosis (batas ambang) yang mampu menginduksi terbentuknya abrasi kromosom disentrik adalah 200 mSv.*
- *Menurut acuan standar IAEA, di katakan bahwa frekuensi abrasi kromosom disentrik 1 – 2 dalam 1.000 sel metafase setara dengan frekuensi normal/latar akibat paparan radiasi alam.*

### Sudi Ariyanto

- Parameter apa yang di gunakan untuk menentukan terjadinya aberasi?
- Apakah lamanya waktu berkorelasi langsung dengan kejadian aberasi?
- Mengapa pengelompokan hanya berdasar waktu kerja?

### Yanti Lusiyanti

- *Parameter yang digunakan adalah kelainan struktural/aberasi kromosom bentuk, fragmen (patahan lengan kromosom), ring (kromosom bentuk cincin), disentrik (kromosom dengan 2 sentromer) dan translokasi (perpindahan lengan kromosom).*
- *Dalam penelitian ini belum di analisis secara statistik untuk korelasi tersebut. Namun kecenderungan lama bekerja ada indikasi kejadian aberasi namun masih dalam kategori latar/normal.*
- *Terdapat kendala ketersediaan pekerja radiasi dengan masa kerja.*

### Samin

- Sebagai sampling obyek mana saja?
- Berapa frekuensinya?
- Bagaimana hasilnya?

### Yanti Lusiyanti

- *Subyek sampling adalah pekerja radiasi di BATAN Jakarta, Yogyakarta, Banten dan Bandung.*
- *Frekuensi kerusakan/aberasi kromosom disentris hanya ditemukan pada 2 subyek dan masih di kategorikan setara dengan frekuensi latar untuk kromosom disentris mengacu pada manual IAEA.*