
**RESPON SITOGENETIK PENDUDUK DAERAH RADIASI ALAM TINGGI
DI KABUPATEN MAMUJU, SULAWESI BARAT**

Zubaidah A., Yanti Lusiyanti, Sofiati P., Dwi Ramadhani, Masnelly L., Viria AS

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR)
Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
zalatas@batan.go.id

Diterima:13-12-2011

Diterima dalam bentuk revisi:03-01-2012

Disetujui:17-01-2012

ABSTRAK

RESPON SITOGENETIK PENDUDUK DAERAH RADIASI ALAM TINGGI DI KABUPATEN MAMUJU, SULAWESI BARAT. Manusia di dunia menerima paparan radiasi alam baik eksternal maupun internal. Total paparan tahunan dari radiasi alam dengan latar normal adalah 2,4 mSv, sedangkan daerah dengan tingkat paparan radiasi alam mencapai 20 mSv atau lebih dikategorikan sebagai *High Natural Background Radiation* (HNBR). Tingkat paparan radiasi di HNBR dianggap sebagai radiasi dosis rendah. Efek biologik radiasi dosis rendah khususnya efek sitogenetik telah dipelajari pada penduduk di beberapa daerah HNBR di dunia. Tulisan ini melaporkan hasil studi sitogenetik khususnya aberasi kromosom pada sel limfosit darah tepi penduduk di Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, yang mempunyai tingkat paparan radiasi alam relatif tinggi di Indonesia. Pemeriksaan aberasi kromosom dilakukan dengan teknik Giemsa dan *fluorescence in situ hybridization* terhadap sampel darah penduduk yang telah dibiakkan dalam media pertumbuhan. Hasil penelitian tidak menunjukkan adanya perbedaan nyata frekuensi aberasi kromosom pada sel limfosit penduduk daerah radiasi alam tinggi dan latar normal. Terdapat indikasi adanya fenomena respon radioadaptif pada penduduk di Kabupaten Mamuju yang perlu diteliti lebih lanjut.

Kata kunci : dosis rendah, aberasi kromosom, HNBR, Mamuju

ABSTRACT

CYTOGENETIC RESPONSE OF THE RESIDENTS OF HIGH NATURAL RADIATION AREA IN KABUPATEN MAMUJU, SULAWESI BARAT. People in the world are exposed to background radiation from natural sources both internally and externally. Total exposure to natural radiation in areas of normal background averages 2.4 mSv per year, while the area that has total exposure to natural radiation up to 20 mSv or more is categorized as the High Natural Background Radiation (HNBR). Such radiation level of HNBR is considered as low dose radiation. The biological effects of low dose radiation, especially cytogenetic effects, have been extensively studied on the habitants of several HNBR areas in the world. This paper reports the results of cytogenetic study, especially chromosome aberrations, in peripheral blood lymphocyte cells of the residents in Kabupaten Mamuju, West Sulawesi, which relatively has high level of natural radiation in Indonesia. Chromosome aberration examinations were performed using Geimsa staining method and fluorescence in situ hybridization painting technique after culturing the blood samples of the residents in enriched growth media. The results did not indicate significant difference on the frequency of chromosome aberrations in the lymphocytes of people who live in HNBR area and that who live in normal natural radiation area. It is suggested that there is an indication of radioadaptive response phenomena in Kabupaten Mamuju people that needs further investigation.

Keywords: low dose, chromosome aberration, HNBR, Mamuju

1. PENDAHULUAN

Manusia selalu terpapar radiasi alam setiap hari dari radiasi kosmik dan radiasi terestrial yang terutama dari radionuklida primordial di kerak bumi yaitu uranium dan thorium beserta luruhannya. Berdasarkan *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2008 Report*, perkiraan paparan tahunan rerata dari sumber radiasi alam sebesar 2,4 mSv dengan kisaran 1 – 10 mSv/tahun. Sumber radiasi alam yang dimaksud terdiri dari paparan eksternal dari radiasi kosmik (0,4 mSv/tahun) dan radiasi gamma terestrial (0,5 mSv/tahun), serta paparan internal yaitu inhalasi (1,3 mSv/tahun terutama radon) dan ingesi (0,3 mSv/tahun) (1).

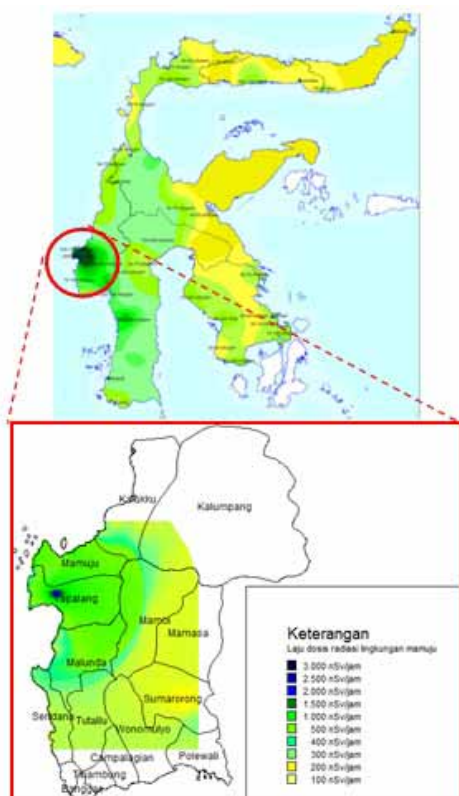
Sebuah area dengan jumlah paparan radiasi kosmik dan radioaktivitas dalam tanah, udara di dalam dan di luar rumah, air, makanan, dan lainnya mengarah pada paparan kronik dari radiasi eksternal dan internal yang menghasilkan dosis efektif tahunan pada masyarakat di atas tingkat yang ditentukan, disebut sebagai *High Natural Background Radiation (HNBR)*. Pada beberapa daerah *HNBR* di dunia dengan tingkat paparan radiasi latar alam mencapai lebih dari 20 mSv/tahun, yaitu Ramsar di Iran, Yangjiang di Cina, dan Kerala di India telah dilakukan studi epidemiologi secara komprehensif terkait dengan konsekuensi efek radiasi alam terhadap kesehatan penduduknya. Tingkat paparan radiasi latar alam sampai 20 mSv/tahun di seluruh dunia dianggap sebagai paparan radiasi dosis rendah (2,3).

Beberapa penduduk di Ramsar, misalnya, menerima dosis tahunan lebih dari 130 mGy/tahun dari sumber eksternal terestrial. Potensi dosis efektif tahunan pada masyarakat di daerah tersebut berkisar antara 0,7 – 131 mSv dengan nilai rerata 6 mSv. Meskipun demikian, penduduk di area tersebut tidak menunjukkan adanya masalah kesehatan yang berarti seperti kanker atau infeksi (4,5).

Penelitian efek biologik radiasi pengion dosis rendah bergantung pada indikator atau *biomarker* sitogenetik untuk mendapatkan pemahaman mengenai mekanisme yang terjadi pada berbagai tingkat kerusakan sistem biologi. *Biomarker* sitogenetik dapat diklasifikasikan sebagai pertanda timbulnya efek biologik awal yang dapat berupa kerusakan DNA akibat paparan radiasi, khususnya terkait dengan perbaikan DNA. Penggunaan *biomarker* sitogenetik yaitu aberasi kromosom sangat membantu dalam memastikan paparan radiasi pengion dalam kasus yang berbeda, seperti paparan radiasi akibat lingkungan, kerja, kecelakaan, atau tindakan medik. Aberasi kromosom adalah *biomarker* yang tidak hanya digunakan untuk mengevaluasi hubungan dosis respon tetapi juga untuk memperoleh pemahaman mekanisme efek biologik yang diinduksi oleh radiasi pada penduduk yang selama hidupnya terpapar radiasi latar alam yang relatif tinggi.

Dari peta laju dosis radiasi lingkungan yang dibuat berdasarkan hasil survei yang dilakukan Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radasi (PTKMR), BATAN sampai tahun 2010, diketahui bahwa di Indonesia

terdapat beberapa daerah yang mempunyai radiasi latar alam yang lebih tinggi dari daerah lain, diantaranya adalah Kabupaten Mamuju di Sulawesi Barat (Gambar 1). Pengukuran yang dilakukan antara lain pengukuran eksternal terhadap tingkat paparan radiasi gamma. Tingkat paparan radiasi gamma rerata di Kabupaten Mamuju sebesar $631,4 \pm 569,5$ nSv/jam (6), sedangkan tingkat laju dosis radiasi total eksternal rerata di Indonesia adalah $67,5$ nSv/jam (1). Pengukuran radiasi gamma di lingkungan dilakukan secara langsung menggunakan mobil yang dilengkapi dengan *portable gamma ray spectrometer* (surveimeter Exploranium Model GR-130), dan *Global Positioning System* (GPS) pada grid 30 km x 30 km (6).



Gambar 1. Peta laju dosis radiasi lingkungan di kabupaten Mamuju(6).

Hasil survei lanjutan yang dilakukan di beberapa desa di Kabupaten Mamuju menunjukkan bahwa Desa Boteng, Kecamatan Singkep, sebagai desa dengan tingkat radiasi gamma yang paling tinggi yaitu $700 - 1000$ nSv/jam dengan rerata tahunan adalah $6,15 \pm 0,81$ mSv. Dengan mengacu pada hasil pengukuran paparan radiasi latar alam yang relatif tinggi di Kabupaten Mamuju, maka dilakukan studi sitogenetik pada penduduk di Kabupaten Mamuju khususnya Desa Boteng. Studi sitogenetik bertujuan untuk mengetahui adanya perbedaan frekuensi aberasi kromosom akibat paparan radiasi alam yang tinggi pada penduduk asli di desa tersebut dengan penduduk daerah latar normal di Desa Kabuluang, Kecamatan Kaluku, Kabupaten Mamuju dengan rerata laju dosis radiasi gamma sebesar $2,02 \pm 0,03$ mSv/tahun (6).

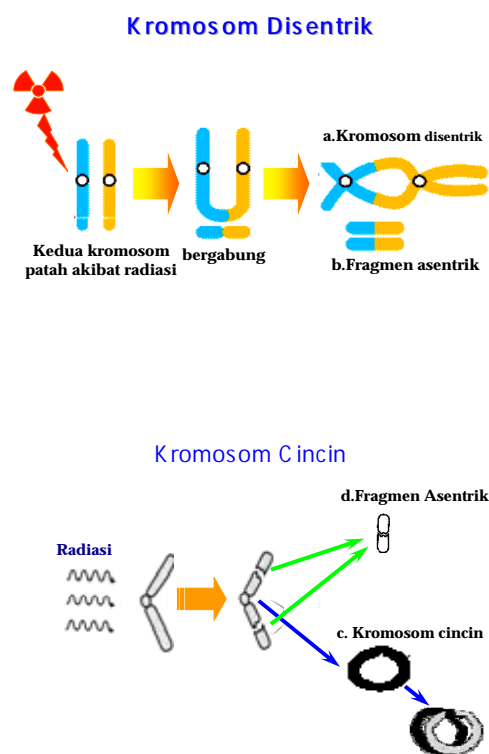
Pada makalah ini disampaikan hasil penelitian respon sitogenetik khususnya aberasi kromosom pada sel limfosit darah tepi penduduk asli Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, sebagai area dengan tingkat radiasi latar alam relatif tinggi di Indonesia, dibandingkan dengan penduduk sekitar dengan tingkat radiasi alam normal.

Paparan radiasi pengion pada tubuh manusia dapat menimbulkan kerusakan sitogenetik pada sel yaitu kerusakan pada komponen genetik sel seperti DNA dan kromosom. Kerusakan akibat adanya interaksi radiasi pengion dengan sel ini akan mengalami proses perbaikan secara spontan dan apabila proses perbaikan tidak berlangsung dengan baik dapat mengakibatkan mutasi atau kematian sel.

Target utama paparan radiasi pada tubuh adalah DNA. Radiasi dapat menimbulkan kerusakan pada DNA secara langsung dan tidak langsung melalui radikal bebas sebagai hasil interaksi radiasi dengan molekul air. Kerusakan pada DNA berupa kerusakan pada basa, hilangnya basa, putusannya ikatan antar basa, dan putusannya ikatan gula dengan fosfat sehingga terjadi patahan pada salah satu *strand* DNA yang disebut *single strand break*. Kerusakan tersebut dapat dikonstruksi kembali secara spontan dan cepat tanpa kesalahan melalui proses perbaikan kerusakan pada DNA secara enzimatik dengan menggunakan *strand* DNA yang tidak rusak sebagai cetakan. Sel mampu melakukan proses perbaikan terhadap kerusakan DNA dalam waktu beberapa jam, tetapi proses perbaikan ini dapat berlangsung secara tidak sempurna terutama terhadap kerusakan DNA yang dikenal sebagai *double strand breaks* (DSB) yaitu patahnya kedua *strand* DNA. Pembentukan DSB adalah kerusakan kritis akibat radiasi yang dapat mengarah pada terjadinya perubahan struktur pada kromosom. Proses perbaikan DSB dengan kesalahan dapat menghasilkan terjadinya mutasi pada gen dan abnormalitas kromosom yang diketahui sebagai karakteristik dari pembentukan malignansi (7).

Radiasi dapat menyebabkan terbentuknya sejumlah aberasi kromosom yaitu kromosom disentrik yang terbentuk dari penggabungan dua kromosom yang terkena radiasi dan biasanya disertai dengan fragmen asentrik; kromosom cincin; dan

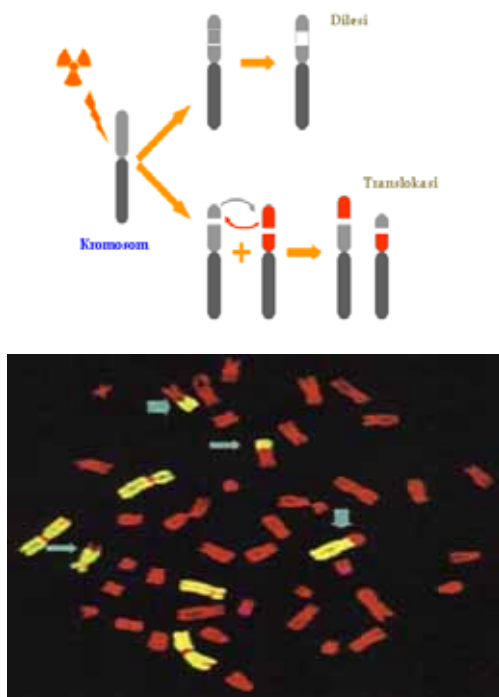
translokasi yang terbentuk sebagai akibat dari perpindahan materi genetik antar lengan kromosom. Kromosom disentrik dan cincin adalah aberasi kromosom yang spesifik hanya dapat diinduksi pembentukannya oleh radiasi pengion (Gambar 2). Kedua jenis kromosom tersebut merupakan aberasi kromosom yang bersifat tidak stabil karena sel yang mengandung kromosom ini akan mengalami kematian ketika melakukan pembelahan sel (7).



Gambar 2. Induksi kromosom disentrik dan cincin oleh radiasi pengion.

Kromosom translokasi merupakan aberasi kromosom yang bersifat stabil yang menginisiasi terjadinya transformasi sel normal menjadi sel mutan yang tetap hidup dalam tubuh sebagai sel tidak normal (Gambar 3). Kromosom translokasi ini tidak

hilang dengan bertambahnya waktu karena sel yang mengandung kromosom bentuk ini tidak mengalami kematian ketika melakukan pembelahan sel. Pembentukan sel transforman ini berpotensi menginduksi proses pembentukan kanker (7).



Gambar 3. Induksi kromosom translokasi yang diinduksi oleh radiasi pengion (7).

Aberasi kromosom dapat diamati dalam sel limfosit darah tepi sebagai sel yang paling sensitif terhadap radiasi pengion. Sel ini bersirkulasi pada seluruh tubuh sehingga kerusakan yang terjadi dalam darah tepi akan mewakili kerusakan yang terjadi di dalam tubuh. Sel ini dapat distimulasi secara *in vitro* untuk melakukan pembelahan mitosis dengan bantuan protein mitogen *phytohemagglutinin* dan pembelahan dapat dihentikan pada tahap metafase dalam siklus sel dengan *colchisin* sehingga kromosom dapat diamati menggunakan mikroskop (8).

2. TATA KERJA

2.1. Pengambilan Sampel Darah

Sampel darah diperoleh dari penduduk asli setempat yang sehat, tidak menerima tindakan medik dengan radiasi, dan dengan kisaran usia 18 – 60 tahun. Pengambilan sampel di Desa Boteng sebagai daerah dengan tingkat paparan radiasi alam yang tinggi dilakukan pada 30 penduduk terdiri dari 13 perempuan dan 17 laki-laki. Untuk daerah dengan tingkat paparan radiasi alam normal pengambilan sampel dilakukan di Desa Kabuluang pada 10 penduduk terdiri dari 5 perempuan dan 5 laki-laki. Sebelum dilakukan pengambilan sampel darah, kepada penduduk diberikan penjelasan mengenai tujuan dari penelitian ini. Penduduk yang bersedia menjadi responden diminta untuk menandatangani formulir *informed consent* (kesediaan memberikan sampel darah). Sekitar 5 ml darah tepi diambil dengan menggunakan *syringe* yang dilengkapi dengan *vacutainer* berisi antikoagulan heparin. Sampel darah segera dibawa ke Laboratorium Sitogenetik di PTKMR untuk dilakukan proses pembiakan secara triplo.

2.2. Pemeriksaan Aberasi Kromosom pada Sel Limfosit Penduduk

Tahapan dari pelaksanaan pemeriksaan aberasi kromosom adalah pembiakan sampel darah, pemanenan, pembuatan preparat, dan pengamatan aberasi kromosom menggunakan metode standar di Laboratorium Sitogenetik, PTKMR yang telah terakreditasi KNAPPP dan KAN.

Proses preparasi pembiakan sampel darah dilakukan secara steril di dalam *Biological Safety Cabinet*. Secara berurutan, ke dalam tabung kultur dimasukkan media pertumbuhan yang terdiri dari 7,5 mL RPMI-1640; 0,1 mL L-Glutamin; 1 mL *Fetal Bovine Serum*; 0,2 mL *penicillin-streptomycin*; 1 mL sampel darah dan 0,25 mL *phytohaemagglutinin*. Tabung kemudian ditutup dan disimpan dalam inkubator 37 °C selama 48 jam. Tiga jam sebelum proses pemanenan dilakukan, sebanyak 0,1 mL *colchisin* ditambahkan ke dalam biakan. Sampel darah disentrifus dengan kecepatan 1500 rpm selama 10 menit. Setelah supernatan dibuang dengan menggunakan pipet, pada endapan darah ditambahkan 10 mL KCl 0,56%, diaduk, dan disimpan pada *waterbath* 37 °C selama 25 menit. Larutan disentrifus kembali dengan kecepatan dan waktu yang sama. Pada endapan ditambahkan 4 mL larutan carnoy (metanol : asam asetat = 3:1), dikocok sebentar dengan alat vortex, ditambahkan larutan carnoy kembali sampai volume mencapai 10 mL, dan disentrifus. Tahap terakhir ini dilakukan beberapa kali sampai diperoleh endapan sel limfosit berwarna putih.

Pemeriksaan aberasi kromosom tak stabil dilakukan dengan metode pewarnaan Giemsa. Endapan sel limfosit diteteskan di atas kaca preparat dan dikeringkan pada suhu kamar. Preparat diberi pewarnaan Giemsa 4% selama 10 menit, dicuci, dikeringkan, dan ditutup dengan *cover glass*. Preparat siap untuk diamati dengan mikroskop cahaya pembesaran 1000x. Penghitungan jumlah aberasi kromosom tak

stabil yaitu kromosom disentrik, cincin, dan fragmen asentrik hanya dilakukan pada setiap sel metafase yang memiliki 46 buah kromosom.

Pemeriksaan aberasi kromosom stabil dilakukan dengan metode pengecatan *fluorescence in situ hybridization* (FISH) menggunakan *Whole Chromosome Probe* (WCP) berlabel *Fluorescent Isothiocyanate* (FITC). Endapan kromosom diteteskan di atas kaca preparat dan dikeringkan di atas *hot plate* 65 °C selama 90 menit. Preparat didehidrasi menggunakan serial larutan etanol 70%, 90%, dan 100% selama waktu tertentu. Selanjutnya preparat dikeringkan di atas *hot plate* 65 °C selama 90 menit. Pada waktu yang bersamaan 1 µL WCP dalam 4 µL bufer dikocok dengan alat vortex, disentrifuse, dan didenaturasi pada suhu 65 °C selama 10 menit, kemudian disimpan dalam *water bath* suhu 37 °C selama 45 menit. Preparat kemudian didenaturasi dengan menginkubasi dalam larutan formamida pada *water bath* 65 °C selama 1,5 menit dan dicuci secara berurutan dengan larutan alkohol 70% dingin, 90% dua kali, dan 100% masing-masing selama 5 menit. Kemudian dilakukan proses hibridisasi kromosom nomor 1 dan 5 berlabel pewarnaan *fluorochrom* FITC dengan meneteskan *probe* pada preparat dan ditutup dengan *cover glass*. Preparat diinkubasi pada suhu 37 °C selama 16 jam.

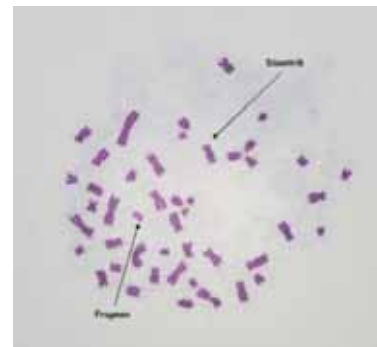
Setelah proses hibridisasi, *cover glass* dibuka. Preparat secara berurutan direndam dalam seri *coplin jar* yang berisi larutan pencuci *stringency* 45 °C selama 5 menit sebanyak 2x, SSC selama 5 menit

sebanyak 2x, dan larutan detergen selama 4 menit hanya 1x. Preparat dikeringkan, ditetes dengan 10 μ l 4,6 diamidino-2-phenylindole (DAPI), ditutup, dan didiamkan selama 10 menit. DAPI sebagai *counter stain* terhadap kromosom yang tidak dihibridisasi dengan WCP, diperoleh dari VYSIS (VX-32804830). Preparat segera diamati menggunakan mikroskop *epi-fluorescent* yang dilengkapi dengan filter biru dengan pembesaran 1000x, dan dilakukan pemotretan terhadap kromosom yang memiliki pendaran *probe* kromosom.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penghitungan aberasi kromosom tak stabil beserta dosis total yang diterima responden ditampilkan pada Tabel 1 untuk responden dari Desa Boteng dengan rerata frekuensi (disentrik + cincin) / sel sebesar $0,0014 \pm 0,0021$ dan Tabel 2 untuk responden dari Desa Kabuluang (kontrol) dengan rerata frekuensi (disentrik + cincin) / sel sebesar $0,0007 \pm 0,0004$. Kisaran dosis total yang diterima 30 responden dari Desa Boteng yang berusia 19 – 60 tahun adalah 124,08 – 369,60 mSv dengan rerata tahunan sekitar $6,15 \pm 0,81$ mSv. Hasil dari kromosom disentrik beserta fragmen asentrik dan kromosom normal dari responden penduduk Desa Boteng ditunjukkan pada Gambar 4.

Hasil pemeriksaan aberasi kromosom tak stabil pada 5100 sel tahap metafase pada 10 responden dari Desa Kabuluang yang berusia antara 26 - 58 tahun tidak menunjukkan adanya kerusakan pada struktur kromosom sel limfositnya (Gambar 5).



(A)



(B)

Gambar 4. (A) Kromosom disentrik beserta fragmen asentrik dan (B) kromosom normal beserta idiogramnya pada sel limfosit responden dari Desa Boteng.



Gambar 5. Hasil pemeriksaan kromosom pada sel limfosit responden kontrol dari Desa Kabuluang yang menunjukkan kromosom dalam kondisi normal.

Responden dari daerah kontrol ini menerima dosis total antara 52,52 – 117 mSv dengan rerata dosis tahunan sekitar $2,02 \pm 0,03$ mSv. Dapat dinyatakan tidak ada perbedaan yang nyata terkait kerusakan pada struktur kromosom sel limfosit darah tepi antara responden dari Desa Boteng dengan tingkat radiasi latar alam relatif tinggi dan dari Desa Kabuluang dengan tingkat radiasi latar alam normal.

Tabel 1. Data aberasi kromosom tak stabil dan dosis yang diterima responden dari Desa Boteng dengan rerata laju dosis radiasi gamma $6,15 \pm 0,81$ mSv/tahun.

No.	Responden	Kelamin	Usia (tahun)	Dosis total (mSv)	Sel metafase yang diamati	Frekuensi (disentrik + cincin) / sel
1	B1	P	19	124,08	500	0,001
2	B2	P	19	124,08	500	0,001
3	B3	P	19	119,09	500	0,001
4	B4	L	20	152,53	500	0,001
5	B5	L	22	132,10	500	0,001
6	B6	P	22	127,28	500	0,001
7	B7	P	24	143,06	750	0,001
8	B8	P	25	150,12	500	0,001
9	B9	P	26	153,84	750	0,001
10	B10	L	27	137,45	500	0,001
11	B11	L	28	168,13	500	0,001
12	B12	P	28	217,22	500	0,001
13	B13	P	28	217,22	500	0,001
14	B14	P	28	162,00	750	0,001
15	B15	P	28	160,15	500	0,001
16	B16	L	29	139,38	500	0,001
17	B17	L	30	199,86	500	0,001
18	B18	L	30	178,83	750	0,013
19	B19	L	30	240,50	500	0,001
20	B20	L	31	241,50	500	0,001
21	B21	L	38	236,36	500	0,001
22	B22	L	39	232,44	500	0,001
23	B23	P	40	239,60	500	0,002
24	B24	P	41	252,15	500	0,001
25	B25	L	45	260,55	500	0,001
26	B26	L	48	307,20	500	0,001
27	B27	L	49	220,99	500	0,001
28	B28	L	50	225,50	500	0,001
29	B29	L	60	331,20	500	0,001
30	B30	L	60	369,60	500	0,001

Tabel 2. Data aberasi kromosom tak stabil dan dosis yang diterima responden kontrol dari Desa Kabuluang dengan laju dosis radiasi gamma $2,02 \pm 0,03$ mSv/tahun.

No	Responden	Kelamin	Usia (tahun)	Dosis total (mSv)	Sel metafase yang diamati	Frekuensi (disentrik+cincin) /sel
1	K1	P	26	52,52	500	0,001
2	K2	P	26	52,52	500	0,001
3	K3	L	27	54,54	600	0,001
4	K4	L	28	56,56	500	0,000
5	K5	L	28	56,56	500	0,000
6	K6	L	30	60,60	500	0,001
7	K7	P	36	72,72	500	0,001
8	K8	P	45	90,90	500	0,001
9	K9	P	50	101,00	500	0,000
10	K10	L	58	117,16	500	0,001

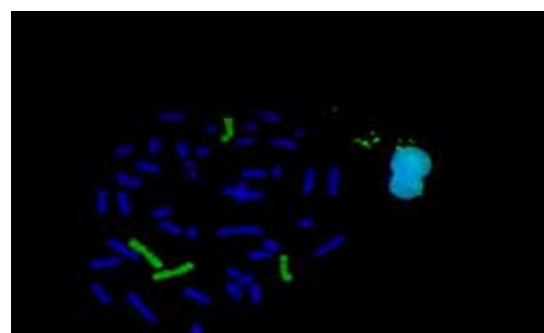
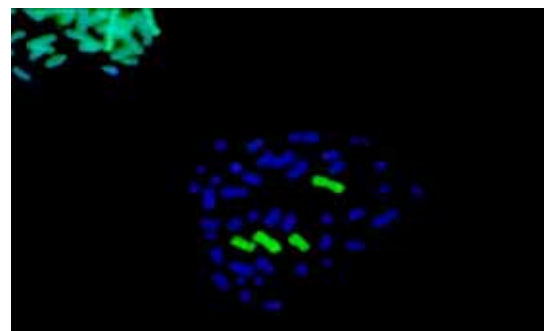
Tabel 3. Hasil pemeriksaan kromosom translokasi pada responden Desa Boteng.

No.	Responden	Kelamin	Usia (tahun)	Dosis total (mSv)	Sel metafase yang diamati	Kromosom translokasi
1.	B7	P	24	143,06	1030	0
2.	B8	P	25	150,12	1131	0
3.	B9	P	26	153,84	1061	0
4.	B14	P	28	162,00	1022	0
5.	B20	L	31	241,50	1031	0
6.	B23	P	40	239,50	1006	0
7.	B26	L	49	220,99	1346	0
8.	B27	L	50	225,50	1133	0
9.	B28	L	60	331,20	1040	0

Dari hasil pemeriksaan aberasi kromosom tak stabil pada penduduk daerah radiasi latar tinggi (Desa Boteng) dan radiasi latar normal (Desa Kabuluang) dapat dinyatakan tidak ditemukan frekuensi aberasi kromosom disentrik yang lebih besar dari nilai normal/standar pada sel limfosit responden dari kedua kelompok penduduk tersebut. Dengan mengacu pada nilai standar frekuensi aberasi kromosom tak stabil (disentrik dan cincin) per sel yang diinduksi oleh paparan radiasi alam latar normal, dilakukan analisis statistik dengan uji *student t-test* pada tingkat kepercayaan 95% yang hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan nyata frekuensi aberasi kromosom tak stabil pada sel darah penduduk Desa Boteng dan penduduk Desa Kabuluang. Dengan demikian dapat diartikan bahwa paparan radiasi alam yang relatif tinggi yang diterima masyarakat Desa Boteng tidak menginduksi pembentukan aberasi kromosom tak stabil yang spesifik akibat paparan radiasi pengion.

Pengamatan aberasi kromosom stabil dan translokasi, dilakukan pada 9800 sel limfosit tahap metafase yang telah dicat dengan FITC berwarna hijau pada

kromosom nomor 1 dan 5. Pemeriksaan dilakukan pada 9 responden dari Desa Boteng dengan kisaran usia 24 – 60 tahun dan dosis total radiasi eksternal sekitar 143,06 – 331,20 mSv. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pemeriksaan kromosom translokasi berlabel FITC (warna hijau) yang menunjukkan sel limfosit penduduk Desa Boteng dalam keadaan normal, tanpa aberasi kromosom stabil.

Hasil pemeriksaan kromosom tidak menunjukkan adanya aberasi kromosom translokasi pada sel limfosit responden yang tinggal di Desa Boteng. Data tersebut menunjukkan kromosom pada sel limfosit penduduk Desa Boteng dalam keadaan normal. Dengan demikian paparan radiasi alam dengan latar yang relatif tinggi di Desa Boteng tidak menyebabkan terjadinya peningkatan frekuensi kerusakan pada struktur kromosom pada sel limfosit penduduk. Hal ini sejalan dengan data hasil penelitian lain yang dilakukan pada penduduk yang tinggal di daerah dengan radiasi latar alam tinggi di negara lain.

Sejumlah studi telah dilakukan selama 25 tahun terakhir untuk mengevaluasi efek kesehatan termasuk studi sitogenetik aberasi kromosom pada sel limfosit darah tepi penduduk yang telah tinggal selama beberapa generasi di area dengan paparan radiasi latar alam tinggi. Hasil studi tersebut tidak menunjukkan adanya efek radiasi terhadap kesehatan penduduk HNBR di Ramsar, Yangjiang, dan Kerala yang masing-masing menerima dosis efektif tahunan rerata *outdoor* sekitar 42 mSv; 6,4 mSv dan 4,9 mSv dibandingkan dengan penduduk di area dengan paparan radiasi latar alam normal. Hal ini diperkirakan karena adanya respon radioadaptif pada sistem biologik masyarakat yang terbentuk sebagai akibat dari adanya dosis efektif rerata tahunan dari radiasi yang diterima penduduk di HNBR (4, 9-13).

Hasil studi sitogenetik di Ramsar tidak menunjukkan adanya perbedaan yang

signifikan antara penduduk di HNBR dibandingkan dengan penduduk di area radiasi alam dengan latar normal yang berada di sekitarnya. Sekitar 90% penduduk di HNBR Yangjiang, Cina, telah tinggal di area tersebut selama enam generasi atau lebih dengan dosis efektif tahunan rerata sekitar 6,4 mSv (9). Hasil analisis aberasi kromosom menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata pada frekuensi rerata aberasi kromosom tak stabil antara penduduk latar tinggi dan normal. Frekuensi translokasi yang dijumpai jauh lebih banyak dari kromosom disentrik yang diperkirakan karena adanya kontribusi mutagen lain yaitu kebiasaan merokok di masyarakat Cina yang secara nyata meningkatkan frekuensi aberasi kromosom stabil (14-16).

Daerah lain yang mempunyai paparan radiasi latar alam tinggi adalah Kerala, India dengan tingkat paparan radiasi gamma sekitar 10 mGy ditambah 6 mSv dari radon dengan kisaran 1- 45 mSv/tahun (9). Studi sitogenetik pada anak baru lahir di HNBR Kerala menunjukkan tidak ada efek genetik yang diwariskan (17). Dari hasil penelitian tersebut secara jelas terlihat bahwa paparan kronik radiasi latar alam tinggi tidak membahayakan penduduk HNBR karena tidak ditemukannya efek terhadap kesehatan. Sebagai pembanding, rangkuman hasil studi aberasi kromosom yang diperoleh dari penduduk di daerah dengan paparan radiasi alam latar relatif tinggi di Ramsar (Iran), Yangjiang (Cina), Kerala (India), dan Mamuju (Indonesia) ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rangkuman studi aberasi kromosom di beberapa area dengan tingkat radiasi latar alam yang tinggi.

Lokasi / negara	Laju dosis eksternal maksimum di udara ($\mu\text{Gy}/\text{jam}$)	Dosis efektif rerata <i>outdoor</i> (mSv/tahun)	Perbedaan aberasi kromosom di HNBR dan latar normal	Pustaka
Ramsar / Iran	50	42	Tidak ada	1,4,10,18
Yangjiang / Cina	0,37	6,4	Tidak ada	1,14-16
Kerala / India	8,7	4,9	Tidak ada	1,11,12,17
Mamuju / Indonesia	2,84	6,15	Tidak ada	6, studi ini

Penduduk Desa Boteng kemungkinan besar memiliki tingkat resistensi yang lebih besar terhadap tingkat paparan radiasi alam yang lebih tinggi dibandingkan dengan penduduk Desa Kabuluang yang menerima paparan radiasi alam normal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya fenomena respon adaptif pada sistem kontrol biologik tubuh penduduk Desa Boteng, seperti yang telah ditunjukkan pada penduduk di HNBR lain yaitu Kerala, Yangjiang, dan Ramsar. Dasar dari respon adaptif adalah bahwa proses biologik diaktivasi oleh radiasi dosis rendah (radiasi alam) yang memicu proses perbaikan yang bersifat protektif terhadap risiko efek tertunda.

4. KESIMPULAN

Paparan radiasi alam yang tinggi di Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat tidak mengakibatkan kerusakan pada materi genetik yaitu aberasi kromosom pada sel limfosit darah tepi penduduk setempat. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa paparan radiasi alam dengan latar yang relatif tinggi tidak menyebabkan terjadinya peningkatan kerusakan pada kromosom penduduk setempat. Tingkat radiasi yang relatif tinggi ini tampaknya dapat

menginduksi respon adaptif pada tubuh penduduk. Hal ini harus dibuktikan dengan studi lanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para Tokoh Masyarakat dan Pejabat Pemda di Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to the General Assembly. Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I. New York: United Nations; 2010.
2. Durante M, Manti L. Human response to highbackground radiation environments on earth and in space. *Advances in Space Research* 2008;42:999-1007.
3. Bonner WM. Low-dose radiation: thresholds, bystander effects, and adaptive response. *PNAS* 2003;100(9):4973-75.
4. Mortazavi SMJ, Shabestani-monfared A, Ghiassi-nejad M, Mozdarani H. Radioadaptive response induced in

- human lymphocytes of the inhabitants of high level natural radiation areas in Ramsar, Iran. *Asian J Exp Sci* 2005;19(1):19-39.
5. Ghiassi-nejad M, Zakeri F, Assaei RGh, Kariminia A. Long-term immune and cytogenetic effects of high level natural radiation on Ramsar inhabitants in Iran. *Journal of Environmental Radioactivity* 2004;74:107-16.
 6. Dadong I, Bunawas, Syarbaini. Mapping radiation and radioactivity in Sulawesi island. The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation Protection (AOCR-3); Tokyo, Japan; 2010.
 7. Hall EJ, Giaccia AJ. *Radiobiology for the radiologist*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
 8. International Atomic Energy Agency. *Cytogenetic analysis for radiation dose assessment*. A manual series No. 405. Vienna: IAEA; 2001.
 9. Hendry JH, Simon SL, Wojcik A, Sohrabi M, Burkart W, Cardis E, et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? *Journal of Radiological Protection* 2009;29:A29-A42.
 10. Ghiassi-nejad M, Mortazavi SMJ, Cameron JR, Niroomand-rad A, Karam PA. Very high background radiation areas of Ramsar, Iran : preliminary biological studies. *Health Physics* 2002;82(1):87-93.
 11. Nair MK, Nambi KS, Amma NS, Gangadharan P, Jayalekshmi P, Jayadevan S, et al. Population study in the high natural background radiation area in Kerala, India. *Radiat Res* 1999;152:S145-8.
 12. Jaikrishan G, Andrews VJ, Thampi MV, Koya PK, Rajan VK, Chauhan PS. Genetic monitoring of the human population from high-level natural radiation areas of Kerala on the southwest coast of India. I. Prevalence of congenital malformations in newborns. *Radiat Res* 1999;152:S149-53.
 13. Stoilov LM, Mullenders LHF, Darroudi F, Natarajan AT. Adaptive response to DNA and chromosomal damage induced by x-rays in human blood lymphocytes. *Mutagenesis Advance Access* 2007:1-6.
 14. Hayata I, Wang CY, Zhang W, Minamihisamatsu M, Chen D-Q, Morishima H, et al. Chromosome translocation in residents of high background radiation area in China. *International Congress Series* 2002;1225:199-205.
 15. Zhang W, Wang C, Chen D. Effect of smoking on chromosomes compared with that of radiation in the residents of a high-background radiation area in China. *J Radiat Res* 2004;45:441-6.
 16. Zhang W, Wang C, Chen D. Imperceptible effect of radiation based on stable type chromosome aberrations in the lymphocytes of residents in the high background radiation area in China. *J Radiat Res* 2003;44:69-74.

17. Thampi MV, Cheriyan VD, Jaikrishan G, Das B, Kurien CJ, Ramachandran EN, et al. Investigations on the health effects of human population residing in the high-level natural radiation areas in Kerala in the southwest coast of India. *International Congress Series* 2005;1276:8-12.
18. Mortazavi SMJ, Karam PA. High levels of natural radiation in Ramsar, Iran : should regulatory authorities protect the inhabitants. *Iranian Journal of Science* 2002;2(1):1-9.

