

URGENSI STUDI EFEK SITOGENETIK PADA PENDUDUK YANG TINGGAL DI DAERAH DENGAN PAPARAN RADIASI ALAM TINGGI

Mukh Syaifudin dan Yanti Lusiyanti

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN

Jl. Lebakbulus Raya No. 49 PO BOX 7043 JKSKL Jakarta

ABSTRAK

URGENSI STUDI EFEK SITOGENETIK PADA PENDUDUK YANG TINGGAL DI DAERAH DENGAN PAPARAN RADIASI ALAM TINGGI. Radiasi, selain dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kesejahteraan manusia, juga memiliki potensi bahaya karena dapat mengakibatkan tumor atau kanker. Salah satu kelompok manusia yang memiliki potensi bahaya radiasi yang tinggi adalah mereka yang tinggal di lingkungan dengan paparan radiasi alam tinggi, dimana mereka akan menerima dosis paparan hingga beberapa ribu milisievert dari radiasi alam, seperti di Mamuju, Sulawesi Barat. Meskipun hasil penelitian mengindikasikan tidak ada peningkatan terjadinya kanker atau penyakit lain, namun perlu dikaji dan diteliti lebih lanjut tentang risiko paparan radiasi antara lain melalui pemeriksaan sitogenetik. Makalah ini bertujuan untuk membahas prediksi risiko paparan radiasi alam tinggi berbasis efek sitogenetik (kromosom) dalam darah perifer. Dengan kejadian disentrik spontan sekitar 2 per 1000 sel, dan tipe khas untuk paparan radiasi serta tidak ada perbedaan antara paparan *in vivo* dan *in vitro*, menjadikan teknik sitogenetik ini lebih unggul. Akan tetapi hasil pengkajian menunjukkan adanya kontroversi, di satu pihak menyatakan tidak ada perbedaan frekuensi aberasi antara kelompok studi dengan kontrol, di pihak lain menemukan adanya perbedaan. Studi tersebut sangat berkontribusi dan menjadi suatu urgensi dalam pemahaman secara lebih baik tentang efek dosis alam tinggi pada kesehatan manusia.

Kata kunci : Epidemiologi, radiasi alam, risiko, sitogenetik

ABSTRACT

URGENCY OF STUDY ON THE CYTOGENETIC EFFECTS OF COMMUNITY LIVING IN AREA WITH HIGH NATURAL RADIATION EXPOSURE. Radiation, beside can be utilized as big as possible for the human prosperity, it also has a dangerous potent due to its capability that may lead to tumor or cancer. One group of human who had high negative impact of radiation is the community that is living in high natural background radiation exposure area, of which they would receive an exposure dose up to several thousand milisievert from natural radiation, as found in Mamuju, West Sulawesi. Even though research indicated no increase in the induction of cancer or other disease, a further assessment and investigation on the radiation exposure risks is needed, one of which through cytogenetic (chromosome) examination in peripheral blood. This paper aimed to describe the prediction of risk of high natural radiation exposure based on cytogenetics effects (chromosome). With spontaneous dicentric induction around 2 per 1000 cells, and its typical for radiation exposure as well as no difference between *in vivo* and *in vitro* exposures, this makes cytogenetic technique superior. However, assessment results showed a controversial, one found no difference in aberration frequency between study group with control, another found a difference. These studies really contribute and become an urgent to a better understanding of the effects of low dose radiation on human health.

Keywords : Epidemiology, natural radiation, risk, cytogenetics

PENDAHULUAN

Radiasi sudah ada sejak bumi ini terbentuk yakni dari sebuah kejadian alam yang disebut *big-bang*. Ditinjau dari proses terbentuknya, unsur-unsur radioaktif atau

sumber-sumber radiasi lainnya yang ada di lingkungan dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar, yaitu sumber radiasi alam dan sumber radiasi buatan. Sumber radiasi alam ini sudah ada semenjak alam ini lahir

[1]. Berdasarkan sumbernya, radiasi alam dikelompokkan ke dalam dua jenis, yaitu radiasi kosmik dan radiasi yang berasal dari bahan radioaktif yang berada dalam kerak bumi. Radiasi kosmik terdiri dari radiasi kosmik primer yang berasal dari luar angkasa dan masuk ke atmosfer bumi, dan radiasi kosmik sekunder yang terjadi akibat interaksi antara radiasi kosmik primer dengan unsur-unsur di angkasa. Bahan-bahan radioaktif alam dapat berperan sebagai sumber radiasi alam [1].

Radiasi alam merupakan sumber utama yang sangat berperan dalam kontribusi dosis kolektif yang diterima populasi penduduk di dunia baik yang berasal dari sumber paparan eksternal maupun internal. Daerah radiasi alam tinggi didefinisikan sebagai sebuah daerah yang memiliki tingkat radioaktivitas alam dan atau lingkungan (tanah, air, udara dll) atau kondisi rumah yang berpotensi tinggi pada terjadinya paparan internal dan atau eksternal, lebih tinggi dari level yang diijinkan yaitu 20 mSv/Tahun. Ada beberapa daerah di dunia ini dengan radioaktivitas lingkungan yang menghasilkan dosis efektif tahunan pada masyarakat di atas tingkat yang diijinkan yang disebut sebagai *High Natural Background Radiation (HNBR)*. Daerah ini memiliki tingkat paparan radiasi latar alam yang dapat mencapai lebih dari 20 mSv/tahun, seperti Ramsar di Iran, Yangjiang di China, dan Kerala di India [2-3]. Di daerah Kerala (India) paparannya mencapai 150 ~ 1000 nGy/jam, dan wilayah Karabari di Brazil 130 ~ 1200 nGy/jam [4-6]. Sesuai laporan *United*

Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) tahun 2000, Ramsar, sebuah kota di bagian utara Iran memiliki area dengan tingkat paparan radiasi alam tertinggi di dunia. Jika rekomendasi *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* menyebutkan bahwa batas dosis efektif tahunan untuk pekerja radiasi adalah 20 mSv, maka dosis efektif di daerah Ramsar ini beberapa kali lebih tinggi dari pada batas ini (260 mSv/tahun) [7].

Menurut Bennet (1997), karakteristik dari daerah yang mempunyai kecenderungan radiasi alam tinggi adalah letak ketinggian, kondisi batuan dan tanah, rantai makanan dan bahan-bahan konstruksi bangunan Negara-negara yang mempunyai daerah dengan paparan radiasi eksternal alam tinggi yaitu daerah dengan batuan granit dan uraniumiferous (Perancis Tengah, Italia dan Swedia), deposit thorium (Kenya), daerah deposit fosfat (Florida, AS) dan daerah dengan kandungan uranium, thorium dan radium tanah yang tinggi seperti China [8,9]. Data radiasi dan radioaktivitas lingkungan ini ditujukan untuk mengantisipasi perkembangan industri kedepan dan juga sebagai kontribusi *base-line* data spesifik Indonesia untuk Badan Dunia Efek Radiasi (UNSCEAR).

Di Indonesia, dari hasil pemetaan tersebut beberapa wilayah yang dikategorikan sebagai daerah dengan paparan radiasi alam tinggi antara lain adalah Aceh, Bangka-Belitung, Batam dan Sulawesi Barat. Dampak radiologik

terhadap masyarakat yang berasal dari daerah dengan paparan radiasi alam dapat berupa paparan eksternal yang mungkin berasal dari radiasi gamma dan paparan internal yang antara lain diterima tubuh melalui inhalasi [10]. Daerah dengan paparan radiasi alam tertinggi berada di daerah Mamuju, Sulawesi Barat, dimana rata-rata paparan radiasi gamma sebesar $631,4 \pm 569,5$ nSv/jam [11].

Radiasi alam tidak terlepas dari peranan gas radon yang memiliki potensi bahaya pada kesehatan manusia. Radon telah menjadi topik utama yang banyak dibiicarakan dimana para peneliti menemukan bahwa konsentrasi radon yang tinggi dapat memberikan dampak negatif pada kesehatan. Radon adalah gas radioaktif yang terjadi secara alamiah yang berasal dari kerak bumi dan merupakan bagian alami dari udara yang dihirup oleh anggota masyarakat. Peneliti menemukan adanya risiko kanker paru akibat radon dan radon ditengarai sebagai penyebab kedua kanker paru [12]. Radon (isotop ^{222}Rn) berkontribusi sekitar 40 hingga 50% dari total dosis radiasi yang diterima setiap tahun di seluruh dunia yang membuat gas alam ini merupakan sumber paparan masyarakat terhadap radiasi pengion yang terjadi secara alamiah. Radon yang tidak memiliki rasa atau bau ini dapat dideteksi menggunakan peralatan yang sensitif seperti spektrometer gamma.

Dalam makalah ini akan dibahas mengenai efek sitogenetik dan respon adaptasi pada kromosom dan DNA pada penduduk di daerah dengan paparan radiasi alam tinggi, untuk mengevaluasi risiko terhadap kesehatan

sebagai dampak dari paparan radiasi alam yang telah diterimanya.

ABERASI KROMOSOM

Kromosom adalah struktur DNA yang terorganisasi. Kromosom adalah kromatin yang rapat, memendek dan membesar pada saat proses pembelahan inti sel (nukleus), sehingga bagian-bagiannya dapat terlihat jelas di bawah mikroskop biasa. Kebanyakan makhluk di dalam nukleusnya terdapat benda-benda halus berbentuk lurus seperti batang atau membengkok dan terdiri dari zat yang mudah mengikat zat warna. Benda-benda tersebut dinamakan kromosom dan zat yang menyusunnya disebut kromatin. Kromosom dapat dilihat dengan mudah, apabila menggunakan teknik pewarnaan khusus selama nukleus membelah. Hal ini karena pada saat itu kromosom mengadakan kontraksi sehingga menjadi lebih tebal, dan dapat mengisap zat warna lebih baik. Dalam arti lain, kromosom tampak jelas pada saat sel sedang membelah karena mengalami pepadatan dan penggandaan.

Ukuran kromosom bervariasi untuk setiap spesies. Panjangnya berkisar antara 0,2-50 mikron, diameternya antara 0,2-20 mikron dan pada manusia mempunyai panjang 6 mikron [13].

Untuk mempelajari kromosom ini dapat digunakan bermacam-macam jaringan, tetapi yang paling umum adalah kulit, sumsum tulang atau darah perifer. Penemuan penting dan

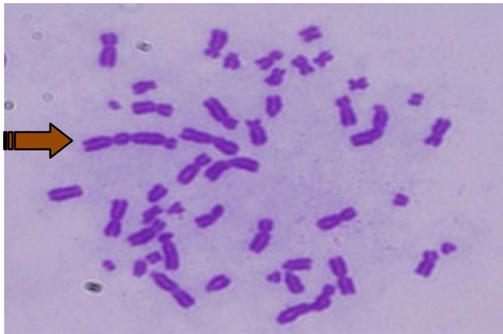
mutakhir adalah pembuatan kultur jaringan. Mutasi pada tingkat kromosomal biasanya disebut aberasi. Kelainan atau aberasi kromosom meliputi kelainan struktur dan kelainan jumlah kromosom. Kelainan struktur terjadi karena perubahan struktur kromosom misalnya delesi, duplikasi dan inversi. Kelainan jumlah kromosom terdiri atas aneuploidi dan euploidi. Kelainan aneuploidi (*hiperploidi* dan *hipoploidi*) terjadi karena bertambah atau berkurangnya jumlah kromosom disebabkan gagalnya perpisahan (*nondisjunction*) kromosom selama pembelahan mitosis.

Aberasi artinya menyimpang. Pengertian aberasi kromosom adalah perubahan jumlah atau struktur kromosom didalam sel sebagai akibat kehilangan, duplikasi atau pengaturan kembali bahan genetika, yang dapat menimbulkan perubahan ciri yang turun-temurun pada organisme yang mengalaminya. Penyebab aberasi sama dengan mutasi gen, baik berupa bahan fisika dan kimia, maupun bahan biologi. Adapun kelainan genetik akibat aberasi kromosom antara lain : sindrom Jacobs (penderita mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom kelamin (XYY)), sindrom Down (penderita mengalami kelebihan satu autosom pada kromosom nomor 21, sindrom Klinefelter (penderita mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom kelamin (XXY), dan beberapa sindromlainnya [14].

Aberasi kromosom merupakan indikator kerusakan akibat paparan radiasi pada tubuh yang dapat diandalkan. Pemeriksaan aberasi

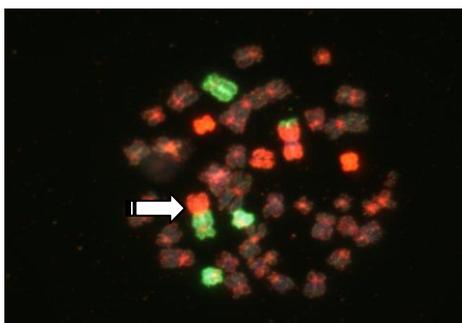
kromosom, selain untuk memperkirakan tingkat keparahan efek radiasi dan risiko pada kesehatan, juga dapat digunakan sebagai dosimeter biologi. Terdapat 2 kelompok utama aberasi kromosom yang diinduksi oleh radiasi pengion pada sel limfosit darah yaitu aberasi kromosom tidak stabil, seperti kromosom disentrik (kromosom dengan dua sentromer) (Gambar 1) dan kromosom bentuk cincin, serta aberasi kromosom stabil yaitu translokasi (terjadi perpindahan atau pertukaran fragmen dari dua atau lebih kromosom) (Gambar 2) [15,16]. Kelompok kromosom yang bersifat tidak stabil akan mengalami kematian pada saat pembelahan sel, sehingga tidak akan diturunkan pada sel anak. Analisis aberasi kromosom bentuk ini sangat dibatasi oleh waktu dan khusus digunakan untuk memperkirakan dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi di atas dosis yang diijinkan. Pemeriksaan sebaiknya dilakukan secepat mungkin [17].

Secara fisik kebolehan terjadinya aberasi kromosom adalah interaksi *single hit* antara berkas radiasi dan target (kromosom sel limfosit). Dalam peristiwa ini energi radiasi terserap dalam tubuh manusia, oleh karena itu jumlah aberasi yang terjadi dapat dijadikan sebagai indikasi jumlah dosis radiasi yang diterima oleh tubuh manusia dan sekaligus juga merupakan petunjuk bagi tingkat kerusakan biologis pada tubuh manusia. Semakin banyak aberasi kromosom yang terbentuk menunjukkan semakin besar dosis radiasi yang diterima [17,18].



Gambar 1. Aberasi kromosom disentrik (panah) akibat paparan radiasi pengion 2 Gy.

Radiasi pengion and agensia radiomimetik seperti bleomisin adalah penginduksi aberasi kromosom yang efektif. Jenis aberasi yang diinduksi bergantung pada tahapan siklus sel saat terpapar radiasi. Kerusakan DNA yang diakibatkan radiasi meliputi *single strand breaks* (SSB), *double strand breaks* (DSB), kerusakan basa dan ikat silang (*cross-link*) protein-DNA. DSB merupakan lesi kritis utama yang mengarah ke aberasi kromosom [19].



Gambar 2. Contoh aberasi kromosom translokasi dimana terjadi perpindahan segment kromosom (tanda panah).

Jika sel limfosit terkena paparan radiasi, maka praktis semua aberasi akan menjadi tipe aberasi kromosom (berasal dari *DNA double*

strand break) dalam metafase dari pembelahan sel pertama setelah paparan. Di lain pihak, aberasi yang diinduksi oleh zat kimia sebagian besar menunjukkan tipe kromatid (berasal dari *DNA single strand break*), yang dapat dibedakan secara morfologi dari tipe kromosom metafase. Disentrik yang teramati pada siklus sel pertama adalah tipe kromatid, dan mereka disebut sebagai aberasi yang diinduksi oleh radiasi. Dalam hal translokasi, kita tidak mungkin membedakan aberasi yang diinduksi oleh radiasi dengan aberasi yang diinduksi oleh zat kimia. Jadi disentrik merupakan indikator paparan radiasi yang sangat baik (*excellent*) dan khas serta telah digunakan secara meluas sebagai marker kunci dalam dosimetri radiasi. Disentrik dan translokasi secara sama dapat diinduksi oleh radiasi. Lima puluh persen disentrik akan dieliminasi melalui setiap pembelahan sel sehingga mereka disebutkan jenis yang tidak stabil. Translokasi akan diturunkan ke sel anak sehingga disebut stabil. Oleh karena itu translokasi merupakan indikator penting dari efek semua mutagen (kimia, faktor metabolik dan radiasi) dari seseorang yang pada saat yang sama darahnya diuji [20].

ABERASI KROMOSOM AKIBAT RADIASI ALAM

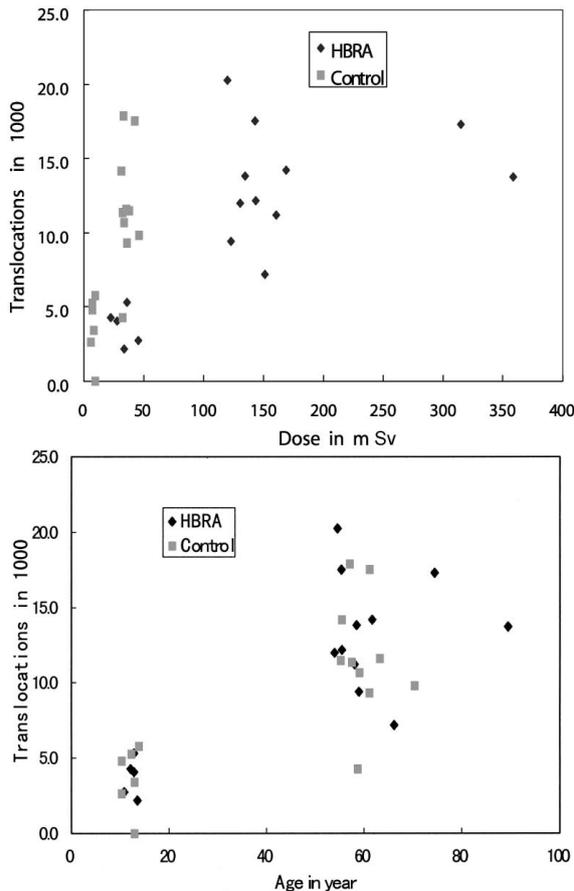
Konsekuensi dari penerimaan dosis radiasi alam tinggi pada kesehatan penduduk perlu dikaji sebagai upaya untuk memperoleh informasi mengenai efek paparan radiasi dosis rendah. Paparan radiasi terhadap tubuh akan menyebabkan kerusakan sitogenetik berupa

perubahan struktur atau aberasi pada kromosom sel limfosit darah tepi. Aberasi kromosom dapat berupa aberasi tidak stabil seperti kromosom disentrik dan cincin, dan aberasi stabil seperti translokasi. Kromosom disentrik merupakan *gold standar* untuk paparan radiasi dan kromosom translokasi merupakan biomarker sitogenetik untuk biodosimeter retrospektif. Frekuensi aberasi kromosom yang terinduksi akibat paparan radiasi alam adalah 1-3 disentrik dan 3-5 translokasi dalam 1000 sel [12-14].

Analisis aberasi kromosom dalam darah perifer telah digunakan sejak tahun 1960 dan terus dilakukan penyempurnaan terhadap berbagai factor mulai dari kinetika siklus sel limfosit *in vitro* hingga model matematika untuk mengetahui hubungan dosis-respon. Dengan kejadian disentrik spontan sekitar 2 per 1000 sel, menjadikan teknik ini lebih unggul. Keunggulan dari aberasi kromosom adalah tekniknya relatif mudah dan telah distandardkan sehingga banyak digunakan dalam evaluasi kecelakaan radiasi [21-23], bahkan telah ditetapkan sebagai prosedur rutin dalam skrining pekerja radiasi dan atau kecelakaan radiasi di beberapa negara [24,25]. Berdasarkan mekanisme pembentukannya maka jenis aberasi disentrik adalah khas untuk paparan radiasi, serta tidak ditemukan adanya perbedaan frekuensi aberasi kromosom antara paparan *in vivo* dan *in vitro*.

Hasil penelitian di China yang dilakukan oleh Zhang dan Hayata (2003) menunjukkan bahwa frekuensi aberasi kromosom pada penduduk yang menerima

paparan dosis kumulatif antara 30-360 mGy adalah sebesar 1,45 dibandingkan kontrol yang menunjukkan frekuensi sebesar 0,76 aberasi di dalam darah perifernya. Terdapat perbedaan nyata antara kedua kelompok dalam hal disentrik pada kelompok dewasa, namun tidak pada anak-anak. Frekuensi translokasi ditemukan jauh lebih tinggi pada kedua kelompok dibandingkan disentrik, namun tidak ada perbedaan aberasi translokasi secara statistik antara kelompok studi dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa paparan radiasi alam tidak mempengaruhi secara nyata frekuensi translokasi dibandingkan dengan mutagen lain seperti senyawa kimia atau faktor metabolik lainnya [26]. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa translokasi jauh lebih banyak terjadi setelah paparan radiasi latar dibandingkan kontrol, namun tidak demikian halnya untuk umur dimana translokasi terjadi pada semua kelompok umur baik untuk kelompok studi maupun kelompok kontrol (Gambar 3) [27].

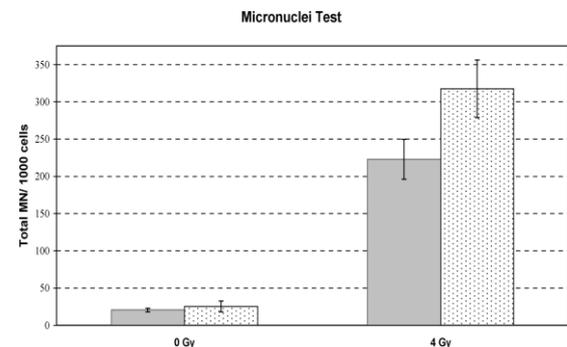


Gambar 3. Frekuensi translokasi untuk dosis radiasi (kiri) dan umur subyek (kanan).

Namun tidak demikian halnya hasil pengkajian berbasis aberasi kromosom sel limfosit darah perifer yang dilakukan di Ramsar Iran dengan dosis efektif kumulatif antara 1,6 dan 42 mSv, dimana ditemukan perbedaan nyata secara statistik antara kelompok studi dengan kelompok kontrol dengan dosis efektif 2,3 mSv. Terdapat perbedaan nyata pada frekuensi kedua jenis aberasi, namun sebagian besar dari aberasi tak stabil yang diamati adalah patahan (*breaks*) dan tidak ada disentrik ditemukan diantara 18.200 sel yang dianalisis [28].

Yang menarik adalah bahwa diduga terjadi apa yang disebut sebagai respon adaptif dari sel limfosit darah penduduk di daerah

dengan radiasi latar tinggi. Salah satu pengkajian oleh Muhammadi dkk (2006) menyebutkan bahwa frekuensi mikronuklei (salah satu bentuk akibat mal-segregasi kromosom dari malfungsi mitotik) dalam sel perifer kelompok control secara nyata lebih tinggi dibandingkan kelompok studi setelah dosis tantang (*challenge dose*) 4 Gy (Gambar4). Kejadian mikronuklei untuk kelompok kasus (studi) secara nyata lebih rendah daripada kelompok kontrol ($P < 0,05$) setelah paparan radiasi 4 Gy dosis tantang sinar gamma. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa dosis awal (*priming*) dengan dosis kronis rendah di daerah dengan radiasi alam tinggi akan menyebabkan sel kurang rentan (*susceptible*) terhadap dosis tantang [29].



Gambar 4. Frekuensi mikronuklei dalam 1000 limfosit binuklea untuk kelompok studi/kasus (bar/kotak warna abu-abu) dan kelompok kontrol (bar/kotak titik-titik).

PENTINGNYA STUDI EPIDEMIOLOGI

Karena efek biologik akibat paparan dosis rendah belum sepenuhnya diketahui, maka rekomendasi proteksi radiasi saat ini didasarkan pada prediksi suatu asumsi adanya hubungan linier tanpa-ambang (*linear no-threshold(LNT)*) antara dosis radiasi dan efek

karsinogeniknya. Mengingat hipotesis LNT sebagai suatu kenyataan ilmiah, maka ada keyakinan bahwa paparan radiasi tingkat rendah sebagaimana juga paparan radiasi alam adalah berbahaya. Di antara keunggulan terbesar dari studi radio-epidemiologik di daerah radiasi latar tinggi adalah kemungkinan untuk memperoleh hasil langsung dari pengamatan pada manusia tanpa mengekstrapolasi efek paparan dosis tinggi ke daerah dosis rendah dan atau dari hewan percobaan ke manusia. Studi ini sangat penting jika subyek yang dipelajari telah berada di daerah tersebut selama beberapa generasi. Harus dicatat bahwa saat ini belum ada data radio-epidemiologik yang logis (*reliable*) di Indonesia mengingat kejadian kanker di antara penduduk di daerah radiasi latar tinggi seperti yang ditemukan di Ramsar. Akan tetapi para dokter setempat percaya bahwa populasi yang hidup di daerah tersebut tidak menunjukkan bertambahnya kejadian kanker mampat (*solid*) atau leukemia. Karena penduduk di Ramsar telah hidup selama banyak generasi, maka perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mengkaji apakah hal ini karena adanya kegagalan kerentanan sel terhadap radiasi di antara penduduk di daerah radiasi alam tinggi [29].

Dalam studi sitogenetik, ada kontroversi tentang hubungan dosis-efek frekuensi aberasi kromosom yang telah dipublikasikan baik untuk studi penduduk di daerah dengan dosis elevasi radiasi alam maupun penduduk di daerah terkontaminasi akibat kecelakaan nuklir. Hasil awal

menunjukkan tidak adanya korelasi positif antara frekuensi aberasi kromosom dan dosis kumulatif pada penduduk setempat. Studi oleh Jiang dkk [30] menemukan adanya kenaikan aberasi kromosom tak stabil dalam limfosit dengan umur penduduk yang proporsional dengan laju dosis di daerah dengan paparan radiasi alam tinggi. Hal ini berlawanan dengan hasil studi oleh Hayata dkk [31] yang menunjukkan tidak ada penambahan frekuensi aberasi kromosom stabil di daerah radiasi latar tinggi dan studi epidemiologik kematian akibat kanker di daerah tersebut juga menemukan tidak adanya kematian akibat kanker. Hal ini memerlukan studi lebih mendalam. Peran faktor risiko lain perlu dikaji dengan jumlah data yang lebih besar.

Studi di Ramsar dimana sampel darah diberi paparan dosis tantangan 1,5 Gy (radiasi alam adalah dosis adaptasi) menunjukkan aberasi kromosom yang 56% ($P < 0,001$) lebih rendah untuk dosis tantangan di daerah studi dibandingkan daerah kontrol [7]. Hasil ini memiliki intrik dimana dosis “pengkondisian” adalah paparan radiasi alam tinggi di Ramsar. Pada umumnya dipercaya bahwa adanya respon adaptif bukan berarti bahwa dosis rendah akan menguntungkan bagi suatu organisme. Peneliti juga percaya bahwa respon adaptif yang terjadi memiliki implikasi penting dalam proteksi radiasi. Pollycovedan Feinendegen [32] mencatat bahwa hasil studi di Ramsar tersebut menyiratkan bahwa radiasi dosis rendah tidak saja memperkecil kematian akibat kanker atau

penyebab lain tetapi juga bersifat protektif mencegah radiasi dosis tinggi akibat kecelakaan.

Diduga tidak ada dosis radiasi ambang untuk induksi aberasi kromosom yang secara statistik berpotensi menyebabkan penyakit keganasan dan kongenital. Tetapi efek radiasi terhadap induksi aberasi kromosom terkubur oleh besarnya efek dari faktor metabolik dan atau agensia mutagenik selain radiasi yang paling tidak hingga dosis 3 kalinya dari normal. Studi epidemiologi juga menemukan beberapa kesulitan karena banyaknya faktor yang mempengaruhi. Faktor-faktor tersebut perlu dikaji juga di Indonesia yang memiliki daerah dengan paparan radiasi alam tinggi seperti di Mamuju Sulawesi Barat dan Biak sehingga menjadi suatu hal yang urgen untuk dilakukan.

KESIMPULAN

Meskipun hasil studi sitogenetik menunjukkan adanya risiko paparan radiasi alam, populasi yang tinggal di daerah radiasi alam tinggi menunjukkan tidak adanya efek berarti seperti halnya populasi di daerah normal. Bahkan studi juga menunjukkan adanya efek menguntungkan dari paparan radiasi tersebut. Temuan menunjukkan bahwa paparan terus menerus (jangka panjang) radiasi alam tidak memiliki efek kesehatan yang membahayakan, terutama ditinjau dari segi efek sitogenetiknya. Namun hasil ini belum dapat dijadikan dasar untuk memperoleh ukuran kesehatan masyarakat. Masih diperlukan studi mendalam dan meluas untuk memperjelas jika penguasa

setempat atau pemangku kepentingan menerapkan suatu aturan pembatasan untuk melindungi anggota masyarakat dari radiasi alam yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHICKER, F.W. and SCHULTZ, V., Radioecology : Nuclear Energy and Environment, CRC Press Inc., Florida, United States of America, 1982.
2. ANONIMOUS, Radiation, People and the Environment, IAEA, Austria, 2004.
3. HAYATA, I., WANG, C.Y., ZHANG, W., MINAMIHISAMATSU, M., CHEN, D.Q., MORISHIMA, H., et al. Chromosometranslocation in residents of highbackground radiation area in China. International Congress Series, 1225,199-205, 2002.
4. FURUKAWA, M. (1998) Chikyu Kibo no Shizen Hoshasen (2). Chikyu Monthly, 22, 55-62.
5. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECT ATOMIC RADIATION. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report, 2000.
6. RADHAKRISHNA, A.P., SOMASHEKAR APPA, H.M., NARAYANA. Y., & SIDDAPPA, K., A new natural background radiation area on the southwest coast of India. Journal of Health Physics. 65, 390-395, 1993.
7. GHIASSI-NEJAD, M., MORTAZAVI, S.M., CAMERON, J.R., NIROOMAND-

- RAD, A., KARAM, P.A. Very high background radiation area of Ramsar, Iran: preliminary biological studies. *Health Phys.*, 82(1), 87-93, 2002.
8. BENNETT, B.G., Exposure to natural radiation worldwide. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on High Levels of Natural Radiation: Radiation Doses and Health Effects*. Beijing, China. Elsevier, Tokyo. 15–23, 1997.
 9. UNSCEAR, *Effects and Risks of Ionizing Radiations*. Report of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2000.
 10. MAKSUN, KUSDIAN dan SYARBAINI, Pemantauan laju dosis radiasi gamma di beberapa Propinsi di Pulau Sumatera, *Prosiding SNKKL-II, DRN Puspipstek, Serpong, 19 Desember (2006), PTKMR-BATAN, Jakarta*.
 11. DADONG, I., BUNAWAS, SYARBAINI. Mapping radiation and radioactivity in Sulawesi island. *The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation Protection (AOCRP-3)*, Tokyo, Japan, 2010.
 12. COLE, L.A., *Element of Risk: The Politics of Radon*, American Association for the Advancement of Science Press, 1993.
 13. ANONIM, Morfologi kromosom, <http://www.ejurnal.com/2013/09/morfologi-kromosom.html>.
 14. MIEN, A.R., *Kamus biologi/penyusun akhir Mien A. rifai cetakan ke-4*, Jakarta.
 15. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Cytogenetic analysis for radiation dose assessment*. A Manual Series No. 405, IAEA-Vienna Austria, 2001.
 16. EDWARDS., AA., The use of chromosomal aberrations in human lymphocytes for biological dosimetry, *Radiation research*, 148, 539-544, 1977.
 17. INDRAWATI, I. dan LUSIY ANTI, Y., Studi aberasi kromosom pada pekerja radiasi, *Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan*, Jakarta, hal. 481-485, 1995.
 18. LUSIYANTI, Y. INDRAWATI, I., LUBIS, M., BUDIANTARI, C.T., Aberasi kromosom Limfosit Perifer Tak Stabil yang Diinduksi Sinar gamma Co-60 Laju Dosis Rendah, *Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan IX*, Jakarta, hal 165 - 173, 2004.
 19. NATARAJAN, A.T., Mechanisms for induction of mutations and chromosome alterations, *Environmental Health Perspectives Supplements*, 101, 225-229, 1993.
 20. LÉONARD, A., RUEFF, J., GERBER, G.B., LÉONARD, E.D., Usefulness and limits of biological dosimetry based on cytogenetic methods, *Radiation Protection Dosimetry*, 115 (1-4), 448-454, 2005.
 21. IU NUGIS, V. and DUDOCKIN, N.E., Elimination of chromosome aberrations in

- lymphocyte cultures of the peripheral blood in people at remote time after acute irradiation, *Radiation Biology and Radioecology*, 46, 5-15, 2006.
22. SCHEID, W., WEBER, J. and TRAUT, H., Chromosome aberrations induced in human lymphocytes by an X-radiation accident: results of a 4-year postirradiation analysis, *Int. J. Radiat. Biol.*, 54 (3), 395-402, 1988.
 23. WOJCIK, A., STEPHAN, G., SOMMER, S., BURACZEWSKA, I., KUSZEWSKI, T., WIECZOREK, A., and GOZDZ, S., Chromosomal aberration and micronuclei in lymphocytes of breast cancer patients after an accident during radiotherapy with 8 MeV electrons, *Radiation Research*, 160, 677-683, 2003.
 24. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Cytogenetic analysis for radiation dose assessment A Manual, Technical Reports Series No. 405, Vienna, Austria, 2001.
 25. VRAL, A., THIERENS, H., and DE RIDDER, L., *In vitro* micronucleus-centromere assay to detect radiation-damage induced by low doses in human lymphocytes, *International Journal of Radiation Biology*, 71, 61-68, 1997.
 26. ZHANG, W. and HAYATA, I., Preferential reduction in dicentric reciprocal exchange due to the combination of the size of broken chromosome segment by radiation, *J. Hum. Genet.*, 48, 531-534, 2003.
 27. KANDA, R. and HAYATA, I., Comparison of the yields of translocations and dicentrics measured using conventional Giemsa staining and chromosome painting, *Int. J. Radiat. Biol.*, 69 (6), 701-705, 1996.
 28. FAZELI, T.Z., ASAI, R.Gh., SOHRABI, M. HAYDARI, A., VARZEGAR, R., Cytogenetic studies of inhabitants of a high natural radiation area of Ramsar, Iran, Book of abstract international conference on high levels of natural radiation Ramsar, Islamic Republic of Iran, 3-7 Nov 1990.
 29. MUHAMMADI, S., TAGHAVI-DEHAGHANI, M., GHARAATI, M.R., MASOOMI, R. and GHIASI-NEJAD, M., Adaptive Response of Blood Lymphocytes of Inhabitants Residing in High Background Radiation Areas of Ramsar-Micronuclei, Apoptosis and Comet Assays, *J. Radiat. Res.*, Vol. 47, No. 3-4, 2006.
 30. JIANG, T., HAYATA, I., WANG, C., NAKAI, S., YAO, Y., YUAN, Y., DAI, L., LIU, Q., CHEN, D., WEI, L. and SUGAHARA, T., Dose-effect relationship of dicentric and ring chromosomes in lymphocytes of individuals living in high background radiation area in China. *J. Radiat. Res.*, 41, Suppl. 63-68, 2000.
 31. HAYATA, I., WANG, C., ZHANG, W., CHEN, D., MINAMIHISAMATSU, M., MORISHIMA, H., YUAN, Y., WEI, L. and SUGAHARA, T., Chromosome translocation in the residents in high background radiation area in the southern China. *J. Radiat. Res.*, 41, Suppl. 69-74, 2000.

32. POLLYCOVE,M.andFEINENDEGEN,L.E
.,Biologic responses to low doses of
ionizing radiation: detriment versus
hormesis. Part 2: Dose responses of
organisms,TheJournalofNuclearMedicine,
42(9),26N-37N,2001.

Jawaban :

- Diketahui dari kegiatan litbang radioaktivitas dan radiasi lingkungan di seluruh Indonesia.
- Disampaikan ke Pemda setempat antara lain memberi masukan penduduk untuk tidur di lantai 2 (tidak langsung di tanah).
- Saran akan disampaikan kepada pihak yang berwenang.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Djoli Soembogo (PAIR BATAN)

Pertanyaan :

- Paparan radiasi alam tinggi salah satunya ada di Mamuju selain dari uranium, radon apakah ada paparan radiasi dari sumber lain?
- Salah satu paparan radiasi tertinggi di dunia ada di Ramsan (Iran) darimana paparan radiasi ini berasal?

Jawaban :

- Diduga berasal dari thorium dan atau radikal.
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan berasal dari batuan yang mengandung uranium.

2. Penanya : Achmad Syaifudin (STTN)

Pertanyaan :

- Asal usul data awal di Mamuju bagaimana?
- Bagaimana pengelolaan/pemanfaatan kondisi tersebut?
- Saran, supaya SDM lokal yang paham nuklir dengan menyekolahkan ke STTN