

Buletin

ALARRA

- **Iodine alam dan iodine radioaktif (^{131}I)**
- **Strategi penerapan teknik isotop dalam bidang hidrologi untuk pelestarian sumber daya air tanah**
- **Mamuju sebagai area prospektif untuk studi epidemiologi dampak paparan radiasi alam tinggi**
- **Mengungkap misteri langit dengan sinar-X**
- **Salinisasi air tanah dengan pendekatan multi-isotop**
- **Memanfaatkan teknik nuklir untuk mengungkap sejarah bumi**

**Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional**



PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN
METROLOGI RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

ISSN 1410 - 4652

Buletin Alara

Volume 19 Nomor 1, Agustus 2017

TIM REDAKSI

Penanggung Jawab

Kepala PTKMR

Pemimpin Redaksi

Drs. Hasnel Sofyan, M.Eng

Penyunting/Editor & Pelaksana

Prof. Eri Hiswara, M.Sc.

Dr. Heny Suseno

Dr. Mukh Syaifudin

Drs. Gatot Wurdianto, M.Eng

dr. B.Okky Kadharusman, Sp.PD

Affan Ahmad, MKKK

Sekretariat

Setyo Rini, SE

Salimun

Alamat Redaksi/Penerbit :

PTKMR – BATAN

⇒ Jl. Lebak Bulus Raya No. 49
Jakarta Selatan (12440)

Tel. (021) 7513906, 7659512 ;

Fax. (021) 7657950

⇒ PO.Box 7043 JKSKL,
Jakarta Selatan (12070)

**e-mail : ptkmr@batan.go.id
alara_batan@yahoo.com**

Dari Redaksi

Penerbitan B. Alara edisi kali ini, ada gangguan teknis yang telah menyebabkan terjadinya keterlambatan, untuk itu Tim Redaksi mohon maaf atas hal ini. Diharapkan untuk edisi-edisi selanjutnya dapat hadir dihadapan para Pemerhati Keselamatan Radiasi sesuai jadwal yang telah ditetapkan.

Dalam edisi ini ditampilkan informasi Iodin dalam dunia kedokteran disebut yodium/Iodium merupakan unsur kimia golongan VII halogen pada tabel periodik dengan simbol I dan nomor atom 53. Unsur ini diperlukan oleh hampir semua makhluk hidup. Iodine adalah halogen yang reaktivitasnya paling rendah dan paling bersifat elektropositif. Pertama kali unsur ini ditemukan pada tahun 1811 oleh Bernard Courtois, seorang ahli kimia Perancis, dalam abu soda rumput laut. Iodine alam dapat bersenyawa dengan belerang, fosfor, besi, dan merkuri. Karakteristik Iodine memiliki massa atom relatif 126,905 dan meleleh pada suhu 113,6 °C dengan titik didihnya 185 °C.

Strategi penerapan teknik isotop dalam bidang hidrologi sebagai usaha untuk pelestarian sumber daya air tanah atau air bersih. Dan salinisasi air tanah dengan pendekatan multi-isotop. Pentingnya air bersih telah membuat keberadaan air bagi Bangsa Indonesia diatur dalam Peraturan perundang-undangan yang tertinggi yaitu UUD 1945, seperti pada Pasal 33 ayat yang berbunyi: "Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh Negara dan dipergunakan sebesar-besarnya bagi kemakmuran rakyat". Selain itu, dipertegas lagi dalam UU RI No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air pada Pasal 5: "Negara menjamin hak setiap orang untuk mendapatkan air bagi kebutuhan pokok minimal sehari-hari guna memenuhi kehidupannya yang sehat, bersih dan produktif".

Mamuju di Sulawesi Barat merupakan daerah yang dapat dijadikan sebagai lokasi yang sangat prospektif untuk lebih mendalami tentang studi epidemiologi dampak paparan radiasi alam tinggi. Pada bagian lain juga dijelaskan tentang pemanfaatan sinar-X untuk mengungkapkan misteri langit dan teknik nuklir untuk mengungkap sejarah bumi.

Akhirnya disampaikan ucapan selamat membaca, semoga apa yang tersaji dalam Buletin ini dapat menambah wawasan yang lebih luas mengenai ilmu dan teknologi nuklir serta menggugah minat para pembaca yang budiman untuk menekuni iptek ini. Jika ada kritik dan saran yang menyangkut tulisan dan redaksional untuk meningkatkan mutu Buletin Alara, akan kami terima dengan senang hati.

redaksi

Buletin ALARA terbit pertama kali pada Bulan Agustus 1997 dan dengan frekuensi terbit 3 kali dalam setahun (Agustus, Desember dan April) ini diharapkan dapat menjadi salah satu sarana informasi, komunikasi dan diskusi di antara para peneliti dan pemerhati masalah keselamatan radiasi dan lingkungan di Indonesia.



IPTEK ILMIAH POPULER

- 1 – 8** Iodine alam dan iodine radioaktif (^{131}I)
Gatot Suhariyono
- 9 – 16** Strategi penerapan teknik isotop dalam bidang hidrologi untuk pelestarian sumber daya air tanah
E. Ristin Pujiindiyati
- 17 – 25** Mamuju sebagai area prospektif untuk studi epidemiologi dampak paparan radiasi alam tinggi
Mukh Syaifudin

INFORMASI IPTEK

- 27 – 36** Mengungkap misteri langit dengan sinar-X
Hasnel Sofyan dan Mukhlis Akhadi
- 37 – 39** Salinisasi air tanah dengan pendekatan multi-isotop, Nurfadhlini dan Neneng Laksminingpuri
Nurfadhlini dan Neneng Laksminingpuri
- 41 – 49** Memanfaatkan teknik nuklir untuk mengungkap sejarah bumi
Mukhlis Akhadi

LAIN – LAIN

- 26** Kontak Pemerhati
40 Tata cara penulisan naskah/makalah

Tim Redaksi menerima naskah dan makalah ilmiah semi populer yang berkaitan dengan *Keselamatan radiasi dan keselamatan lingkungan dalam pemanfaatan iptek nuklir untuk kesejahteraan masyarakat*. Sesuai dengan tujuan penerbitan buletin, Tim Redaksi berhak untuk melakukan *editing* atas naskah/makalah yang masuk tanpa mengurangi makna isi. Sangat dihargai apabila pengiriman naskah/makalah disertai dengan CD-nya.

MAMUJU SEBAGAI AREA PROSPEKTIF UNTUK STUDI EPIDEMIOLOGI DAMPAK PAPARAN RADIASI ALAM TINGGI

Mukh Syaifudin

- Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Kawasan Nuklir Pasar Jumat, Jalan Lebak Bulus Raya 49, Jakarta – 12440
PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070
- mukh_syaifudin@batan.go.id

PENDAHULUAN

Radiasi merupakan pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang (foton) dari suatu sumber radiasi. Menurut asalnya radiasi dibagi dua kelompok yaitu radiasi alam dan buatan. Radiasi alam adalah radiasi yang sudah ada sejak terbentuknya alam semesta dan tidak dibuat oleh manusia seperti uranium, thorium dan radium di lapisan bumi dan matahari serta planet lain yang memancarkan radiasi kosmik, sedangkan radiasi buatan adalah radiasi yang sengaja dibuat oleh manusia untuk kepentingan dalam hidupnya seperti ^{239}Pu untuk reaktor nuklir, rontgen (sinar-X), sumber iradiasi ^{60}Co untuk radioterapi dan industri. Paparan radiasi pengion dapat menimbulkan kerusakan pada sel yakni asam deoksiribonukleat (DNA) dan kromosom sebagai sasaran utama paparan radiasi yang dapat mengarah ke sel kanker seperti paru, kulit, dll.

Berdasarkan hasil pemetaan tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan di seluruh Indonesia tahun 2013, diketahui bahwa Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat adalah daerah dengan tingkat radiasi alam paling tinggi di Indonesia. Radiasi alam ini berasal dari radionuklida uranium, thorium dan radium yang dapat mengemisi radiasi pengion terhadap penduduk setempat baik melalui paparan eksterna maupun interna melalui makanan, minuman dan pernafasan. Hasil pemantauan lingkungan ini harus disertai dengan peningkatan pengawasan aspek keselamatan radiasi untuk melindungi

anggota masyarakat. Dengan meningkatnya potensi risiko efek yang mungkin timbul, maka pemantauan dan perlindungan terhadap kesehatan dan keselamatan penduduk serta lingkungan merupakan suatu keharusan. Konsekuensinya diperlukan upaya untuk menjamin terselenggaranya suatu program jaminan keselamatan agar supaya dampak yang terjadi dapat diminimalisasi. Berdasarkan ketentuan dari IAEA, maka harus dilakukan pemeriksaan, pemantauan dan pencatatan kesehatan secara rutin dan berkesinambungan yang meliputi pemeriksaan fisik, hematologi, kimia darah, dll.

Terkait dengan salah satu misi BATAN, yaitu melaksanakan diseminasi iptek nuklir dengan menekankan asas kemanfaatan, keselamatan dan keamanan, maka selama 2015-2019 ditetapkan kegiatan penelitian dan pengembangan untuk memperoleh data efek sitogenetik dan dilengkapi dengan pemeriksaan kerusakan DNA serta pemeriksaan fisik atau kesehatan pada masyarakat akibat paparan radiasi alam di Mamuju. Pada tahun 2015-2017 telah dilakukan pengkajian efek radiasi alam tinggi terhadap kesehatan dan fisik serta efek sitogenetik sel limfosit darah tepi penduduk di Desa Botteng, Takandeang dan Transmigrasi Botteng yang memiliki paparan radiasi alam antara 760 – 950 nSv/jam dengan rata-rata 847 nSv/jam. Kegiatan meliputi pemeriksaan pada sampel darah penduduk setempat dengan menggunakan metode standar IAEA, uji respon adaptif, didukung dengan pemeriksaan gamma-

H2AX, *comet assay* dan p53. Selain itu untuk studi awal epidemiologi, dilakukan pemeriksaan kesehatan fisik (kulit, mata/katarak, telinga-hidung-tenggorokan (THT)) dan wawancara kebiasaan hidup sehari-hari, serta pemeriksaan darah lengkap, dengan kriteria inklusi dan eksklusi dan berumur antara 14-70 tahun.

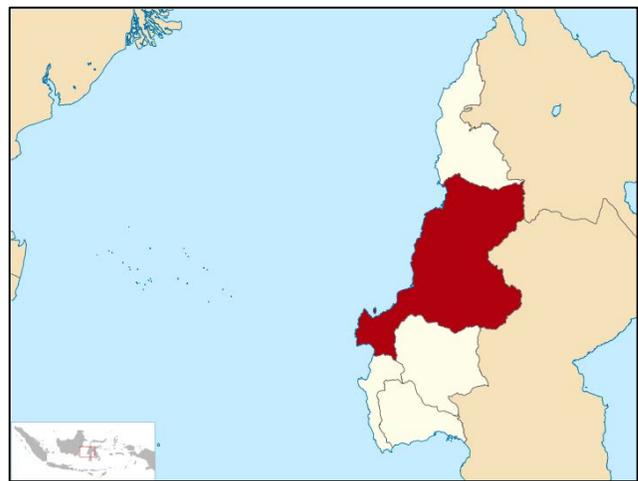
Data yang diperoleh dibandingkan dengan nilai acuan internasional untuk melihat seberapa besar risiko kesehatan penduduk di Mamuju. Rekomendasi untuk menurunkan dosis radiasi yang diterima masyarakat akan diberikan sekiranya datanya di atas nilai acuan. Data juga akan dikirim ke Komisi PBB tentang sumber dan efek radiasi (UNSCEAR) sebagai kontribusi Indonesia terhadap tugas UNSCEAR dalam menganalisis kecenderungan global penerimaan dosis radiasi pada masyarakat di daerah radiasi alam tinggi.

Dengan adanya pengumpulan data kesehatan penduduk Mamuju maka akan dapat dilakukan studi awal epidemiologi radiasi alam dalam jangka waktu yang panjang untuk memperoleh gambaran atau pola kejadian penyakit yang mungkin timbul sebagai konsekuensi paparan radiasi kronis alamiah ini. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah prospektif historis dan pendataan dilakukan terhadap status kesehatan penduduk di Mamuju yang terkena paparan radiasi selama masa hidupnya kemudian dikaji penyakit yang muncul. Jadi metode ini sangat bergantung pada data sekunder yang ada dan kekurangan atau ketidaklengkapan data dapat diperkecil dengan mengumpulkan data primer hasil wawancara, pengisian kuesioner atau pemeriksaan kesehatan pada para penduduk. Data dari status kesehatan penduduk yang diperlukan adalah hasil pemeriksaan fisik dan pemeriksaan laboratorium, dan mungkin wawancara langsung untuk memperoleh informasi tambahan sehubungan dengan data kesehatan seperti hipertensi, jantung koroner, diabetes, dll.

MAMUJU DAN RADIASI ALAM

Kabupaten Mamuju adalah salah satu Daerah Tingkat II di Propinsi Sulawesi Barat.

Secara astronomis berada antara 10 38' 110'' – 20 54' 552'' LS dan 110 54' 47'' – 130 5' 35'' BT atau berada di bagian selatan dari garis ekuator atau garis katulistiwa (Gambar 1). Kabupaten Mamuju memiliki luas wilayah 5.064,19 km² yang secara administratif terbagi ke dalam 11 kecamatan. Kecamatan yang paling luas wilayahnya adalah Kecamatan Kalumpang dengan luas 1.731,99 km² atau 34,20% dari luas wilayah Kabupaten Mamuju. Sedangkan kecamatan dengan luas wilayah terkecil adalah Kecamatan Balabalakang dengan luas 21,86 km² atau 0,43%.



Gambar 1. Peta Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat (warna merah) sebagai tempat studi epidemiologi radiasi alam, (Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Kabupaten_Mamuju).

Penduduk Kabupaten Mamuju pada pertengahan tahun 2014 sebanyak 258.984 jiwa, meningkat menjadi 265.800 jiwa pada 2015. Dengan jumlah tersebut berarti Kabupaten Mamuju merupakan kabupaten dengan penduduk nomor dua terbesar di Provinsi Sulawesi Barat setelah Kabupaten Polewali Mandar dengan 422.793 jiwa. Jumlah penduduk Kabupaten Mamuju pada tahun 2015 adalah 265.800 jiwa yang terdiri atas 135.294 laki-laki dan 130.506 perempuan. Pada tahun 2016 jumlah penduduknya menjadi 272.258 jiwa. Pada periode yang sama, diperkirakan terdapat sekitar 59.346 rumah tangga dengan rata-rata banyaknya anggota rumah tangga sekitar 4,5 orang.

Pertumbuhan produk Kabupaten Mamuju pada tahun 2015 melambat dibandingkan pertumbuhan pada tahun 2014. Berdasarkan perhitungan, laju pertumbuhan PDRB Kabupaten Mamuju tahun 2015 adalah sekitar 7,71%. Seluruh sektor ekonomi yang ada pada PDRB pada tahun 2015 mencatat pertumbuhan yang positif. Laju pertumbuhan PDRB tertinggi dihasilkan oleh sektor administrasi pemerintahan, pertahanan, dan jaminan sosial wajib sebesar 12,40%.

Telah diketahui bahwa laju dosis radiasi rata-rata di salah satu desa di Mamuju yaitu Takandeang, Kecamatan Tapalang sangat tinggi, mencapai 22 kali dari rerata dosis radiasi nasional, bahkan di desa dekatnya yakni Botteng, Kecamatan Simboro, ditemukan satu lokasi yang mempunyai dosis radiasi gamma lingkungan sebesar 10.000 nSv/jam yang berarti 200 kali dari rerata nasional (Tabel 1). Beberapa area di Mamuju memiliki laju dosis tahunan hingga lebih dari 5 mSv/tahun dan diketahui lebih dari 50% dosis ini berasal dari radon. Hasil pengukuran konsentrasi radon *indoor* rata-rata (dalam rumah penduduk) di Kecamatan Simboro menunjukkan sebesar 400 Bq/m³ dan tertinggi mencapai sekitar 734 Bq/m³. Konsentrasi ini adalah di atas tingkat referensi radon yang ditetapkan oleh Komisi Internasional untuk Proteksi Radiasi *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* dan Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) sebesar 300 Bq/m³. Dengan demikian maka diperlukan suatu studi komprehensif yang bertujuan untuk mengkaji efek radiasi alam pada

penduduk setempat seperti pengamatan sitogenetik dan pengaruhnya terhadap kesehatan.

Salah satu sumber radiasi lingkungan adalah radon yang merupakan gas tidak berwarna dan tidak berbau, dihasilkan dari penguraian unsur radioaktif radium, yang merupakan produk dari peluruhan uranium, yang ditemukan di lapisan kerak bumi. Produk peluruhan radiasi ini akan mengionkan materi genetika, sehingga menyebabkan mutasi yang kadang dapat menjadi kanker. Radon merupakan penyebab kanker paru paling banyak kedua di AS, setelah rokok. Risikonya meningkat hingga 8–16% untuk setiap peningkatan konsentrasi radon sebesar 100 Bq/m³. Tingkat gas radon bervariasi tergantung pada lokasi dan komposisi tanah dan batuan di bawahnya.

Daerah Mamuju dan sekitarnya umumnya disusun oleh batuan gunung api. Anomali radioaktivitas di daerah Mamuju diketahui meliputi daerah yang cukup luas dengan kadar uranium dan thorium yang cukup signifikan. Hal ini berkaitan erat dengan sebaran batuan vulkanik yang termasuk dalam batuan gunung api Adang. Vulkanologi stratigrafi daerah ini, yang disusun berdasarkan analisis struktur, geomorfologi, dan distribusi litologi, diklasifikasikan ke dalam Khuluk Talaya dan Khuluk Adang.

STUDI KESEHATAN PENDUDUK

Peraturan Pemerintah Nomor 66 tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan menyatakan bahwa kesehatan lingkungan adalah upaya pencegahan penyakit dan/atau gangguan

Tabel 1. Laju dosis radiasi gamma lingkungan dan konsentrasi radon indoor di daerah Mamuju, Sulawesi Barat tahun 2010.

Daerah	Populasi (Sensus 2010)	Rentang laju dosis radiasi (nSv/jam)	Laju dosis radiasi rerata (nSv/jam)	Konsentrasi radon rerata (Bq/m ³)
INDONESIA	237.641.326	20 – 10000	50	Belum ada
Sulawesi Barat	1.157.591	156 – 1000	254	Belum ada
Kabupaten Mamuju	336.772	176 – 10000	415	133
Kecamatan Simboro	28.457	384 – 10000	696	400
Desa Takandeang, Kec. Tapalang	4.412	600 – 2200	1141	267
Daerah transmigrasi Mamuju	1.977	760 – 950	847	266
Kota (Kecamatan) Mamuju	55.202	201 – 707	333	10
Desa Ahu, Kec. Tapalang Barat	2.100	300 – 700	500	154
Desa Tampa Padang, Kec. Kaluku	5.400	500 - 2000	600	146

kesehatan dari faktor risiko lingkungan untuk mewujudkan kualitas lingkungan yang sehat baik dari aspek fisik, kimia, biologi, maupun sosial. Sedangkan menurut WHO, kesehatan lingkungan meliputi seluruh faktor fisik, kimia, dan biologi dari luar tubuh manusia dan segala faktor yang dapat mempengaruhi perilaku manusia. Kondisi dan kontrol dari kesehatan lingkungan berpotensi untuk mempengaruhi kesehatan. Undang-undang Nomor 36 tahun 2009 tentang Kesehatan menegaskan bahwa upaya kesehatan lingkungan ditujukan untuk mewujudkan kualitas lingkungan yang sehat, baik fisik, kimia, biologi, maupun sosial yang memungkinkan setiap orang mencapai derajat kesehatan yang setinggi-tingginya.

Untuk melengkapi studi epidemiologi di Mamuju, diperlukan pemeriksaan fisik dan kesehatan penduduk setempat yakni kelainan / lesi pada kulit, juga pemeriksaan kelainan pada mata (kekeruhan lensa), dengan menggunakan bantuan oftalmoskop atau *penlight*, dilakukan dalam ruangan yang gelap (Gambar 1). Selain itu juga dilakukan pemeriksaan kelainan pada mukosa dan hygiene rongga mulut, pemeriksaan leher untuk mengetahui adanya pembesaran pada kelenjar tiroid dan kelenjar getah bening daerah leher. Pemeriksaan dilakukan dengan melakukan perabaan daerah proyeksi kelenjar tiroid dan kelenjar getah bening leher. Selain itu juga dilakukan auskultasi paru-paru menggunakan untuk mengetahui adanya gangguan pernapasan.

Untuk pemeriksaan riwayat kesehatan, ditanyakan identitas responden seperti umur dll, keluhan yang saat ini diderita responden, ditanyakan atau dicari luka/lesi di kulit yang sulit sembuh, riwayat gangguan penglihatan, sariawan atau diare berulang, riwayat atau keluhan sesak napas, riwayat penyakit berat/keganasan yang pernah diderita, dan riwayat penyakit/keganasan dalam keluarga. Kriteria inklusi dan eksklusi disesuaikan dengan standar. Kriteria inklusi adalah responden yang sehat dan tidak menerima tindakan dengan radiasi untuk alasan kesehatan dalam waktu 5 tahun terakhir serta tidak merokok. Kriteria eksklusi adalah sakit berat,

memiliki riwayat perdarahan seperti hemofili dan penyakit kronis lainnya.



Gambar 2. Pemeriksaan mata penduduk Mamuju yakni kecenderungan katarak akibat radiasi alam (atas) dan pengukuran tekanan darah (bawah).

Satu studi awal pemeriksaan kesehatan penduduk Mamuju, meskipun jumlah respondennya masih sangat sedikit, menunjukkan tidak adanya efek negatif radiasi alam terhadap kesehatan penduduk setempat dan Keang sebagai daerah kontrol pada umumnya, termasuk kejadian kanker akibat radiasi di antara penduduk yang diperiksa dan tidak terkait dengan umur, artinya kondisi kelainan kesehatan dapat ditemukan pada semua kelompok umur. Di dalam penelitian awal oleh Nastiti dkk, berdasarkan hasil wawancara tentang riwayat kesehatan, juga tidak ditemukan kasus diabetes, namun ada sejumlah kasus hipertensi yang ternyata jumlahnya lebih tinggi (dua kali lipat lebih) pada kelompok kontrol. Hal ini perlu diteliti lebih jauh dengan melibatkan lebih banyak jumlah responden, terutama untuk daerah kontrol. Hasil wawancara menemukan adanya beberapa keluhan seperti

nyeri kepala yang hilang timbul dan nyeri lutut, nyeri ulu hati dan sendi yang juga hilang timbul serta nyeri pada gigi. Sedangkan hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa jumlah kasusnya relatif lebih tinggi pada kelompok kontrol, kecuali kondisi kulit, mata, mukosa, tiroid dan paru-paru. Pada pemeriksaan kulit dan rambut ditemukan bahwa sebagian besar penduduk memiliki kondisi kulit yang sehat, meskipun ada beberapa yang menderita neurodermatitis, dan tinea versikolor regio pada punggung dan dada. Persentase masing-masing keluhan (riwayat penyakit) dan hasil pemeriksaan fisik tekanan darah, kulit, mata, kelenjar tiroid dan mukosa serta paru-paru penduduk.

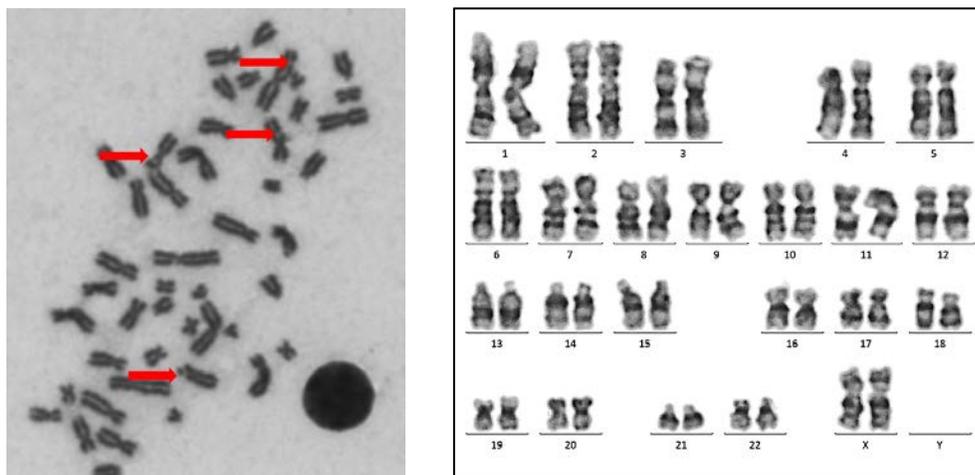
Dalam penelitian tersebut berdasarkan pemeriksaan fisik, kondisi mata penduduk desa Botteng dan kontrol seperti katarak, sebagai petanda paparan radiasi, didapatkan kejadian kekeruhan lensa yang terjadi pada usia >45 tahun, sehingga tidak dapat dianggap sebagai akibat paparan radiasi tinggi.

STUDI SITOGENETIK DAN KERUSAKAN DNA

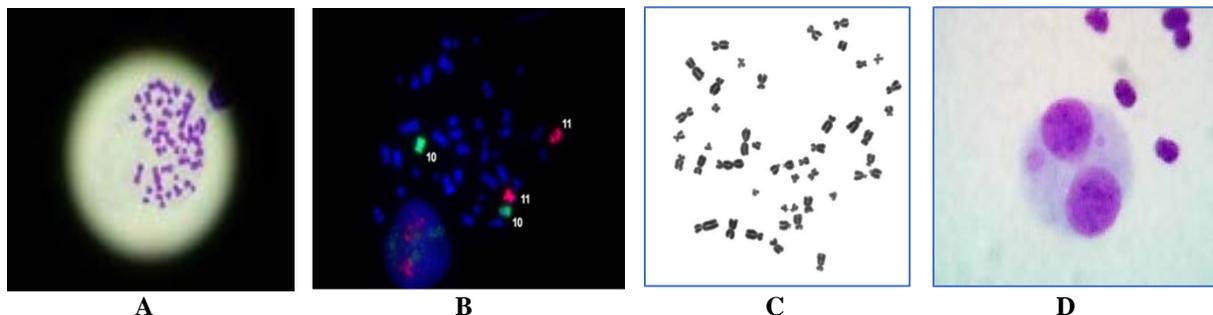
Telah diketahui bahwa paparan radiasi pengion pada tubuh manusia dapat memberikan efek yang berbahaya. Efek radiasi ini merupakan hasil dari proses fisik dan kimia yang terjadi segera setelah paparan dan kemudian diikuti dengan proses biologik dalam tubuh. Proses

tersebut meliputi rangkaian perubahan pada tingkat molekuler, seluler dan jaringan tubuh. Efek sitogenetik akibat paparan radiasi sebagai kerusakan pada tingkat molekuler meliputi perubahan pada DNA dan kromosom dalam inti sel. Molekul DNA merupakan target utama dari paparan radiasi pada tubuh dengan kerusakan antara lain berupa *single strand break* yaitu putusya salah satu untai DNA dan *double strand breaks* yaitu putusya kedua untai DNA. Kerusakan lebih lanjut dari DNA ini dapat menimbulkan keusakan pada kromosom yang dikenal sebagai aberasi kromosom. Semakin besar dosis radiasi yang diterima semakin tinggi frekuensi aberasi kromosom pada sel. Pemeriksaan aberasi kromosom dapat dilakukan pada sel darah limfosit sebagai sel tubuh yang paling sensitif terhadap radiasi. Aberasi kromosom akibat radiasi dapat berupa fragmen asentrik, kromosom cincin (*ring*), kromosom disentrik, dan translokasi, atau bentuk kelainan lain seperti *double minutes*, *break*, dan *gap* (Gambar 3 kiri). Uji lain adalah pemeriksaan kromosom banding (Gambar 3 kanan).

Kerusakan DNA akibat genotoksik seperti radiasi dapat diuji menggunakan berbagai macam metode, salah satunya berbasis mikroskopi yaitu *Single cell gel electrophoresis* (SCGE) atau '*Comet assay*' yang terbukti relatif cepat dan sensitif. Di samping itu metode uji ini juga murah dan hanya memerlukan bahan yang sedikit. Uji



Gambar 3. Aberasi kromosom break dan gap (kiri) yang ditemukan di antara sampel penduduk Mamuju dan uji *banding* untuk mengetahui kelainan kromosom (kanan).

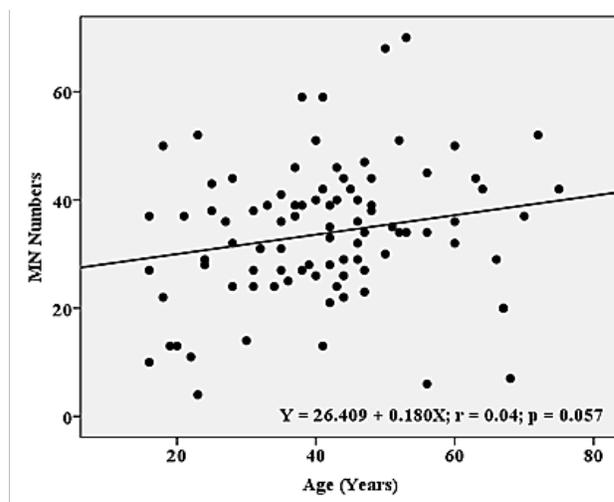


Gambar 4. Hasil pengamatan mikroskopis kromosom (biasa) (A), hasil uji kromosom translokasi dengan teknik FISH (B), disentrik (C) dan mikronuklei (D).

ini tidak hanya dapat digunakan untuk memperkirakan seberapa besar kerusakan sel, tetapi juga bagaimana bentuknya. Meskipun uji ini khusus digunakan untuk mengukur patahan DNA, dengan menggunakan endonuklease untuk lesi spesifik maka uji ini dapat digunakan untuk deteksi pirimidin dimer akibat paparan UV, basa teroksidasi dan kerusakan alkilasi. Kerusakan DNA juga akan menginduksi ekspresi sederet gen yang diperlukan untuk perbaikan DNA yang tetap mempertahankan struktur gen secara intak tetapi sekaligus memproduksi mutasi melalui perbaikan sel yang tidak tepat. Akumulasi mutasi tersebut akan mengarah ke transformasi keganasan sel. Jadi sel membuat sistem proteksi fase kedua untuk melindungi dari ancaman kanker melalui program bunuh diri sel yang ganas ini. Molekul penting yang menentukan tabiat sel adalah gen penekan tumor seperti *pRb* dan *p53*. Beberapa hasil pengamatan sitogenetik secara mikroskopis disajikan pada Gambar 3. Sedangkan hasil uji jumlah mikronuklei (Gambar 3D) yang juga merupakan biomarker paparan radiasi yang mudah dikenali dalam darah penduduk Mamuju yang bertambah dengan umur disajikan pada Gambar 4.

Perbaikan DNA merupakan proses biologik yang untuk memperbaiki kerusakan atau abnornalitas genom. Suatu DSB merupakan bentuk kerusakan DNA yang sangat bersifat sitotoksik, jika tidak dapat diperbaiki dapat menginisiasi ketidakstabilan genom, aberasi kromosom, mutasi dan bahkan menyebabkan terjadinya kanker. DSB yang terinduksi berbanding lurus dengan dosis radiasi, dengan

jumlah sekitar 20 – 40 tiap inti sel tiap 1 Gy paparan radiasi sinar-X atau sinar γ . Selain dari radiasi ionik hanya sedikit agen lingkungan yang dapat menginduksi DSB dalam jumlah yang bermakna. γ H2AX merupakan nukleosoma dari histon (protein yang mengikat DNA) yang berperan sebagai respon terhadap kerusakan DNA. Paparan radiasi ionik mencetuskan aktivasi yang tinggi signal kerusakan DNA yang spesifik dan terjadinya mekanisme perbaikan. Pada proses ini terjadi fosforilasi γ H2AX disekitar area DSB dengan membentuk foci γ H2AX dengan berupa domain kromatin yang besar mengelilingi DSB. Pembentukan γ H2AX ini dapat terjadi setelah paparan radiasi dari 1mGy dan jumlahnya meningkat secara liner seiring peningkatan dosis. Lebih jauh jumlah foci γ H2AX per inti sel sama dengan jumlah DSB yang terjadi pada sel.



Gambar 5. Hasil uji jumlah mikronuklei sebagai biomarker paparan radiasi dalam darah penduduk Mamuju yang bertambah dengan umur.

STUDI EPIDEMIOLOGI

Epidemiologi adalah cabang ilmu yang mempelajari dampak suatu besaran atau unsur-unsur tertentu terhadap kesehatan, yakni konsekuensinya, pada populasi tertentu. Epidemiologi juga didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang sifat, penyebab, pengendalian, dan faktor-faktor yang mempengaruhi frekuensi dan distribusi penyakit, kecacatan, dan kematian dalam populasi manusia. Hasil studi ini akan mengarah ke suatu tindakan yang didesain untuk memperbaiki kondisi kesehatan populasi tersebut. Studi ini terdiri dari pengamatan frekuensi dan distribusi suatu penyakit pada suatu populasi dan selama waktu yang telah ditentukan, menganalisa kasus yang ada atau kematian yang diakibatkannya, serta faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangannya. Dalam hal ini terjadi pada lingkungan radiasi alam yakni konsekuensi pada populasi di tempat tersebut, dengan mempertimbangkan kebiasaan hidupnya. Dalam studi epidemiologi ini diperlukan cabang ilmu yang lain seperti kedokteran, biokimia dan statistik.

Mengingat penduduk daerah Mamuju sepanjang hidupnya menerima paparan radiasi alam yang jauh lebih tinggi tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai besarnya dosis radiasi lingkungan yang diterima penduduk yang tinggal di daerah tersebut (dosis efektif) dan pemeriksaan fisik/kesehatan untuk mengetahui penyakit yang diderita oleh penduduk, pemeriksaan sitogenetik dan kelainan DNA. Tingkat radiasi alam yang tinggi termasuk radon *indoor* di daerah Mamuju selain desa Botteng adalah desa Takandeang, Kecamatan Tapalang. Penelitian yang lebih mendalam untuk mengetahui dosis radiasi yang diterima penduduk desa Takandeang diperlukan sebagai data masukan untuk studi epidemiologi.

Hasil penelitian di BATAN selama 3 tahun terakhir berupa data riset dosis efektif dan efek sitogenetik pada masyarakat akibat paparan radiasi alam tinggi. Data ini dapat digunakan sebagai data dasar dalam mengkaji dampak radiasi alam terhadap kesehatan penduduk yang

merupakan data masukan dalam studi epidemiologi di masa mendatang. Data ini bermanfaat bagi masyarakat Kabupaten Mamuju untuk memperoleh status terkini tentang kondisi dosis radiasi di daerahnya. Selain itu dari hasil penelitian ini, Pemerintah Kabupaten Mamuju juga dapat melakukan tindakan yang tepat dalam melakukan perencanaan pembangunan wilayahnya khususnya dalam menangani penduduk yang tinggal di daerah radiasi alam tinggi. Kementerian Kesehatan juga dapat memanfaatkan data dosis ini sebagai data dasar dalam mengkaji status kesehatan penduduk Kabupaten Mamuju dalam hubungannya dengan paparan radiasi alam yang tinggi.

Secara umum, kegiatan ini penting untuk dilaksanakan dan memiliki manfaat yang besar bagi masyarakat dan juga beberapa pemangku kepentingan di tingkat nasional (Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan Kementerian Kesehatan) dan tingkat internasional (UNSCEAR). Dari aspek keselamatan radiasi lingkungan, data yang diperoleh dari masyarakat Mamuju akan bermanfaat untuk menginisiasi studi epidemiologi dengan skala yang lebih besar, jangka waktu yang lebih lama, komprehensif, dan terintegrasi dengan melibatkan peran aktif Kementerian Kesehatan, dan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat risiko kanker pada masyarakat Indonesia akibat paparan radiasi alam. Selain itu data ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mengkaji apakah perlu dilakukan kebijakan dan ketentuan terkait aspek proteksi dan keselamatan radiasi terhadap penduduk yang berdomisili di daerah dengan tingkat radiasi alam yang tinggi.

Beberapa studi epidemiologi telah mengkaji hubungan antara paparan radiasi alam dan munculnya penyakit seperti leukemia. Seperti yang dilakukan di Denmark oleh Raaschau-Nelsen dkk tahun 2008 yang menemukan tidak adanya hubungan tersebut. Peneliti lain yakni Tao dkk menguji kematian pada 31.604 penduduk di China berumur antara 30-74 tahun selama tahun 1979 hingga 1998. Sebanyak 6005 kematian (956 diantaranya karena kanker) telah dipelajari, dan mereka menyimpulkan tidak ada hubungan yang

nyata antara kematian akibat kanker dengan dosis gamma kumulatif di desa dengan paparan radiasi alam tinggi. Sedangkan Nair dll mengkaji kejadian kanker (dari catatan kanker) di antara 69.958 penduduk di India berumur antara 30-84 tahun sejak 1990 hingga 2005 dimana lebih dari 70.000 laju dosis gamma telah tercatat dan 1379 kasus kanker (30 diantaranya leukemia) dan ditemukan tidak ada hubungan yang nyata antara dosis radiasi dan kanker.

Studi lain oleh Raschou dkk dan oleh Evrard dkk menemukan korelasi positif antara paparan radiasi dari radon dengan leukemia pada anak-anak, sedangkan di Inggris berbagai macam studi komprehensif tidak memberikan bukti hubungan positif antara leukemia dan paparan sinar gamma atau radon. Thampi dan Hayata masing-masing melakukan studi epidemiologi skala besar di daerah dengan radiasi alam tinggi terhadap kesehatan penduduk di India dan in China dengan disain radioekologik. Studi ini meninjau risiko kanker, secara menyeluruh (semua jenis kanker) maupun jenis kanker tertentu berbasis data kematian atau data insiden. Beberapa studi juga meninjau risiko penyakit non-kanker atau kelainan/malformasi/cacat lahir. Hasil studi tersebut menunjukkan tidak adanya penambahan risiko di daerah radiasi alam tinggi dibandingkan populasi kontrol. Studi di Yangjiang, China tahun 2005 menunjukkan penambahan secara nyata kematian bukan karena kanker, seperti penyakit serebro-vaskuler, tuberculosis, infeksi virus, dan penyakit pada sistem pencernaan, tetapi hasilnya perlu diulas dengan hati-hati karena banyak factornya. Studi lain di China mengamati lebih tingginya sindrom Down di daerah dengan paparan radiasi lam tinggi dibandingkan daerah kontrol, namun hasil ini didasarkan pada jumlah kasus yang terbatas dan juga banyak faktor yang mempengaruhinya yang tidak dapat dikendalikan.

PENUTUP

Pemantauan radiasi lingkungan memegang peranan yang sangat penting dalam usaha meningkatkan keselamatan penduduk umum dan

memperbaiki serta menyempurnakan prosedur proteksi radiasi yang digunakan. Agar program pemantauan ini dapat berjalan dengan baik, efektif dan ekonomis, maka perlu disusun program pemantauan radiasi lingkungan secara rutin dan berkelanjutan disesuaikan dengan jenis kegiatan dan potensi bahaya radiasi.

Pengamatan langsung dan studi efek radiobiologik dan epidemiologi radiasi pengion dari *naturally occurring radioactive materials* (NORM) pada manusia, terutama di area dengan NORM yang tinggi menjadi perhatian utama akan proteksi radiasi. Studi semi-epidemiologik sederhana dengan jumlah responden yang sangat terbatas telah dilakukan untuk mengevaluasi efek kesehatan NORM di Mamuju. Studi paparan radiasi alam terhadap manusia menemui beberapa masalah dan mereka berpendapat bahwa studi yang demikian tidak akan memberikan jawaban yang memuaskan, meskipun di bawah kondisi terbaik. Keterbatasan studi ini antara lain tidak adanya catatan statistik penyakit, terutama laju kejadian kanker organ spesifik, dll. Studi populasi yang tinggal di daerah dengan radiasi alam tinggi memberikan peluang untuk mengkaji efek paparan jangka panjang akan laju dosis sangat rendah. Akan tetapi kekuatan studi ini harus dikaji secara tepat dan cukup besar untuk dapat memperoleh bukti risiko radiasi yang berarti, jika tidak maka interpretasinya akan sulit.

Dengan demikian Mamuju merupakan laboratorium alamiah yang luas yang dapat dijadikan sebagai area atau tempat mempelajari efek pajanan radiasi jangka panjang atau pajanan yang bersifat kronik. Manfaat studi atau pembelajaran ini adalah untuk memberikan dasar bagi pengembangan langkah-langkah pengendalian dan prosedur pencegahan bagi kelompok dan populasi yang berisiko di Mamuju, dan untuk pengembangan langkah-langkah dan kegiatan kesehatan masyarakat yang diperlukan, yang kesemuanya akan digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan langkah-langkah, kegiatan, dan program intervensi.

DAFTAR PUSTAKA

ALATAS, Z. et al., Respon sitogenetik penduduk daerah

- radiasi alam tinggi di Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 13(1), 13–26, 2012.
- ANONIM, Kabupaten Mamuju dalam Angka 2016, Badan Pusat Statistik Kabupaten Mamuju, 2016.
- BRENNER, exposure to HBRA pose many problems, and several researchers have generally concluded that such studies are unlikely to provide definitive answers, even under the best of circumstances.
- DRUZHININ, V.G., SINITSKY, M.Y., LARIONOV, A.V., et al, Assessing the level of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes in long-term resident children under conditions of high exposure to radon and its decay products, *Mutagenesis*, 1–7, 2015.
- EVARD, A.S., HEMON, D., BILLON, S., et al, Ecological association between indoor radon concentration and childhood leukaemia incidence in France, 1990–1998. *Eur J Cancer Prev.* 14, 147–157, 2005.
- HALL, E.J., GIACCIA, A.J., 2010. *Radiobiology for the radiologist*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- HAYATA, I., WANG, C., ZHANG, W., et al, Effect of high level natural radiation on chromosomes of residents in southern China. *Cytogenetics Genome Research* 104, 237–239, 2004.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Cytogenetic analysis for radiation dose assessment*. A manual series No. 405, Vienna: IAEA, 2001.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies*, International Atomic Energy Agency, Austria, 2011.
- ISKANDAR, D., SYARBAINI, KUSDIANA, et al., Map of Environmental Gamma Dose Rate of Indonesian. PTKMR-BATAN, Unpublished (2007).
- KURNIA, I. DARLINA, RAHARDJO, T., dkk, Study of γ -H2AX as DNA double strand break biomarker in resident living in high natural radiation area of Mamuju, West Sulawesi, *Journal of Environmental Radioactivity*, 171, 212–216, 2017.
- MORTAZAVI, S.M.J., MOZDARANI, H. Is it time to shed some light on the black box of health policies regarding the inhabitants of the high background radiation areas of Ramsar? *Iran. J. Radiat. Res.*, 10, 111–116, 2012.
- PUDJADI, E., WAHYUDI, WARSONA, A. dan SYARBAINI. Measurement of indoor radon-thoron concentration in dwellings of Bali Island, Indonesia. *Proceeding the 2nd International Conference on the Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation (SERIR2) & 14th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association*. Bali. 13 Oktober 2016.
- RAHAJENG, N., PURNAMI, S., SUFIVAN, V.A. dan SYAIFUDIN, M., Preliminary study on the health and physical condition of residences in area with high level of natural radiation in Botteng Village, Mamuju, West Sulawesi, *Proceeding National Seminar on Nuclear Science and Technology*, Bandung, 3 December 2015.
- RAASCHOU-NIELSEN, O., ANDERSEN, C.E., ANDERSEN, H.P., et al. Domestic radon and childhood cancer in Denmark. *Epidemiology*, 19, 536–543, 2008.
- STEPHEN, G., PRESSL, S., KOSHPESOVA G.K. and GUESUV, I.B. Analysis of FISH painted chromosomes in individual living near Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Radiation Research* 155, 796–800, 2001.
- SUKADANA, I.G., INDRAMSTOMO, F.D., SYAEFUL, H., Geology and radionuclide ratio mapping for radioactive mineral exploration in Mamuju, West Sulawesi, *Prosiding Sem-Nas Teknologi Energi Nuklir 2015*, Bali, 15-16 Oktober 2015, 140-147.
- SYAEFUL, H., SUKADANA, I.G. & SUMARYANTO, A., Radiometric mapping for naturally occurring radioactive materials (NORM) assessment in Mamuju, West Sulawesi. *Atom Indonesia*, 40(1), 33–39, 2014.
- SYAIFUDIN, M., *Biologi Radiasi: Dasar-dasar dan Aplikasi*, Batan Press, Jakarta, 2016.
- SYAIFUDIN, M. dan LUSIYANTI, Y., Urgensi studi efek sitogenetik pada penduduk yang tinggal di daerah dengan paparan radiasi alam tinggi, *Prosiding Sem-Nas Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan IX*, Jakarta, 19 Juni 2014, 203-214.
- THAMPI, M.V., CHERIYAN, V.D., JAIKRISHAN, G., 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* 1276, 8–12, 2005.
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR) *UNSCEAR 2006 Report Annex A Epidemiological Studies of Radiation and Cancer*. United Nations; New York, 13–322, 2008.
- ZHOU, J., TAO, Z., SUN, Q., AKIBA, S., ZHA, Y., Cancer and non-cancer epidemiological study in the high background radiation area of Yangjiang China. In: Sugahara T, Sasaki Y, Morishima H, Hayata I, Sohrabi M, Akiba S, editors. *High levels of natural radiation and radon areas: radiation dose and health effects*. Amsterdam: Elsevier; pp. 97–101, 2005.