

PERKIRAAN DOSIS RADIASI YANG DITERIMA PUBLIK DI PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

Assessment of Radiation Dose Received by the Members of the Public in Bangka Belitung Islands Province

Syarbaini¹, Dadong Iskandar¹, Kusdiana¹

¹Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Email : sarbaini@batan.go.id

Diterima: 14 September 2015 ; Direvisi: 21 Oktober 2015 ; Disetujui: 9 Desember 2015

ABSTRACT

Bangka and Belitung Islands is known to have the geological potential of mineral resources, especially tin along with its accessory minerals which are distributed in almost all land and sea regions. Besides tin, tin mining activities in Bangka Belitung produces a by-product containing radioactive substances which have a risk as one of factor that can affect on the health of publics members. A major contribution of the radiation dose to the publics health comes from natural radionuclides of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in accessory minerals of tin core. The aim of this study was to estimate the total annual radiation dose received by the cmembers of the public in Bangka-Belitung through external and internal exposure. Estimation of external dose was based on the concentration of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in the soil and gamma exposure rate direct measurement in public houses. While the internal dose was estimated based on intake of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K by ingestion of foodstuffs that were consumed by public of Bangka - Belitung (vegetables, seeds, tubers, fruits, fishes and drinking water). Internal dose also estimated from the inhalation of radon (²²²Rn) and thoron (²²⁰Rn) inside the house. The annual effective external doses of outdoor and indoor ranged between 0,05 to 11,55 mSv (mean=1,17 mSv) and 0,15 to 2,10 mSv (mean=0,69 mSv) per year respectively. The annual effective internal doses by ingestion of foodstuffs and drinking water and inhalation of radon and thoron gases were 0,20 mSv, 0,76 mSv and 2,32 respectively. So that the total annual effective doses received by the member of the public in Bangka-Belitung through external and internal exposure was 5.14 mSv. In conclusion, the members of the public in Bangka – Belitung islands received higher dose of radiation than the worldwide average value for normal areas.

Keywords : *Natural radionuclides, external and internal dose, annual dose, Bangka-Belitung*

ABSTRAK

Kepulauan Bangka - Belitung mempunyai potensi geologi sebagai sumber mineral khususnya timah beserta mineral ikutannya yang terdistribusi hampir di seluruh wilayah daratan dan lautan. Kegiatan penambangan timah di Kepulauan Bangka-Belitung, disamping menghasilkan timah juga memberikan mineral ikutan yang mengandung zat radioaktif yang dapat menjadi salah satu faktor yang berpengaruh bagi kesehatan masyarakat (publik). Radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K adalah radionuklida alam primordial yang dominan terkandung dalam mineral ikutan bijih timah sehingga berpotensi memberikan kontribusi dosis radiasi terhadap publik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan dosis efektif total tahunan yang diterima publik di Kepulauan Bangka-Belitung melalui jalur paparan eksternal dan internal. Dosis eksternal diperkirakan berdasarkan konsentrasi ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K dalam tanah dan pengukuran langsung paparan radiasi gamma di dalam rumah. Sedangkan dosis internal diperkirakan berdasarkan masukan ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K melalui bahan makanan yang dikonsumsi oleh masyarakat Kepulauan Bangka – Belitung (sayur-sayuran, biji-bijian, umbi-umbian, buah-buahan, ikan dan air minum) serta inhalasi gas radon (²²²Rn) dan toron (²²⁰Rn) di dalam rumah. Dosis efektif eksternal (*outdoor*) berkisar dari 0,05 sampai 11,55 mSv (rata-rata=1,17 mSv/tahun) dan *indoor* berkisar dari 0,15 sampai 2,10 mSv (rata-rata=0,69 mSv/tahun). Dosis efektif internal melalui ingesti bahan makanan, air minum dan inhalasi gas radon-toron berturut-turut 0,20 mSv; 0,76 mSv dan 2,32 mSv/tahun sehingga total dosis efektif yang diterima publik melalui paparan eksternal dan internal per tahun menjadi 5,14 mSv. Dari hasil studi ini dapat disimpulkan bahwa dosis yang diterima publik Kepulauan Bangka-Belitung lebih tinggi dari nilai rata-rata lingkungan latar normal dunia.

Kata Kunci : Radionuklida alam, dosis eksternal dan internal, total dosis tahunan, Bangka Belitung

PENDAHULUAN

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung terkenal dengan potensi geologinya sebagai sumber mineral khususnya timah beserta mineral ikutannya seperti monasit, zirkon, xenotim, ilmenit, magnetite dan pyrite yang terdistribusi hampir di seluruh wilayah. Disamping itu juga ada beberapa mineral lain seperti pasir kuarsa, kaolin, granit, tanah liat dan batuan gunung. Kepulauan Bangka-Belitung merupakan bagian Jalur Timah Asia Tenggara (*The South East Tin Belt*), yaitu jalur timah terkaya di dunia yang membentang mulai dari selatan China, Thailand, Myanmar, Malaysia sampai Indonesia (Schwartz, 1995). Di wilayah Indonesia jalur ini mulai dari Kepulauan Karimun, Singkep sampai Bangka dan Belitung. Oleh sebab itu sektor pertambangan memang merupakan sektor andalan di Provinsi Bangka-Belitung. Hampir di seluruh wilayah Bangka-Belitung terdapat bahan tambang dengan cadangan yang relatif masih besar.

Kegiatan penambangan timah merupakan mata pencaharian bagi kehidupan masyarakat di provinsi Bangka-Belitung, yang telah berlangsung sejak jaman kolonial. Komoditi timah merupakan penggerak utama pertumbuhan ekonomi di Provinsi Bangka-Belitung dan merupakan tulang punggung perekonomian masyarakat. Akhir-akhir ini kegiatan penambangan timah semakin meningkat, tidak hanya di darat tetapi sudah bergeser ke lepas pantai, termasuk di kawasan hutan lindung dan hutan produksi serta laut. Terlebih lagi sejak maraknya pertumbuhan para penambang rakyat yang sifatnya ilegal yang biasanya disebut Tambang Inkonvensional (TI) dan cenderung mengabaikan pengelolaan hasil samping pertambangan yang dapat mencemari lingkungan. Keberadaan timah di Bangka - Belitung tidak hanya memberikan pengaruh ekonomi terhadap kehidupan masyarakat akan tetapi juga memberikan pengaruh terhadap kerusakan lingkungan yang dapat mengancam kehidupan masyarakat di masa depan. Kerusakan ini tidak terjadi hanya di darat tetapi juga di laut. Di darat banyak ditemukan lobang-lobang bekas galian tambang timah (kolong) berisi air yang

berpotensi mengandung logam berat dan unsur radioaktif alamiah yang dapat mencemari ekosistem sekitarnya.

Meningkatnya kegiatan penambangan timah seiring dengan tingkat kepadatan penduduk Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang terus meningkat sepanjang tahun. Provinsi Kepulauan Bangka Belitung memiliki jumlah penduduk sebanyak 1.261.737 jiwa pada tahun 2011. Tingkat pertumbuhan penduduk Provinsi Kepulauan Bangka Belitung tahun 2000-2010 sebesar 3,14 persen dan kepadatan penduduk tahun 2011 mencapai 77 orang per km². Persentase distribusi penduduk menurut kabupaten/kota bervariasi dari yang terendah di Kabupaten Belitung Timur hingga yang tertinggi di Kabupaten Bangka (www.babelprov.go.id, 2015).

Timah di alam tidak ditemukan dalam unsur bebas melainkan diperoleh dalam bentuk bersenyawa dengan unsur-unsur lain yaitu dalam mineral cassiterite. Mineral cassiterite merupakan mineral oksida dari timah (SnO₂), dengan kandungan timah berkisar 78%. Sedangkan Mineral ikutan yang menyertai bijih timah adalah monasit, xenotim, ilmenit, zirkon, pirit dan lain-lain. Mineral ikutan timah ditemui mengandung radionuklida alam yang cukup tinggi khususnya radionuklida alam primordial deret U, deret Th dan ⁴⁰K. Radionuklida alam primordial mempunyai umur paro milyaran tahun sebanding dengan umur bumi. Uranium-238 mempunyai umur paro 4,5 x 10⁹ tahun, ²³²Th berumur paro 1,4 x 10¹⁰ tahun dan ⁴⁰K berumur paro 1,277 x 10⁹ tahun. Uranium-238 dan ²³²Th dalam proses peluruhannya menghasilkan berbagai macam anak luruh dengan umur paro dari orde detik sampai ribuan tahun yang dikelompokkan ke dalam deret uranium dan deret thorium.

Kegiatan pengolahan dan pemurnian bahan tambang (mineral) untuk memperoleh konsentrat, akan menghasilkan produk samping yang dapat menyebabkan terkonsentrasinya radionuklida alam. Produk samping sisa hasil pengolahan dan pemurnian mineral timah seperti zirkon, ilmenit, rutil, monasit, xenotim mengandung radionuklida alam dengan konsentrasi tinggi

(UNSCEAR, 1993). Untuk memperoleh timah dibutuhkan sejumlah besar bahan baku yang harus ditambang sehingga akan menghasilkan tailing yang juga cukup besar. Oleh karena itu kegiatan penambangan timah dan pemrosesannya memberikan kontribusi meningkatnya distribusi radionuklida alam di lingkungan seperti di tanah permukaan dan produk pangan sebagaimana yang telah dilaporkan dari hasil studi sebelum ini (Syarbaini, 2014; Syarbaini 2015a,b). Disamping itu penambangan timah dan pemrosesan mineral ikutannya tidak hanya berpotensi memberikan kontaminasi

radioaktif di tanah dan bahan makanan, akan tetapi juga berpotensi meningkatkan paparan radiasi gamma lingkungan (Syarbaini,2015c). Tujuan dari studi ini adalah untuk memperkirakan dosis radiasi efektif tahunan yang diterima publik Provinsi Bangka Belitung baik melalui jalur eksternal maupun jalur internal dan untuk memperoleh *baseline* data tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan Bangka Belitung agar peningkatan tingkat radiasi dan radioaktivitas di lingkungan di Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung di masa depan dapat diketahui.



Gambar 1. Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

BAHAN DAN CARA

Penetapan titik pengambilan contoh tanah dilakukan dengan metode *systematic random sampling* dengan sistim grid (IAEA, 2004). Koordinat titik sampling ditentukan menggunakan GPS Map 60CHx buatan Garmin. Sampel diambil setelah terlebih dahulu permukaan tanah dibersihkan dari rumput-rumputan dan bahan-bahan organik yang sudah mati. Tanah disampling sampai kedalaman 20 cm dari permukaan sebanyak 2 – 3 kg, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik, diberi label dan dikirim ke laboratorium.

Di laboratorium, contoh tanah dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C sampai beratnya konstan untuk menghilangkan uap air. Setelah kering, sampel digerus dan kemudian diayak dengan saringan ukuran mesh 2 mm untuk

memisahkan bahan-bahan organik, batu-batuan dan lain-lain. Selanjutnya contoh tanah yang sudah dihomogenkan dimasukkan ke dalam beker marinelli 1 liter. Selanjutnya beker di lem/seal dengan sempurna untuk mencegah terlepasnya gas radon dan toron. Biarkan selama paling kurang 4 minggu sampai terbentuknya kesetimbangan sekuler antara radionuklida induk berumur panjang (^{226}Ra dan ^{232}Th) dengan anak luruhnya yang berumur pendek sebelum dilakukan pengukuran.

Pengambilan dan analisis contoh Makanan dan air minum

Contoh yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis-jenis tanaman pangan dan ikan yang pada umumnya dikonsumsi oleh masyarakat di Bangka Belitung. Contoh tanaman pangan sayur-

sayuran, buah-buahan dan umbi-umbian diperoleh langsung dari perkebunan petani lokal dan yang dijual di pasar lokal. Demikian juga jenis-jenis ikan diperoleh dari nelayan dan pasar ikan lokal. Di laboratorium, contoh-contoh tanaman pangan dan ikan tersebut dibersihkan. Contoh tanaman pangan dipotong-potong dan dikeringkan dalam suhu kamar sampai beratnya konstan, kemudian ditimbang dan diabukan pada suhu 450 °C. Contoh ikan dipisahkan daging dengan tulangnya, kemudian daging dipotong-potong, ditimbang dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C. Selanjutnya diabukan dalam muffle furnace pada suhu 350-400 °C (IAEA, 1989 ; Tahir, 2010). Untuk contoh air minum, diambil air sumur penduduk sebanyak 20 liter, kemudian dipreparasi secara evaporasi pada temperatur tidak terlalu tinggi dengan perlahan hingga mencapai volume 1000 ml, lalu dimasukkan ke dalam beker marinelli. Biarkan selama paling kurang 4 minggu sampai terbentuknya kesetimbangan sekuler antara radionuklida induk berumur panjang (^{226}Ra dan ^{232}Th) dengan anak luruhnya yang berumur pendek sebelum dilakukan pengukuran.

Pengukuran konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K

Pengukuran konsentrasi radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam contoh tanah, tanaman pangan, ikan dan air sumur dilakukan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HPGe buatan ORTEC tipe-P coaxial. Efisiensi relatif detektor 60 % dan resolusi pada puncak energi 1,33 keV adalah 1,95 keV. Spektrum sinar gamma yang diperoleh pada pencacahan contoh disimpan dan dianalisis dengan perangkat lunak ORTEC *Vission-32 Gamma Spectrum Analysis*. Detektor ditempatkan di dalam perisai Pb silindris dengan ketebalan 10,1 cm, diameter dalam 28 cm dan tinggi 40 cm. Perisai Pb dilapisi dengan beberapa lapisan yaitu timah dan tembaga dengan ketebalan masing-masingnya 0,5 dan 1,6 mm.

Sistim spektrometer gamma dikalibrasi menggunakan sumber standar gamma campuran bersertifikat internasional dan *reference materials* buatan IAEA yang

mempunyai geometri sama dengan contoh yang akan diukur. Pengukuran dilakukan dalam ruang cacah bawah tanah. Contoh dan latar dicacah selama 17 jam. Cacahan latar digunakan untuk mengoreksi hasil pengukuran radionuklida yang diukur. Untuk jaminan kualitas pengukuran, laboratorium selalu ikut program interkomparasi baik tingkat nasional maupun internasional.

Konsentrasi ^{226}Ra ditentukan berdasarkan puncak energi gamma 352 keV dari ^{214}Pb dan 609,31 keV dari ^{214}Bi . Konsentrasi ^{232}Th ditentukan berdasarkan puncak energi gamma 238,6 keV dari ^{212}Pb , 911,2 dan 969 keV dari ^{228}Ac serta 583 keV dari ^{208}Tl . Sedangkan ^{40}K ditentukan berdasarkan puncak energi gamma 1460,83 keV.

Konsentrasi aktivitas (A) ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K (Bq kg^{-1}) dalam contoh ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$A = \frac{N_e}{\varepsilon_f P_\gamma t_c M} \quad (7)$$

dengan; N_e = cacahan bersih puncak pada energi E, ε_f = Efisiensi cacahan detektor pada energi E, P_γ = probabilitas emisi radiasi gamma (gamma yield) pada energi E, t_c = waktu cacahan sampel, dan M = berat/volume contoh (kg atau L).

Pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) dan paparan gamma indoor

Pengukuran konsentrasi gas radon dan toron di ruangan dalam rumah penduduk menggunakan metode dosimeter radon-toron pasif dengan detektor jejak nuklir CR-39 yang peka terhadap partikel-partikel alfa yang dipancarkan oleh gas radon dan toron beserta anak luruhnya (IAEA, 2013). Dosimeter ini digantung menggunakan tali di ruang keluarga dan kamar tidur masing-masing satu dan diatur letak dosimeter berada di tengah-tengah, pada ketinggian sekitar 3 m dari lantai, bergantung dari keadaan ruangan. Setelah tiga bulan dosimeter tersebut diambil dan di bawa ke laboratorium untuk diproses lebih lanjut. Detektor film CR-39 yang telah

kena radiasi partikel alfa selama tiga bulan di keluarkan dari dosimeter dan dilakukan pengecekan. Jejak nuklir yang terkena radiasi alfa yang dipancarkan oleh gas radon dan toron dibaca menggunakan mikroskop dengan perbesaran 400 kali (Kumar A., 2014).

Pengukuran laju dosis radiasi gamma di dalam rumah, dilakukan secara langsung menggunakan survei meter Exploranium Model GR-130 buatan Kanada. Pengukuran dilakukan pada ketinggian 20 dan 100 cm dari lantai rumah. Jarak minimum dari dinding kamar/rumah 100 cm. Hasil pengukuran laju dosis kemudian dirata-ratakan untuk mengetahui tingkat laju dosis rata-rata selama pengukuran (Hazrati, S., 2010, Jibiri, N.N. 2013).

HASIL

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida alam ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K di dalam tanah Pulau Bangka dan Belitung disajikan berturut-turut pada tabel 1 dan 2. Konsentrasi aktivitas ²²⁶Ra di dalam tanah Pulau Bangka berkisar dari 16,8 ± 1,3 sampai 543,8 ± 36,3 Bqkg⁻¹ dan Pulau Belitung dari 4,8 ± 0,7 sampai 258,1 ± 15,7 Bqkg⁻¹ dengan rata-rata masing-masing 83,8 Bqkg⁻¹ dan 60,87 Bqkg⁻¹. Konsentrasi aktivitas ²³²Th

berkisar dari 21,3 ± 1,6 sampai 2170,3 ± 65,2 Bqkg⁻¹ di dalam tanah Pulau Bangka dan 7,3 ± 0,3 sampai 742,1 ± 43,6 Bqkg⁻¹ di dalam tanah Pulau Belitung dengan rata-rata masing-masing 244,3 Bqkg⁻¹ dan 160,94 Bqkg⁻¹. Konsentrasi aktivitas ⁴⁰K berkisar dari 14,4 ± 2,4 sampai 191,3 ± 13,5 Bqkg⁻¹ di dalam tanah Pulau Bangka dan 5,3 ± 1,9 sampai 367,9 ± 21,3 Bqkg⁻¹ di dalam tanah Pulau Belitung dengan rata-rata masing-masing 55,10 Bqkg⁻¹ dan 84,96 Bqkg⁻¹.

Dosis serap radiasi gamma pada ketinggian 1 m di atas permukaan tanah yang dihitung berdasarkan konsentrasi radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K di dalam tanah bervariasi dalam kisaran dari 25,7 sampai 1569 nGyh⁻¹ dengan rata-rata 189 nGyh⁻¹ untuk Pulau Bangka dan dari 7,40 sampai 527 nGyh⁻¹ dengan rata-rata 129 nGyh⁻¹ untuk Pulau Belitung. Dosis efektif tahunan yang diterima masyarakat dari paparan radiasi gamma selama di luar rumah (*outdoor*), berkisar dari 0,19 sampai 11,55 mSv th⁻¹ dengan nilai rata-rata 1,39 mSv th⁻¹ untuk Bangka dan 0,05 – 3,87 mSv th⁻¹ dengan nilai rata-rata 0,94 mSv th⁻¹ untuk Belitung. Rata-rata dosis efektif yang diterima masyarakat dari paparan radiasi gamma selama di luar rumah (*outdoor*) menjadi 1,17 mSv per tahun.

Tabel 1. Konsentrasi ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K dalam tanah Pulau Bangka

No. Contoh	Konsentrasi (Bq kg ⁻¹)			Dosis serap per jam (nGy.j ⁻¹)	Dosis efektif per tahun (mSv.th ⁻¹)
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
1	39,0 ± 2,6	75,7 ± 2,1	103,8 ± 6,4	68,1	0,50
2	26,2 ± 2,0	21,3 ± 1,6	14,4 ± 2,4	25,6	0,19
3	16,8 ± 1,3	28,0 ± 0,9	31,9 ± 2,3	26,0	0,19
4	116,3 ± 7,2	219,7 ± 5,9	23,2 ± 2,7	187,4	1,38
5	136,4 ± 8,5	601,2 ± 33,3	67,6 ± 7,1	429,0	3,16
6	29,5 ± 2,1	62,5 ± 1,8	48,0 ± 3,3	53,4	0,39
7	143,7 ± 9,0	377,4 ± 10,2	34,3 ± 3,3	295,8	2,18
8	80,6 ± 5,1	252,6 ± 6,8	45,7 ± 3,5	191,7	1,41
9	76,7 ± 5,1	231,0 ± 6,6	57,4 ± 4,1	177,3	1,31
10	63,0 ± 4,1	151,7 ± 4,2	29,4 ± 2,6	122,0	0,90
11	23,0 ± 1,6	44,3 ± 1,3	48,8 ± 3,3	39,4	0,29
12	543,8 ± 36,3	2170 ± 65,2	169,1 ± 11,6	1569	11,55
13	118,4 ± 7,4	510,8 ± 13,6	46,7 ± 4,0	365,2	2,69
14	91,2 ± 5,9	109,0 ± 6,4	17,1 ± 3,4	108,7	0,80
15	54,5 ± 3,6	115,0 ± 0,5	34,7 ± 4,0	96,1	0,71
16	64,4 ± 4,3	155,0 ± 4,3	30,7 ± 2,7	124,7	0,92
17	43,2 ± 3,8	77,8 ± 5,2	191,3 ± 14	74,9	0,55
18	46,0 ± 3,1	97,4 ± 2,7	54,1 ± 3,7	82,3	0,61
19	42,1 ± 2,9	123,6 ± 3,4	85,3 ± 5,5	97,7	0,72

20	99,6 ± 6,9	158,9 ± 4,6	71,0 ± 6,2	144,9	1,07
21	115,2 ± 7,3	206,8 ± 11,6	63,1 ± 6,4	180,8	1,33
22	25,4 ± 1,9	81,4 ± 2,3	48,2 ± 3,3	62,9	0,46
Lanjutan Tabel 1. Konsentrasi ²²⁶ Ra, ²³² Th dan ⁴⁰ K dalam tanah Pulau Bangka					
No. Contoh	Konsentrasi (Bq kg ⁻¹)			Dosis serap per jam (nGy.j ⁻¹)	Dosis efektif per tahun (mSv.th ⁻¹)
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
23	29,2 ± 2,0	59,0 ± 1,7	19,1 ± 1,9	49,9	0,37
24	22,9 ± 1,7	33,2 ± 1,0	45,7 ± 3,1	32,5	0,24
25	61,6 ± 4,1	230,6 ± 13,8	53,4 ± 4,2	170,0	1,25
26	139,6 ± 8,5	412,7 ± 10,7	59,6 ± 4,6	316,3	2,33
27	66,3 ± 4,3	159,7 ± 4,3	30,9 ± 2,7	128,4	0,94
28	32,0 ± 2,2	73,2 ± 2,1	19,0 ± 1,8	59,8	0,44
Rentang	16,8 – 544	21,3 – 2170	14,4 – 191	25,57 – 1569	0,19 – 11,55
Rata-rata	83,8	244	55,1	189	1,39

Konsentrasi radionuklida alam ²²⁶Ra, ²³²Th, dan ⁴⁰K di dalam sayur-sayuran, buah-buahan, umbi-umbian dan ikan yang disampling dari Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung ditampilkan pada tabel 3 dan 4. Seperti yang terlihat dalam tabel bahwa konsentrasi radionuklida ²²⁶Ra dalam semua jenis tanaman pangan tersebut bervariasi dari 2,69 ± 0,51 Bq/Kg (kangkung) sampai 12,18 ± 2,63 Bq/Kg (daun singkong). Konsentrasi radionuklida alam ²³²Th terdistribusi dari 8,20 ± 1,09 Bq/Kg (kangkung) sampai 46,00 ± 3,53 Bq/Kg (nangka). Konsentrasi ⁴⁰K berkisar antara 40,12 ± 3,81 Bq/Kg (mentimun) sampai 125,23 ± 11,80 Bq/Kg (kangkung).

Hasil analisis 9 jenis ikan untuk penentuan konsentrasi radionuklida alam ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K, terlihat bahwa tingkat

maksimum konsentrasi ²²⁶Ra adalah 11,11 ± 1,44 Bq/kg yang ditemukan dalam ikan Nila, sedangkan tingkat minimum yaitu di bawah limit deteksi (< 0.01) ditemukan dalam ikan bandeng. Th-232 terdeteksi dalam semua jenis ikan dengan nilai maksimum 44,62 ± 4,41 Bq/kg dalam ikan nila sedangkan nilai minimum 0,23 ± 0,05 Bq/kg dalam ikan kakap merah. Radionuklida ⁴⁰K ditemukan dalam semua jenis ikan, yang terdistribusi dari tingkat rendah ke tingkat tinggi. Konsentrasi tertinggi adalah 90,84 ± 8,61 Bq/kg, yaitu di dalam kepiting, diikuti oleh bandeng dan udang dengan nilai berturut-turut 64,58 ± 6,20 Bq/kg dan 57,60 ± 5,57 Bq/kg. Konsentrasi terendah adalah 15,02 ± 1,45 Bq/kg dan 20,97 ± 2,01 Bq/kg, yang ditemukan berturut-turut dalam kerang dan lele.

Tabel 2. Konsentrasi ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K dalam Tanah Pulau Belitung

No. Contoh	Konsentrasi (Bq kg ⁻¹)			Dosis serap per jam (nGy.j ⁻¹)	Dosis efektif per tahun (mSv.th ⁻¹)
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
1	109,5 ± 7,5	742 ± 43,6	56,3 ± 7,1	501,2	3,69
2	71,8 ± 4,7	90,9 ± 2,6	36,6 ± 2,8	89,6	0,66
3	22,1 ± 1,6	43,2 ± 1,3	140,1 ± 8,6	42,2	0,31
4	57,6 ± 3,7	94,0 ± 2,6	178,4 ± 10,6	90,8	0,67
5	41,5 ± 2,8	76,3 ± 2,2	47,0 ± 3,3	67,2	0,49
6	68,3 ± 4,5	212,0 ± 6,0	40,9 ± 3,2	161,3	1,19
7	4,8 ± 0,7	8,7 ± 0,8	5,3 ± 1,9	7,69	0,06
8	18,8 ± 1,7	45,4 ± 3,2	65,4 ± 4,9	38,8	0,29
9	33,1 ± 2,3	73,5 ± 2,1	81,1 ± 5,2	63,1	0,46
10	34,6 ± 2,3	67,0 ± 1,9	137,9 ± 8,4	62,2	0,46
11	10,7 ± 0,9	18,4 ± 0,6	106,6 ± 6,6	20,5	0,15
12	101,5 ± 6,3	328,4 ± 19,1	32,5 ± 3,6	246,6	1,81
13	169,3 ± 10,6	555,7 ± 32,9	37,4 ± 3,7	415,4	3,06
14	55,6 ± 3,8	185,4 ± 5,2	22,7 ± 2,2	138,6	1,02
15	5,8 ± 0,6	7,3 ± 0,3	7,4 ± 0,9	7,40	0,05
16	46,8 ± 3,1	99,6 ± 2,8	15,3 ± 1,7	82,42	0,61

No. Contoh	Konsentrasi (Bq kg ⁻¹)			Dosis serap per jam (nGy.j ⁻¹)	Dosis efektif per tahun (mSv.th ⁻¹)
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
17	80,1 ± 5,0	196,5 ± 11,5	367,9 ± 21,3	171,0	1,26
18	18,3 ± 1,4	41,6 ± 1,2	49,3 ± 3,3	35,64	0,26
19	89,5 ± 5,7	188,2 ± 5,1	28,2 ± 2,6	156,2	1,15
Lanjutan Tabel 2. Konsentrasi ²²⁶ Ra, ²³² Th dan ⁴⁰ K dalam Tanah Pulau Belitung					
20	36,6 ± 2,9	100,4 ± 6,4	345,5 ± 21,1	92,0	0,68
21	25,9 ± 2,0	35,7 ± 2,3	65,6 ± 4,8	36,3	0,27
22	49,3 ± 3,6	102,5 ± 6,4	95,3 ± 7,1	88,7	0,65
23	27,9 ± 2,0	46,0 ± 1,3	72,7 ± 4,7	43,7	0,32
24	46,2 ± 3,1	119,6 ± 7,2	77,4 ± 5,0	96,8	0,71
25	46,0 ± 3,2	115,6 ± 9,0	77,1 ± 4,1	94,3	0,69
26	53,4 ± 3,5	78,1 ± 4,8	26,1 ± 2,2	72,9	0,54
27	258,1 ± 15,7	653,8 ± 38,0	298,0 ± 17,6	527	3,87
28	27,9 ± 2,0	46,0 ± 1,3	72,7 ± 4,7	43,7	0,32
29	178,2 ± 11,0	376,7 ± 10,2	94,2 ± 6,5	313,8	2,31
30	194,8 ± 12,2	492,8 ± 28,7	37,2 ± 5,4	389,2	2,86
31	34,2 ± 2,4	95,0 ± 2,5	252,2 ± 14,5	83,7	0,62
32	15,9 ± 1,2	17,0 ± 0,6	18,5 ± 1,6	18,4	0,14
33	12,5 ± 1,9	20,0 ± 2,0	6,7 ± 5,0	18,1	0,13
34	12,8 ± 1,0	11,9 ± 0,4	16,0 ± 1,4	13,8	0,10
35	85,1 ± 5,9	308,9 ± 18,2	31,6 ± 4,4	227,2	1,67
36	46,8 ± 3,1	99,6 ± 2,8	15,3 ± 1,7	82,4	0,61
Rentang	4,8 – 258	7,3 – 742	5,3 – 368	7,40 – 527	0,05 – 3,87
Rata-rata	60,87	161	84,96	129	0,94

Berdasarkan konsentrasi radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K dalam sayur-sayuran, buah-buahan, umbi-umbian dan ikan, dihitung jumlah intake radionuklida ke dalam tubuh menggunakan pola konsumsi makanan masyarakat Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung terhadap sayur-sayuran, buah-buahan, umbi-umbian dan ikan berdasarkan data laporan BPS (Anonim, 2013). Terlihat dari tabel 3 dan 4 bahwa total intake masing-masing radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K melalui sayur-sayuran, buah-buahan, dan umbi-umbian berturut-turut adalah 157,6 Bq; 493,4 Bq dan 1697 Bq per tahun. Total intake masing-masing radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K melalui biota ikan adalah 32,44 Bq, 140,4 Bq dan 368,3 Bq per-tahun.

Berdasarkan intake dan koefisien konversi dosis masing-masing radionuklida tersebut (ICRP, 2012), dihitung dosis efektif tahunan internal yang diterima tubuh dari intake radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K melalui sayur-sayuran, buah-buahan, umbi-umbian dan ikan. Terlihat dari tabel 3 dan 4 bahwa total dosis efektif yang diterima publik dari masing-masing radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K melalui sayur-sayuran, buah-buahan, dan umbi-umbian berturut-

turut adalah 44,13 µSv, 108,6 µSv dan 10,51 µSv per tahun. Total dosis efektif yang diterima publik dari masing-masing radionuklida ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K melalui biota ikan adalah 9,09 µSv, 30,89 µSv dan 2,29 µSv per tahun.

Total dosis efektif yang diterima publik Bangka Belitung melalui rantai makanan bahan pangan sayur-sayuran, buah-buahan, dan umbi-umbian yang tumbuh di wilayah Provinsi Bangka Belitung menjadi 0,16 mSv per tahun. Total dosis efektif yang diterima publik Bangka Belitung melalui konsumsi ikan yang ditangkap di wilayah Provinsi Bangka Belitung menjadi 0,04 mSv per tahun.

Kemudian dalam tabel 5, disajikan hasil pengukuran konsentrasi ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K dalam air sumur penduduk. Konsentrasi ²²⁶Ra berkisar dari 0,63 – 1,76 Bq/L dengan rata-rata 1,27 Bq/L. Konsentrasi ²³²Th berkisar dari 1,01 – 4 Bq/L dengan rata-rata 2,69 Bq/L dan dari 0,1 – 1,06 dengan rata-rata 0,68 Bq/L untuk ⁴⁰K. Bila konsumsi air minum masyarakat usia dewasa rata-rata 2,2 liter per orang per hari maka dosis efektif yang diterima publik berdasarkan konsentrasi

radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam air minum adalah 286 μSv , 475 μSv dan 3,43 μSv per tahun sehingga total dosis yang diterima masyarakat melalui air minum menjadi 764 $\mu\text{Sv}/\text{th}$ atau 0,76 mSv per-tahun.

Hasil pengukuran secara langsung (in situ) laju dosis gamma di dalam rumah-rumah penduduk di Kepulauan Bangka dan Belitung disajikan pada tabel 6 dan 7. Nilai yang ditampilkan adalah nilai rata-rata untuk beberapa rumah dari beberapa lokasi pengukuran. Berdasarkan pengukuran langsung, rata-rata dosis efektif yang diterima penduduk dari radiasi gamma di dalam rumah (*indoor*) menjadi 0,75 mSv/tahun untuk Bangka dan 0,62 mSv/tahun untuk Pulau Belitung. Rata-rata dosis efektif yang diterima penduduk dari radiasi gamma di dalam rumah (*indoor*) di wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung menjadi 0,69 mSv per-tahun.

Hasil pengukuran konsentrasi gas radon dan toron dengan dosimeter pasif yang disimpan di dalam rumah-rumah penduduk selama 3 (tiga) bulan berturut-turut, ditampilkan pada tabel 6 dan 7. Nilai yang ditampilkan yaitu nilai rata-rata untuk beberapa rumah dari beberapa lokasi pengukuran. Rata-rata konsentrasi gas radon dan toron di dalam rumah di Pulau Bangka adalah 48,35 dan 52,02 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Rata-rata konsentrasi gas radon dan toron di dalam rumah di Pulau Belitung adalah 46,02 dan 42,34 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Berdasarkan konsentrasi gas radon dan toron di dalam rumah, dihitung dosis efektif yang diterima masyarakat dari inhalasi gas radon dan toron tersebut untuk Pulau Bangka dan Belitung. Rata-rata dosis efektif yang diterima masyarakat dari inhalasi gas radon dan toron di pulau Bangka adalah 1,22 mSv

dan 1,26 mSv per tahun. Rata-rata dosis efektif yang diterima masyarakat dari inhalasi gas radon dan toron di pulau Belitung adalah 1,16 mSv dan 1,00 mSv per tahun. Total dosis efektif yang diterima masyarakat dari inhalasi gas radon dan toron untuk Pulau Bangka dan Belitung menjadi 2,48 dan 2,16 mSv per tahun. Dengan demikian rata-rata dosis efektif yang diterima masyarakat Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dari inhalasi gas radon dan toron adalah 2,32 mSv per tahun.

PEMBAHASAN

Pada tabel 1 dan 2, terlihat bahwa pada umumnya konsentrasi radionuklida alam di dalam tanah pulau Bangka relatif lebih tinggi dari Pulau Belitung. Tingginya nilai konsentrasi radionuklida alam di dalam tanah Pulau Bangka berkaitan dengan perbedaan pola pembentukan mineral di kedua pulau ini (Schwartz, 1995). Adapun yang melatarbelakangi perbedaan pola penyebaran endapan mineral di kedua pulau ini adalah faktor geologi atau proses terbentuknya ke dua pulau ini yang berbeda. Pada zaman tersier dan kuartar, Pulau Bangka berada pada ketinggian yang tinggi di atas muka air laut, sehingga pelapukan dan erosi batuan disini berlangsung sangat intensif. Hal ini menyebabkan terbentuknya cebakan timah sekunder di banyak tempat baik di daratan maupun di daerah lautan. Berbeda dengan Pulau Belitung yang terjadi adalah sebaliknya. Pada zaman tersier dan kuartar, Pulau Belitung berada pada elevasi rendah dari muka air laut sehingga proses pelapukan dan erosi oleh air laut tidak terlalu intensif sehingga proses pembentukan endapan sekunder tidak seintensif di Bangka.

Tabel 3. Konsentrasi ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K sayuran, buah-buahan dan umbi-umbian serta dosis efektif tahunan

Jenis Sampel	Pola konsumsi (Kg/th)	²²⁶ Ra			²³² Th			⁴⁰ K		
		Konsentrasi (Bq/kg berat-segar)	Intake (Bq/th)	Dosis efektif (µSv/th)	Konsentrasi (Bq/kg berat-segar)	Intake (Bq/th)	Dosis efektif (µSv/th)	Konsentrasi (Bq/kg berat-segar)	Intake (Bq/th)	Dosis efektif (µSv/th)
Sayur-sayuran										
Bayam	3,80	7,47 ± 0,50	28,39	7,95	19,91 ± 2,72	75,66	16,65	69,80 ± 6,59	265	1,64
Kangkung	4,47	2,69 ± 0,51	12,02	3,37	8,20 ± 1,09	36,65	8,06	125,23 ± 11,80	560	3,47
Sawi hijau	1,46	2,77 ± 0,65	4,04	1,13	8,82 ± 1,18	12,88	2,83	110,56 ± 10,42	161	1,00
Kacang	2,76	11,35 ± 1,62	31,33	8,77	26,37 ± 3,96	72,78	16,01	64,31 ± 6,12	178	1,10
Mentimun	1,56	9,55 ± 1,20	14,90	4,17	18,95 ± 2,15	29,56	6,50	40,12 ± 3,81	62,6	0,39
Daun singkong	2,65	12,18 ± 2,63	32,28	9,04	39,19 ± 1,31	103,9	22,85	42,81 ± 10,19	113,5	0,70
Buah-buahan										
Nangka	1,20	10,85 ± 1,18	13,02	3,65	46,00 ± 3,53	55,20	12,14	65,83 ± 3,93	79,0	0,49
Pisang	1,61	5,45 ± 1,48	8,77	2,46	18,60 ± 3,29	29,95	6,59	85,27 ± 8,04	137,3	0,85
Umbi-umbian										
Singkong	3,48	3,68 ± 0,80	12,81	3,59	22,10 ± 2,70	76,91	16,92	40,40 ± 5,79	140,6	0,87
Total			157,6	44,13		493,4	108,6		1697	10,51

Tabel 4. Konsentrasi ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K biota (ikan) serta dosis efektif tahunan

Jenis Sampel	Pola konsumsi (Kg/th)	²²⁶ Ra			²³² Th			⁴⁰ K		
		Konsentrasi (Bq/kg berat-segar)	Intake (Bq/th)	Dosis efektif (µSv/th)	Konsentrasi (Bq/kg berat-segar)	Intake (Bq/th)	Dosis efektif (µSv/th)	Konsentrasi (Bq/kg berat-segar)	Intake (Bq/th)	Dosis efektif (µSv/th)
Ekor kuning	0,36	0,80 ± 0,11	0,29	0,08	0,46 ± 0,10	0,17	0,04	38,83 ± 3,89	14,98	0,09
Kembung	0,16	0,36 ± 0,01	0,06	0,02	0,74 ± 0,14	0,12	0,03	45,24 ± 12,10	7,24	0,05
Bandeng	1,14	< 0,01	-	-	17,81 ± 4,21	20,30	4,47	64,58 ± 6,20	73,62	0,46
Nila	1,25	11,11 ± 1,44	13,89	3,89	44,62 ± 4,41	55,78	12,27	36,48 ± 3,51	45,60	0,28
Lele	1,09	3,81 ± 0,71	4,15	1,16	2,81 ± 0,64	3,06	0,67	20,97 ± 2,01	22,86	0,14
Kakap Merah	0,21	0,12 ± 0,01	0,03	0,01	0,23 ± 0,05	0,05	0,01	47,60 ± 5,57	10,00	0,06
Udang	3,28	4,27 ± 1,04	14,01	3,92	18,36 ± 2,32	60,22	13,25	57,60 ± 5,57	188,9	1,17
Kepiting lumpur	0,05	0,17 ± 0,05	0,01	0,002	8,06 ± 1,54	0,40	0,09	90,84 ± 8,61	4,54	0,03
Kerang	0,10	0,10 ± 0,01	0,01	0,003	2,50 ± 0,74	0,25	0,06	15,02 ± 1,45	1,50	0,01
Total			32,44	9,09		140,4	30,89		368,3	2,29

Tabel 5. Konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K air sumur serta dosis efektif tahunan

No. Sampel	^{226}Ra		^{232}Th		^{40}K	
	Konsentrasi (Bq/L)	Dosis efektif ($\mu\text{Sv/th}$)	Konsentrasi (Bq/L)	Dosis efektif ($\mu\text{Sv/th}$)	Konsentrasi (Bq/L)	Dosis efektif ($\mu\text{Sv/th}$)
AS1	$1,56 \pm 0,26$	351	$4,00 \pm 0,52$	707	$1,06 \pm 0,33$	5,36
AS2	$1,76 \pm 0,26$	396	$3,31 \pm 0,91$	585	$0,98 \pm 0,01$	4,96
AS3	$1,58 \pm 0,32$	355	$2,85 \pm 0,48$	504	$0,77 \pm 0,44$	3,90
AS4	$1,25 \pm 0,25$	281	$2,02 \pm 0,30$	357	$0,88 \pm 0,02$	4,45
AS5	$0,86 \pm 0,24$	193	$2,95 \pm 0,50$	521	$0,28 \pm 0,10$	1,42
AS6	$0,63 \pm 0,06$	142	$1,01 \pm 0,13$	178	$0,10 \pm 0,05$	0,51
Rata-rata	1,27	286	2,69	475	0,68	3,43

Tabel 6. Laju dosis gamma dan konsentrasi ²²²Rn serta ²²⁰Rn dalam rumah di Bangka

Lokasi	Jumlah Rumah	Laju dosis gamma eksternal		Konsentrasi (Bq.m ⁻³)		Dosis efektif (mSv.th ⁻¹)		Total ²²² Rn & ²²⁰ Rn (mSv.th ⁻¹)
		(nSv/jam)	(mSv.th ⁻¹)	²²² Rn	²²⁰ Rn	²²² Rn	²²⁰ Rn	
Sungai Iiat, Riau Siliup	8	116	0,82	52,56 ± 3,72	69,93 ± 4,87	1,32	1,74	3,06
Belinyu, Namang, Belitung	9	124	0,87	53,97 ± 3,83	66,15 ± 4,68	1,36	1,67	3,03
Koba, Lubuk Besar	8	99	0,69	50,99 ± 3,61	58,05 ± 3,47	1,28	1,24	2,52
Bukit Terap, Toboali	8	107	0,75	41,51 ± 2,94	50,39 ± 3,56	1,05	1,24	2,29
Air gegas, Nyilanding, Sebagian	7	131	0,92	56,32 ± 3,98	40,27 ± 2,85	1,42	1,07	2,49
Pulau Besar, Payung	6	71	0,50	60,04 ± 4,25	36,07 ± 2,55	1,51	0,61	2,12
Sungai Selan, Gerunggang	12	76	0,53	36,50 ± 2,58	31,68 ± 2,24	0,92	0,80	1,72
Mendo Barat, Pangkal Beras, Triup	8	107	0,75	47,77 ± 3,38	41,53 ± 2,94	1,2	1,05	2,25
Bakam, Kelapa	10	82	0,57	35,37 ± 2,50	30,84 ± 2,18	0,89	0,78	1,67
Parit III, Simp. Triup, Mentok	9	154	1,10	48,44 ± 3,42	95,33 ± 6,74	1,22	2,40	3,62
Rata-rata		107	0,75	48,35	52,02	1,22	1,26	2,48

Tabel 7. Laju dosis gamma dan konsentrasi ²²²Rn serta ²²⁰Rn dalam rumah di Belitung

Lokasi	Jumlah Rumah	Laju dosis gamma eksternal		Konsentrasi (Bq.m ⁻³)		Dosis efektif (mSv.th ⁻¹)		Total ²²² Rn & ²²⁰ Rn (mSv.th ⁻¹)
		(nSv/jam)	(mSv.th ⁻¹)	²²² Rn	²²⁰ Rn	²²² Rn	²²⁰ Rn	
Badau	17	90	0,63	29,55 ± 2,09	31,57 ± 2,19	0,74	0,80	1,54
Membalong	27	73	0,51	28,64 ± 2,03	31,21 ± 2,21	0,72	0,82	1,54
Tj. Pandan	10	122	0,86	49,50 ± 3,50	40,57 ± 2,87	1,25	1,02	2,27
Sijuk	10	131	0,92	63,22 ± 4,47	53,86 ± 3,81	1,59	1,36	2,95
Kjp. Kampit, Dendang	10	97	0,68	44,37 ± 3,14	65,14 ± 4,61	1,12	1,46	2,58
Sp. Pesak	7	75	0,53	58,16 ± 4,11	31,94 ± 2,26	1,47	0,80	2,27
Gantung, Sp. Ringan	8	55	0,38	39,81 ± 2,81	38,26 ± 2,71	1,01	0,76	1,78
Manggar	10	57	0,40	51,53 ± 3,64	30,71 ± 2,17	1,3	0,77	2,07
Damas, Renggang	9	90	0,63	49,39 ± 3,49	57,77 ± 4,09	1,24	1,18	2,42
Rata-rata		88	0,62	46,02	42,34	1,16	1,00	2,16

Akibatnya pembentukan cebakan sekunder di Belitung tidak seintensif seperti di pulau Bangka.

Bila dibandingkan dengan daerah-daerah pertambangan timah di negara lain seperti Nigeria dan Malaysia, tingkat konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam tanah Kepulauan Bangka Belitung dalam rentang

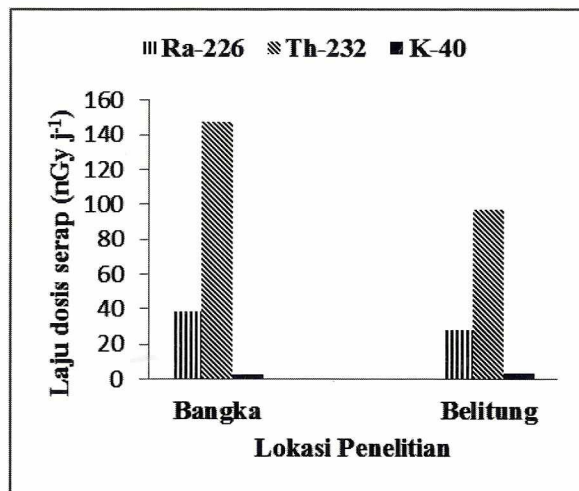
dan rata-rerata relatif lebih rendah seperti yang ditampilkan pada tabel 8. Akan tetapi lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai rata-rata dunia untuk tanah lingkungan normal yang dilaporkan oleh UNSCEAR 2000.

Tabel 8. Perbandingan konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K Tanah Bangka-Belitung dengan negara lain

Negara	Konsentrasi (Bq kg^{-1})			Pustaka
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Nigeria				
Bitsichi, Bukuru and Ropp	109-163	147-451	466-1062	(Jibiri dkk., 2007a)
Bitsichi	109 – 470,6	122,7 – 2189,5	BDL – 166,4	(Jibiri dkk., (2007b)
Malaysia				
Kg. Sg. Durian	32 – 554 (196)	64 – 1806 (628)	21 – 2522 (475)	(Ramli dkk., 2009)
Kinta	112	246	277	(Lee dkk., 2009)
Selama	178	353	296	(Ramli dkk., 2009)
Indonesia				
Bangka	16,8 – 544 (83,8)	21,3 – 2170 (244)	14,4 – 191 (55,1)	Penelitian ini
Belitung	4,8 – 258 (60,87)	7,3 – 742 (161)	5,3 – 368 (84,96)	
Rata-rata Dunia	33	45	420	(UNSCEAR, 2000)

Di antara ke tiga radionuklida alam yang terdeteksi di dalam tanah di pulau Bangka dan Belitung, ^{232}Th mempunyai nilai laju dosis serap rata-rata tertinggi seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Persentase

laju dosis eksternal dari ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K adalah berturut-turut 21 %, 77 % and 2 %. Hal ini menunjukkan bahwa kontributor utama paparan radiasi gamma eksternal di Bangka-Belitung adalah ^{232}Th .



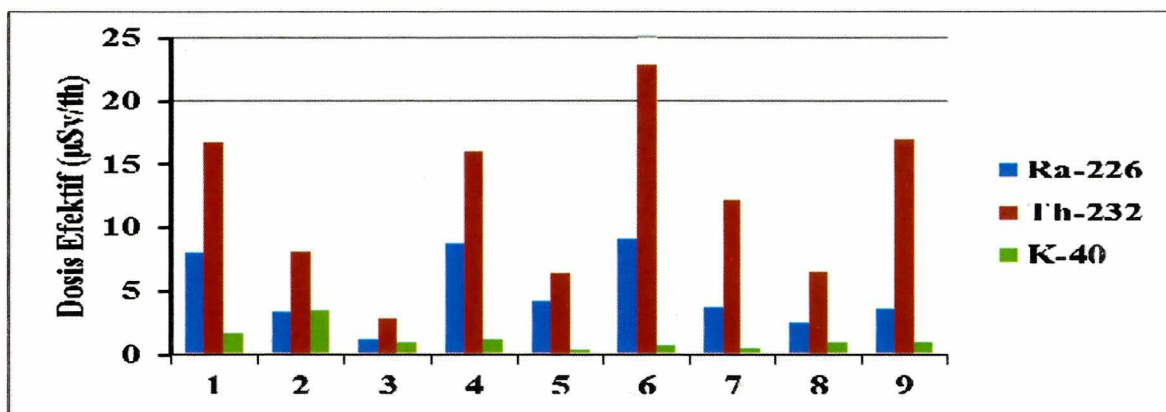
Gambar 2. Laju dosis serap rata-rata ^{226}Ra , ^{232}Th , dan ^{40}K di Pulau Bangka dan Belitung

Radionuklida ^{232}Th juga merupakan kontributor utama dosis efektif internal yang

diterima publik Bangka Belitung. Hal ini terlihat dari hasil perbandingan dosis efektif

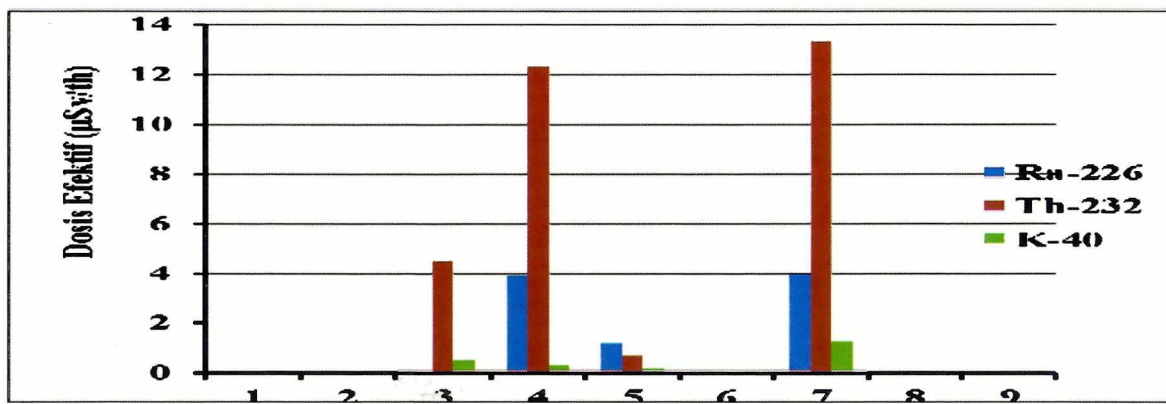
yang diterima publik dari intake radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K melalui sayur-sayuran, buah-buahan, umbi-umbian dan ikan seperti yang ditampilkan dalam Gambar 3 dan 4. Untuk jenis bahan tanaman pangan, jenis yang memberikan dosis efektif tertinggi adalah daun singkong, kacang panjang, bayam dan ubi singkong. Jenis biota ikan yang dominan memberikan dosis efektif adalah udang dan nila. Udang termasuk jenis ikan yang habitatnya di dasar air, pergerakannya tidak jauh dan sering kontak dengan sedimen sehingga menyerap

radionuklida alam yang terkandung di dalam sedimen lebih tinggi. Nila adalah jenis ikan air tawar yang hidup di sungai-sungai. Umumnya sungai-sungai menerima aliran limbah dari kegiatan penambangan timah yang kaya dengan radionuklida alam ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K . Kemungkinan sungai-sungai sudah terkontaminasi dengan radionuklida-radionuklida ini. Oleh karena itu radionuklida-radionuklida tersebut akan memasuki rantai makanan dalam sistim kehidupan akuatik sungai diantaranya ikan Nila (Jwanbot, 2012, Yusof, 2001).



- 1. Bayam
- 2. Kangkung
- 3. Sawi Hijau
- 4. Kacang panjang
- 5. Mentimun
- 6. Daun Singkong
- 7. Nangka
- 8. Pisang
- 9. Singkong

Gambar 3. Perbandingan dosis efektif dari tanaman pangan



- 1. Ekor kuning
- 2. Kembang
- 3. Bandeng
- 4. Nila
- 5. Lele
- 6. Kakap merah
- 7. Udang
- 8. Kepiting
- 9. Kerang

Gambar 4. Perbandingan dosis efektif dari biota ikan.

Kondisi rumah dan bahan konstruksi rumah di Bangka Belitung sangat mempengaruhi laju dosis gamma di dalamnya baik di ruang keluarga maupun

kamar tidur. Laju dosis gamma berkisar dari 50 sampai 300 nSv/jam di dalam rumah penduduk di Pulau Bangka dan 21 sampai 242 nSv/jam di Pulau Belitung. Namun bila

dirata-ratakan berdasarkan lokasi maka nilai laju dosis dalam rumah penduduk hampir merata seperti yang diperlihatkan pada tabel 6 dan 7.

Konsentrasi gas radon maupun gas toron di dalam rumah-rumah penduduk di Kepulauan Bangka Belitung juga bervariasi bergantung kepada kondisi rumah dan struktur bangunan. Di Pulau Bangka konsentrasi radon terendah 9,76 Bq/m³ dan tertinggi 84,21 Bq/m³. Sedangkan toron konsentrasi terendah 4,96 Bq/m³ dan tertinggi 202 Bq/m³. Di Pulau Belitung konsentrasi radon terendah 4,0 Bq/m³ dan tertinggi 98 Bq/m³. Sedangkan untuk toron konsentrasi terendah 5,0 Bq/m³ dan tertinggi 192 Bq/m³. Akan tetapi secara rata-rata konsentrasi radon dan toron di Bangka dan Belitung tidak terlalu bervariasi antara satu lokasi dengan yang lain seperti yang dapat dilihat pada tabel 6 dan 7. Konsentrasi radon

maupun toron yang tertinggi masih jauh lebih rendah, jika dibandingkan dengan nilai batas konsentrasi maksimum yang diizinkan (MPC), yaitu 200 Bq/m³ untuk konsentrasi gas radon dan 600 Bq/m³ untuk konsentrasi gas toron di dalam rumah (ICRP, 1999).

Berdasarkan hasil pengukuran dan perkiraan dosis efektif masing-masing jalur paparan yang diterima publik, pada tabel 9 disajikan total perkiraan dosis efektif baik dari paparan eksternal radiasi gamma di dalam dan luar rumah, maupun paparan internal dari rantai makanan dan inhalasi gas radon-toron di dalam rumah. Total dosis efektif yang diterima publik Provinsi Kepulauan Bangka Belitung adalah 5,14 mSv per tahun. Jalur paparan yang memberikan kontribusi terbesar adalah gas radon – toron, kemudian jalur rantai makanan (ingesi), setelah itu paparan radiasi gamma di luar dan di dalam rumah.

Tabel 9. Total dosis efektif yang diterima publik per tahun dari jalur eksternal dan internal

No	Jalur paparan	Rata-rata dosis efektif (msv/th)	Presentase kontribusi (%)
1	Paparan gamma eksternal di luar rumah	1,17	23
2	Paparan gamma eksternal di dalam rumah	0,69	13
3	Ingesi sayur-sayuran, ubi-ubian, dan buah-buahan	0,16	3
4	Ingesi biota ikan	0,04	1
5	Ingesi air minum	0,76	15
6	Inhalasi gas radon dan toron	2,32	45
Total dosis efektif tahunan		5,14	~ 100

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perkiraan dosis efektif yang diterima anggota masyarakat (publik) Provinsi Kepulauan Bangka Belitung telah dilakukan berdasarkan nilai konsentrasi dari radionuklida alam primordial ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K dalam komponen-komponen lingkungan yang disampling dari daerah Kepulauan Bangka Belitung seperti tanah permukaan, tanaman pangan, biota ikan, air minum serta pengukuran secara langsung (in-situ) laju dosis gamma di dalam rumah dan pengukuran konsentrasi radon (²²²Rn) dan (²²⁰Rn) toron secara kontinyu selama 3 (tiga) bulan di dalam rumah-rumah penduduk.

Dari hasil pengukuran yang diperoleh, radionuklida ²³²Th merupakan radionuklida yang paling tinggi memberikan kontribusi dosis efektif baik eksternal maupun internal, kemudian ²²⁶Ra dan terakhir ⁴⁰K. Hal ini menunjukkan bahwa ²³²Th adalah merupakan unsur utama dalam tanah dan batuan yang terdapat di Kepulauan Bangka Belitung. Jalur paparan yang paling dominan memberikan kontribusi dosis efektif kepada publik adalah inhalasi gas radon – toron di dalam rumah dan paparan radiasi gamma di luar dan dalam rumah.

Dari penelitian ini, ditemukan bahwa anggota masyarakat (publik) di Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung menerima dosis efektif total tahunan lebih tinggi dari nilai rata-rata lingkungan latar normal di dunia.

Saran

Perlu diberikan edukasi pada masyarakat bahwa kepulauan Bangka Belitung selain memiliki sumber daya alam timah, juga mengandung zat radioaktif alamiah yang berpotensi memberikan kontribusi dosis radiasi terhadap masyarakat. Mengingat yang paling dominan memberikan radiasi adalah gas radon, toron, dan paparan gamma di dalam rumah, maka sebaiknya diusahakan bahan yang digunakan untuk membangun rumah adalah bahan-bahan dengan kandungan radioaktif lebih rendah. Selain itu, rumah harus memiliki ventilasi yang bagus, sehingga gas radon dan toron dapat mengalir ke luar rumah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PTKMR BATAN yang telah mendukung terlaksananya kegiatan penelitian ini melalui anggaran penelitian PTKMR. Penulis juga tak lupa berterima kasih kepada semua pihak khususnya semua staf Bidang Radioekologi PTKMR BATAN yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2013) Ringkasan Eksekutif Pengeluaran dan Konsumsi Penduduk Indonesia, Survei Sosial Ekonomi Nasional, Berdasarkan Hasil Susenas September 2012, BPS, Jakarta.
- Hazrati, S., Sadeghi, H., Amani, M., Alizadeh, B., Fakhimi H. and Rahimzadeh, S. (2010) Assesment of Gamma Dose Rate in Indoor Environments in Selected District of Ardabil Province, Northwestern Iran, *International Journal of Occupational Hygiene*, 2 (1) pp. 42-45 <http://www.babelprov.go.id/content/kependudukan>, [akses 18 Agustus 2015]
- IAEA (1989) *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment*, Technical Reports Series No. 295, Vienna, Austria 22.
- IAEA (2004) *Soil Sampling for Environmental Contaminants*, IAEA-TECDOC-1415, Vienna, Austria.
- IAEA (2013) Review of Methodology and Measurement Technique, IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications No. IAEA/AQ/33, Viena.
- ICRP (1999) The System of Radiological Protection Revised Protection of the Public Against Prolonged Exposure, ICRP Publication 82, International Commission on Radiological Protection, New York.
- ICRP (2012) International Commission on Radiological Protection. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119, Elsevier Ltd.
- Jibiri, N. N., Farai, I. P (2007) Activity Concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Th and ^{40}K in Different Food Crops from a High Background Radiation Area in Bitsichi, Jos Plateau, Ngeria. *Radiation and Environmental Biophysics*, 46 pp. 53-59
- Jibiri, N. N., Farai, I. P., Alausa, S. K (2007) Estimation of Annual Effective Dose due to Natural Radioactive Elements in Ingestion of Foodstuffs in Tin Mining area of Jos-Plateau, Nigeria, *J. Environmental Radioactivity*, 94 pp. 31 – 40.
- Jibiri, N. N., Obarhua, S. T. U (2013) Indoor and Outdoor Gamma Dose Rate Exposure Levels in Major Commercial Building Material Distribution Outlets and Their Radiological Implications to Occupants in Ibadan, Nigeria, *Journal of Natural Sciences Research*, 3 (3) pp. 25-31
- Jwanbot, D. I., Izam, M. M. and Nyam, G. G (2012) Radioactivity in Some Food Crops from High Background Radiation Area on the Jos-Plateau, Nigeria, *Journal of Natural Science Research*, 2 (6) pp. 76 -78.
- Kumar, A., Chauhan, R. P (2014) Measurement of Indoor radon-thoron Concentration and radon soil gas in some North Indian dwellings, *J. Geochem. Exploration* 143 pp. 155 - 162
- Lee, S. K., Wagiran, H., Ramli, A. T., Apriantoro, N. H., Wood, A. K (2009) Radiological Monitoring : Terrestrial Natural Radionuclides in Kinta Distric, Perak, Malaysia, *Journal of Environmental Radioactivity* 100 pp. 368 – 374.
- Ramli, A.T., Apriantoro, N.H., Wagiran, H (2009) Assessment of Radiation Dose Rates in the High Terrestrial Gamma Radiation Area of Selama District, Perak, Malaysia *Applied Physics Research*, 1 pp. 45
- Ramli, A.T., Apriantoro, N.H., Wagiran, H., Lee, S.K. and Wood A.K (2009) Health Risk Implications of High Background Radiation Dose Rate in Kampung Sungai Durian, Kinta District, Perak, Malaysia. *Global Journal of Health Science*, 1, pp. 140
- Schwartz, M. O., Rajah, S. S., Askury, A. K., Putthapiban, P., Djaswadi, S., (1995) The Sotheast Asian Tin Belt, *Earth-Science, Reviews* 38 pp. 95 – 293.
- Syarbaini, Warsona A, Iskandar, D. (2014) Natural Radioactivity in Some Food Crops from Bangka-Belitung Islands, Indonesia, *Atom Indonesia*, 40 (1) pp. 27 – 32.
- Syarbaini, Kusdiana, Iskandar, D. (2015a) Concentration of Natural Radionuclides in Soil and Assessment of External Exposure to The Public in Bangka – Belitung Islands Indonesia, *International Journal of Sustainable Energy and Environment*, 3 (1), pp. 1 – 11.
- Syarbaini, Pudjadi, E. (2015b) Radon and Thoron Exhalation Rates from Surface Soil of Bangka-Belitung Islands, Indonesia,

- Indonesian Journal on Geoscience*, 2 (1) pp. 35-42
- Syarbaini, Setiawan, A. (2015c) Terrestrial Gamma Radiation Exposure in Bangka-Belitung Islands, Indonesia, *Atom Indonesia*, 41(1) pp. 10-15
- Tahir, S. N. A., Ayub, M. and Khan, M. Z (2010) Radiometric analysis of Samples of Domestic Fish species and Radiological Implications, *Health Physics*, 98 (5) pp. 741.
- UNSCEAR (1993) Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations publication, New York.
- UNSCEAR (2000) Sources and Effects of Ionizing Radiation, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, United Nations publication, New York.
- Yusof, A.M., Mahat, M.N., Omar, N., Wood, A.K.H (2001) Water quality studies in an aquatic environment of disused tin-mining pools and in drinking water, *Ecological Engineering* 16 pp. 405 – 414.