

Laju Dosis Radiasi Beragam Jenis Batuan di Wilayah Utara Pulau Bangka

Dose Rate of Various Types of Rocks in the Northern Bangka Island

Ronaldo Irzon¹, Kurnia¹, Asep Rohiman¹, Dida Yurnaldi¹, Aries Kusworo¹, dan Mamat Suhermat²

¹Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122, Jawa Barat, Indonesia

²Pusat Riset Kebencanaan Geologi BRIN, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135, Jawa Barat, Indonesia

e-mail: ronaldoirzon18@gmail.com

Naskah diterima 22 Juni 2022, selesai direvisi 10 November 2022, dan disetujui 5 Desember 2022

ABSTRAK

Radioaktivitas dapat terjadi secara alami maupun disebabkan oleh aktivitas manusia. Salah satu radioaktivitas alami terdapat pada batuan yang bergantung kepada jenis dan komposisinya. Studi ini bermaksud untuk menjelaskan laju dosis radiasi beberapa jenis batuan yang terdapat di wilayah Pulau Bangka bagian utara. Hasil studi ini dapat memberikan pemahaman kepada masyarakat mengenai risiko radioaktivitas terkait jenis material bahan bangunan. Perangkat Geiger-Müller counter tipe FH 40 G Multi-Purpose Digital Survey Meter dari Thermo digunakan untuk mengukur laju dosis radiasi batuan pada penelitian ini. Pengukuran pada setiap sampel dilakukan *in-situ* dengan setidaknya tiga kali pengukuran. Hasil pembacaan perangkat kemudian diolah secara statistik untuk mendapatkan hasil yang valid. Jenis batuan dengan laju dosis radiasi tertinggi hingga terendah pada studi ini adalah granit, sedimen tersilisifikasi, sedimen, dan diabas dengan rerata 466 nSv/h, 116 nSv/h, 90 nSv/h, dan 74 nSv/h secara berurutan. Dengan mengkolaborasi hasil penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa batuan granitik adalah bahan bangunan utama yang digunakan oleh masyarakat Pulau Bangka. Penelitian ini membuktikan bahwa batuan tersebut memiliki risiko radioaktif terbesar relatif terhadap jenis batuan lain di Pulau Bangka bagian utara.

Kata kunci: radioaktivitas, laju dosis radiasi, batuan, Bangka bagian utara

ABSTRACT

Radioactivities occur naturally or are triggered by human activities. A natural radioactivity can be found in rocks that depends on its type and composition. This study intends to explain the dose rate of several types of rocks outcropped in the northern region of Bangka Island. The result of this study provides public awareness regarding the risk of radioactivity of building materials. The Geiger-Müller counter type FH 40 G Multi-Purpose Digital Survey Meter from Thermo was used to measure the dose rate of rocks in this study. Measurements on each sample were carried out at least three times and statistically processed to obtain valid results. Rock types with the highest to lowest dose rate in this study are granite, silicified sediment, sediment, and diabase with an average of 466 nSv/h, 116 nSv/h, 90 nSv/h, and 74.33 nSv/h respectively. By collaborating the results of previous study, it can be concluded that granitic rock is the main building material. This study proves that the rock have the greatest radioactive risk relative to other rock types in the northern part of Bangka Island.

Keywords: radioactivity, dose rate, rocks, northern part of Bangka

PENDAHULUAN

Radioaktivitas didefinisikan sebagai kejadian terpancarnya radiasi secara spontan dari inti atom akibat ketidakstabilan nuklir. Inti atom yang tidak stabil tersebut serta merta terurai dan membentuk inti dengan tingkat kestabilan yang

lebih tinggi. Radioaktivitas alami merupakan proses yang terjadi dengan sendirinya di alam seperti pada tanah, tanaman, dan air (Thabayneh, 2013; Mykowska dan Hupka, 2014; Heikal dr., 2016; Abba dr., 2017). Di sisi lain, radioaktivitas buatan diakibatkan oleh aktivitas manusia.

Instalasi pembangkit nuklir, percobaan bom nuklir, tempat pembuangan limbah nuklir, dan kecelakaan nuklir adalah beberapa sumber radioaktivitas buatan (Manohar dr., 2013; Zhong dr., 2019). Unsur-unsur radioaktif diklasifikasikan dalam dua kelompok, yaitu radionuklida *terrestrial* dan *airborne*. Kelompok pertama sangat terkait dengan kondisi geologi, sedangkan kelompok kedua terbentuk melalui reaksi sinar kosmik dengan atmosfer (Mykowska dan Hupka, 2014; Wattanavatee dr., 2017; Zhong dr., 2019; Hanfi dr., 2021).

Tingkat radioaktivitas pada batuan perlu diketahui untuk memperkirakan dampak lingkungan yang dapat disebabkan dan menghindari elevasi radiasi berlebihan. Kanker dan leukemia merupakan penyakit yang sering dikorelasikan dengan radiasi (Sitorus dr., 2016; Ridho dr., 2018; Ugbede dan Osahon, 2021). Radioaktivitas terhadap manusia dapat dipengaruhi oleh faktor luar ruangan maupun dalam ruangan. Kondisi geologi di sekitar tempat tinggal manusia mempengaruhi radioaktivitas luar ruangan, sedangkan jenis bahan bangunan yang digunakan menjadi sumber radioaktivitas dalam ruangan (Manohar dr., 2013; Al-Azmi, 2016; Shala dr., 2016; Hanfi dr., 2021). Meskipun granit merupakan batuan yang banyak dimanfaatkan untuk bahan bangunan, batuan ini merupakan salah satu batuan beku dengan risiko radioaktivitas tinggi (Thabayneh, 2013; Adhitya dan Setiawan, 2016; Torres dr., 2018).

Pulau Bangka merupakan salah satu dari deretan pulau-pulau timah di Indonesia, selain Belitung, Kundur, dan Singkep. Mineralisasi timah di sana merupakan rangkaian dari Sabuk Timah Asia Tenggara dan berasosiasi dengan intrusi granit yang berumur Trias (Ng dr., 2017; Irzon, 2017; Irzon dr., 2021). Timah di Pulau Bangka bahkan sudah ditambang sejak sebelum kemerdekaan, yaitu sekitar abad ke-18 di Toboali (Erman, 2017; Irzon, 2021). Tiga perusahaan didirikan oleh pemerintah Hindia Belanda untuk menambang timah di

pulau-pulau timah tersebut yang kemudian dilebur menjadi PT Timah Tbk. Telah banyak penelitian yang membahas karakter geokimia dan geofisika batuan granit di Pulau Bangka (Ng dr., 2017; Zulfikar dr., 2020; Zglinicki dr., 2021; Irzon dr., 2022). Pulau tersebut tidak hanya terdiri atas granit, tapi juga batuan sedimen dan metamorfik. Namun, penelitian mengenai laju dosis radioaktivitas beragam batuan di Pulau Bangka belum dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menjelaskan nilai laju dosis radiasi beberapa jenis batuan yang terdapat di Pulau Bangka. Informasi mengenai laju dosis radiasi bermanfaat untuk memberi pemahaman bagi masyarakat mengenai risiko radioaktivitas dan pemilihan material bahan bangunan yang lebih aman bagi kesehatan.

Pulau Bangka berada di timur Pulau Sumatra pada koordinat 105°00' - 107°00' BT dan 1°20' - 03°20' LS. Kondisi geologi di Pulau Bangka terdeskripsikan dalam dua bagian, yaitu *Peta Geologi Lembar Bangka Utara* (Mangga dan Djamal, 1994) dan *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan* (Margono dr., 1995). Unit batuan yang terdapat di Pulau Bangka dari yang paling tua ke paling muda adalah Kompleks Malihan Pemali, Diabas Penyabung, Formasi Tanjunggenting, Granit Klabat, Formasi Rangan, dan Endapan Kuarter. Kompleks Malihan Pemali berumur Permo-Karbon dan terdiri atas filit, sekis, dan kuarsit. Unit batuan tersebut ditindih tidak selaras oleh Formasi Tanjunggenting yang berumur Trias. Diabas Penyabung menerobos Kompleks Malihan Pemali ketika Permian dan terdiri atas diabas yang terkekarkan dan tersesarkan. Diabas Penyabung hanya dapat dijumpai di barat Gunung Panyabung, Kabupaten Bangka Utara.

Intrusi Granit Klabat yang terdiri atas granit, granodiorit, adamelit, diorite, dan diorite kuarsa dimulai sejak Trias. Penelitian selanjutnya membagi Granit Klabat menjadi beberapa bagian berdasarkan lokasi singkapan dan umur radio-

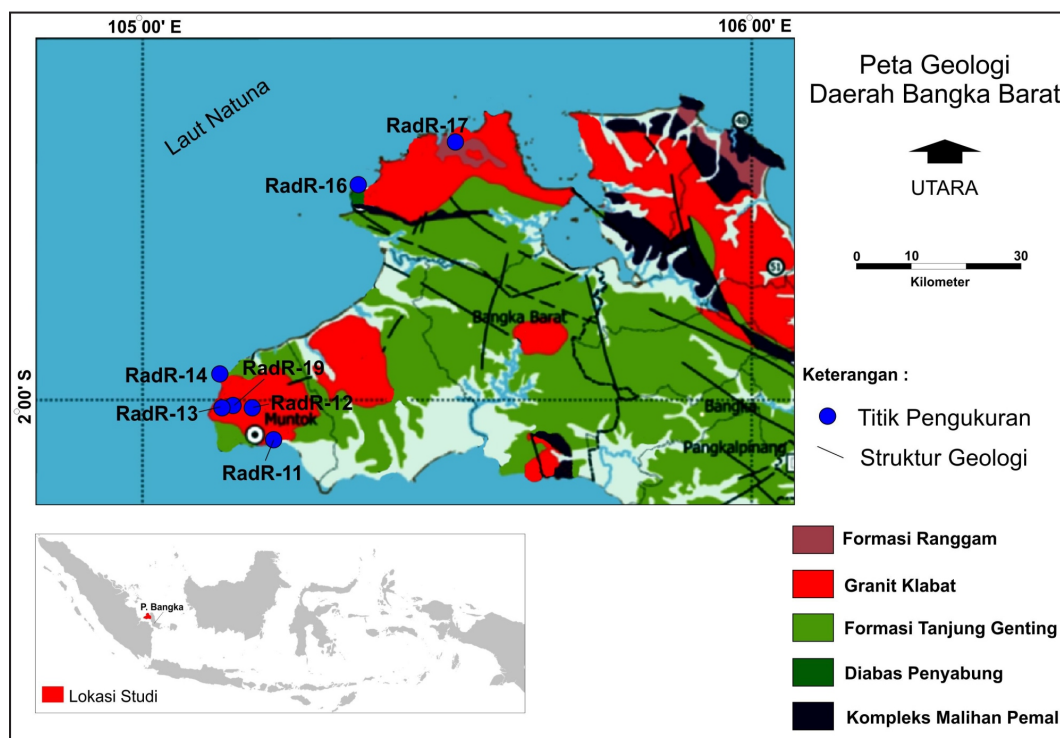
metrinya (Ng dr., 2017). Formasi Tanjunggenting tersedimentasi ketika Trias dan terbangun oleh perselingan batupasir, batulempung, dan batulempung tufan. Formasi Ranggam yang tersusun oleh perselingan batupasir, batulempung, dan konglomerat terendapkan sejak Zaman Tersier hingga permulaan Kuartar. Endapan Kuartar di Pulau Bangka diklasifikasikan menjadi dua unit batuan, yaitu Endapan Rawa, dan Aluvium. Kondisi geologi lokasi studi dapat diamati pada Gambar 1.

METODE PENELITIAN

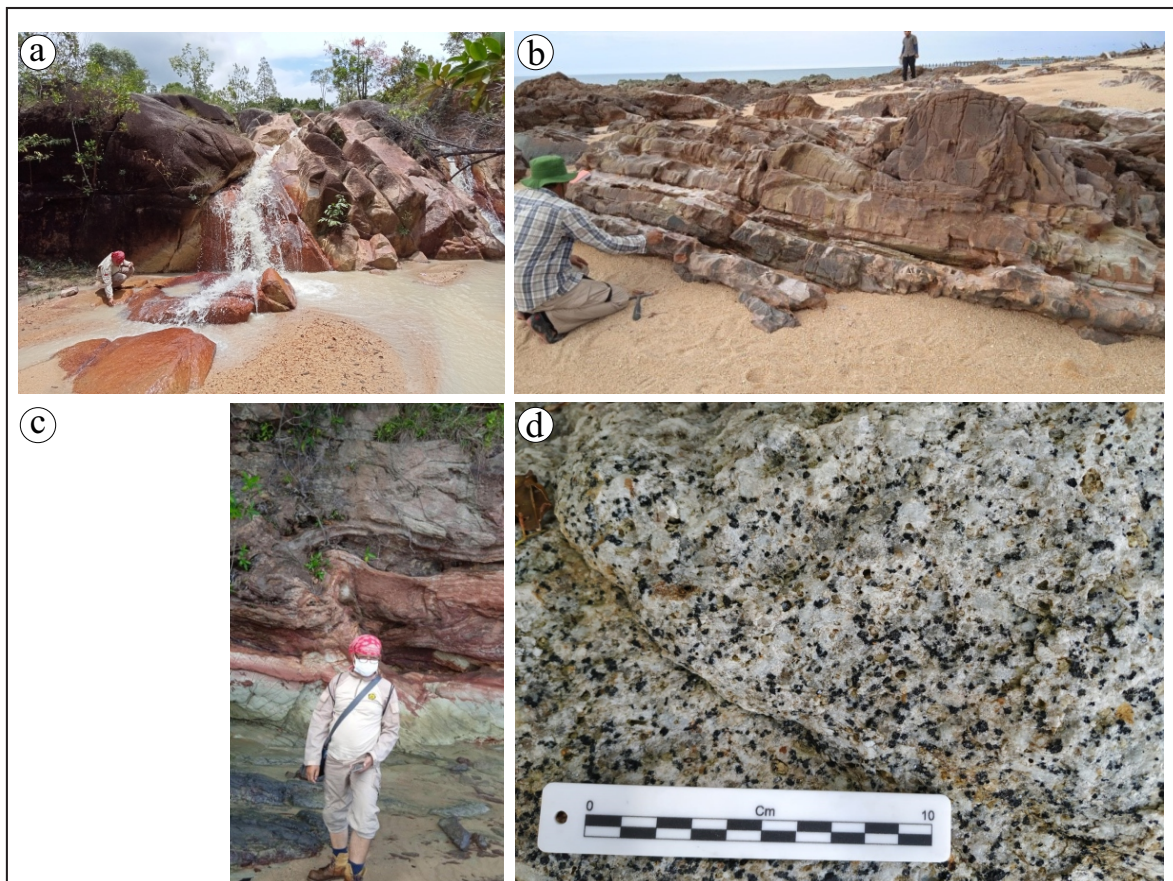
Sebanyak delapan sampel dari beberapa jenis batuan di wilayah Bangka bagian utara telah diukur laju dosis radiasinya. Sampel RadR-11 adalah batuan granit sedikit lapuk dan berbutir sedang dari Air Terjun Bukit Tani (Gambar 2a). Secara megaskopis sampel tersebut tersusun oleh kuarsa, K-felsfar, biotit, dan hornblende. Air di sekitar lokasi ini berwarna coklat keruh dengan pH antara 5 hingga 6. RadR-12 diam-

bil dari kaki Bukit Menumbing dengan warna lebih gelap dari RadR-11 karena jumlah mineral mafik yang lebih banyak. Granit berbutir sedang hingga kasar yang disusun oleh kuarsa, felsfar, biotit, hornblende adalah deskripsi RadR-13 dari Bukit Nibung. Laju dosis radiasi pada batuan granitik lainnya diukur pada granit segar di Batu Belimbing (RadR-18) yang berbutir sedang, keras, dan pejal.

Singkapan perselingan antara batu lempung pasiran dan batu pasir dapat dijumpai di Tanjung Pandang (Gambar 2b). Pada singkapan tersebut ditemukan sisipan mineral kehitan yang sejajar maupun memotong bidang perlapisan. Laju radiasi RadR-14 diukur pada lapisan batu lempung pasiran pada lokasi ini. Singkapan perlapisan batu lempung pasiran dan batu pasir yang hampir serupa dapat ditemukan di Pantai Bemban. Lokasi ini cukup menarik dengan dijumpainya *thrust fault* (Gambar 2c). RadR-16A merupakan laju dosis radiasi pada lapisan lempung pasiran yang tampak telah tersilisifikasi di Pantai Bemban, sedangkan



Gambar 1. Peta geologi wilayah Bangka bagian barat dan lokasi pengukuran dosis radiasi (modifikasi dari Mangga and Djamel, 1994).



Gambar 2. Kondisi lapangan ketika pengambilan sampel batuan: a) Granit dari Air Terjun Bukit Tani (RadR-11); b) Perlapisan sedimen di Tanjung Pandang (RadR-14); c) *thrust fault* di Pantai Bemban (RadR-16A); dan d) Granit di Pantai Jerangkat yang mengandung mineral mafik terbanyak dibandingkan dengan sampel granit lain pada studi ini (RadR-17B).

RadR-16B diukur pada sisipan coklat kehitaman yang diduga berisi mineral kaya besi dan mangan.

Bongkah-bongkah diabas yang dekat lokasi intrusi granit dapat diamati di Pantai Jerangkat. Diabas (RadR-17A) di sana berwarna hitam, pejal, dan disusun oleh mineral piroksen, hornblende, dan plagioklas felsfar. Pada sisi lain, granit di Pantai Jerangkat (RadR-17B) berwarna putih berbintik hitam, teralterasi, dan dengan mineral penyusun berupa kuarsa, K-felsfar, biotit, dan hornblende. Granit di lokasi ini mengandung mineral mafik paling banyak bila dibandingkan sampel batuan intrusi lain pada studi ini (Gambar 2d).

Laju dosis radiasi diukur langsung di lapangan tepat di atas jenis batuan yang ingin dipelajari menggunakan perangkat Geiger–Müller coun-

ter tipe FH 40 G *Multi-Purpose Digital Survey Meter* dari Thermo. Perangkat ini telah tersertifikasi oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional dengan bacaan minimum perangkat sebesar $58,74 \mu\text{Sv/h}$. Perangkat tipe ini dapat mengukur neutron, membaca kontaminasi alfa dan beta, dan mendeteksi radiasi gamma. Perangkat tersebut berdimensi kecil dan bisa digenggam dengan satu tangan sehingga mempermudah mobilitas ketika melakukan penelitian. Setelah perangkat dinyalakan, nilai pengukuran dapat langsung terbaca. Namun, angka pengukuran pada satu menit pertama dapat diabaikan untuk menunggu stabilitas pembacaan. Pencatatan dimulai setiap interval satu menit dan dicatat nilai reratanya. Penelitian ini mengambil setidaknya tiga kali rerata pembacaan sebagai batas minimal untuk mengetahui statistika pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan jenis singkapannya, pengukuran laju dosis radiasi dilakukan terhadap tiga kelompok batuan, yaitu granit, metasedimen, dan diabas. Menurut Ng drr. (2017) tiga lokasi singkapan granit, yaitu RadR-11, RadR-12, RadR-13 termasuk dalam fasies Pluton Menumbing, sedangkan RadR-17B belum dikelompokkan pada kelompok pluton tertentu (*unclassified pluton*). Nilai terendah dari laju dosis radiasi Pluton Menumbing adalah 455 nSV/h (RadR-12, data 2), sedangkan yang tertinggi adalah 588 nSV/h (RadR-11, data 1). Nilai rerata laju dosis radiasi stasiun RadR-11, RadR-12, RadR-13 adalah 558 nSV/h, 460 nSV/h, dan 493 nSV/h, secara berurutan. Secara keseluruhan, rerata pengukuran dari ketiga stasiun pada wilayah Pluton Menumbing berkategori tinggi, yaitu 503,77 nSV/h. Laju dosis radiasi pada satu-satunya sampel granit yang bukan anggota Pluton Menumbing terdeteksi lebih rendah dengan rerata 353,25 nSV/h (RadR-17B).

Stasiun pengukuran sedimen RadR-14 berada pada wilayah Formasi Tanjung Genting, sedangkan Rad-16 pada domain Kompleks Malihan Pemali. Nilai laju dosis radiasi batu lempung pasiran di Pantai Bemban (RadR-16A) lebih tinggi daripada di Tanjung Pandang (RadR-14), dengan rerata masing-masing 116,33 nSV/h dan 90 nSV/h, secara berurutan. Rerata laju radiasi pada lapisan sisipan coklat kehitaman dalam metasedimen di Pantai Bemban (RadR-16B) terbaca rendah, yaitu 73,67 nSV/h. Batuan diabas juga terbukti memiliki laju dosis radiasi rendah dengan rerata 74,33 nSV/h. Seluruh pembacaan laju dosis radiasi dapat diamati pada Tabel 1. Presisi hasil pembacaan perangkat perlu dikalkulasi untuk mengetahui tingkat kemiripan pengukuran yang dilakukan secara berulang terhadap sampel homogen (Utami, 2017; Irzon, 2018; Irzon drr., 2022). Oleh sebab itu, pembacaan laju dosis radiasi terhadap singkapan batuan tertentu di lapangan dilaksanakan setidaknya dalam tiga kali rentang waktu. *Relative standard deviation* (RSD, simpangan baku rela-

Tabel 1. Hasil analisis laju dosis radiasi beberapa jenis batuan di Pulau Bangka pada studi ini

Lokasi	No Sampel	Jenis Batuan	Dosis Radiasi (nSv/h)	RSD (%)	Rerata	std dev
Air Terjun Bukit Tani	RadR-11	Granit	588 540 546	4,69	558,00	26,15
Bukit Menumbing	RadR-12	Granit	460 455 465	1,09	460,00	5,00
Bukit Nibung	RadR-13	Granit	505 480 495	2,55	493,33	12,58
Pantai Jerangkat	RadR-17A	Diabas	78 74 71	4,72	74,33	3,51
	RadR-17B	Granit	350 335 398 340	8,93	353,25	31,55
Tanjung Pandang	RadR-14	Lempung pasiran	80 90 100	11,11	90,00	10,00
Pantai Bemban	RadR-16A	Lempung pasiran, tersilisifikasi	123 112 114	5,04	116,33	5,86
	RadR-16B	Sisipan lapisan kehitaman	70 78 77	5,81	75,00	4,36

tif) dijadikan salah satu parameter sebagai acuan tingkat presisi dalam beberapa studi sebelumnya (Utami, 2017; Irzon, 2018; Dwiputri drr., 2021; Irzon dan Andriani, 2021). RSD diketahui sebagai rasio standar deviasi (SD) terhadap rerata (XR) dan dikalkulasi berdasarkan persamaan (1)-(3) berikut:

$$XR = \Sigma X/n \dots\dots\dots (1)$$

$$SD = \Sigma((X-XR)^2/(n-1))^{0,5} \dots\dots\dots (2)$$

$$RSD = SD/XR \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Parameter n, X, XR, SD, dan RSD adalah jumlah sampel, nilai hasil pengukuran, nilai rerata, standar deviasi, dan simpangan baku relatif secara berurutan. Berdasarkan perhitungan menggunakan formula di atas, tingkat presisi pengukuran diketahui berkategori baik karena seluruh nilai RSD<10%, kecuali pada sampel RadR-14 (11,11%). Rendahnya presisi pengukuran pada stasiun RadR-14 dapat diakibatkan oleh pencatatan yang dilakukan sebelum stabilitas pengukuran alat telah tercapai. Presisi pengukuran pada stasiun RadR-14 dapat ditingkatkan dengan memperbanyak jumlah pengukuran.

Uranium dan thorium merupakan sumber radiasi terestrial alamiah yang dapat ditemukan pada berbagai jenis batuan. Kedua unsur ini merupakan elemen inkompatibel sehingga makin terkayakan pada tahap akhir kristalisasi magma (Irzon drr., 2022). Batuan granit pun merupakan jenis batuan yang terbentuk pada tahap akhir diferensiasi magma, sehingga U dan Th cenderung terkayakan pada batuan granitik. Batuan granitik terbukti sebagai batuan penyebab radiasi terbesar di beberapa tempat di dunia (Sanusi drr., 2014; Heikal drr., 2016; Abba drr., 2017). Kadar U dan Th pada beberapa jenis batuan dari penelitian terdahulu (Saksama dan Ngadenin, 2013) ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut maka potensi radioaktif batuan metasedimen tidak sebesar pada batuan granitik untuk menjelaskan laju

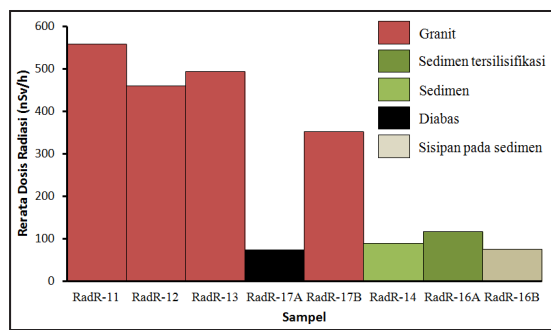
Tabel 2. Komposisi Thorium dan Uranium pada beragam jenis batuan

No	Nama Batuan	Komposisi Th (ppm)	Komposisi U (ppm)
1	Arenit	5	1,5
2	Serpih	12	4,2
3	Gamping	1,2	1,9
4	Tuff	6	3
5	Granit/Riolit	15	4
6	Basal Alkali	4,6	0,99
7	Gabro	3,84	0,84
8	Andesit	1,9	0,79
9	Basal Toleitik	0,5	0,14
10	Peridotit	0,05	0,01

Sumber: Saksama dan Ngadenin (2013)

radiasi RadR-14 dan RadR-16A yang jauh lebih kecil daripada granit. Penelitian ini membuktikan bahwa sisipan berwarna kehitaman pada singkapan sedimen tidak terkait dengan unsur radioaktif karena laju dosis radiasinya hanya 75 nSv/h. Diabas merupakan jenis batuan intrusif yang hampir seluruhnya dibentuk oleh mineral mafik berupa feldspar, piroksen, olivin, amfibol, and biotit sehingga secara alamiah tidak bersifat radioaktif (Shala drr., 2016). Laju radiasi batuan diabas wilayah studi terbukti paling rendah dengan rerata 74,33 nSv/h.

Rentang kadar U dan Th pada Pluton Menumbing berdasarkan penelitian terdahulu adalah 3,8-24,4 ppm dan 48-128 ppm, secara berurutan (Saksama dan Ngadenin, 2013; Ng drr., 2017). Pluton Menumbing dikategorikan sebagai granit tipe-S karena ditemukannya K-feldspar berukuran megakristalin, senolit batu pasir pada singkapannya, dan mineral monasit sebagai mineral aksesorinya (Saksama dan Ngadenin, 2013). Pada sisi lain, K-feldspar di Pantai Jerangkat berbutir kasar dan belum berkategori megakristalin. Sampel tersebut memiliki kadar mineral mafik yang tinggi yang bukan merupakan karakter granit tipe-S secara megaskopis. Perbedaan tipe granit inilah yang dapat menjelaskan perbedaan laju dosis radiasi gamma antara Pluton Menumbing dan granit di Pantai Jerangkat. Perbandingan laju radiasi setiap sampel ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan rerata laju dosis radiasi setiap sampel pada studi di Pulau Bangka.

Batuan granitik telah dimanfaatkan manusia untuk bahan pembuatan tempat tinggal, peralatan masak, dan persenjataan sejak Zaman Batu. Batuan ini terbukti cukup tahan terhadap perubahan temperatur maupun pengaruh air garam. Granit merupakan batuan dengan tingkat kekerasan yang tinggi sehingga banyak digunakan pada pembuatan cagar budaya (Swastikawati dr., 2014). Batuan ini mudah ditemukan di Pulau Bangka sehingga sangat mungkin dimanfaatkan secara langsung oleh penduduk setempat. Seperti dijelaskan sebelumnya, batuan jenis ini juga berisiko terhadap paparan radiasi akibat komposisi U dan Th-nya yang relatif tinggi dibandingkan jenis batuan lain.

Penelitian terdahulu menyatakan bahwa rerata laju dosis radiasi pada sampel tanah di Pulau Bangka adalah 1,39 mSv/y (≈ 158 nSv/h), sedangkan laju radiasi dalam ruangan adalah 2,48 mSv/y (282,91 nSv/h), sehingga terlihat adanya sedikit lonjakan nilai radiasi di dalam ruangan (Syarbaini, dr., 2015). Namun, penelitian tersebut tidak menjelaskan penyebab kenaikan laju radiasi dalam ruangan terhadap luar ruangan di Pulau Bangka. Lonjakan laju dosis radiasi dalam ruangan tentu sangat terkait dengan material yang digunakan (Shala dr., 2016; Yasmin dr., 2019; Hanfi dr., 2021). Laju dosis radiasi pada batupasir lempungan dan diabas pada studi ini <158 nSv/h sehingga tidak akan menaikkan paparannya jika digunakan sebagai material bangunan. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa batuan granitik dengan rentang radiasi 321-558 nSv/h merupakan material utama dalam

pembuatan rumah di Pulau Bangka, yang dapat menyebabkan lonjakan laju dosis radiasi di dalam ruangan.

Batuan granitik dari utara Pulau Bangka pada studi ini seluruhnya diambil dari domain Granit Menumbing (Mangga and Djamal, 1994). Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, granit disebutkan sebagai salah satu batuan dengan laju radiasi tinggi. Rentang laju radiasi pada granit pada penelitian ini lebih besar daripada batuan yang sama dari India (152–225 nSv/h), tetapi jauh lebih kecil relatif terhadap granit di Iran yang mencapai 40.000 nSv/h (Tekin dr., 2021). Laju radiasi dalam ruangan di Bangka (282,91 nSv/h; Syarbaini, dr., 2015) lebih tinggi daripada bangunan dari granit di Brasil yang mencapai 198 ± 45 nSv/h (Anjos dr., 2011). Namun, perlu studi khusus untuk mempelajari korelasi laju radiasi terhadap kesehatan masyarakat di Bangka.

KESIMPULAN

Penelitian ini mempelajari laju dosis radiasi gamma pada delapan sampel dari beberapa jenis batuan yang ditemukan dibagian utara Pulau Bangka. Batuan granitik terbukti sebagai batuan dengan laju dosis radiasi tertinggi, yaitu >353 nSv/h. Laju dosis radiasi batuan sedimen termeterakan (116 nSv/h) sedikit lebih tinggi daripada batuan sedimen (90 nSv/h). Sisipan berwarna kemerahan pada singkapan sedimen terbukti bukanlah bahan yang mengandung unsur radioaktif. Ketiadaan bahan radioaktif pada batuan diabas terbukti oleh studi ini. Meskipun batuan granitik memiliki risiko radioaktif yang paling besar daripada jenis batuan lain, batuan ini tetap digunakan sebagai bahan utama bahan bangunan rumah di sana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sepenuhnya didanai melalui kegiatan Pusat Survei Geologi mengenai batuan granitik di Pulau Bangka. Penulis berterimaka-

sih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas izin publikasinya. Bapak Dr. Purnama Sendjadja dan Bapak Verry E. Setiawan telah memberi masukan kondisi geologi di Pulau Bangka

DAFTAR PUSTAKA

- Abba, H.T., Hassan, W.M.S.W., Saleh, M.A., Aliyu, A.S. and Ramli, A.T., 2017. Terrestrial gamma radiation dose (TGRD) levels in northern zone of Jos Plateau, Nigeria: Statistical relationship between dose rates and geological formations. *Radiation Physics and Chemistry*, 140, pp.167-172. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.01.023>
- Adhitya, L. and Setiawan, D.I., 2016. Karakteristik Geokimia Granit Dan Implikasinya Terhadap Sistem Panas Bumi Daerah Permis, Kabupaten Bangka Selatan Provinsi Bangka Belitung. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 11(1), pp.1-13.
- Al-Azmi, D., 2016. Indoor gamma dose rates in Kuwait using handheld gamma-ray spectrometer. *Health Physics*, 111(1), pp.11-16.
- Anjos, R. M. D., Ayub, J. J., Cid, A. S., Cardoso, R., & Lacerda, T. (2011). External gamma-ray dose rate and radon concentration in indoor environments covered with Brazilian granites. *Journal of environmental radioactivity*, 102(11), pp.1055-1061. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.06.001>
- Dwiputri, A.Y., Fajarwati, F.I. and Matahelumal, B.C., 2021. Validasi Penentuan Kalium (K) dalam Sampel Air Menggunakan Flame Fotometer. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(1), pp.23-31. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art3>
- Erman, E., 2017. Aktor, akses dan politik lingkungan di pertambangan timah Bangka. *Masyarakat Indonesia*, 36(2), pp.71-101. <https://doi.org/10.14203/jmi.v36i2.6>
- Hanfi, M.Y.M., Masoud, M.S., Sayyed, M.I., Khandaker, M.U., Faruque, M.R.I., Bradley, D.A. and Mostafa, M.Y.A., 2021. The presence of radioactive heavy minerals in prospecting trenches and concomitant occupational exposure. *Plos one*, 16(3), p.e0249329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249329>
- Heikal, M.T.S., Mahmoud, K.R., El-Sobky, T. and Top, G., 2016. Toward assessment the high gamma dose levels and relevant human health impacts from precambrian granites, Na'wah Area, Yemen Republic. *Inter. J. Env. Water*, 5(3), pp.1-12.
- Irzon, R., 2017. Geochemistry of Late Triassic weak Peraluminous A-Type Karimun Granite, Karimun Regency, Riau Islands Province. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(1), pp.21-37. [10.17014/ijog.4.1.21-37](https://doi.org/10.17014/ijog.4.1.21-37)
- Irzon, R., 2018. Pembuatan Material Acuan Internal Berupa Batuan Pada Zona Kaolinisasi dari Kokap Kulon Progo Menggunakan ICP-MS. *Jurnal Standardisasi*, 19(2), pp.103-112.
- Irzon, R., 2021. Prospeksi dan Masalah Lingkungan Akibat Penambangan Timah di Pulau Karimun. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 12(3).
- Irzon, R. and Andriani, S., 2021. Empat Belas Konsentrasi Rujukan UTJ dan Th pada Bahan Acuan Standar Internal Bermatriks Granit Teralterasi. *Jurnal Standardisasi*, 23(2), pp.153-162.
- Irzon, R., Syafri, I., Suwarna, N., Hutabarat, J., Sendjaja, P. and Setiawan, V.E., 2021. Geochemistry of plutons in central Sumatra and their correlation to Southeast Asia tectonic history. *Geologica acta: an international earth science journal*, (19), p.2.
- Irzon, R., Kurnia, K., Haryanto, A.D., Maryanto, S. dan Hernawan U., 2022. Distinct depositional environments of two internal reference materials with marine sediment matrix from nearby Bangka Island. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 73. <https://doi.org/10.7186/bgsm73202215>
- Mangga S.A and Djamal, 1994. *Peta Geologi Lembar Bangka Utara skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

- Manohar, S.N., Meijer, H.A.J. and Herber, M.A., 2013. Radon flux maps for the Netherlands and Europe using terrestrial gamma radiation derived from soil radionuclides. *Atmospheric environment*, 81, pp.399-412. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.09.005>
- Margono, U., Supandjono, R. J. B., dan Partoyo, E., 1995. *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Mykowska, A. and Hupka, J., 2014. Radionuclides activity and effective doses referred to geological formations. *Journal of Industrial and Intelligent Information Vol*, 2(4).
- Ng, S.W.P., Whitehouse, M.J., Roselee, M.H., Teschner, C., Muradha, S., Oliver, G.J., Ghani, A.A. and Chang, S.C., 2017. Late triassic granites from Bangka, Indonesia: A continuation of the main range granite province of the South-East Asian tin belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 138, pp.548-561. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.03.002>
- Ridho, M.A., Qodir, N. and Triwani, T., 2018. Karakteristik Pasien Karsinoma Tiroid Papiler di Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Mohammad Hoesin Periode Januari-Desember 2016. *Majalah Kedokteran Sriwijaya*, 50(4), pp.166-174.
- Saksama, K.D. and Ngadenin, N., 2013. Geologi Daerah Muntok dan Potensi Granit Menumbing Sebagai Sumber Uranium (U) dan Thorium (Th). *EKSPLORIUM*, 34(2), pp.137-149. <http://dx.doi.org/10.17146/eksplorium.2013.34.2.2809>
- Sanusi, M.S.M., Ramli, A.T., Gabdo, H.T., Garba, N.N., Heryanshah, A., Wagiran, H. and Said, M.N., 2014. Isodose mapping of terrestrial gamma radiation dose rate of Selangor state, Kuala Lumpur and Putrajaya, Malaysia. *Journal of environmental radioactivity*, 135, pp.67-74. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.04.004>
- Shala, F., Xhixha, E., Xhixha, G., Frangu, S., Muça, B., Xhixha, M.K., Shabani, M. and Hasani, F., 2016. Characterization of physical-mechanical and radiological properties of diabase rock for civil engineering practices in Kosovo. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 310(2), pp.919-925. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4880-8>
- Sitorus, M., Sembiring, T. and Pudjadi, E., 2016. Konsentrasi Radiasi Gas Radon-Thoron pada Erupsi Gunung Sinabung dengan detector CR-39. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan*, 2(1), pp.55-61. <https://doi.org/10.24114/jiaf.v2i1.4373>
- Siregar, R.N. and Widana, K.S., 2021. Radiogenic heat production of S-type and I-type granite rocks in Bangka Island, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*. <https://doi.org/10.48129/kjs.15423>
- Swastikawati, A. Gunawan, A. dan Atmaja, Y., 2014. Kajian Konservasi Tinggalan Megalitik di Lore, Sulawesi Tengah. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya: Borobudur*, 8(1), 17-37, 2014. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v8i1.122>
- Syarbaini, S., Dadong, I. and Kusdiana, K., 2015. Perkiraan Dosis Radiasi Yang Diterima Publik Di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal ekologi kesehatan*, 14(4), pp.318-333.
- Tekin, H. O., Kavaz, E., Sayyed, M. I., Agar, O., Kamislioglu, M., Altunsoy Guclu, E. E., & Eke, C. A. N. E. L. (2021). An extensive study on nuclear shielding performance and mass stopping power (MSP)/projected ranges (PR) of some selected granite samples. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 176(3-4), pp.320-340. <https://doi.org/10.1080/10420150.2020.1849209>
- Thabayneh, K.M., 2013. Measurement of natural radioactivity and radon exhalation rate in granite samples used in Palestinian buildings. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(1), pp.201-207. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0391-2>
- Torres, S.B., Petrik, A., Szabó, K.Z., Jordan, G., Yao, J. and Szabó, C., 2018. Spatial relationship between the field-measured ambient gamma dose equivalent rate and geological conditions in a granitic area, Velence Hills,

- Hungary: An application of digital spatial analysis methods. *Journal of environmental radioactivity*, 192, pp.267-278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.07.001>
- Ugbede, F.O. and Osahon, O.D., 2021. Gamma spectrometric measurement of natural radionuclides and associated radiation hazards in soil of small-scale paddy farms along Enugu-Abakaliki express way, Southeastern Nigeria. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 328(2), pp.551-562. <https://doi.org/10.1007/s10967-021-07671-6>
- Utami, A. R. (2017). Verifikasi Metode Pengujian Sulfat Dalam Air dan Air Limbah Sesuai SNI 6989.20: 2009. *Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2(1), 19-25
- Wattanavatee, K., Krmar, M. and Bhongsuwan, T., 2017. A survey of natural terrestrial and airborne radionuclides in moss samples from the peninsular Thailand. *Journal of environmental radioactivity*, 177, pp.113-127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.06.009>
- Yasmin, S., Khandaker, M.U., Barua, B.S., Mustafa, M.N., Chowdhury, F.U.Z., Rashid, M.A. and Bradley, D.A., 2019. Ionizing radiation shielding effectiveness of decorative building materials (porcelain and ceramic tiles) used in Bangladeshi dwellings. *Indoor and Built Environment*, 28(6), pp.825-836. <https://doi.org/10.1177/1420326X18798883>
- Zglinicki, K., Szamalek, K. and Wołkiewicz, S., 2021. Critical Minerals from Post-Processing Tailing. A Case Study from Bangka Island, Indonesia. *Minerals*, 11(4), p.352. <https://doi.org/10.3390/min11040352>
- Zhong, Q., Du, J., Puigcorb , V., Wang, J., Wang, Q., Deng, B. and Zhang, F., 2019. Accumulation of natural and anthropogenic radionuclides in body profiles of Bryidae, a subgroup of mosses. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(27), pp.27872-27887. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05993-3>
- Zulfikar, M., Aryanto, N.C.D., Nur, A.A. and Syafri, I., 2020. Study of Granitoid Distribution at Toboali Waters, Bangka Belitung Province: Seismic data interpretation approach. *Bulletin of the Marine Geology*, 35(2). <http://dx.doi.org/10.32693/bomg.35.2.2020.681>