

**PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS DAN ESTIMASI SUMBER DAYA TORIUM  
DI DAERAH BATUBESI, BELITUNG TIMUR**

**RADIOACTIVITY MEASUREMENT AND RESOURCE ESTIMATION OF THORIUM  
IN BATUBESI AREA, EAST BELITUNG**

**Rachman Fauzi<sup>1</sup>, Adhika Junara Karunianto<sup>2</sup>, Ersina Rakhma<sup>3</sup>, Ngadenin<sup>4</sup>,  
Frederikus Dian Indrastomo<sup>4</sup>, dan Tukijo<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>2</sup>Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>3</sup>Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi,  
Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>4</sup>Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif,  
Badan Riset dan Inovasi Nasional

rach021@brin.go.id

**ABSTRAK**

Torium merupakan unsur radioaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai elemen utama bahan bakar nuklir selain uranium. Pulau Belitung terletak pada rangkaian jalur timah Asia Tenggara yang memiliki potensi keterdapatan mineral radioaktif yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengukuran nilai radioaktivitas serta estimasi sumber daya tereka unsur radioaktif torium (Th) di daerah penelitian. Litologi daerah penelitian terbagi menjadi satuan meta-batupasir, satuan granit biotit, dan satuan granit hornblenda. Zona kontak antara satuan meta-batupasir dengan satuan granit menjadi daerah anomali radioaktivitas yang ditunjukkan dengan nilai laju dosis 300 s.d. 360 nSv/jam, kadar eU 12 s.d. 18 ppm, kadar eTh 48 s.d. 96 ppm, dan kadar eK 1,5 s.d. 1,8%. Analisis XRF menunjukkan kadar U berkisar antara 0,7 s.d. 51,8 ppm sedangkan kadar Th berkisar antara 0,8 s.d. 344,8 ppm. Hasil estimasi diperoleh sumber daya tereka torium pada Blok I-V di daerah penelitian sebesar 197.448 ton. Untuk dapat meningkatkan keyakinan geologi terkait kategori sumber daya tersebut maka perlu diterapkan metode eksplorasi yang lebih rinci dan sistematis.

**Kata kunci:** Batubesi, radioaktivitas, radiometri, sumber daya tereka, torium

**ABSTRACT**

*Thorium is radioactive element which can be used as the main element of nuclear fuel beside of uranium. Belitung island is located at The Southeast Asian Tin Belt where it has much radioactive mineral potential. The purpose of this study is to conduct radioactivity measurement and inferred resource estimation of thorium (Th) in study area. The lithology of study area consists of meta-sandstone unit, biotite-granite unit, and hornblenda-granite unit. Contact zones between these lithological units have become radioactive anomaly area which have dose rate of 300-360 nSv/hour, eU grade of 12-18 ppm, eTh grade of 48-96 ppm, and eK grade of 1.5-1.8%. XRF analyses show that grades of U and Th are 0.7-51.8 ppm and 0.8-344.8 ppm, respectively. Based on estimation result it is shown that the value of inferred resource of thorium at Block I-V in study area is 197.448 tonnes. In order to enhance geological assurance of the category of those resources, it is necessary to implement more detail and systematic exploration methods.*

**Keywords:** Batubesi, radioactivity, radiometry, inferred resources, thorium

## PENDAHULUAN

Tenaga nuklir memiliki potensi yang luar biasa sebagai sumber energi baru dan terbarukan utama di masa depan (Hussein dkk., 2020). Tenaga nuklir relatif lebih efektif dibandingkan sumber energi konvensional seperti batubara, minyak, dan gas bumi (Cho et al., 2020). Torium (Th) merupakan unsur radioaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai elemen utama bahan bakar nuklir selain uranium (U). Saat ini beberapa negara di dunia telah mengembangkan torium sebagai bahan bakar reaktor pembangkit listrik tenaga nuklir/PLTN (NEA & IAEA, 2015). Torium biasa ditemukan pada mineral-mineral tertentu seperti misalnya torit, torianit, monasit, zirkon, xenotim, dan alanit. Secara umum torium memiliki sumber daya yang lebih banyak dibandingkan uranium. Kelimpahan torium di alam tiga kali lipat lebih banyak dibandingkan uranium (Van Gosen and Tulsidas, 2016).

Mineral radioaktif memiliki nilai strategis karena mampu mendukung industri yang memenuhi kebutuhan pokok bagi masyarakat serta memiliki kaitan yang sangat erat dengan kepentingan pertahanan dan keamanan negara (Sukhyar, 2022). Penelitian-penelitian terkait inventarisasi sumber daya mineral pembawa unsur radioaktif, khususnya torium, hingga saat ini masih relatif terbatas. Oleh karena itu, karakterisasi mineral pembawa dan inventarisasi sumber daya pada daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi mineral radioaktif menjadi penting untuk dilakukan.

Pulau Belitung terletak pada rangkaian jalur timah Asia Tenggara yang membentang dari utara ke selatan yaitu dari Myanmar, Thailand, Malaysia, Singapura, Kepulauan Riau dan Kepulauan Bangka Belitung (Cobbing et al., 1986; Schwartz et al., 1995; McCourt et al., 1996). Daerah ini memiliki potensi keterdapatan mineral radioaktif yang tinggi (Gambar 1). Selain itu, Pulau Belitung bersama Pulau Bangka memiliki nilai dosis radiasi yang relatif tinggi dibandingkan

wilayah di sekitarnya (PTKMR BATAN, 2012) (Gambar 2). Nilai radioaktivitas yang tinggi tersebut merupakan salah satu indikasi keterdapatan unsur radioaktif seperti uranium (U), torium (Th), dan kalium (K) serta produk luruhannya yang terkandung pada batuan (Sukadana dkk., 2015).

Daerah penelitian secara administratif terletak di Desa Mengkubang, Kecamatan Damar, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Berdasarkan analisis butir konsentrat dulang pada beberapa sampel di daerah tersebut, ditemukan beberapa mineral logam diantaranya magnetit, monasit, zirkon, hematit, ilmenit, kasiterit, dan rutil (Ngadenin dkk., 2017). Mineral radioaktif yang teridentifikasi, diantaranya monasit dan zirkon, diinterpretasikan merupakan mineral pembawa torium di daerah penelitian.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengukuran nilai radioaktivitas serta estimasi sumber daya terdapat unsur radioaktif torium di Daerah Batubesi, Belitung Timur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan pada tahapan kegiatan eksplorasi selanjutnya.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan beragam jenis data diantaranya studi literatur dan pengukuran radioaktivitas daerah penelitian. Studi literatur mengacu pada beberapa penelitian terdahulu khususnya terkait tataan geologi regional dan lokal daerah penelitian.

Pengukuran radioaktivitas dilakukan menggunakan spektrometer sinar gamma *portable*. Alat ini secara umum menggunakan detektor kristal NaI(Tl) yang mampu mengukur energi dan intensitas relatif terhadap emisi sinar gamma yang berasal dari seri peluruhan U, Th, dan K sehingga dapat mengidentifikasi pancaran radiasi sinar gamma alami secara kuantitatif terhadap kadar ekuivalen U, Th, dan K yang terdapat di permukaan (Syaeful et al.,

2014). Dalam pengukuran ini alat yang digunakan adalah spektrometer Radiation Solution-125 (RS 125) sepanjang jalur lintasan yang telah ditentukan pada daerah seluas  $\pm 8 \text{ km}^2$  (Gambar 3). Data radioaktivitas disimpan pada alat secara otomatis yang telah terintegrasi dengan *Bluetooth Global Positioning System* untuk memperoleh data posisi pengukuran.

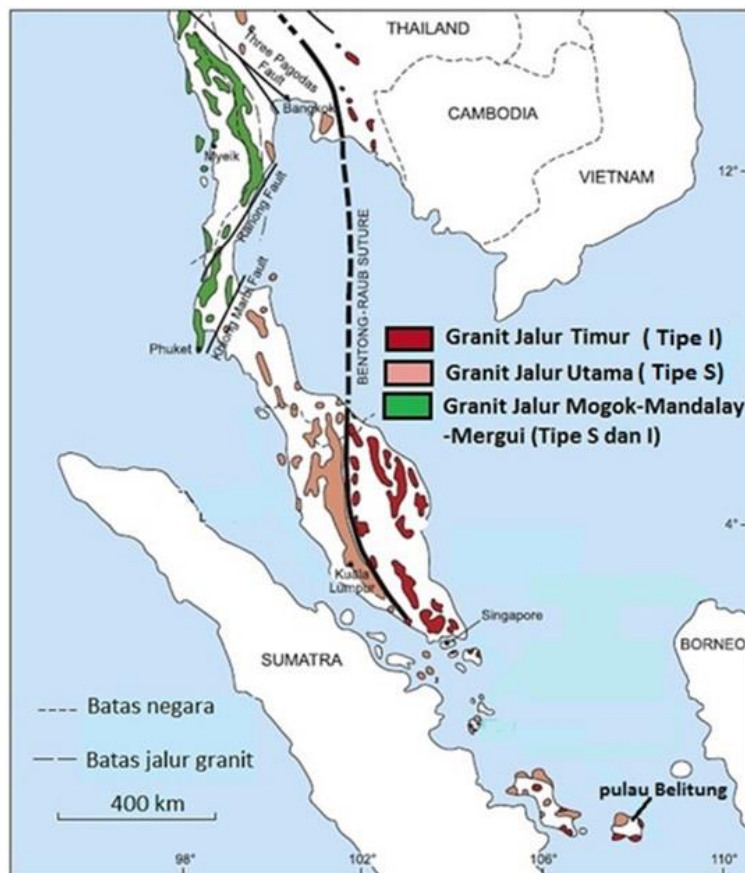
Estimasi sumber daya tereka dilakukan pada blok-blok prospektif yang masing-masing zona tersebut menunjukkan nilai anomali radioaktivitas serta memiliki akses yang memungkinkan untuk dilakukan metode eksplorasi lebih lanjut. Estimasi sumber daya dilakukan dengan mengadopsi prinsip-prinsip pada Komite Cadangan Mineral Indonesia/KCMI (2017) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Sumber daya} = L \times d \times \rho \times K$$

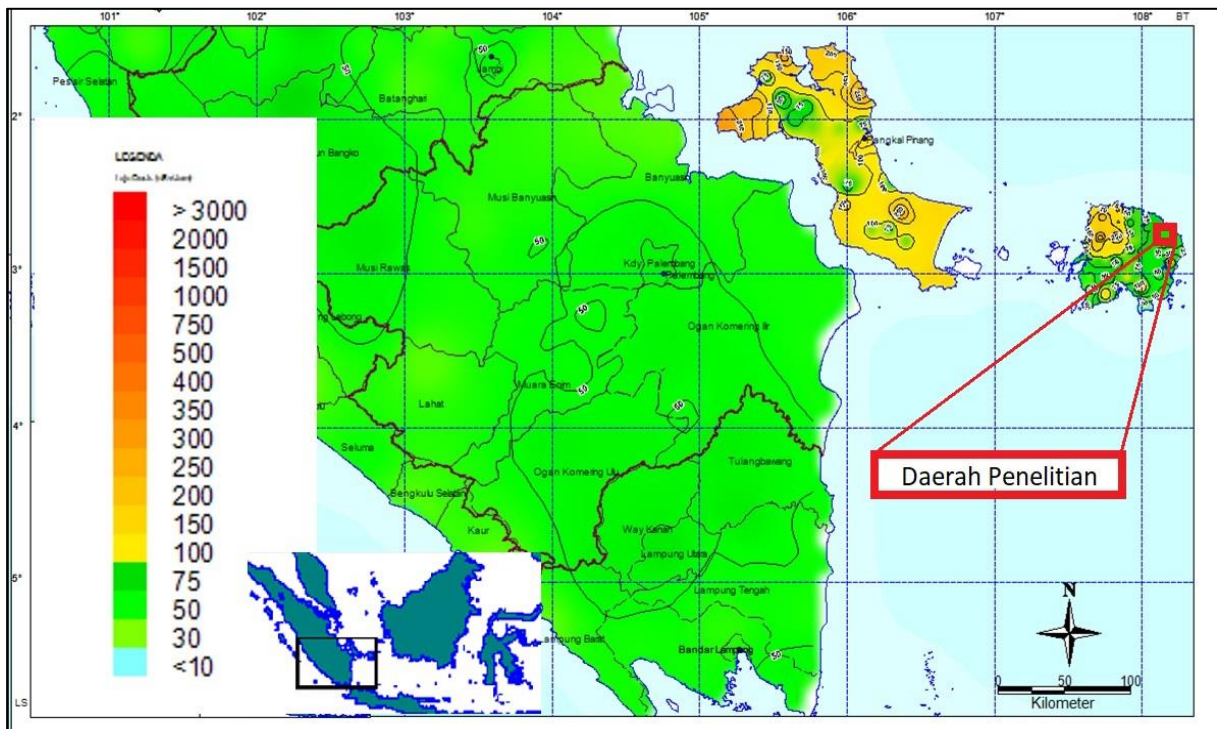
Asumsi dan variabel yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

- Luas blok potensial (L) adalah luas zona yang memiliki anomali kadar ekuivalen yang lebih besar secara signifikan dibandingkan konsentrasi unsur normal.
- Nilai kedalaman (d) mengacu pada kedalaman sumur uji atau parit uji yaitu 2 m.
- Massa jenis rata-rata ( $\rho$ ) mengacu pada massa jenis rata-rata *channel sample* di sumur uji atau parit uji yang berupa endapan letakan (*placer*) dengan ukuran butir dominan pasir yaitu 5.500 kg/m<sup>3</sup> (Hitchman, 2018).
- Kadar (K) didapatkan berdasarkan hasil analisis kimia menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF) pada *channel sample* yang diperoleh dari sumur uji atau parit uji.

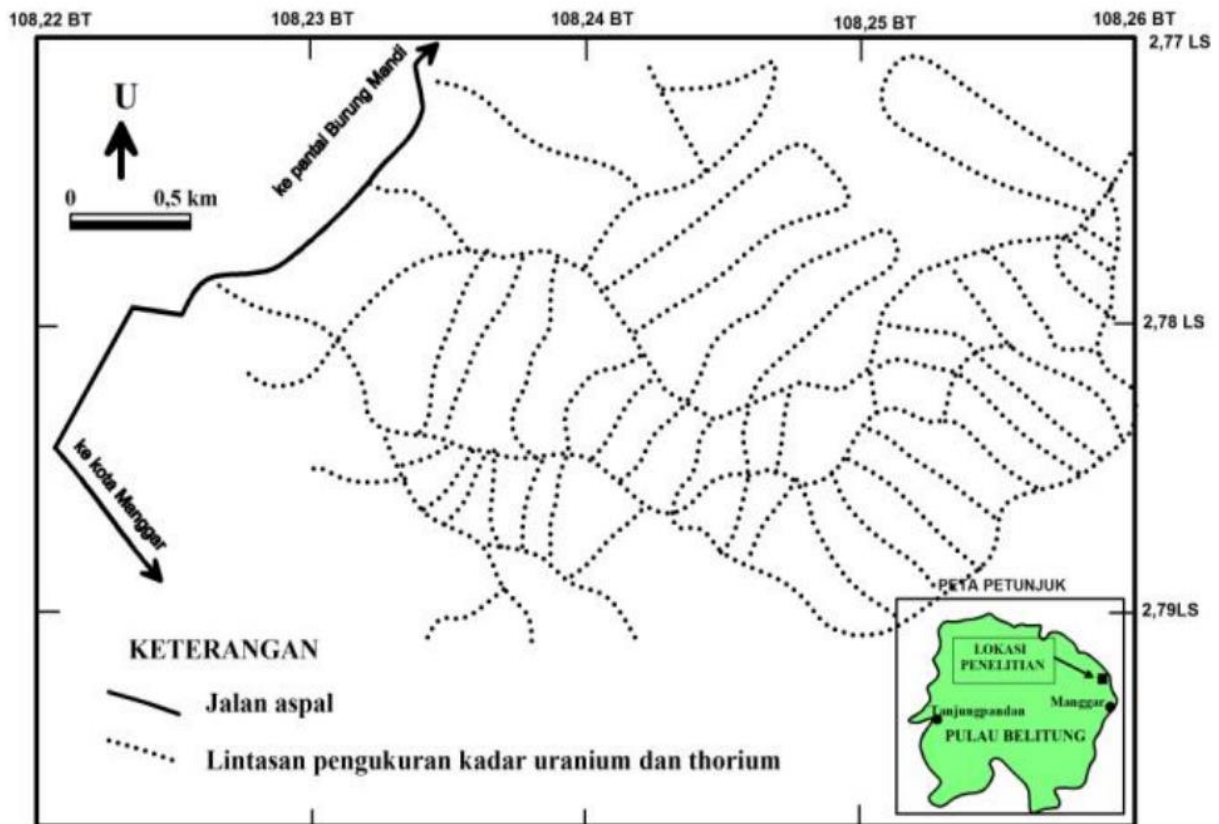
Lokasi pengambilan contoh batuan dan konsentrat dulang disajikan pada Gambar 4.



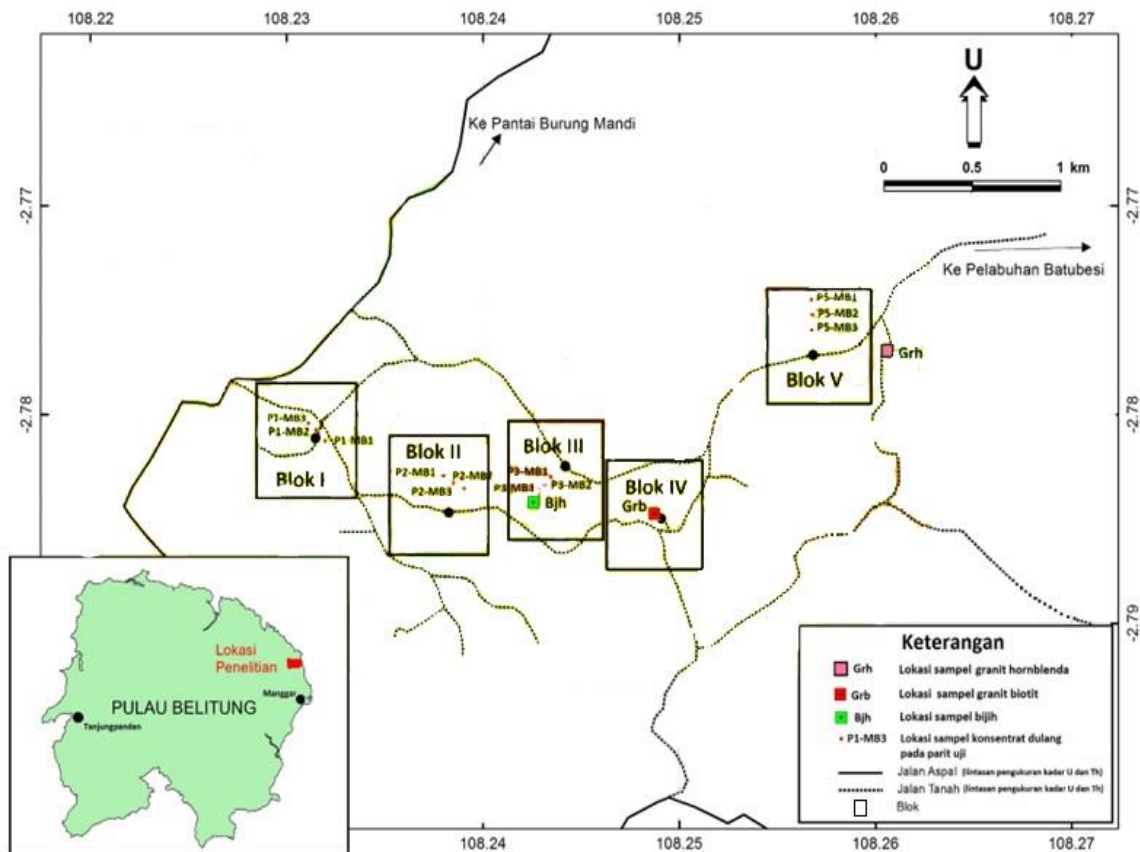
**Gambar 1.** Posisi Pulau Belitung dalam jalur timah Asia Tenggara (Cobbing et al., 1986)



Gambar 2. Peta laju dosis radiasi Sumatera Bagian Selatan (PTKMR BATAN, 2012)



Gambar 3. Peta lintasan pengukuran radioaktivitas (Ngadenin dkk., 2017)



Gambar 4. Peta lokasi pengambilan contoh batuan dan konsentrat dulang

**GEOLOGI**

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Belitung, Sumatera (Baharuddin dan Sidarto, 1995), stratigrafi Pulau Belitung tersusun secara berurutan dari batuan yang berumur tua ke muda yaitu Formasi Kelapakampit, Formasi Siantu, Formasi Tajam, Granit Tanjungpandan, Adamelit Baginda, Granodiorit Burungmandi, Diorit Kuarsa Batubesi, Endapan pasir berkarbon dan endapan aluvial sungai dan pantai (Gambar 5).

Formasi Kelapakampit terdiri atas meta-batupasir berselingan dengan batusabak, batulanau tufan dan rijang berumur Permo-Karbon. Formasi Siantu tersusun oleh lava basal dan breksi gunungapi. Formasi Tajam terdiri atas batupasir kuarsa bersisipan batulanau, terlipat sedang hingga kuat. Formasi Siantu dan Formasi Tajam diendapkan menjemari dengan Formasi Kelapakampit berumur Permo-Karbon.

Granit Tanjung Pandan terdiri atas granit dengan mineral penyusun yaitu kuarsa, K-feldspar, plagioklas, biotit dan hornblenda yang berumur Trias. Adamelit Baginda tersusun atas mineral kuarsa, K-feldspar, plagioklas, biotit, hornblenda serta mineral sekunder seperti klorit, karbonat, limonit dan oksida besi yang berumur Jura. Granodiorit Burungmandi dengan mineral penyusun yaitu kuarsa, plagioklas, K-feldspar, biotit, hornblenda dan mineral sekunder seperti klorit, karbonat dan oksida besi yang berumur Kapur. Diorit Kuarsa Batubesi tersusun atas mineral kuarsa, plagioklas, K-feldspar, biotit, hornblenda, klorit, dan oksida besi berumur Kapur (Baharuddin dan Sidarto, 1995).

Endapan pasir berkarbon terdiri atas pasir karbonan kehitaman bersisipan lempung, tidak padu, berbutir sedang-halus, mengandung mineral berat dan kepingan lignit yang berumur Pleistosen. Setempat dijumpai perlapisan yang mengandung

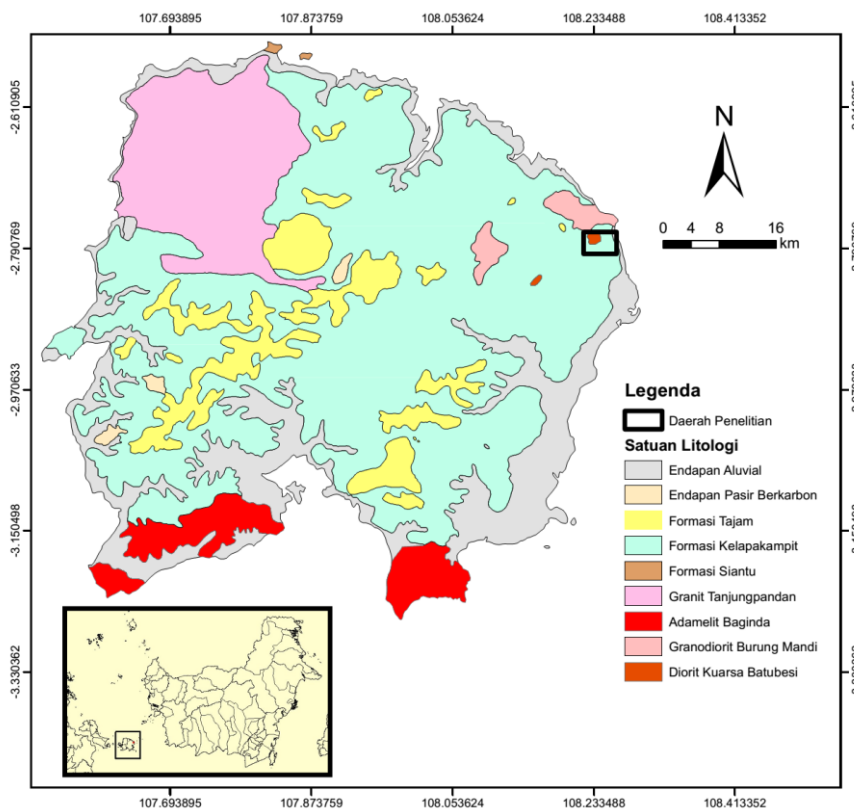
mineral kasiterit. Satuan ini menindih tak selaras batuan Pra-Tersier. Endapan aluvial sungai dan pantai terdiri atas kerakal-kerikil, pasir, lanau, lempung dan pecahan koral yang berumur Holosen (Baharuddin dan Sidarto, 1995).

Berdasarkan hasil penelitian oleh Ngadenin dkk. (2017) diketahui bahwa litologi daerah penelitian terdiri atas satuan meta-batupasir dan satuan terobosan granit (Gambar 6 dan 7). Satuan meta-batupasir berwarna abu-abu kehijauan-kecoklatan, tekstur klastik, sortasi jelek, terdiri atas fragmen mineral, menyudut tanggung – membundar. Komposisi fragmen mineral terdiri atas kuarsa, ortoklas dengan semen silika. Satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Kelapakampit.

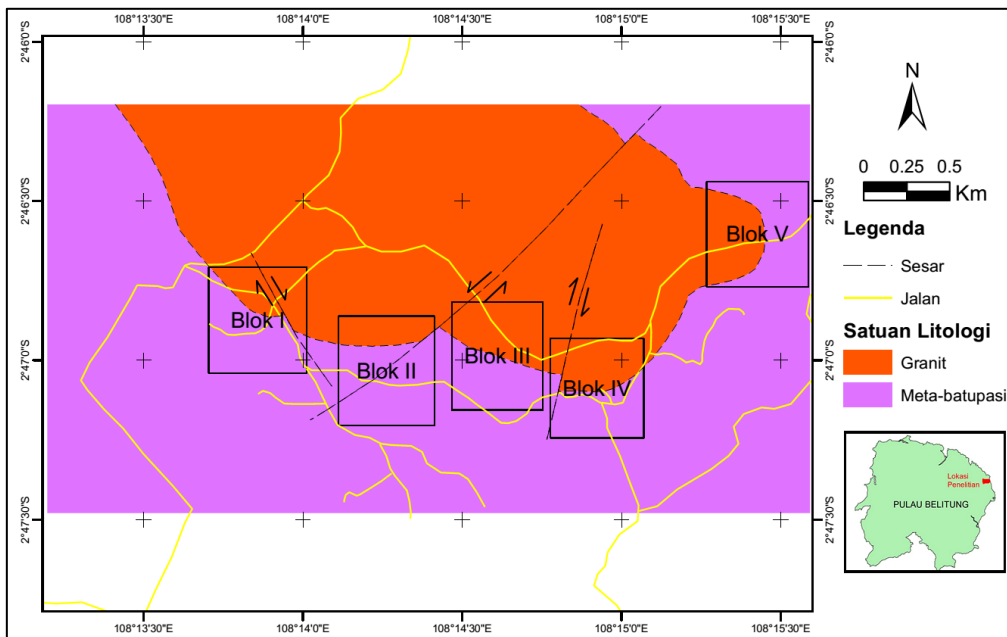
Berdasarkan hasil analisis petrografi, Satuan granit di daerah penelitian dapat dibagi menjadi satuan granit biotit dan satuan granit hornblenda. Granit biotit berwarna abu-abu kecoklatan-kehitaman,

memiliki struktur masif, komposisi mineral terdiri atas plagioklas, K-feldspar, mineral lempung, kuarsa, biotit, apatit, monasit, dan kasiterit. Granit hornblenda berwarna abu-abu kecoklatan-kehitaman, memiliki struktur masif, komposisi mineral terdiri atas plagioklas, mineral lempung, K-feldspar, kuarsa, hornblenda, biotit, apatit, zirkon, monasit, dan *sphene* (Gambar 8). Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian berupa sesar dan kekar. Sesar yang berkembang adalah sesar mendatar sinistral berarah barat daya – timur laut dan sesar mendatar dekstral berarah barat laut – tenggara (Ngadenin dkk., 2017).

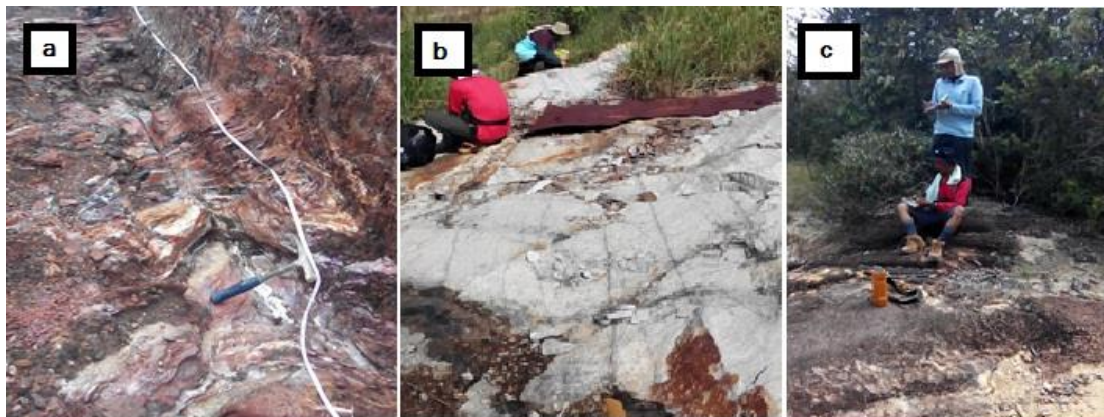
Satuan granit di daerah penelitian, baik granit biotit maupun granit hornblenda secara karakteristik litologinya tidak dapat dibandingkan dengan Diorit Kuarsa Batubesi. Berdasarkan Cobbing, et al. (1986) satuan tersebut termasuk pada granit Tipe I yang merupakan bagian dari Provinsi Timur Jalur Timah Asia Tenggara.



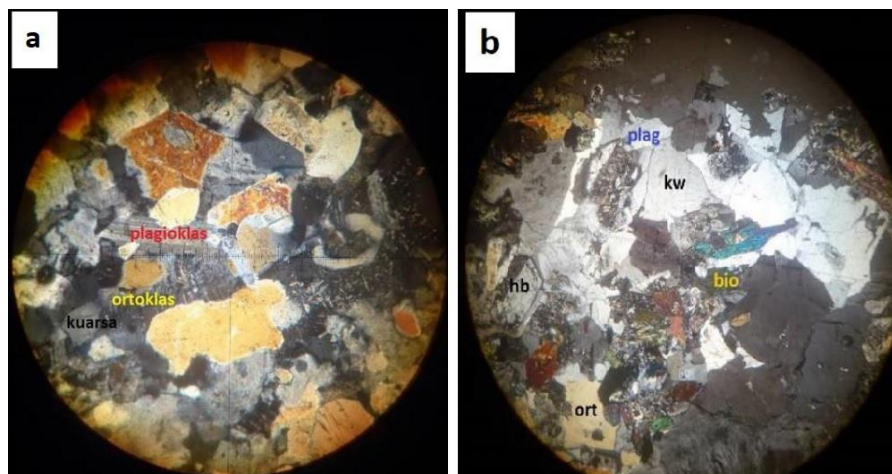
**Gambar 5.** Peta geologi regional Pulau Belitung (modifikasi dari Baharuddin dan Sidarto, 1995)



Gambar 6. Peta geologi daerah penelitian



Gambar 7. Foto singkapan meta-batupasir (a), granit biotit (b), dan granit hornblenda (c) (Ngadenin dkk., 2017)



Gambar 8. Foto mikrograf sayatan tipis batuan granit biotit (a) dan batuan granit hornblenda (b). Keterangan: plag: plagioklas, kw: kuarsa, bio: biotit, hb: hornblenda, ort: ortoklas (Ngadenin dkk., 2017)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengukuran Radioaktivitas**

Radiometri digunakan untuk mendapatkan nilai radioaktivitas laju dosis, kadar ekuivalen uranium (eU), kadar ekuivalen torium (eTh), dan kadar ekuivalen kalium (eK). Anomali laju dosis merupakan salah satu indikasi awal adanya keterdapatan mineral pembawa unsur radioaktif. Hasil pengukuran laju dosis pada daerah penelitian berkisar antara 2 s.d. 358 nSv/jam (Gambar 9). Nilai tersebut relatif sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai laju dosis rata-rata di Indonesia yaitu 50 nSv/jam (Alatas et al., 2012).

Nilai pengukuran kadar ekuivalen uranium diketahui berkisar antara 0 s.d. 16 ppm eU (Gambar 10). Nilai tersebut relatif tidak menunjukkan anomali yang signifikan jika dibandingkan dengan konsentrasi uranium normal pada batuan granit yaitu sebesar 10 ppm mengacu pada Hazen et al. (2009).

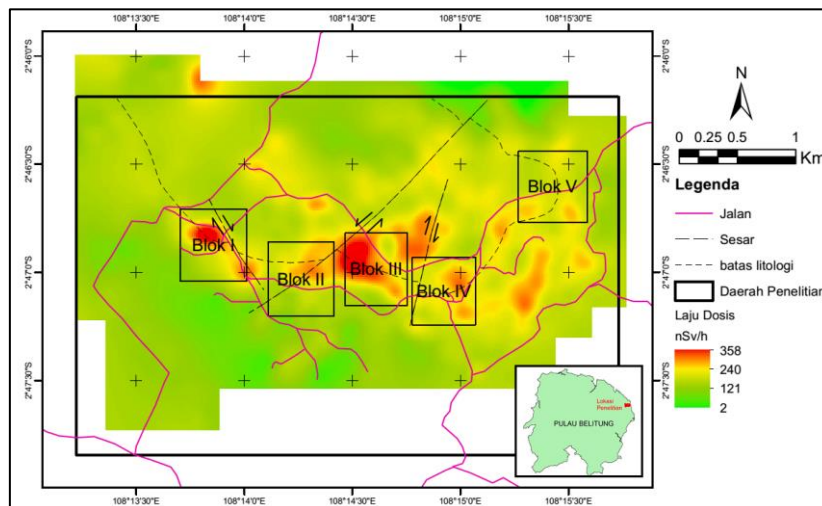
Hasil pengukuran kadar torium didapatkan berkisar antara 4 s.d. 93 ppm eTh. (Gambar 11). Nilai kadar eTh ini relatif lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi torium normal pada batuan granit yaitu sebesar 30 ppm mengacu pada Hazen et al. (2009). Selain itu, berdasarkan hasil pengukuran kadar kalium didapatkan nilai berkisar antara 0,2 s.d. 1,74% eK. Nilai kadar tertinggi yaitu berkisar antara 1,5 s.d. 1,74%

eK ditemukan pada bagian timur daerah penelitian (Gambar 12).

**Delineasi Daerah Prospektif**

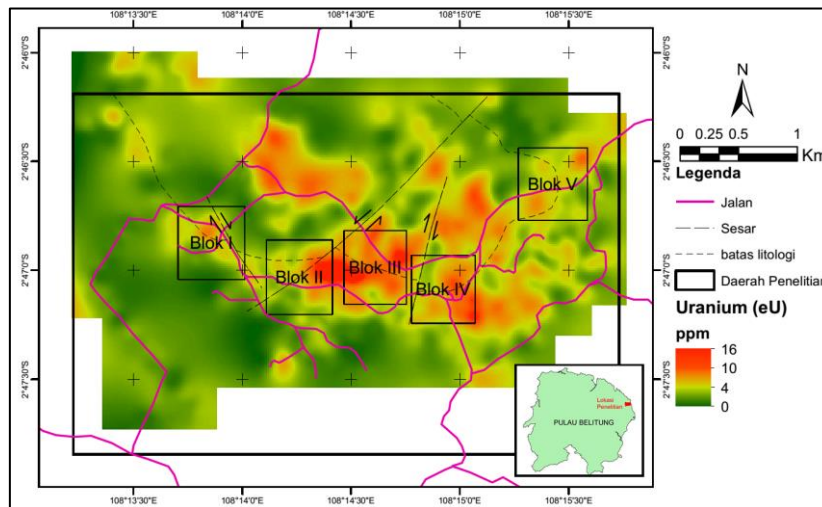
Berdasarkan hasil pengukuran radioaktivitas diketahui bahwa daerah-daerah anomali tersebut seluruhnya terletak pada zona kontak antara satuan meta-batupasir dan satuan granit. Berdasarkan hasil analisis butir konsentrat dulang pada zona tersebut teridentifikasi beberapa jenis mineral diantaranya magnetit, hematit, ilmenit, monasit, zirkon, kasiterit, rutil, hornblenda dan kuarsa (Ngadenin dkk., 2017). Tingginya nilai radioaktivitas di zona tersebut diduga dipengaruhi oleh faktor keterdapatan mineral-mineral pembawa unsur radioaktif seperti misalnya monasit dan zirkon.

Berdasarkan pola dan persebaran zona anomali yang ada, delineasi daerah prospektif sumber daya mineral radioaktif di daerah penelitian terbagi menjadi beberapa blok yaitu Blok I, II, III, IV, dan V. Daerah anomali dengan laju dosis 300 s.d. 360 nSv/jam terdapat pada Blok I, II dan III (Gambar 9). Daerah anomali eU dengan kadar 12 s.d. 18 ppm terdapat pada Blok II, III dan IV (Gambar 10) sedangkan daerah anomali eTh dengan kadar 48 s.d. 96 ppm eTh terdapat pada Blok I, II, III dan V (Gambar 11).

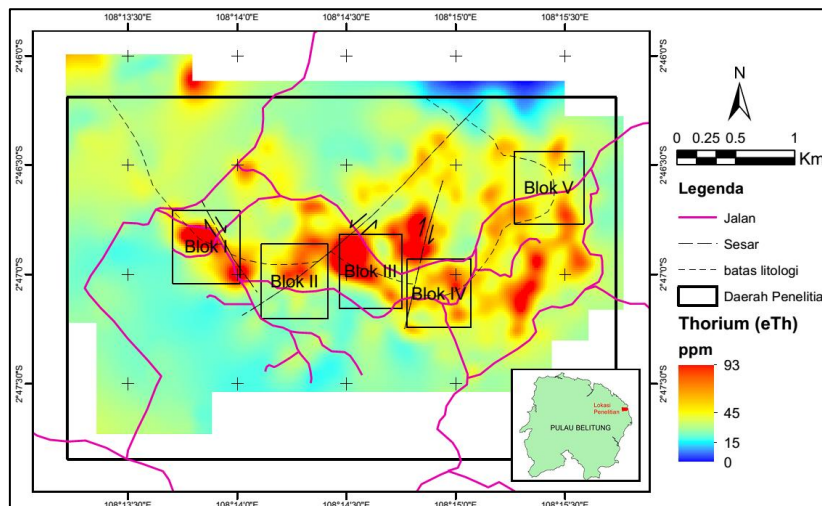


**Gambar 9.** Peta sebaran laju dosis radiasi daerah penelitian

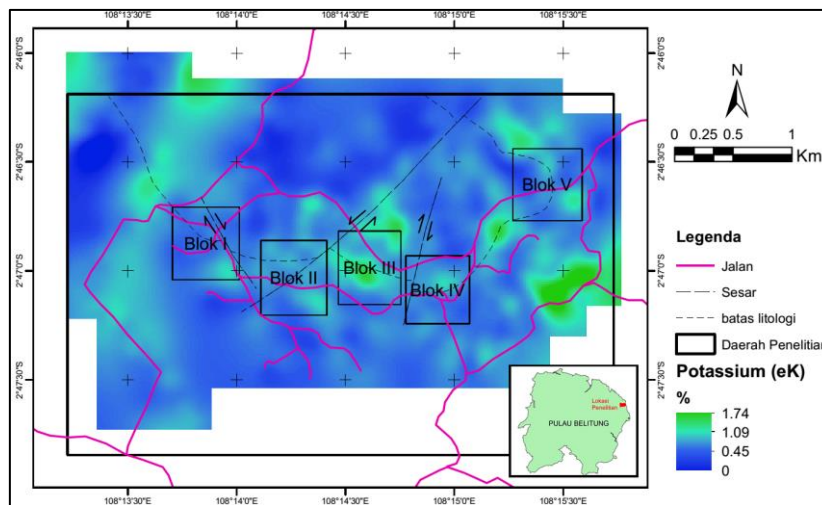




Gambar 10. Peta sebaran kadar uranium daerah penelitian



Gambar 11. Peta sebaran kadar torium daerah penelitian



Gambar 12. Peta sebaran kadar kalium daerah penelitian

## Estimasi Sumber daya

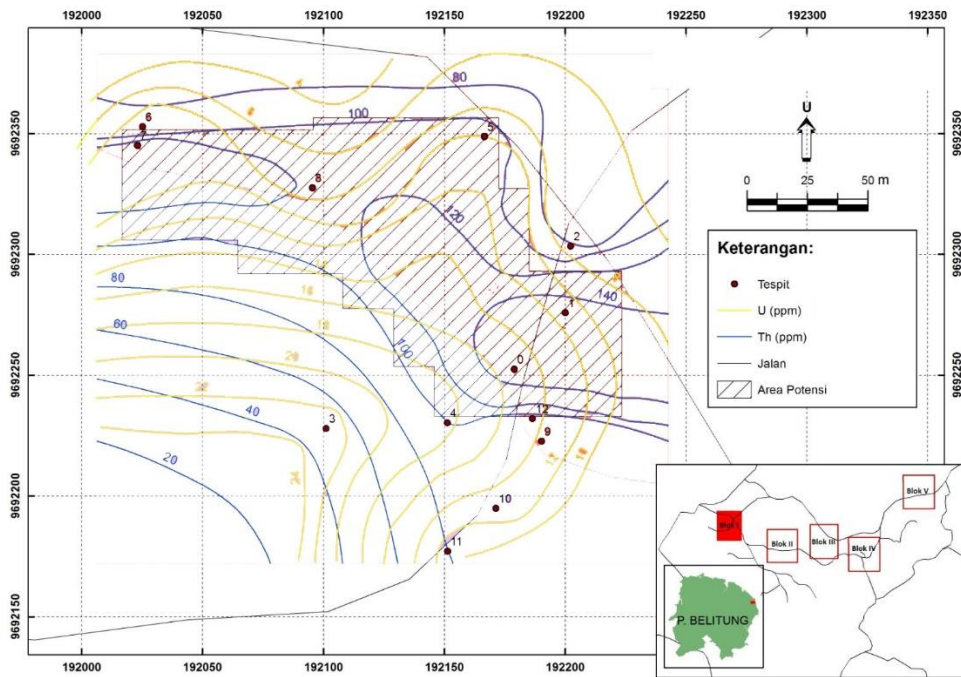
Anomali radioaktivitas yang teridentifikasi, baik eU maupun eTh, menunjukkan indikasi keterdapatan mineral pembawa unsur radioaktif yang berguna untuk delineasi area-area prospektif. Hasil analisis XRF terhadap *channel sample* pada sumur uji dan parit uji (Tabel 1) memiliki tingkat reliabilitas yang lebih tinggi dalam menentukan nilai kadar dibandingkan hasil pengukuran radioaktivitas karena mampu mengidentifikasi nilai kadar sebenarnya. Oleh karena itu, hasil analisis XRF menjadi salah satu parameter utama dalam estimasi sumber daya. Berdasarkan hasil analisis XRF didapatkan bahwa kadar U berkisar antara 0,7 s.d. 51,8 ppm sedangkan kadar Th berkisar antara 0,8 s.d. 344,8 ppm.

Tingginya kadar torium diinterpretasikan berasosiasi dengan keterdapatan mineral pembawa unsur radioaktif seperti monasit dan zirkon pada *channel sample*. Estimasi sumber daya hanya dilakukan untuk sumber daya torium karena kadar uranium di daerah penelitian relatif tidak terlalu signifikan. Estimasi sumber daya torium dilakukan pada sumur uji dan parit uji di blok I, II, III, IV dan V (Gambar 13 s.d. 17).

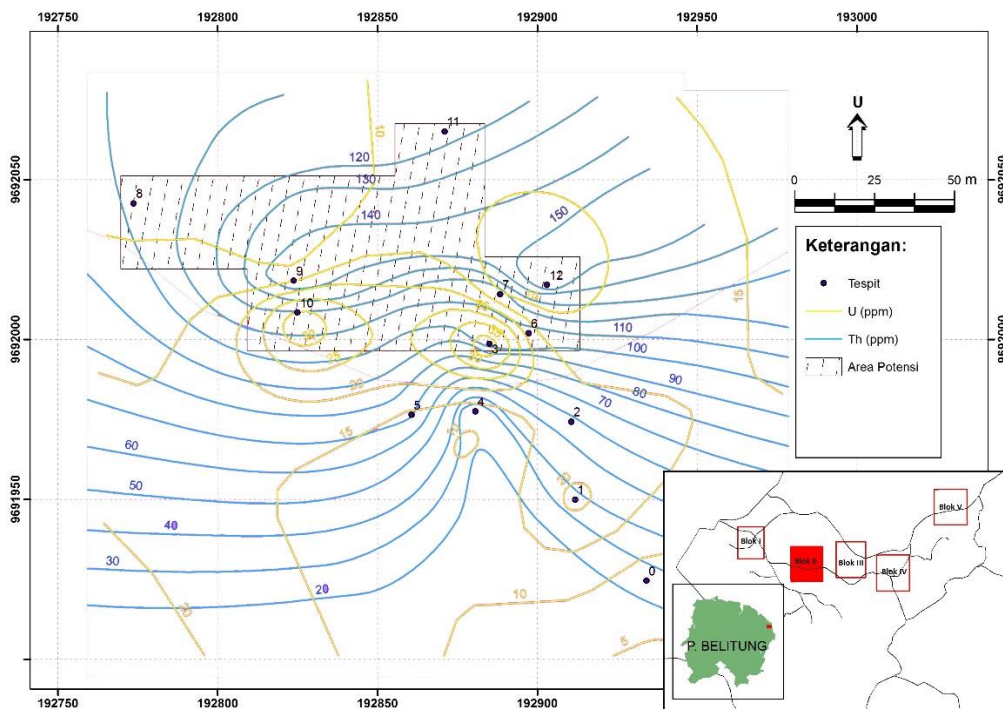
Hasil estimasi sumber daya torium pada Blok I, II, III, IV dan V disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan perhitungan di daerah Batubesi dan sekitarnya didapatkan bahwa sumber daya torium adalah sebesar 197,448 ton. Kategori sumber daya berdasarkan estimasi tersebut termasuk dalam kategori sumber daya tereka.

**Tabel 1.** Hasil analisis XRF *channel sample* daerah penelitian

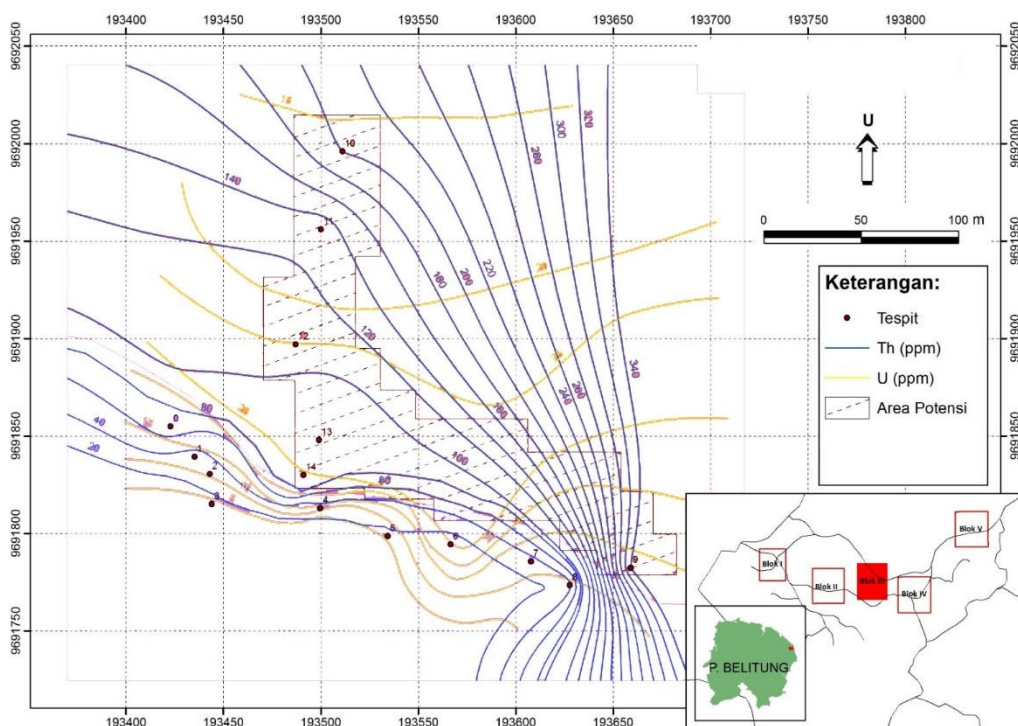
Nomor Sumur	Kadar (ppm)										
	Blok I		Blok II		Blok III		Blok IV		Nomor Parit	Blok V	
	Th	U	Th	U	Th	U	Th	U		Th	U
TP-01	88,3	13,4	26,7	6,3	73	17,4	158	5,7	P-V-1	26,7	2,7
TP-02	104,1	10	38,1	23,2	30,9	13,6	147,5	7,1	P-V-3	0,8	0,7
TP-03	98,5	13,2	57	15,9	28	10,6	102	4,1	P-V-6	1,2	1,1
TP-04	81,6	10,1	101,3	49,2	< 14	3,2	137,7	9,6	P-V-A(1)	80	43,9
TP-05	96,7	14,9	24	8,4	< 0,4	5,4	145,4	3,6	P-V-A(2)	115	49,1
TP-06	174,2	15,7	71,9	13	15,9	4,1	129,7	4,5	P-V-A(4)	123	51,8
TP-07	167,3	11,7	105	16,5	8,1	25,4	151,3	8,6	P-V-B(1)	195	41,2
TP-08	80	7,4	114,8	5,9	30,7	1,9	132,8	9,2	P-V-B(3)	169	5,7
TP-09	41	22,7	100	8,3	26,4	10,3	128,4	8,7	P-V-B(4)	167	6
TP-10	99,2	19,6	149,8	9,5	344,8	14,6	208,5	17,6			
TP-11	88,1	9	115,9	39	163,3	6,7					
TP-12	129,1	4,3	131,8	8,1							
TP-13	118,9	6,4					166,7	8,6			



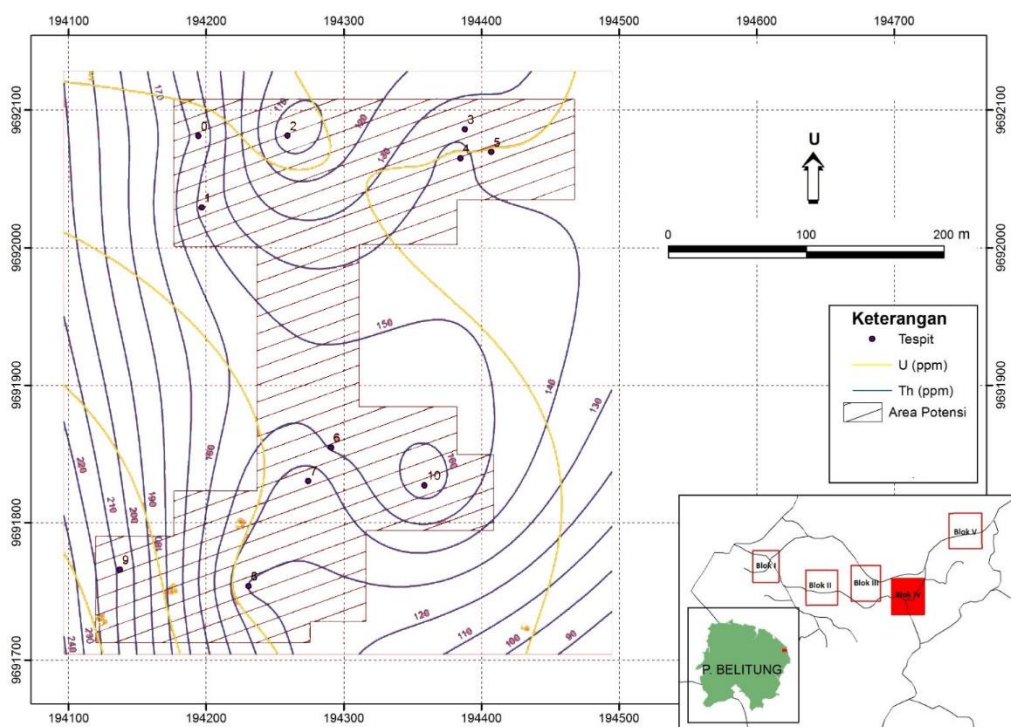
Gambar 13. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok I



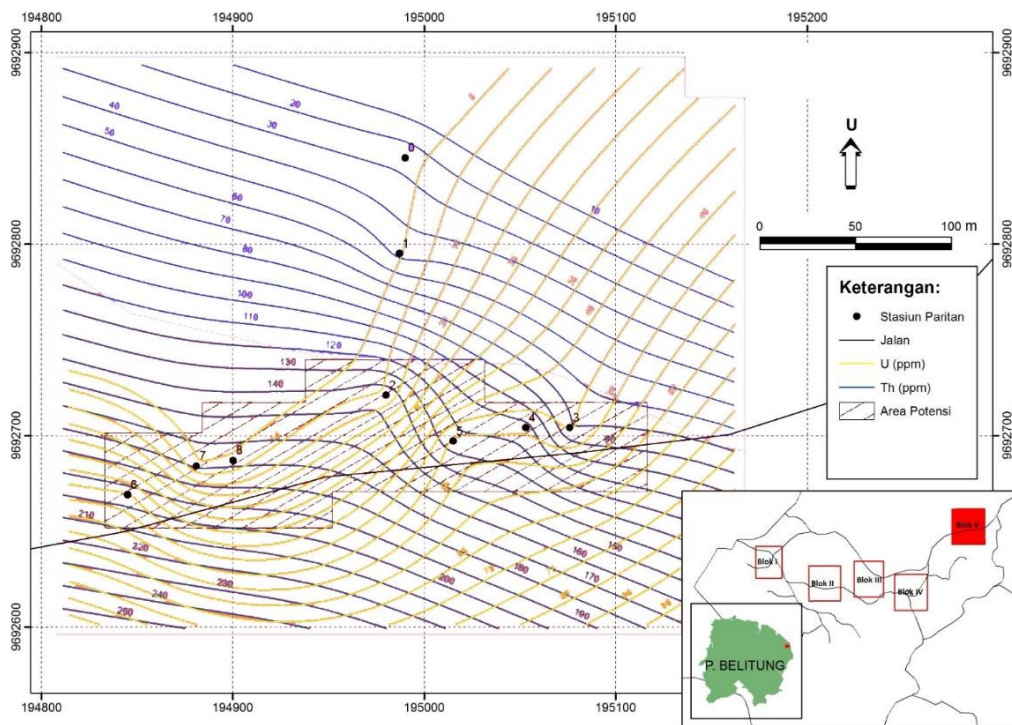
Gambar 14. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok II



Gambar 15. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok III



Gambar 16. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok IV



Gambar 17. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok V

Tabel 2. Estimasi sumber daya torium daerah penelitian

Blok	Luas daerah potensial (m <sup>2</sup> )	Kedalaman sumur uji (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densitas channel sample (kg/m <sup>3</sup> )	Massa channel sample (ton)	Kadar Torium (ppm)	Sumber daya Torium (ton)
I	15.050		30.100		165.550	147,375	24.398
II	6.563		13.126		72.193	120,038	8.666
III	15.970	2	31.940	5.500	175.670	160,517	28.198
IV	68.430		136.860		752.730	146,182	110.036
V	16.780		33.560		184.580	141,671	26.150
Jumlah							197.448

**KESIMPULAN**

Daerah Batubesi dan sekitarnya di Pulau Belitung memiliki potensi keterdapatn mineral pembawa radioaktif yang tinggi, Berdasarkan hasil pengukuran radioaktivitas, zona kontak antara satuan meta-batupasir dengan satuan granit menjadi daerah anomali ditunjukkan dengan nilai laju dosis hingga 360 nSv/jam dan kadar ekuivalen Th hingga 96 ppm,

Estimasi sumber daya difokuskan pada torium karena berdasarkan analisis XRF

unsur tersebut memiliki tingkat anomali kadar yang signifikan hingga 344,8 ppm, Hasil estimasi pada Blok I-V diperoleh sumber daya terka torium di daerah penelitian sebesar 197.448 ton yang diduga berkaitan dengan keterdapatn mineral-mineral pembawa unsur radioaktif seperti misalnya monasit dan zirkon,

Untuk dapat meningkatkan keyakinan geologi terkait kategori sumber daya tersebut maka perlu diterapkan metode eksplorasi yang lebih rinci dan sistematis sehingga tonase, kadar, dan dimensi tubuh

bijih dapat diketahui lebih pasti, Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam perencanaan kegiatan tahapan eksplorasi selanjutnya serta dapat dijadikan referensi terkait riset geologi mineral radioaktif di Pulau Belitung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Timah dan Kepala Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif, Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTDBBNLR-BRIN) serta rekan-rekan sejawat yang telah mendukung penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar,

## KONTRIBUTOR PENULIS

Seluruh penulis adalah kontributor utama dalam penulisan karya tulis ilmiah ini,

## DAFTAR PUSTAKA

Alatas, Z., Lusiyanti, Y., Sofiati, P., Dwi, R., and Viria, S., 2012, Cytogenetic response of population in high natural radiation areas in Mamuju Regency, West Sulawesi, *J. Sains Indones, Nucl, Tech*, 2012, 13, 1–5,

Baharuddin dan Sidarto, 1995, *Peta geologi lembar Belitung, Sumatera Skala 1: 250,000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung,

Cho, I., Oh, S., Kim, S., Ardin, F., and Heo, E., 2020, Determinants of nuclear power expansion in Indonesia, *Nuclear Engineering and Technology* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.06.008>,

Cobbing, E, J., Mallick, D, I, J., Pitfield, P, E, J., and Teoh, L, H., 1986, The granites of the Southeast Asia Tin Belt, *Journal of the Geological Society*, Geological Society of London, 1986, p,537-550,

Hazen, R, M., Ewing, R, C., and Sverjensky, D, A., 2009, Evolution of uranium and thorium minerals, *American Mineralogist, Volume 94*, pp 1293 – 1311,

Hitchman, A, P., 2018, *Australian resource reviews: mineral sands 2017*, Geoscience Australia, Canberra,

Hussein, F, N., Sukadana, I, G., Fauzi, R., Hartono, H, G., Sunarko, Adimedha, T, B, dan Anwar, A, M., 2020, Potensi bahaya gunung api terhadap calon tapak PLTN, studi kasus: Gunung Api Semadum, Kalimantan Barat, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol, 22, No, 2, (2020)*, pp 89-100,

Komite Cadangan Mineral Indonesia, 2017, *Kode pelaporan hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral Indonesia*, Komite Bersama KCMI,

McCourt, W, J., Crow, M, J., Cobbing, E, J., and Amin, T, C., 1996, *Mesozoic and Cenozoic plutonic evolution of SE Asia: evidence from Sumatra, Indonesia*, The Geological Society, London,

Ngadenin, Indrastomo, F, D., Karunianto, A, J., dan Rakhma, E., 2017, Geologi dan identifikasi cebakan bijih di Daerah Batubesi, Belitung Timur, *Eksplorium Vol, 38 No, 1, Mei 2017*: 7-18,

Nuclear Energy Agency (NEA) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Atomic Energy Agency (IAEA), 2015, *Introduction of Thorium in the Nuclear Fuel Cycle-Short to Long term Consideration*, NEA No,7224, 2015, 136p,

PTKMR BATAN, 2012, *Peta laju dosis radiasi gamma lingkungan Sumatera Bagian Selatan*, PTKMR BATAN,

Schwartz, M, O., Rajah, S, S., Askury, A, K., Putthapiban, P., and Djaswadi, S., 1995, *The Southeast Asia Tin Belt*, Elsevier B,V Publisher, Hannover, Germany,

Sukadana, I, G., Harijoko, A., dan Setiadji, L, D., 2015, Tataan tektonika batuan gunung api di Komplek Adang, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat, *Eksplorium Vol, 36 No, 1*, Mei 2015: 31-44,

Sukhyar, R., 2022, Mineral strategis dan mineral kritis Indonesia, Dalam *Webinar Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 22 Oktober 2022*.

Syaeful, H., Sukadana, I, G., and Sumaryanto, A., 2014, Radiometric Mapping for Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) assessment in Mamuju, West Sulawesi, *Atom Indonesia Vol, 40 No, 1 (2014) pp 33-39*.

Van Gosen, B, S., and Tulsidas, H., 2016, *Thorium for nuclear power resources, mining and transformation to fuel*, Woodhead Publishing, pp, 253-296.

Diterima : 19 Desember 2022  
Direvisi : 3 April 2023  
Disetujui : 25 Agustus 2023