

buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 18 No. 2, Agustus 2023



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 18	No. 2	Halaman 72 - 144	Bandung Agustus 2023	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020
--------------------------------	---------	-------	---------------------	-------------------------	---

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Tekstur *comb* dalam tekstur *banded* (atas) dan Tekstur *dogteeth* (bawah)
(Nurrezeki Amaliah Dulf, dkk., 2023)

Terakreditasi Kemenristek/BRIN sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan jurnal ilmiah terakreditasi Kemenristekdikti bidang mineral, energi fosil, dan panas bumi yang berkaitan dengan kajian sumber daya. Majalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

DEWAN REDAKSI

Editor In Chief

Ir. Denni Widhiyatna, M.T.

Managing Editor

Eko Suryanto, S.Kom.
Resmi Novianti, S.Kom.
Ernawati, S.I.Pust.
Rahayu Gesang Kami
Riad Bakti Padilah, S.AP.

Editorial Board

Fitri Purnamasari Liveta, S.A.P.
Qomariah, S.Kom., M.T.
Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si.
Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc.
Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi
Ir. Asep Suryana
Ir. Sri Widodo
Ir. Teuku Ishlah
Ir. Bambang Pardiarto
Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, S.T., M.Sc.
Ir. Rina Wahyuningsih
Fatimah, S.T., M.Sc.
Asep Sugianto, S.T., M.T.
Indra Sukmayana, S.T.

Peer-Reviewer

Prof. Dr.Ir. Binarko Santoso, M.Sc
Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D
Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA
Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc.
Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T.
Ir. Sabtando Joko Suprpto, M.T.
Edi Suhanto, S.Si, M.T.
Dr. Asep Kurnia Permana, S.T., M.Sc
Asep Rohiman, S.Si, M.Si
Dr. Ronaldo Irzon, S.Si, M.T.

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Bagian Umum
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270
Fax : (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinsdg@gmail.com
OJS : <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena atas izin-Nya pada Bulan Agustus 2023, Buletin Sumber Daya Geologi kembali hadir sebagai *Volume* 18 Nomor 2. Edisi saat ini berisi lima makalah ilmiah yang mengkaji tentang mineral, batubara dan panas bumi. Para penulis berasal dari Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Badan Riset dan Inovasi Nasional, PT. Nusa Halmahera Minerals, Universitas Padjadjaran, Universitas Widyatama dan Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung.

Tiga makalah yang mengulas tentang mineral yaitu berupa kajian estimasi sumber daya Thorium sebagai mineral radioaktif daerah Batubesi Kabupaten Belitung Timur. Makalah lainnya berupa kajian pengembangan Wilayah Pertambangan Logam Tanah Jarang di Kabupaten Bangka Selatan yang diidentifikasi dari beberapa variabel. Sedangkan makalah yang ketiga berupa kajian korelasi unsur Au dengan Ag, Cu, Pb dan Zn dari sampel paritan uji pada salah satu perusahaan tambang di Provinsi Maluku Utara.

Makalah yang berhubungan dengan komoditas batubara berupa pembuatan bahan acuan baku untuk analisis sampel batubara. Hal ini penting dilakukan sebagai upaya untuk mengontrol presisi dan validasi hasil analisis sampel batubara. Sedangkan makalah tentang panas bumi berupa kajian potensi pendapatan negara berdasarkan jumlah cadangan panas bumi. Dimana daerah Nage, Nusa Tenggara Timur sebagai lokasi kajiannya.

Seperti edisi-edisi sebelumnya, Buletin Sumber Daya Geologi ini dilengkapi dengan Pedoman Penulisan, hal tersebut untuk mempermudah para penulis untuk menyusun artikel ilmiah sesuai dengan standar yang ditentukan. Selain itu, rubrik Galeri Foto selalu hadir yang berisi foto-foto kegiatan lapangan dan singkapan-singkapan yang menarik untuk disimak oleh para pembaca.

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi serta manajemen yang telah memfasilitasi pengelolaan Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada para Penulis, Editor dan Mitra Bestari atas kontribusinya sehingga Buletin Sumber Daya Geologi selalu hadir untuk para pembaca dengan menyajikan makalah-makalah ilmiah yang berkualitas.

Salam Hormat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 72 - 86 **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, Adhika Junara Karunianto, Ersina Rakhma, Ngadenin,
Frederikus Dian Indrastomo, dan Tukijo
- 88 - 99 **TPEMBUATAN BAHAN ACUAN BAKU UNTUK ANALISIS SAMPEL BATUBARA**
PRODUCTION OF STANDARD REFERENCE MATERIALS FOR COAL SAMPLE ANALYSIS
Firdaus Djabar, Fitro Zamani, dan Herry Rodiana Eddy
- 100 - 117 **PENGARUH NILAI CADANGAN PANAS BUMI TERHADAP KELAYAKAN PROYEK
PENGEBORAN SUMUR EKSPLORASI OLEH PEMERINTAH BERDASARKAN
PERBANDINGAN BIAYA DAN PENDAPATAN NEGARA: STUDI KASUS PROYEK NAGE,
KABUPATEN NGADA, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**
*GEOTHERMAL RESOURCES EFFECTS ON PROJECT FEASIBILITY OF EXPLORATION
WELL DRILLING BY THE GOVERNMENT BASED ON STATE COST AND REVENUE
COMPARISON: A STUDY CASE OF NAGE PROJECT, NGADA REGENCY,
EAST NUSA TENGGARA PROVINCE*
Iman K. Sinulingga, Fitri Purnamasari Liveta, Evi Octavia, dan Husin Setia Nugraha
- 118 - 130 **ANALISIS SEBARAN LOGAM TANAH JARANG UNTUK PENGEMBANGAN
WILAYAH PERTAMBANGAN MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT-9
DI KABUPATEN BANGKA SELATAN**
*ANALYSIS OF RARE EARTH METAL DISTRIBUTION FOR MINING AREA DEVELOPMENT
USING LANDSAT-9 IMAGES IN SOUTH BANGKA REGENCY*
Sulka Wijaya, Mega Fatimah Rosana, Euis Tintin Yuningsih, Armin Tampubolon
- 132 - 144 **MINERALOGI BIJIH DAN KORELASI ANTARA UNSUR Au DENGAN UNSUR Ag, Cu, Pb,
DAN Zn PADA SAMPEL PARITAN UJI PIT X PT NUSA HALMAHERA MINERALS,
KABUPATEN HALMAHERA UTARA, PROVINSI MALUKU UTARA**
*ORE MINERALOGY AND CORRELATION BETWEEN THE ELEMENT OF Au
WITH ELEMENTS OF Ag, Cu, Pb, AND Zn IN TRENCH'S SAMPLE OF PIT X PT NUSA
HALMAHERA MINERALS, NORTH HALMAHERA REGENCY, NORTH MALUKU PROVINCE*
Nurrezeki Amaliah Dulf, Dharma Irwanda, Tatik Handayani, dan Suwahyadi

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

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 Fauzi¹, Adhika Junara Karunianto², Ersina Rakhma³, Ngadenin⁴,
Frederikus Dian Indrastomo⁴, dan Tukijo⁴

¹Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

³Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi,
Badan Riset dan Inovasi Nasional

⁴Pusat 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.

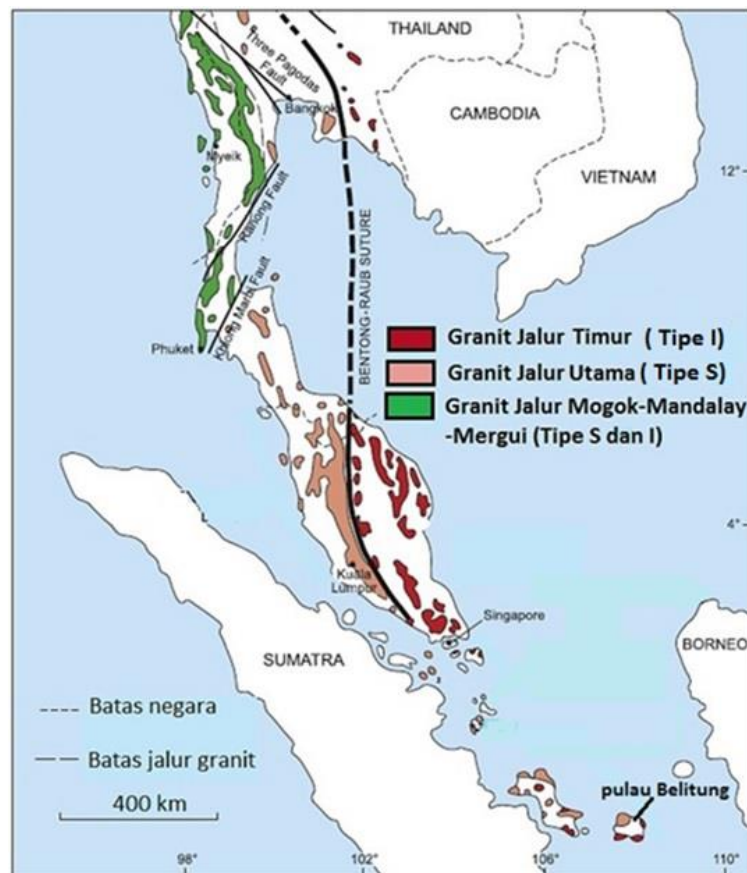
Estimasi sumber daya tereka dilakukan pada blok-blok prospektif yang masing-masing zona tersebut menunjukkan nilai anomali radioaktivitas serta memiliki akses yang memungkinkan untuk dilakukan metode eksplorasi lebih lanjut. Estimasi sumber daya dilakukan dengan mengadopsi prinsip-prinsip pada Komite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

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

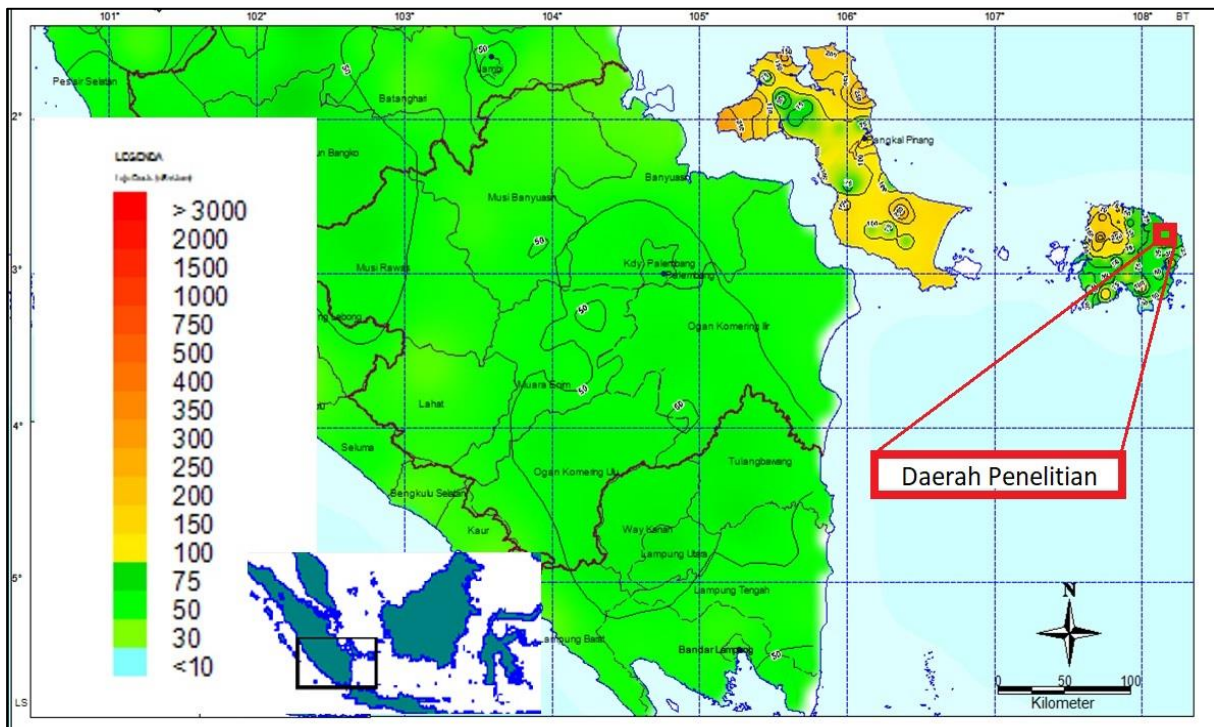
Asumsi dan variabel yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

- 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 (ρ) 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/m³ (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.

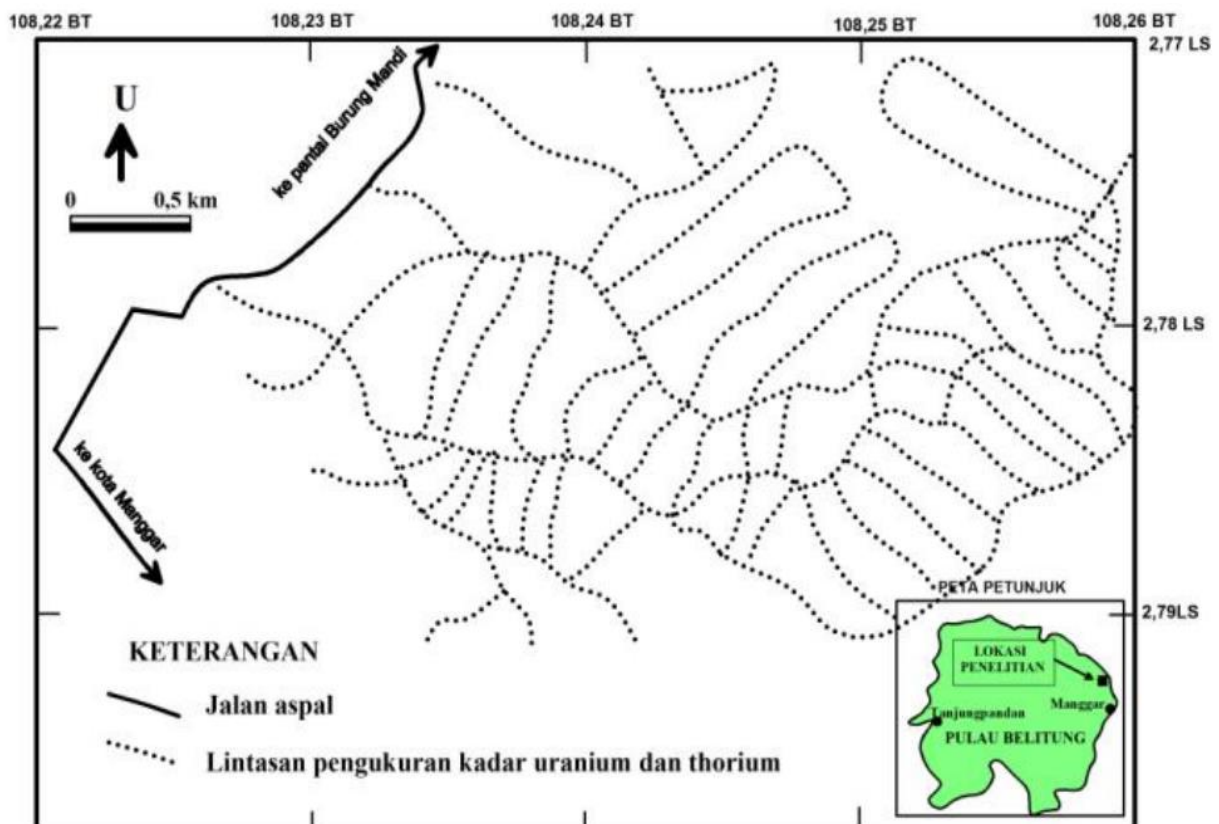
Lokasi pengambilan contoh batuan dan konsentrat dulang disajikan pada Gambar 4.



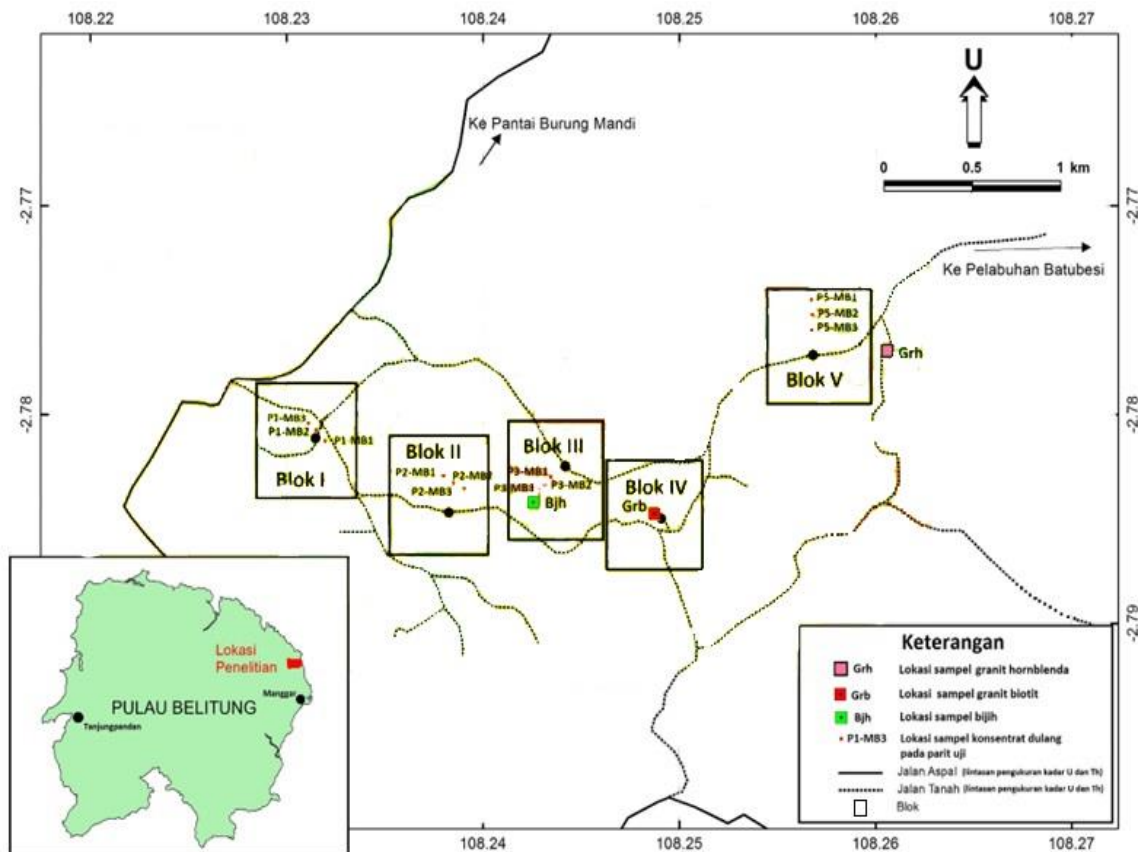
Gambar 1. Posisi Pulau Belitung dalam jalur timah Asia Tenggara (Cobbing et al., 1986)



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 Perno-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 Perno-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

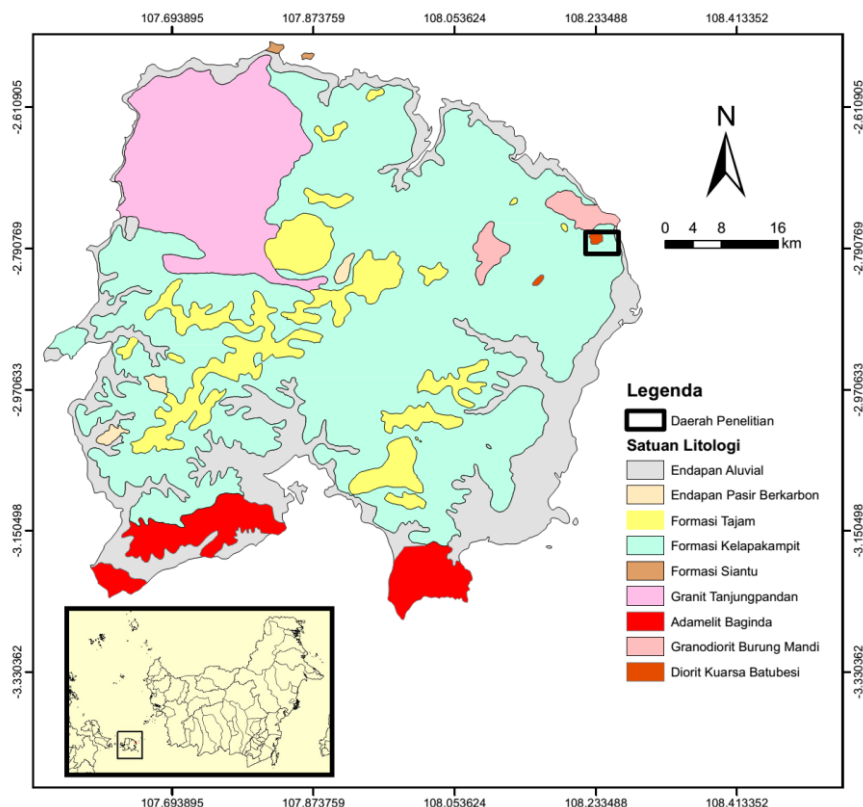
mineral kasiterit. Satuan ini menindih tak selaras batuan Pra-Tersier. Endapan aluvial sungai dan pantai terdiri atas kerakal-kerikil, pasir, lanau, lempung dan pecahan koral yang berumur Holosen (Baharuddin dan Sidarto, 1995).

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.

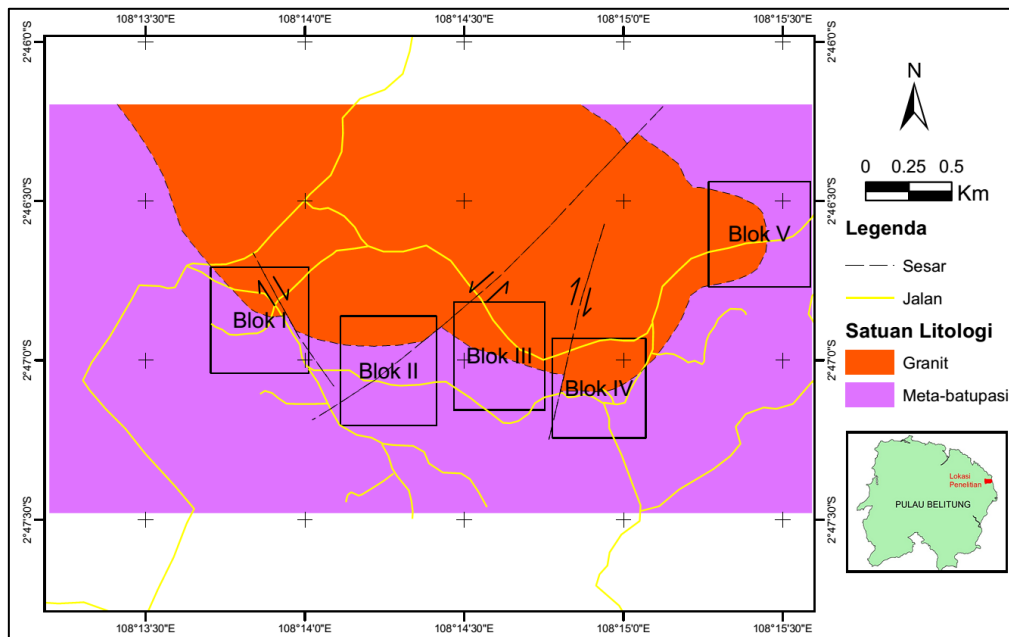
Berdasarkan hasil analisis petrografi, Satuan granit di daerah penelitian dapat dibagi menjadi satuan granit biotit dan satuan granit hornblenda. Granit biotit berwarna abu-abu kecoklatan-kehitaman,

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).

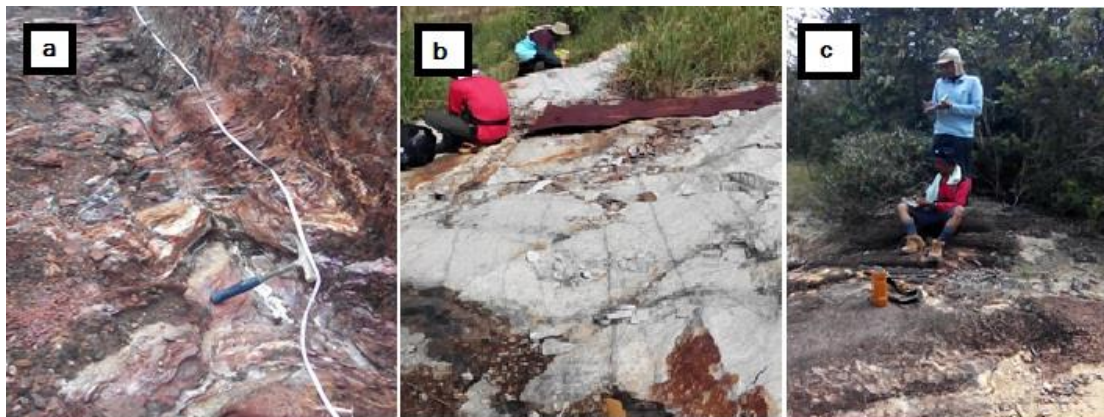
Satuan granit di daerah penelitian, baik granit biotit maupun granit hornblenda secara karakteristik litologinya tidak dapat dibandingkan dengan Diorit Kuarsa Batubesi. Berdasarkan Cobbing, et al. (1986) satuan tersebut termasuk pada granit Tipe I yang merupakan bagian dari Provinsi Timur Jalur Timah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



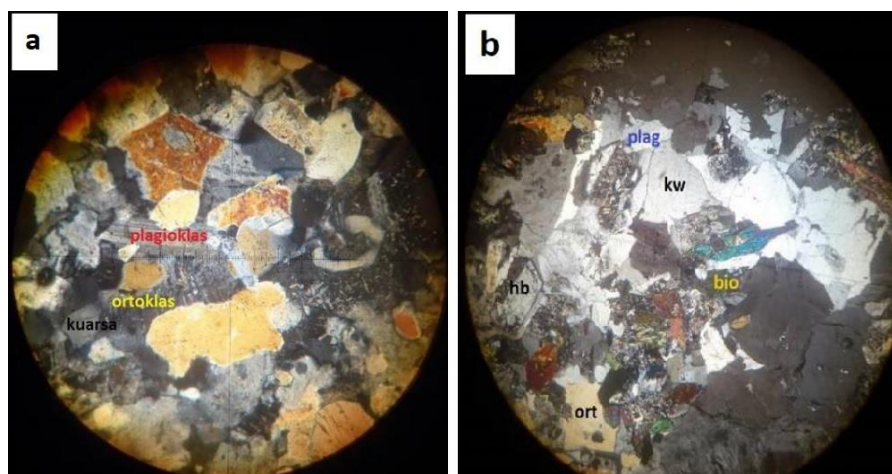
Gambar 5. Peta geologi regional Pulau Belitung (modifikasi dari Baharuddin dan Sidarto, 1995)



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).

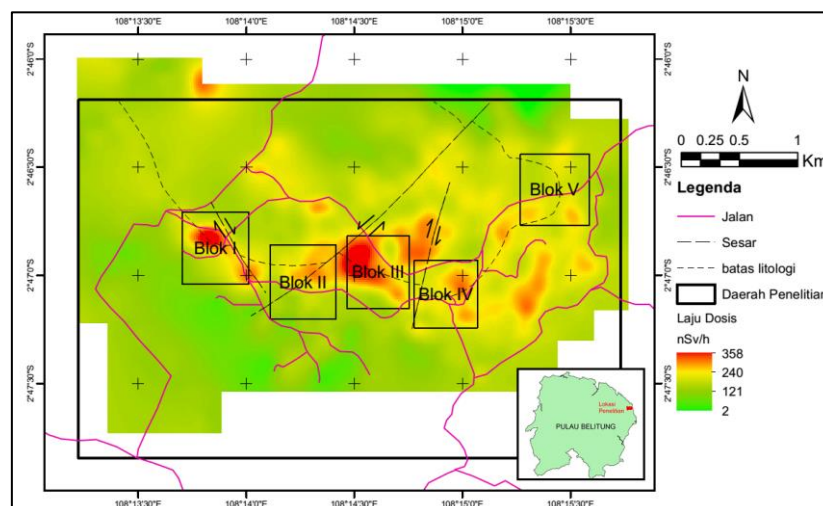
Hasil pengukuran kadar torium didapatkan berkisar antara 4 s.d. 93 ppm eTh. (Gambar 11). Nilai kadar eTh ini relatif lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi torium normal pada batuan granit yaitu sebesar 30 ppm mengacu pada Hazen et al. (2009). Selain itu, berdasarkan hasil pengukuran kadar kalium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

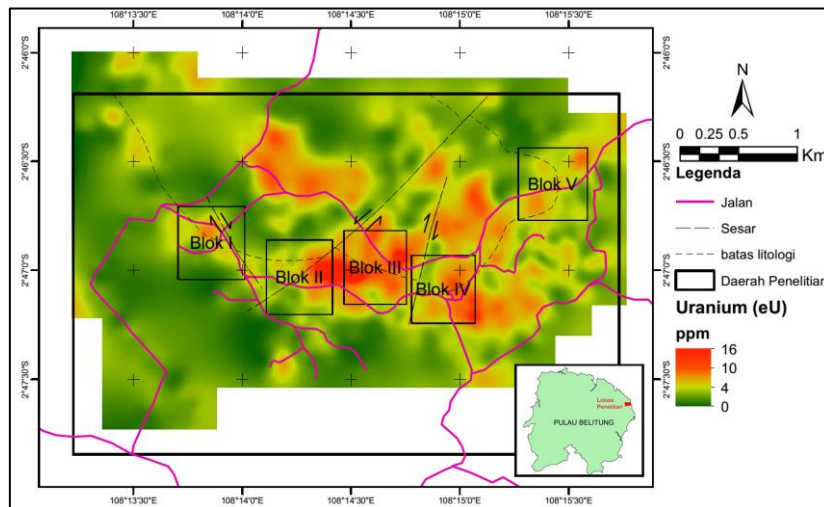
Delineasi Daerah Prospektif

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.

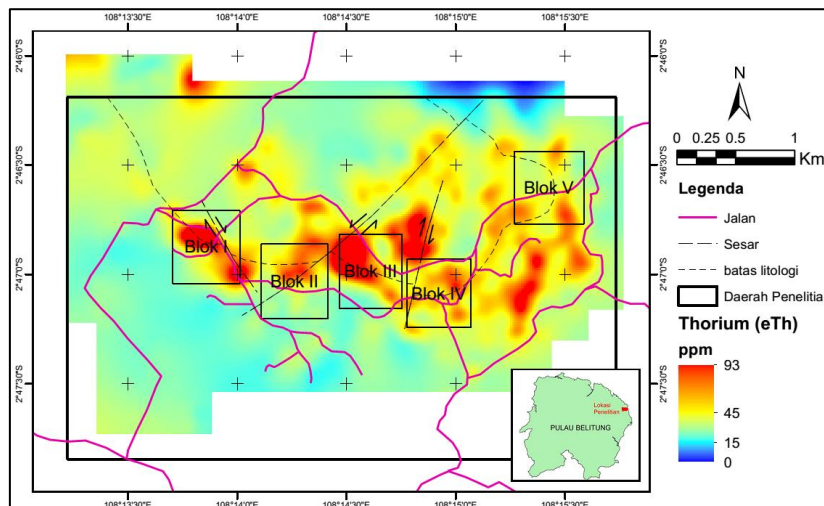
Berdasarkan pola dan persebaran zona anomali yang ada, delineasi daerah prospektif sumber daya mineral radioaktif di daerah penelitian terbagi menjadi beberapa blok yaitu Blok I, II, III, IV, dan V. Daerah anomali dengan laju dosis 300 s.d. 360 nSv/jam terdapat pada Blok I, II dan III (Gambar 9). Daerah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



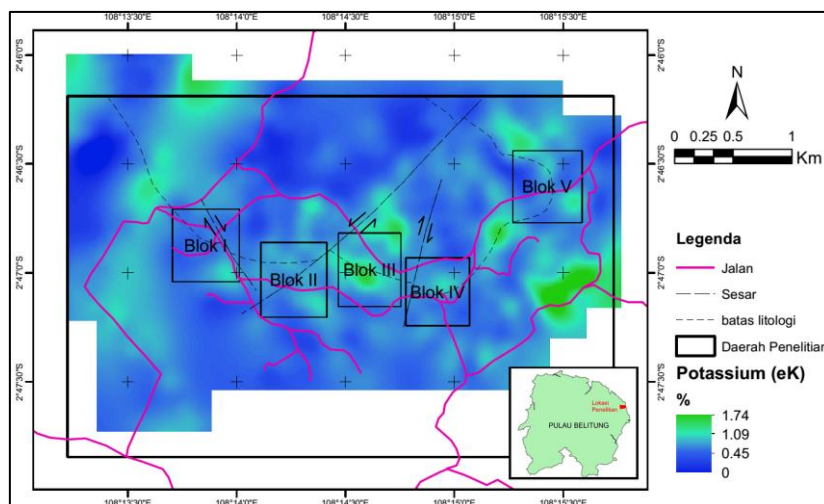
Gambar 9. Peta sebaran laju dosis radiasi daerah penelitian



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

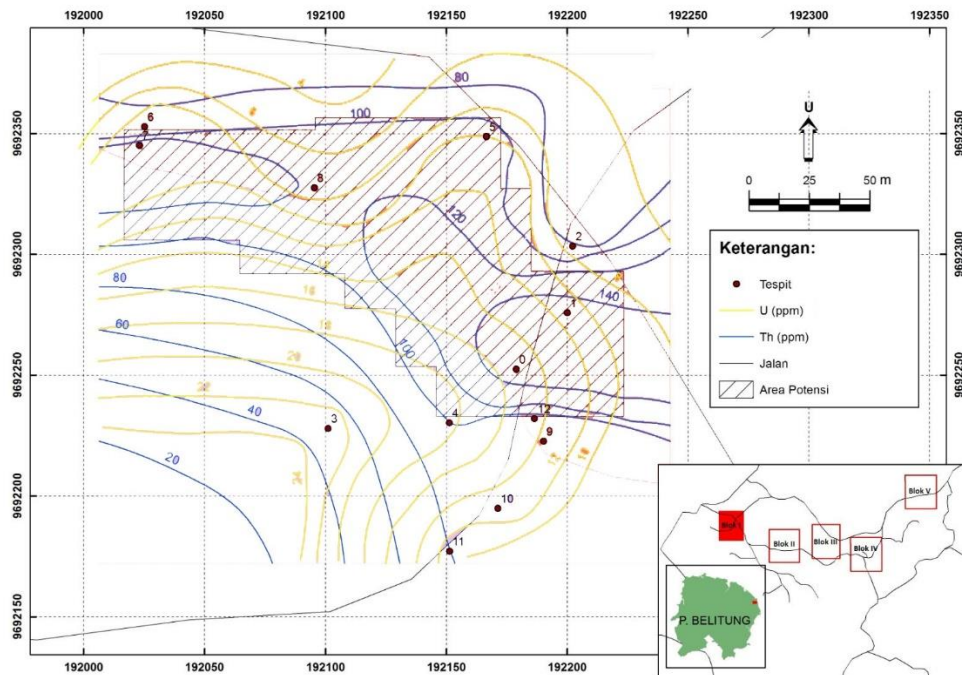
Anomali radioaktivitas yang teridentifikasi, baik eU maupun eTh, menunjukkan indikasi keterdapatan mineral pembawa unsur radioaktif yang berguna untuk delineasi area-area prospektif. Hasil analisis XRF terhadap *channel sample* pada sumur uji dan parit uji (Tabel 1) memiliki tingkat reliabilitas yang 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).

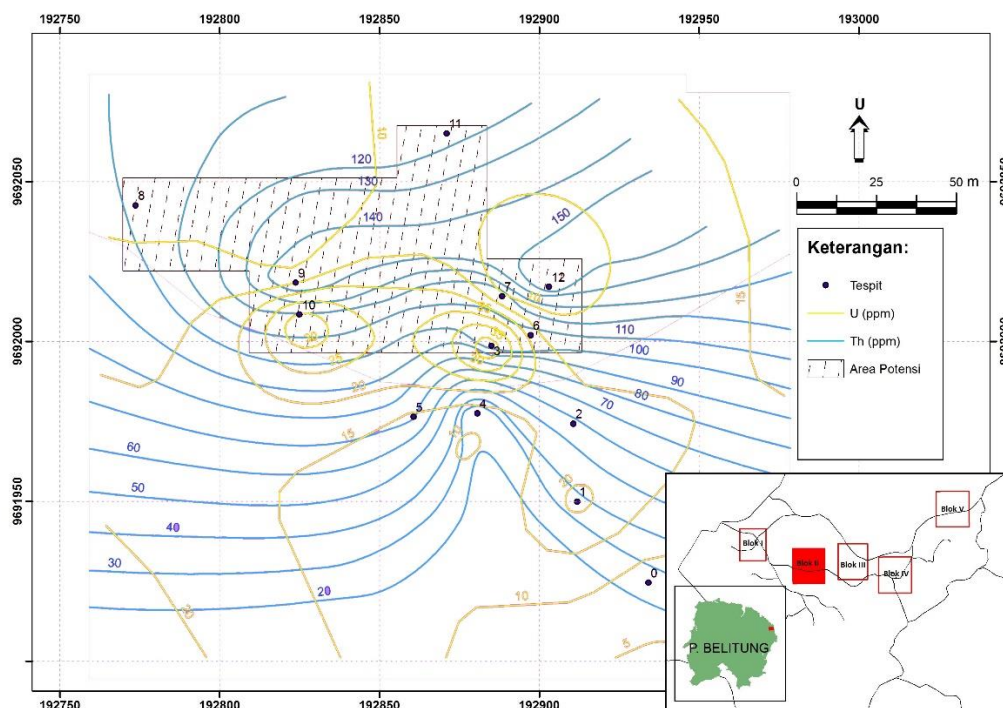
Hasil estimasi sumber daya torium pada Blok I, II, III, IV dan V disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan perhitungan di daerah Batubesi dan sekitarnya didapatkan bahwa sumber daya torium adalah sebesar 197,448 ton. Kategori sumber daya berdasarkan estimasi tersebut termasuk dalam kategori sumber daya tereka.

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

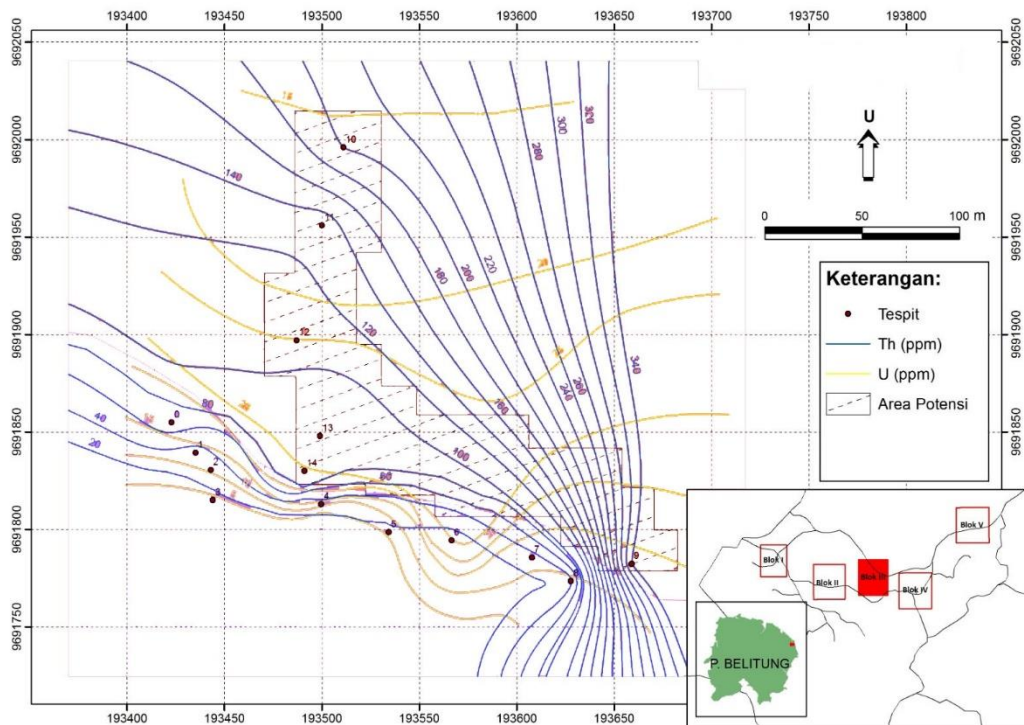
Nomor Sumur	Kadar (ppm)										
	Blok I		Blok II		Blok III		Blok IV		Nomor Parit	Blok V	
	Th	U	Th	U	Th	U	Th	U		Th	U
TP-01	88,3	13,4	26,7	6,3	73	17,4	158	5,7	P-V-1	26,7	2,7
TP-02	104,1	10	38,1	23,2	30,9	13,6	147,5	7,1	P-V-3	0,8	0,7
TP-03	98,5	13,2	57	15,9	28	10,6	102	4,1	P-V-6	1,2	1,1
TP-04	81,6	10,1	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			



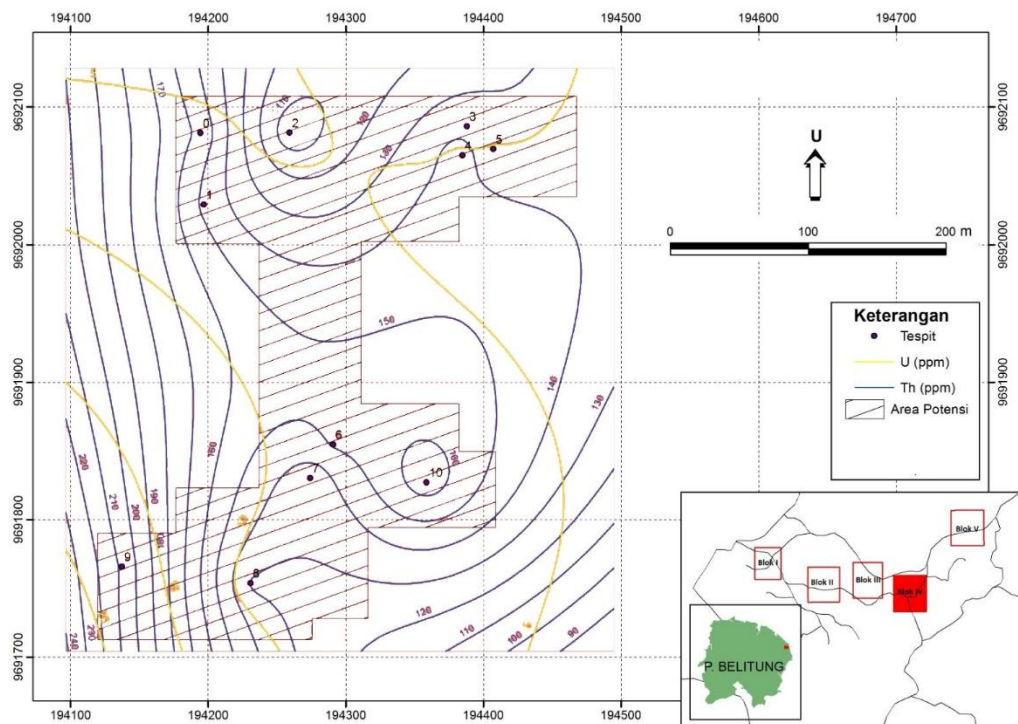
Gambar 13. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok I



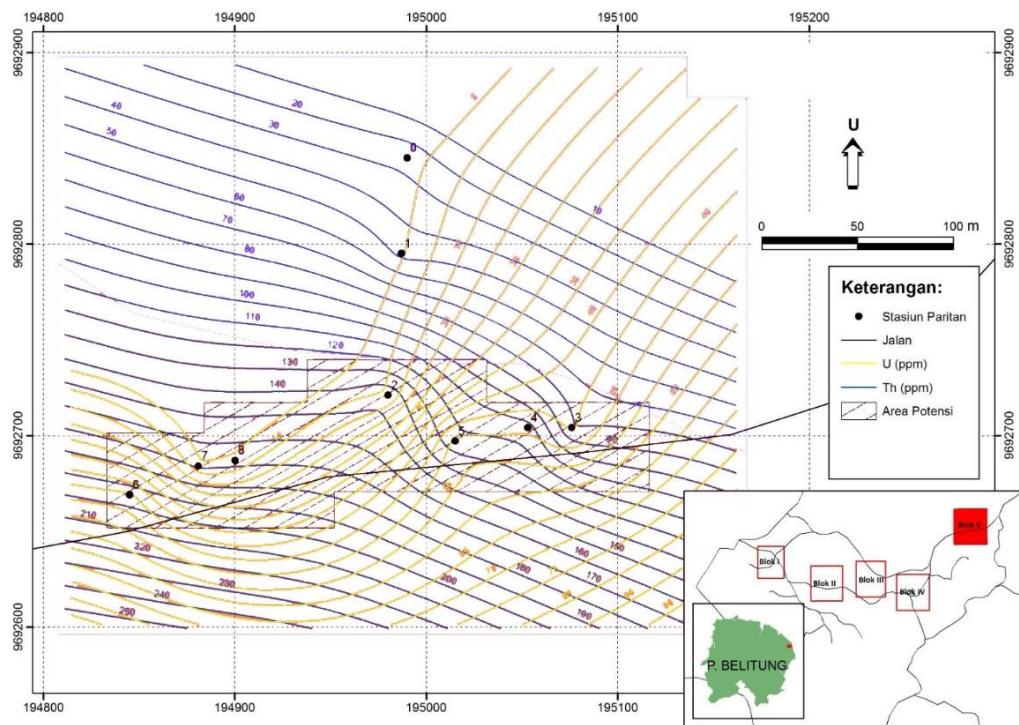
Gambar 14. Peta iso kadar U, Th dan potensi sumber daya Blok II



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 (m2)	Kedalaman sumur uji (m)	Volume (m3)	Densitas channel sample (kg/m3)	Massa channel sample (ton)	Kadar Torium (ppm)	Sumber daya Torium (ton)
I	15.050	2	30.100	5.500	165.550	147,375	24.398
II	6.563		13.126		72.193	120,038	8.666
III	15.970		31.940		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 keterdapatan 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 terduga torium di daerah penelitian sebesar 197.448 ton yang diduga berkaitan dengan keterdapatan 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

PEMBUATAN BAHAN ACUAN BAKU UNTUK ANALISIS SAMPEL BATUBARA

PRODUCTION OF STANDARD REFERENCE MATERIALS
FOR COAL SAMPLE ANALYSISFirdaus Djabar¹, Fitro Zamani², dan Herry Rodiana Eddy²¹Badan Riset dan Inovasi Nasional²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

dj12@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu syarat sistem pengendalian mutu *SNI ISO/IEC 17025:2017* adalah penggunaan bahan acuan baku yang tersertifikasi atau *CRM (Certified Reference Material)* untuk menjamin *akurasi* dan *validasi* pengukuran. Meskipun *CRM* adalah bahan acuan standar yang umum digunakan, bahan ini mahal, prosedur pengadaannya sulit, dan *matriksnya* terbatas. Oleh sebab itu, laboratorium perlu melaksanakan pembuatan bahan acuan baku secara mandiri. Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan pembuatan bahan standar internal batubara dari wilayah *konsesi* PT Berau Coal di Tambang Sambarata, Desa Tasuk, Kecamatan Gunung Tabur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Tahapan pembuatan bahan acuan baku batubara meliputi *preparasi*, *homogenisasi*, *analisis parameter*, uji statistik dan pengemasan sampel. Statistik yang digunakan adalah uji *F/anova single factor*/homogen sampel, uji *Dixon* dan *Z-Score*/untuk mengukur kehandalan data. Sampel batubara dianalisis di tujuh laboratorium batubara terakreditasi di Indonesia. Metode analisis kimia dan fisik menggunakan *American Standar Testing and Material (ASTM)*, dan *BSI British Standards*. Bahan acuan baku untuk analisis batubara yang dibuat secara mandiri mempunyai komposisi kadar abu $1,36 \pm 0,23\%$, kadar zat terbang $45,03 \pm 1,29\%$, sulfur total $0,14 \pm 0,07\%$, nilai kalori $7.310 \pm 67\text{kal/gr}$, dan *specific gravity* $1,30 \pm 0,06$.

Kata kunci: analisis batubara, bahan acuan baku, Kabupaten Berau, PT Berau Coal

ABSTRACT

A requirement in the *ISO 17025-2017* quality control systems is the adaptation of standard reference materials to ensure measurement accuracy and validation. However, standard reference material is expensive with difficult procurement procedures and limited matrices. Therefore, it is necessary for laboratories to produce their own standard reference materials. This study aims to explain the production of internal standard materials of coal from PT Berau Coal concession area at Sambarata mining site, Tasuk Village, Gunung Tabur District, Berau Regency, East Kalimantan Province. The production stages of standard reference materials involve preparation, homogenization, parameter analysis, statistical tests, and sample packaging. The statistical calculations were performed using the *F-test/ANOVA single factor*/homogeneous sample, *Dixon test* and *Z-Score*. Coal samples were also analyzed at seven accredited coal laboratories in Indonesia. The chemical and physical analysis methods used *American Standard Testing and Materials (ASTM)* and *BSI British Standards*. The produced in-house standard reference material indicates ash content of $1.36 \pm 0.23\%$, volatile matter of $45.03 \pm 1.29\%$, total sulfur of $0.14 \pm 0.07\%$, calorific value of $7,310 \pm 67\text{kal/gr}$, and specific gravity of 1.30 ± 0.06 .

Keywords: Berau Regency, coal analysis, PT Berau Coal, standard reference materials

PENDAHULUAN

Batubara merupakan batuan sedimen yang merupakan campuran antara senyawa

organik dan anorganik dan berasal dari penguraian sisa berbagai tumbuhan. Pembentukan batubara merupakan hasil akhir akumulasi organisme, erosi,

pengendapan sedimen, dan pergerakan kerak bumi (Anshariah dkk., 2022). Pada umumnya, batubara ditemukan dalam endapan lapisan yang disertai dengan serpih, batupasir, batugamping, dan produk endapan lainnya. Klasifikasi batubara berdasarkan peringkat/*rank* yaitu gambut, *lignite*, *sub-bituminous*, *bituminous*, semi *antrasite*, dan *antrasite*. Peringkat batubara ditentukan oleh kandungan nilai kalor, *volatile matter*, abu dan air. Nilai ini harus akurat dengan menggunakan bahan acuan baku.

Sistem pengendalian mutu (*quality control*) merupakan proses mengukur performa laboratorium dan membandingkan dengan standar yang berlaku, kemudian menindak lanjuti jika ada perbedaan dengan standar tersebut. Sistem ini penting bagi laboratorium karena menentukan kualitas data dari penerimaan sampel hingga pelaporan hasil, sehingga memenuhi kepuasan konsumen. Salah satu dari sistem *quality control* adalah penggunaan bahan acuan baku (*Standard Reference Material*/SRM), yaitu material dengan matriks yang sama dengan sampel yang akan dianalisis, tetapi diketahui nilai parameter uji (Pusat Sumber Daya Geologi, 2010; Irzon, 2018; Soto dkk., 2020).

Sesuai dengan *ISO/IEC 17025:2017* bahwa setiap laboratorium terakreditasi diwajibkan mempunyai bahan acuan baku dalam rangka menjamin standar mutu hasil analisis. Dimana data analisis, akan melengkapi data sumber daya dan cadangan batubara. Pada umumnya SRM yang digunakan di laboratorium dapat diperoleh dari lembaga tertentu yang disebut dengan CRM atau *Certified Reference Material*, berisi material dengan dilengkapi sertifikat berisi nilai komposisi atau parameter uji dari material. CRM batubara biasanya diperoleh dari beberapa penyedia CRM, tetapi harganya relatif mahal dan membutuhkan waktu yang cukup lama dalam pemesanannya (Irzon dkk., 2022). Selain CRM, bisa juga digunakan material hasil uji profisiensi sebagai bahan acuan baku, tetapi material tersebut tidak memiliki sertifikat resmi.

Selain itu tidak semua material uji *profisiensi* juga dapat dijadikan bahan acuan baku karena dilihat dari komposisinya banyak material yang tidak stabil. Pembuatan bahan acuan baku secara mandiri (*In-House Standard*) merupakan salah satu upaya dalam penyediaan bahan acuan baku. Kegiatan ini menjelaskan proses pembuatan bahan acuan baku/SRM batubara daerah berau, Kalimantan Timur, SRM ini dapat digunakan asal memenuhi beberapa persyaratan, diantaranya stabil untuk periode waktu tertentu, homogen preparasinya, kandungan air, abu rendah, kalori tinggi, memenuhi syarat statistik dalam pengolahan datanya, dan tersedia dalam kuantitas yang mencukupi (Aziz dkk., 2020).

Pemercontaan di dalam kegiatan pembuatan bahan acuan baku untuk analisis batubara ini merupakan tahapan penting, karena menentukan sasaran kualitas batubara yang diharapkan. Dalam proses pembuatannya diperlukan kualitas batubara yang relatif stabil yang dilihat dari nilai *moisture* yang rendah, sehingga batubara yang diambil dari jenis batubara *sub-bituminous* dan *bituminous* dengan nilai kalori cukup tinggi. Berdasarkan hal tersebut, maka sampel batubara diambil dari lokasi pertambangan batubara daerah konsesi PT Berau Coal, dengan metode *acak*, yang terletak di Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Analisis kimia dan fisik menggunakan *American Standar Testing and Material (ASTM)*, dan *BSI British Standards*. Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan pembuatan bahan standar internal batubara dari wilayah konsesi PT Berau Coal di Tambang Sambarata, Desa Tasuk, Kecamatan Gunung Tabur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur.

METODOLOGI

Kegiatan pembuatan bahan acuan baku untuk analisis batubara meliputi kegiatan pengambilan sampel di lapangan (*pemercontaan*), preparasi, homogenitas, analisis sampel di tujuh laboratorium terakreditasi batubara yang berbeda,

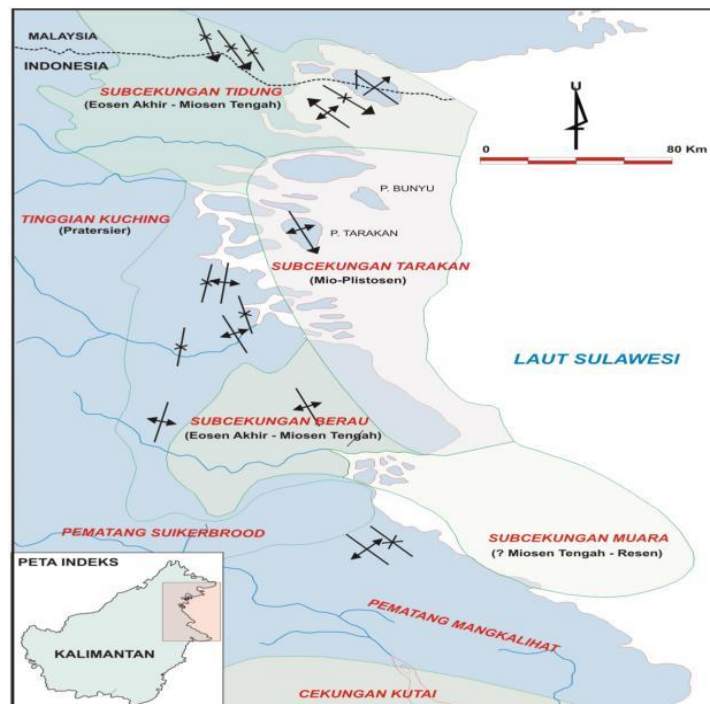
pengolahan dan analisis data, sertifikasi sertifikasi hasil analisis, serta pengemasan bahan acuan baku.

Pengambilan Sampel

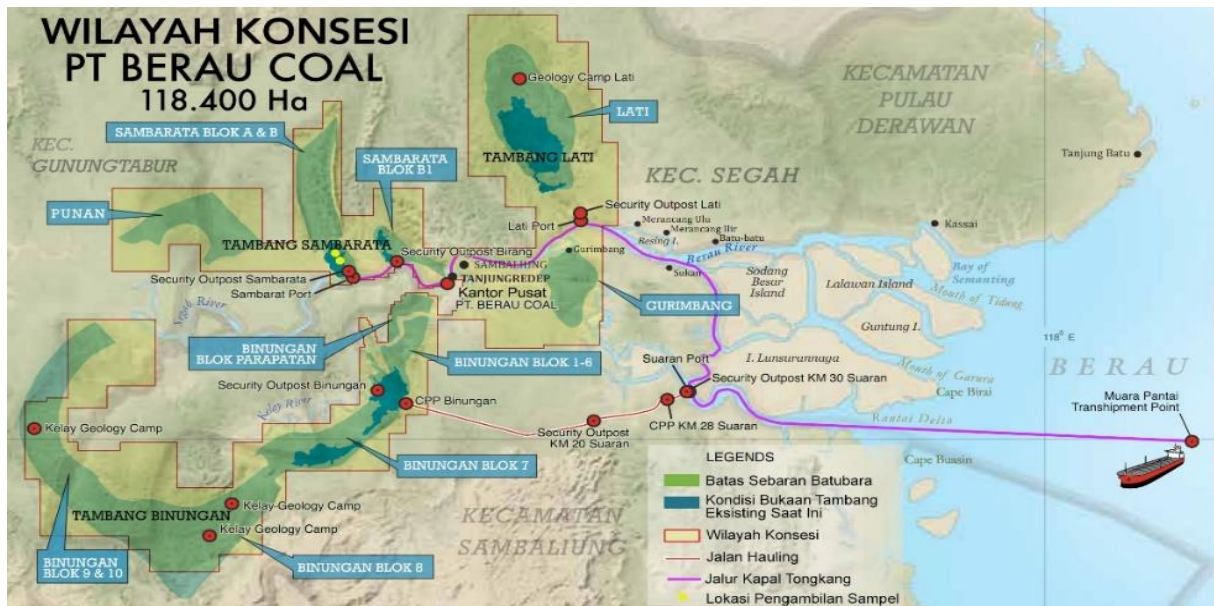
Pengambilan sampel batubara dilakukan secara acak (Pulungan dkk.,2020). Kegiatan tersebut dilakukan di Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur, daerah ini merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Kalimantan Timur dengan ibukota di Tanjung Redeb, secara geografis terletak antara 116° BT - 119° BT dan antara 1° LU- 2° 33" LU. (Yosep dkk., 2014). Daerah ini berbatasan dengan Kabupaten Bulungan di sebelah utara, Laut Sulawesi di sebelah timur, Kabupaten Kutai Timur di sebelah selatan, Kabupaten Malinau, Kutai Barat, dan Kutai Kartanegara di sebelah barat. Luas wilayah daerah ini sekitar 34.127 km². Daerah tersebut termasuk pada subcekungan Berau yang merupakan bagian dari Cekungan Tarakan. Pembagian menjadi sub-cekungan ini didasarkan keadaan geologi dan sedimentasi pada saat batuan sedimen tersebut diendapkan. Selain sudah terbukti penghasil hidrokarbon, termasuk *coal bed methane*, sub-cekungan

Berau juga mempunyai beberapa satuan batuan yang mengandung lapisan batubara, salah satunya adalah *Formasi Lati*, khususnya bagian atas yang terendapkan di sungai hingga dataran delta dengan umur antara *Eosen Akhir* sampai *Miosen Tengah* (Maryanto, S., 2011), yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

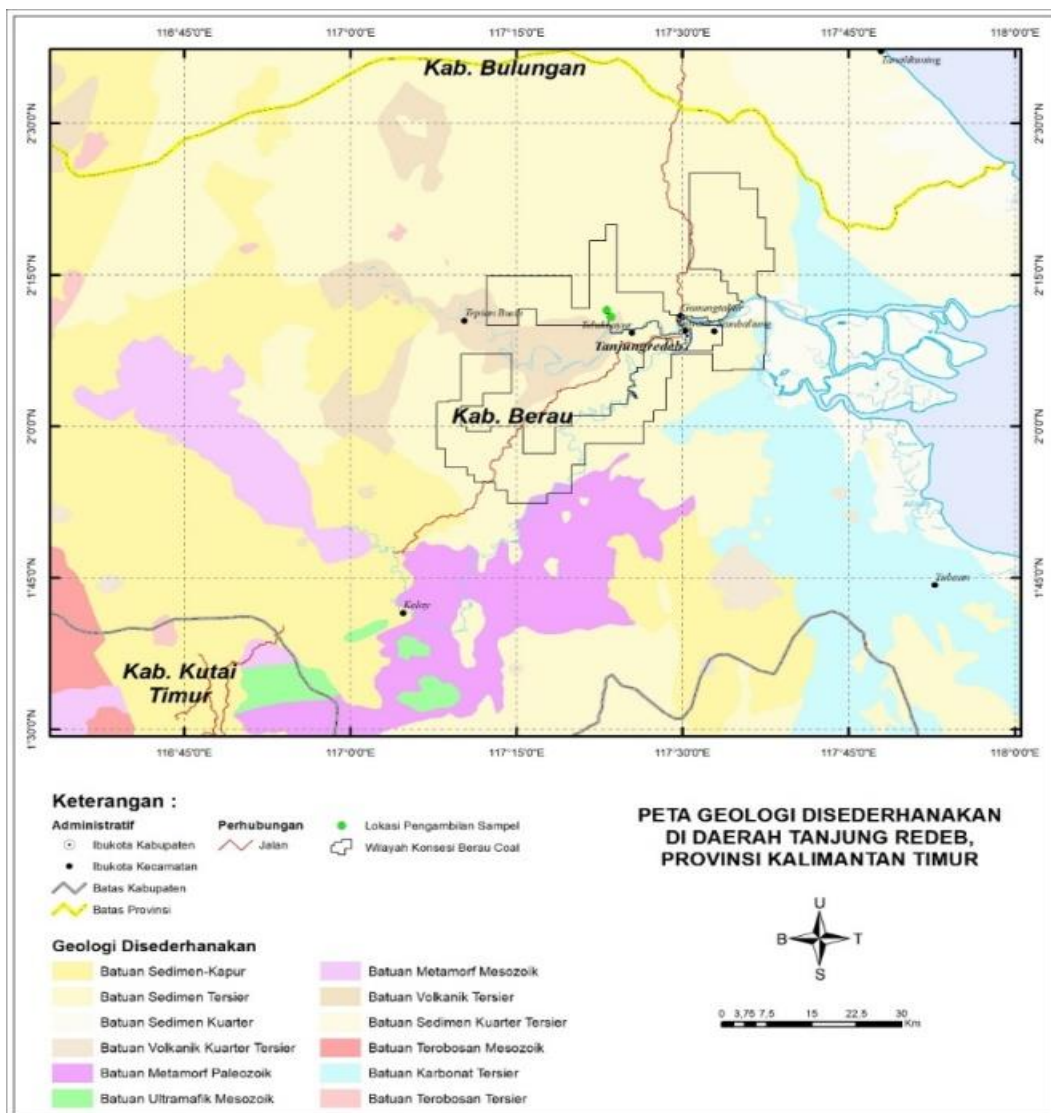
Lokasi pemercontaan batubara dilakukan di wilayah konsesi PT Berau Coal yaitu daerah Tambang Sambarata, Desa Tasuk, Kecamatan Gunung Tabur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur, lokasi 1 dengan koordinat 2° 10' 50,9" N - 117° 23' 31,9" E dan lokasi 2 dengan koordinat 2° 11' 28,8" N - 117° 23' 11,2" E. Lokasi Tambang Sambarata merupakan salah satu tambang dari konsesi PT Berau Coal (Gambar 2). Secara umum daerah penelitian didominasi oleh batuan pembawa batubara berumur Tersier, formasi batumannya Lati dan Labanan (Gambar 3). Tambang Sambarata dipilih menjadi lokasi pengambilan sampel dengan pertimbangan batubara di daerah tersebut mempunyai nilai kalori antara 6.000 kal/gr sampai dengan 7.000 kal/gr, sampel batubara yang diambil sekitar 15kg sampai dengan 20 kg.



Gambar 1. Peta Wilayah Cekungan Tarakan yang terbagi menjadi empat sub-cekungan, yaitu Tidung, Tarakan, Berau dan Muara (Tossin, S. dan Kadir, R., 1996 dalam Maryanto, S., 2011)



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel batubara di Tambang Sambarata (PT Berau Coal, 2023)



Gambar 3. Peta Geologi Disederhanakan (PSDMBP, 2023)

Preparasi dan Homogenitas Sampel

Diagram alir pengolahan sampel dapat dilihat pada Gambar 4. Sampel yang diambil dilapangan dimasukkan dalam kantong untuk mencegah kehilangan air permukaan/*free moisture*. Sampel kemudian dipreparasi dengan metoda ASTM D 2013-03. Setelah itu dikirim ke beberapa laboratorium terakreditasi untuk dilakukan analisis kimia dan fisik. Setelah sampel batubara dipreparasi, kemudian dicampur selama 80 jam untuk masing masing sampel, sehingga diperoleh sampel yang homogen. Kemudian diambil 10 bagian secara *acak* dan dimasukkan kedalam botol seperti dijelaskan oleh Irzon dan Kurnia (2013). Dari setiap botol dilakukan analisis proksimat/ kadar abu secara duplo, selanjutnya data diolah secara statistik dengan metode *anova single factor* atau menggunakan uji F untuk uji homogenisasi sampel (Tunning dkk., 2012; Liu C dkk., 2018).

$$MSB = \frac{\sum [a_i + b_i - \bar{X}_{a_i+b_i}]^2}{2(n-1)}$$

$$MSW = \frac{\sum [a_i - b_i - \bar{X}_{a_i-b_i}]^2}{2n}$$

Dengan :

MSB : Mean square between

MSW : Mean Square Within

a_1 : hasil analisis pertama

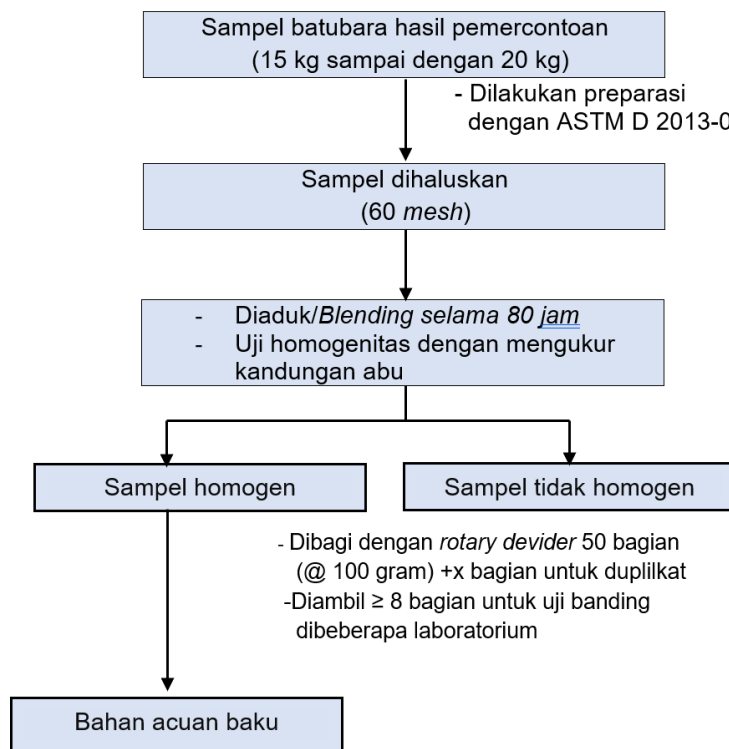
b_i : Hasil analisis kedua

n : jumlah sampel yang dianalisis.

Sedangkan untuk nilai F dihitung dari:

$$F_{hit} = \frac{MSB}{MSW}$$

Sampel dinyatakan homogen jika $F_{hit} < F_{tabel}$ (db_1, db_2, α), jika dalam pengolahan data, sampel teridentifikasi tidak homogen, maka sampel batubara tersebut dicampur kembali sampai diperoleh sampel yang homogen. Sampel batubara yang sudah homogen, kemudian dilakukan analisis sifat fisik dan kimia. Metode analisis yang digunakan mengacu pada *ASTM D 7582-15*, untuk analisis, *moisture*, *Volatile*, abu, dan *fixed carbon*, *ASTM D 5865 -19*, nilai kalor, *ASTM D 4239-18*, untuk nilai sulfur total dan *AS 1038.21.1.1 - 2008*, untuk nilai *specific gravity*. Analisis juga dilakukan di tujuh laboratorium yang berbeda untuk memenuhi syarat pengolahan data secara statistik



Gambar 4. Bagan alir preparasi dan uji homogenitas sampel

Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil analisis kimia dari laboratorium kemudian diolah secara statistik untuk mendapatkan nilai rata-rata, simpangan deviasi, dan presisi internal laboratorium. Dari nilai rata-rata setiap parameter, yang digabungkan dengan hasil dari tujuh laboratorium lainnya. Metoda analisis data yang digunakan meliputi metoda Uji Dixon, nilai parameter uji (*Assign Value*) dan *range value* (+/-) dan *Z-Score* (Komite Akreditasi Nasional, 2004; Kartika, 2006; Elishian, 2014).

Uji Dixon dilakukan untuk menseleksi data yang menyimpang atau tidak homogen, metode Dixon dilakukan dengan cara mengurutkan data hasil uji mulai data yang paling kecil, kemudian data akan dibuang sesuai tabel (Zmuk B, 2017; Promtep dkk., 2022). Setelah dilakukan uji Dixon, maka data yang tidak homogen “sesuai kriteria uji dixon” akan dibuang karena data ini akan mengurangi tingkat ketelitian hasil analisis statistik (Aslam M, 2020). Data yang lolos uji dixon akan diolah dengan analisis statistik untuk menentukan nilai parameter uji (*assigned value*). Metode analisis statistik yang digunakan dalam pembuatan bahan acuan baku untuk beberapa parameter batubara mengacu pada ISO 13283 (*Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*), dan detail perhitungan analisis statistik diambil dari ISO 13528, *Annex C Algorithm A*.

Sesuai dengan ISO 13528, nilai rata-rata sama dengan nilai rata-rata *robust*, dan standard deviasi sama dengan standard deviasi *robust*. Nilai parameter uji/*Assign Value* diperoleh secara konsensus untuk tingkat kepercayaan 95% adalah:

$$\bar{x}_{robust} \pm 1.96 \text{ sd}_{robust}$$

Untuk mengetahui tingkat kehandalan atau kinerja laboratorium peserta, dapat digunakan *Z-Score* sebagai parameter acuan, yang merupakan nilai standar dan menggambarkan seberapa jauh perbedaan hasil pengujian laboratorium peserta terhadap nilai konsensus. *Z-Score*

untuk tiap hasil laboratorium peserta dapat dihitung dengan formula berikut:

$$Robust\ z\text{-score} = \frac{x_i - x^*}{s^*}$$

Dengan: x_i = Nilai rata rata dari laboratorium penguji
 x^* = *robust mean*
 s^* = *simpangan deviasi robust*.

Nilai *Z* dapat dikelompokkan kedalam tiga kategori. Jika $|Z| > 3$ maka laboratorium tersebut termasuk dalam katagori *outlier*. Jika $2 < |Z| < 3$ maka laboratorium tersebut termasuk dalam kategori “diperingati”. Kemudian, jika $|Z| < 2$ maka laboratorium tersebut termasuk laboratorium yang kompeten. Nilai *Z-Score* hasil analisis statistik di atas di *plot* dalam kurva *Z-Score* untuk mempermudah identifikasi tingkat kehandalan masing masing laboratorium penguji. Setelah pengolahan data secara statistik dilakukan dengan sempurna, maka sertifikasi terhadap parameter uji dapat dilakukan. Sertifikat tersebut berisi informasi tentang *Assign Value* dengan tingkat kepercayaan 95% untuk setiap parameter uji (nilai kalori, proksimat, *specific gravity* dan total sulfur). Sampel bahan acuan baku untuk analisis batubara dengan parameter uji yang sudah diketahui, kemudian dikemas dan disimpan dalam botol kedap udara. Kemasan dilengkapi dengan label yang menerangkan kode sampel bahan acuan baku (*SRM*) serta instansi pembuatnya (DAC-G3-03; Kartika, 2006; Elishian, 2014).

Presisi dan Akurasi

Parameter yang diperlukan untuk memperoleh validitas data hasil uji untuk sampel batubara hanya validitas alat, karena metode analisis sudah valid/*ASTM*. Validasi metode uji dilakukan terhadap sampel *Certified Reference Material* (*CRM*). *CRM* merupakan bahan referensi yang bersertifikat yang sifatnya homogen dan stabil yang digunakan dalam proses pengukuran. Presisi dan akurasi dilakukan dengan melakukan pengujian berulang pada sampel *CRM*, kemudian

dibandingkan dengan nilai CRM berdasarkan sertifikat (*true value*). Hasil presisi dan akurasi pada kisaran antara 90% sampai dengan 110% dan prosentase presisi lebih kecil dari 5 % (Dinarsih, D., Eddy, H.R., 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Homogenitas Sampel Batubara

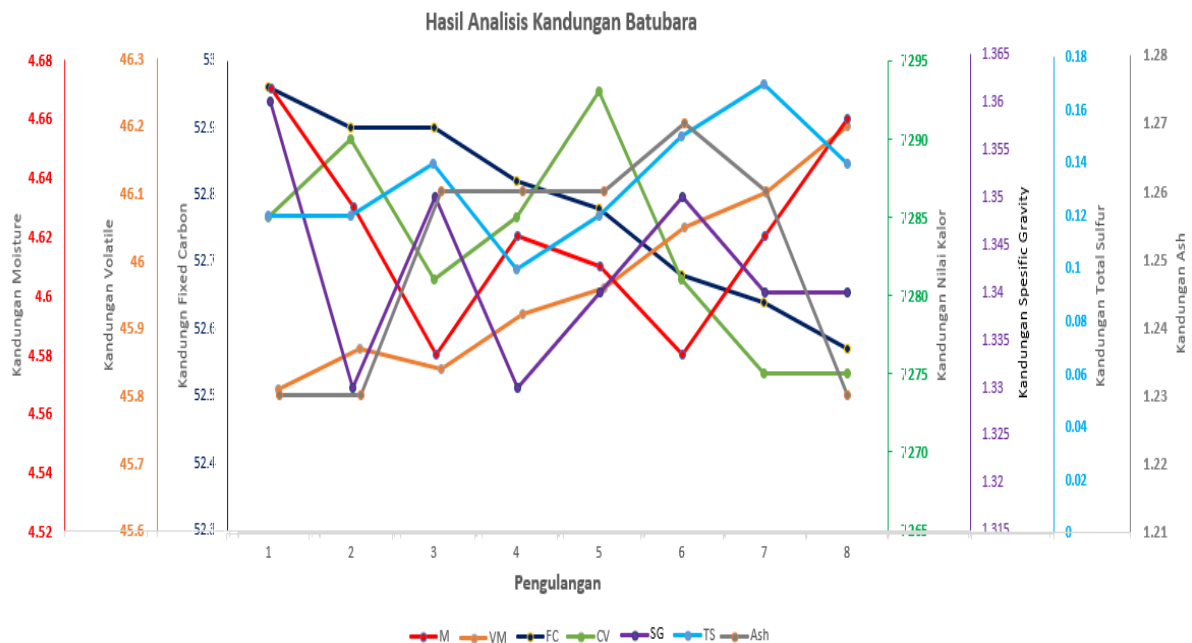
Sampel yang sudah dicampur diambil dari 10 kemasan secara *acak*, lalu dimasukkan kedalam botol kedap udara. Kemudian dilakukan uji homogenitas dengan melakukan analisis proksimat sebanyak 10 kali pengulangan secara *duplo*. Pengolahan secara statistik dilakukan dengan mengambil data kadar abu (Prasad A.D dkk.,2023). Selanjutnya menggunakan metode uji F dan di cek ulang menggunakan *anova single factor* dari program excel. Setelah dilakukan analisis proksimat nilai *moisture* dari sampel relatif rendah (>10%). Hasil perhitungan uji F/*anova single factor* diperoleh bahwa F hitung = 1.481481, sedangkan F tabel

untuk $F_{(9,10,0.05)}$ adalah 3.0204. Dengan demikian, $F_{hitung} < F_{tabel}$ yang menyatakan bahwa sampel telah homogen.

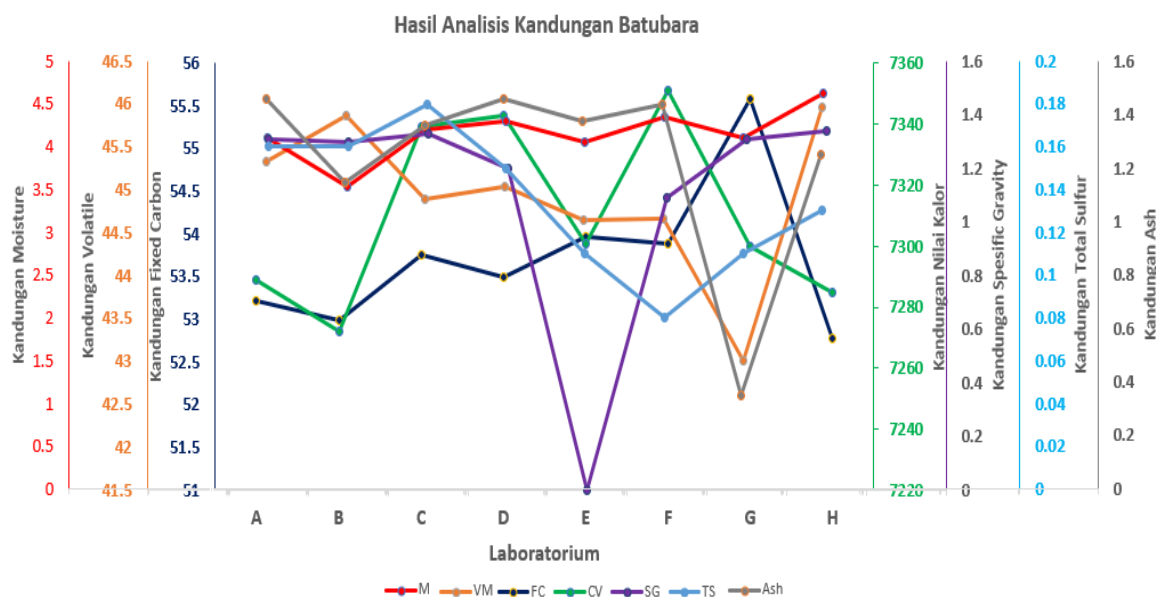
Analisis Kimia

Data analisis kimia dihitung dalam basis kering/*dry basis*, karena batubara bersifat menyerap air, sehingga kemungkinan terdapat penambahan atau pengurangan air didalam batubara itu sendiri sangat besar, dan untuk menentukan nilai/*Assign Value* tiap parameter uji tidak dipengaruhi oleh kadar air dalam batubara.

Dari hasil pengulangan yang dilakukan, dihitung nilai rata-rata internal, simpangan deviasi dan nilai presisi untuk masing masing sampel batubara (kurva. 1). Nilai rata-rata tersebut kemudian digabungkan dengan nilai dari tujuh laboratorium lain untuk perhitungan statistik. Data dari masing masing sampel batubara yang dianalisis di delapan laboratorium dapat dilihat pada kurva. 2. berikut ini.



Kurva 1. Hasil Analisis Kimia Batubara (*dry basis*) delapan kali pengulangan, M (air), Ash (abu), VM (zat terbang), FC (*fixed carbon*), TS (*total sulphur*), satuan → % CV (*calorific value*), satuan → cal/gr SG (*spesifig gravity*) → tanpa satuan



Kurva 2. Hasil Analisis Kimia Batubara (*dry basis*) 8 Laboratorium

Kurva 1, dilakukan dengan metode, alat, dan *analyst* sama sehingga hasil analisis hampir tidak ada perbedaan. Untuk kurva 2 dilakukan beberapa laboratorium sehingga hasil terjadi perbedaan yang lebih besar karena:

Moisture (air), batubara bersifat *higroskopis*/menarik air, hasil analisis dipengaruhi kelembapan dari ruangan masing-masing laboratorium, untuk mengatasi contoh harus di *equalizer*/dikondisikan sesuai ruangan, dan harus dibiarkan beberapa jam dulu baru dianalisis, hasil analisis air akan mempengaruhi data dari parameter lainnya. Data ini tidak pernah dibandingkan karena kondisi laboratorium berbeda.

Nilai kalor(CV), alat kalorimeter ini sangat sensitif terhadap perubahan suhu ruangan, untuk mengatasinya harus ada pencatat ruangan (suhu ideal 20 -25 °C) AC harus stabil, kalibrasi dengan asam benzoat pada *periodik* tertentu , kemurnian gas oksigen (< 99,5 %), analisis awal (pagi) dan akhir (sore) harus dicek dengan standar.

Volatile matter (VM), ini sangat dipengaruhi oleh kemurnian gas nitrogen, sebab dalam proses analisis *volatile* tidak boleh batubara terbakar, gas nitrogen harus *ultra pure* dan tutup cawan harus rapat. *Specific Gravity*, terjadi perbedaan

karena pompa vakum tidak maksimum, sehingga kondisi oven tidak vakum, terlalu lama sampel diluar *water bath* (lebih 5 menit), untuk labor E tidak mengirim data SG karena kerusakan alat.

Abu (ash), parameter ini data analisis lebih stabil dan pengerjaan hampir tidak ada pengulangan, terjadi perbedaan karena kemurnian dari gas oksigen sehingga pembakaran tidak sempurna.

Fixed Carbon (FC), diperoleh dari perhitungan rumus: $100 - (VM + M + Ash)$, kalau ke tiga parameter beda, hasil *fixed carbon* pasti beda, parameter tidak pernah dibandingkan.

Prinsip, terjadi perbedaan hasil analisis karena, Metoda (BS, ASTM, AS, dan ISO), kemurnian bahan kimia dan gas, kalibrasi alat eksternal dan internal pada *periode* yang sudah ditetapkan, kondisi ruangan (temperatur dan kelembapan), kapasitas *analyst*/personil laboratorium, tersedia standar *in-house* atau Internasional, kolaborasi laboratorium /uji profesiensi pada *periodik* waktu, dan *merk* alat. Perbedaan hasil analisis masih ditoleransi karena berada dalam batas ditetapkan oleh metode (CV= 90 cal/gr, VM = 1,83 %, Ash = 0,31%, TS = 0,09, SG 0,25), FC tidak pernah dibandingkan, data didapat dari perhitungan.

Pengolahan dan Analisis Data

Dari delapan kali hasil pengulangan, kemudian diolah secara statistik untuk menghitung nilai rata-rata internal, simpangan deviasi dan nilai presisi untuk masing-masing sampel batubara.

Nilai rata rata diperoleh dari : $\bar{x} = \sum x_i / n$
Simpangan deviasi diperoleh dari:

$$sd = \sqrt{\sum (\bar{x} - x_i)^2 / (n-1)}$$

Presisi diperoleh dari: $P = 1.96 \times sd$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Nilai rata rata, simpangan deviasi dan nilai presisi internal laboratorium tertera dalam Tabel 1.

Uji Statistik untuk memperoleh *Assign Value*, mengacu pada *ISO 13283 (Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons)*, dan rinci perhitungan analisis statistik

diambil dari *ISO 13528, Annex C Algorithm A* yaitu digunakan Uji *Dixon* (Žmuk. B., 2017); Promtep, K., dkk., 2022), penentuan rata-rata *robust*, simpangan *deviasi robust*, dan penentuan *Z-Score* Konsistensi data dapat dinilai berdasarkan nilai rata-rata (*average*), dimana data awal (X_i) sampai Iterasi (pengulangan) ke-1,2,3 dan 4 nilai sama (1,36) seperti tampak pada Tabel 4. Dalam ilmu statistik jika *iterasi* 1 dan 2 nilai sudah sama, maka nilai *iterasi* 3,4 tidak perlu dihitung lagi. Penelitian ini dilakukan sampai *iterasi* 3 dan 4 untuk membuktikan bahwa data-data diatas sangat konsisten. Data *iterasi* ke - 1,2,3 dan 4, berada antara ($X^* - \delta$ dan $X^* + \delta$) dengan nilai (1,19 dan 1,56), sehingga disimpulkan bahwa pada *iterasi* tidak ada data *pencilan*. Data *Z-Score* berada diantara nilai -1,96 dan + 1,96, ini berarti tidak ada data *pencilan*. Data awal (X_i) nilai *SD* lebih besar sedikit dari nilai *iterasi* ke 1,2,3 dan 4, sehingga data awal sedikit tidak homogen dibandingkan data *iterasi* ke 1,2,3 dan 4.

Tabel 1. Nilai rata-rata, Standar Deviasi dan Presisi

Parameter Uji	Rata-rata	Standard Deviasi	Presisi
Moisture	4,62	0,0327	0,06
Ash	1,25	0,0174	0,03
VM	45,97	0,1373	0,27
FC	52,78	0,1400	0,27
TS	0,13	0,0209	0,04
CV	7285	5.6854	11,14
SG	1,34	0,0094	0,02

Tabel 2. Penentuan *Assigned Value* dan *Z-Score*–Kadar Abu

Kode Lab	Laboratoium	Data		Iterasi ke 1		Iterasi ke 2		Iterasi ke 3		Iterasi ke 4		Z-Score
		x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	
	$\delta = 1,5 S^*$			0,18		0,18		0,18		0,18		
	$X^* - \delta$			1,19		1,19		1,19		1,19		
	$X^* + \delta$			1,56		1,56		1,56		1,56		
7	G											
2	B	1,15	0,23	1,19	0,03	1,19	0,03	1,19	0,03	1,19	0,03	-1,73
8	H	1,25	0,13	1,25	0,01	1,25	0,01	1,25	0,01	1,25	0,01	-0,94
3	C	1,36	0,02	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	-0,04
5	E	1,38	0,00	1,38	0,00	1,38	0,00	1,38	0,00	1,38	0,00	0,11
6	F	1,44	0,07	1,44	0,01	1,44	0,01	1,44	0,01	1,44	0,01	0,66
1	A	1,46	0,08	1,46	0,01	1,46	0,01	1,46	0,01	1,46	0,01	0,80
4	D	1,46	0,09	1,46	0,01	1,46	0,01	1,46	0,01	1,46	0,01	0,83
	Average	1,36		1,36		1,36		1,36		1,36		
	SD	0,12		0,11		0,11		0,11		0,11		
	New $X^* \sim$ "median"	1,38		1,38		1,38		1,38		1,38		
	New S^*	0,12		0,12		0,12		0,12		0,12		
	Assign Value							1,36 ± 0,23				

PEMBAHASAN

Setelah dilakukan analisis proksimat bahan acuan baku, diperoleh nilai *moisture* yang rendah ($>10\%$). Dengan nilai *moisture* yang rendah, maka batubara akan relatif stabil. Homogenitas sampel batubara memerlukan waktu yang cukup lama, yaitu sekitar 80 jam, dikarenakan kandungan batubara dalam bongkahan sangat bervariasi. Setelah dilakukan analisis statistik untuk homogenitas baik menggunakan metoda uji *F* atau *anova single factor* terhadap parameter uji kadar abu, telah memenuhi persyaratan sebagai *in-house standard* batubara, karena $F_{hitung} < F_{tabel}$.

Dari hasil perhitungan statistik internal, simpangan *deviasi* relatif kecil, sehingga diperoleh nilai *presisi* kecil kecuali untuk nilai kalori. Hal ini dikarenakan nilai kalori berkisar antara 6.500 kal/gr sampai dengan 7.300 kal/gr. Berdasarkan analisis uji *Dixon* di atas, hampir semua data masuk kedalam kriteria Uji *Dixon*, kecuali analisis abu ada satu data terendah dibuang, supaya data homogen, sehingga hasil analisis statistik untuk menentukan nilai parameter uji / *Assign Value* memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Data menjadi tujuh, kemudian dilakukan perhitungan ulang, dengan menggunakan rumus $D7_{hitung} < D7_{tabel}$ ($0,311 < 0,569$) data terendah tidak dibuang, untuk tertinggi dengan menggunakan rumus diperoleh $D7_{hitung} < D7_{tabel}$ ($0,09 < 0,569$). Uji *Dixon* dilakukan juga untuk parameter *volatile matter*, nilai *kalor*, *specific gravity*, dan *sulphur total*.

Setelah data dianalisis dengan metode Uji *Dixon*, nilai parameter uji/*Assign value* dapat dianalisis dengan mengacu pada *ISO 13528 (Statistical Methods for use in Proficiency Testing by Interlaboratory Comparison)* dengan menggunakan analisis statistik *robust*, sesuai dengan *ISO 13528*, nilai rata-rata sama dengan nilai rata-rata *robust*, dan standar deviasi sama dengan standar *deviasi robust*. Nilai parameter uji/*Assign value* diperoleh secara konsensus dengan tingkat kepercayaan 95% adalah sebagai berikut: $x_{robust} \pm 1,96 \text{ sd}_{robust}$.

Tingkat kehandalan dan kinerja laboratorium peserta (*co-laboratorium*) dapat diidentifikasi dengan parameter *Z-Score* yang merupakan acuan untuk mengetahui seberapa jauh simpangan hasil pengukuran terhadap nilai parameter uji/*Assign Value*. Berdasarkan analisis statistik diatas umumnya laboratorium berada dalam kategori *outlier* (Z) >3 .

KESIMPULAN DAN SARAN

Bahan acuan standar internasional harganya mahal, sulit diperoleh, dan matriks beda (faktor *genesis*). Bahan ini dapat dibuat menggunakan bahan lokal, mengurangi biaya dan ketergantungan pada bahan impor. Hasil analisis kimia menunjukkan kemiripan dengan bahan komersial dan bisa jadi alternatif yang efektif dan efisien. Dalam pembuatan bahan acuan baku dilakukan serangkaian kegiatan meliputi kegiatan pengambilan sampel di lapangan (pemercontaan), preparasi, homogenitas dengan $F_{hitung} > F_{kritis}$ pada uji *anova*, dilakukan dengan menggunakan data hasil analisis abu dengan pengulangan 8 kali. Perhitungan statistik untuk beberapa parameter batubara mengacu pada *ISO 13283 (Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons)*, dan detail perhitungan analisis statistik diambil dari *ISO 13528, Annex C Algorithm A*, sehingga menghasilkan *Assign dan Range Value* ($\pm$), dengan nilai kecil, hampir sama dengan bahan acuan baku impor. Bahan acuan baku, dapat meningkatkan kualitas hasil analisis kimia dan meminimalkan kesalahan yang terjadi selama proses analisis. Hasil analisis yang diperoleh dapat dipercaya dan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan sumber daya dan cadangan sehingga mengurangi resiko dan meningkatkan kepastian dalam kegiatan eksploitasi. Untuk pengembangan dan penggunaan bahan ini sebagai bahan acuan baku dalam analisis kimia diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan kestabilan dan konsistensi kualitas karena batubara bersifat sangat mudah menarik air, dan perlu dilakukan kalibrasi ulang untuk peralatan laboratorium, memiliki nilai *Z-Score* lebih dari 3.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih, kepada rekan-rekan di Laboratorium PSDMBP, khususnya Laboratorium Batubara yang telah membantu dalam proses pembuatan bahan acuan baku ini, dan PT Berau Coal yang telah memfasilitasi kegiatan ini, sehingga dapat diselesaikan dengan lancar. Kepada Dewan Redaksi, penulis mengucapkan terima kasih atas masukan dan penyempurnaan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2004. Pedoman Perhitungan Statistik untuk Uji Profisiensi, Komite Akreditasi Nasional, Jakarta.
- Anonim., 2010. Laporan Pembuatan *In – House Standard* (SRM) Batubara, Pusat Sumber Daya Geologi.
- Anshariah., 2022. Karakterisasi Batubara Formasi Walanae Daerah Kaloling, Kabupaten Sinja, Provinsi Sulawesi Selatan, *Jurnal Geomine*, Volume 10, Nomor 3, Desember 2022, Hal 292-280.
- Aslam, M., 2020. *On detecting outliers in complex data using Dixon's test under neutrosophic statistics*, *Journal of King Saud University-Science* Volume 32, Issue 3, April 2020, Pages 2005-2008.
- Aziz, I. A., Jalhom, M. G., Kheriallah, M. A., 2020. *Extraction of Zirconium From Iraqi Bauxite Ore*, *Engineering and Technology Journal* Vol. 38, Part A (2020), No. 10, Pages 1421-1429,.
- DAC-G3-03, Issue 2, Rev 1, *Guidance for Statistical Evakuation of Interlaboratory Proficiency Testing*, Dubai Accreditation Center, Dubai.
- Dedeh, D., dan Eddy, H.R., 2017. Pembuatan Bahan Acuan Baku Untuk Analisis Conto Sedimen Sungai Aktif, *Buletin Sumber Daya Geologi*, Volume 12, Nomor 3-2017.
- Elishian, C., 2014. Metode-Metode Statistik dalam Evaluasi Data Hasil Uji Profisiensi, Pusat Penelitian LIPI, Banten.
- Irzon, R., Kurnia, K., 2013. Acuan Standar Internal Geokimia dengan Matriks Stream Sediments Wilayah Soreang, Jawa Barat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 23(1), 3-12.
- Irzon, R., 2018. Pembuatan material acuan internal berupa batuan pada zona kaolinisasi dari Kokap Kulon Progo menggunakan ICP-MS. *Jurnal Standardisasi*, 19(2), 103-112.
- Irzon, R., Kurnia, Didit, A., Maryanto, S., 2022. *Distinct depositional environments of two internal Reference materials with marine sediment matrix from nearby Bangka Island*, *Bulletin the Geological Society of Malaysia*, Volume 73, May 2022, pp. 181 – 189,
- Kartika, S. H., 2006. Buku Materi Pokok 6 Analisis Data Statistik STA 211/III/06.
- Liu, C., Ding, Z., Tian, Y., Yi, L., Huang, N., 2018. *Discussion on homogeneity assessment of Reference materials based on uncertainty comparison method*, *Accreditation and Quality Assurance* (2018) 23:103–108,
- Maryanto, S., 2011. Stratigrafi dan Keterdapatan Batubara pada Formasi Lati di Daerah Berau, Kalimantan Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi* Volume 6 Nomor 2-2011.
- Pulungan, L., Arbianto, V., 2020. *Coal handling quality from pits to stockpiles to market*, *Specifications, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 830 (2020) (IOP Publishing).
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas bumi (PSDMBP)., 2023. Peta Geologi disederhanakan, Kelompok Kerja Informasi, Bagian Umum PSDMBP, Badan Geologi.
- Prasad, A. D., Rastogi, L., Verma, V. K., Kumari, V.K., Yadiapali, S., Dash, K., 2023. *Production of Bauxite Certified Reference Material (BARC-B1201) for Nine Property Values (Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, MgO and LOI) traceable to SI Unit SI, Geostandards and Geo Analytical Research*.

- Promptep, K., Thiuthad, P., Intaramo, N., 2022. *A Comparison of Efficiency of Test Statistics for Detecting Outliers in Normal Population*, *Sains Malaysiana* 51(11) (2022): 3829-3841.
- PT Berau Coal., 2023. Peta Wilayah Konsesi PT Berau Coal. <https://www.beraucoalenergy.co.id/our-profile/operation/>
- Soto, L., Fabian, N., Garzón, D., Ahumada, D., 2020. *Development of Reference Material of Mercury in Fish: A comparison of different alternatives to homogeneity assessment (introduction)*, 17th IMEKO TC 10 and EUROLAB Virtual Conference Global Trends in Testing, Diagnostics & Inspection for 2030" October 20-22, 2020.
- Tuning, S., dan Samin, S., 2012. Uji homogenitas dan stabilitas kandidat srm natrium zirkonat dengan metode xrf, in Prosiding PPI-PDIPTN, Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Hal. 176-183.
- Yosep, R., Sugiarto, W., Suhada, D. I., 2014. Karakteristik Batubara Pada Formasi Sembakung di Daerah Segah, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur.
- Žmuk, B., 2017. *Speeding problem detection in business surveys: benefits of statistical outlier detection methods*, *Croatian Operational Research Review* 3 CRORR 8 (2017), 33–59.

Diterima : 13 Juni 2023
Direvisi : 23 Agustus 2023
Disetujui : 31 Agustus 2023

**PENGARUH NILAI CADANGAN PANAS BUMI TERHADAP KELAYAKAN
PROYEK PENGEBORAN SUMUR EKSPLORASI OLEH PEMERINTAH
BERDASARKAN PERBANDINGAN BIAYA DAN PENDAPATAN NEGARA:
STUDI KASUS PROYEK NAGE, KABUPATEN NGADA,
PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**

***GEOHERMAL RESOURCES EFFECTS ON PROJECT FEASIBILITY OF EXPLORATION
WELL DRILLING BY THE GOVERNMENT BASED ON STATE COST AND REVENUE
COMPARISON: A STUDY CASE OF NAGE PROJECT, NGADA REGENCY,
EAST NUSA TENGGARA PROVINCE***

Iman K. Sinulingga¹, Fitri Purnamasari Liveta², Evi Octavia³, dan Husin Setia Nugraha²

¹Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

³Universitas Widyatama

fitri.liveta@esdm.go.id

ABSTRAK

Tiga masalah utama pengembangan panas bumi di Indonesia yakni harga jual listrik, lelang wilayah kerja, dan risiko hulu yang tinggi. Ketiganya akan bermuara pada satu keadaan yaitu proyek panas bumi yang belum mencapai level keekonomian. Salah satu usaha mengurangi risiko hulu yang tinggi, pemerintah telah menginisiasi Program *Government Drilling*. Selain tujuan utama untuk menurunkan risiko hulu panas bumi, secara tidak langsung program ini juga dapat menghasilkan pendapatan negara. Untuk menilai keberhasilan Program *Government Drilling* ini maka perlu dilakukan evaluasi tidak hanya dari sisi teknis, namun juga dari sisi keuangan. Berdasarkan hasil evaluasi ini diharapkan akan menjadi bahan pertimbangan para pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan tentang keberlanjutan program ini. Evaluasi keuangan ini akan menilai apakah biaya yang dikeluarkan sebagai investasi menghasilkan tingkat pengembalian yang diinginkan. Dalam hal ini adalah perbandingan antara biaya yang dikeluarkan dari APBN dan pendapatan yang diperoleh pemerintah dari pajak dan PNBPN dengan menggunakan parameter nilai *Benefit Cost Ratio (BCR)* sebagai indikator penilaiannya. Hasil penelitian memperlihatkan nilai *BCR* pada arus kas pemerintah dari Proyek Nage adalah sebesar 2,1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap rupiah biaya yang dikeluarkan pemerintah dalam proyek tersebut akan menghasilkan pendapatan negara lebih dari dua kali lipatnya. Dengan menggunakan parameter tingkat pengembalian, yaitu nilai *Internal Rate of Return (IRR)*, proyek ini menghasilkan nilai hampir dua kali lipat dari tingkat pengembalian yang ditentukan apabila proyek menggunakan APBN. Selain itu, valuasi Proyek Nage ini berdasarkan nilai *Net Present Value (NPV)* menunjukkan nilai positif ($NPV > 0$). Berdasarkan ketiga indikator di atas, dapat disimpulkan Program *Government Drilling* khususnya Proyek Nage ini layak untuk dilanjutkan. Namun demikian jika dilihat dari sisi arus kas pengembang, Proyek Nage sebesar 30 MW_e ini masih kurang menarik bagi investor pengembang swasta karena nilai indikator kelayakan proyek yang bernilai negatif atau tingkat pengembalian masih di bawah nilai yang diinginkan ($IRR < MARR - Minimum Attractive Rate of Return$). Proyek ini masih layak dilanjutkan oleh pengembang dari BUMN yang biasanya memiliki nilai MARR yang lebih rendah dan keistimewaan dalam parameter pinjaman dan depresiasi dibandingkan pengembang swasta.

Kata kunci: *government drilling*, *benefit-cost ratio (BCR)*, keekonomian panas bumi, pendapatan negara

ABSTRACT

The three main problems in Indonesia's geothermal development include selling price issues, working area tenders, and high upstream risks. These three will lead to one condition: geothermal projects cannot reach their economic level. The Government of Indonesia (Gol) has initiated the Government Drilling Program to reduce high upstream risks. In addition to the main objective of reducing geothermal upstream risk, this program can indirectly generate state revenue. It is necessary to evaluate the program not only from a technical perspective but also from a financial point of view. Stakeholders could consider the evaluation results when making decisions about the continuity of this program. This financial evaluation will assess whether the costs incurred as an investment generate the desired rate of return. In this case, it compares the costs incurred by the Gol from the state budget (APBN) and the revenues obtained by the Gol from tax and non-tax. The Indonesia cost ratio (BCR) value is a parameter indicator of its assessment. The study results show that the BCR value of the government's cash flow from the Nage Project is 2.1. This value indicates that every rupiah of costs incurred by the government in the project will generate more than twice as much state revenue. Using the rate of return parameter, namely the Internal rate of Return (IRR), this project produces a value almost double the rate of return determined if the project uses the state budget. In addition, the Nage Project's valuation based on the Net Present Value (NPV) shows a positive value ($NPV > 0$). Based on those three indicators, the Government Drilling Program, especially the Nage Project, is feasible to continue. However, when viewed from the developer's cash flow perspective, the Nage Project of 30 MW_e is still not attractive to private developers in Indonesia because the value of the project feasibility indicator is negative or –the rate of return is still below the desired value ($IRR < MARR$ - Minimum Attractive Rate of Return). The project is still feasible to be continued by developers from state-owned enterprises (SOE), which usually have lower MARR values. In addition, SOE has privileges in loan and depreciation parameters compared to private developers.

Keywords: Government drilling, Benefit Cost Ratio Indonesia Nage, geothermal economics, state revenue

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi panas bumi yang melimpah, namun baru sekitar 10,21% dari sumber daya panas di Indonesia yang sudah dimanfaatkan menjadi energi listrik. Total sumber daya panas bumi menurut rilis terakhir Badan Geologi pada tahun 2022 mencapai 23.060,4 MW_e. Sumber daya panas bumi tersebut tersebar di 361 titik lokasi (**Gambar 1**). Pemanfaatan energi panas bumi untuk listrik memiliki total kapasitas terpasang sebesar 2.355,4 MW_e hasil pengembangan dari 18 lokasi (Direktorat Panas Bumi, 2023).

Belum optimalnya pemanfaatan panas bumi ini terkait tiga masalah utama yaitu permasalahan harga, lelang wilayah kerja dan risiko hulu yang tinggi. Ketiga permasalahan tersebut tidak dapat

dipisahkan, karena saling terkait. ketiganya bermuara pada satu keadaan yaitu proyek panas bumi yang belum mencapai level keekonomian. Hal ini menyebabkan perkembangan bisnis panas bumi di Indonesia belum sesuai dengan yang direncanakan (World Bank, 2008).

Untuk mendorong level keekonomian proyek panas bumi, pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan antara lain penetapan harga jual listrik, pilihan proses bisnis untuk investor baru, dan program pengeboran sumur eksplorasi oleh pemerintah. Harga baru ditetapkan melalui Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Pemerintah Indonesia, 2022b). Harga jual energi dalam perpres tersebut lebih baik dibandingkan dengan harga jual energi dalam peraturan

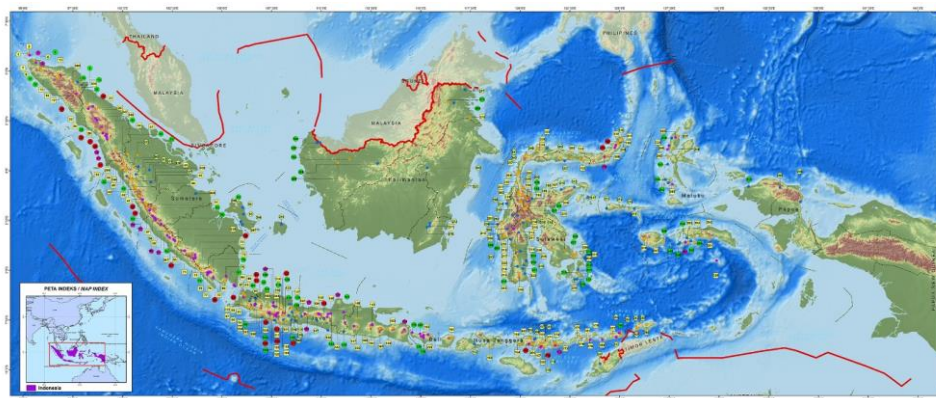
tentang harga panas bumi sebelumnya. Pilihan bisnis untuk menjadi pengembang lapangan panas bumi selain melalui jalur konvensional yaitu jalur lelang Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP), kini investor dapat terlibat lebih awal melalui Penugasan Survei Pendahuluan & Eksplorasi (PSPE). Sedangkan penurunan risiko hulu bertumpu pada Program Pengeboran Sumur Eksplorasi Panas Bumi oleh Pemerintah yang selanjutnya disebut Program *Government Drilling* (Direktorat Panas Bumi, 2023). Selain tujuan utama yaitu menurunkan risiko hulu panas bumi yang tinggi, secara tidak langsung Program *Government Drilling* ini juga dapat menghasilkan pendapatan negara, berupa pajak dan Pendapatan Negara Bukan Pajak (PNBP). Dengan program ini diharapkan mengkonfirmasi ada tidaknya cadangan panas bumi yang dapat dikonversikan menjadi listrik pada suatu prospek panas bumi. Dengan cadangan yang sudah terkonfirmasi ini, selanjutnya Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) tersebut dilelang untuk mendapatkan badan usaha pemenang lelang yang akan mengembangkan WKP tersebut. Badan usaha tersebut akan mengusahakan mulai dari eksplorasi sampai dengan pemanfaatan tidak langsung energi panas bumi menjadi listrik. Dari kegiatan perusahaan panas bumi tersebut akan menghasilkan pendapatan bagi negara baik berupa pajak maupun non pajak berupa PNBP.

Penerimaan pendapatan negara didefinisikan sebagai uang yang masuk ke

kas negara. Sedangkan pendapatan negara merupakan hak pemerintah pusat yang diakui sebagai tambahan nilai kekayaan bersih. Merupakan kekayaan bersih yang dimaksud adalah penerimaan pajak, penerimaan bukan pajak dan hibah (Pemerintah Indonesia, 2003). Perusahaan panas bumi akan menghasilkan pajak dan Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP).

PNBP merupakan sumber pendapatan negara dari individu atau badan tertentu yang memperoleh manfaat langsung maupun tidak langsung atas pemanfaatan sumber daya. Jenis PNBP ini berasal dari pemanfaatan sumber daya alam, pendapatan kekayaan yang dipisahkan, pendapatan Badan Layanan Umum (BLU), pengelolaan barang milik negara, dan pengelolaan dana (Pemerintah Indonesia, 2018).

PNBP Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) diatur dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 26 Tahun 2022 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Dalam (Pemerintah Indonesia, 2022a) telah ditetapkan bahwa PNBP Kementerian ESDM berasal dari pemanfaatan sumber daya alam; pelayanan bidang energi dan sumber daya mineral; penggunaan sarana dan prasarana sesuai dengan tugas dan fungsi; denda administratif; dan penempatan jaminan bidang energi dan sumber daya mineral.



Gambar 1. Peta Distribusi dan Sumber Daya Panas Bumi Indonesia (Badan Geologi, 2022)

PNBP yang berasal dari perusahaan panas bumi dari pemanfaatan sumber daya alam; denda administratif; dan penempatan jaminan bidang energi dan sumber daya mineral. Untuk kategori denda administrasi dan penempatan jaminan, antara lain denda sub sektor panas bumi, biaya sanggah saat lelang WKP, dan jaminan serta komitmen-komitmen pada kegiatan perusahaan panas bumi (Pemerintah Indonesia, 2022a).

Sedangkan PNBP kategori pemanfaatan sumber daya panas bumi antara lain iuran tetap dan iuran produksi. PNBP ini akan di masukan ke dalam perhitungan *cash flow* keekonomian proyek panas bumi. Iuran tetap terdiri dari iuran tetap eksplorasi dan eksploitasi sebelum tanggal *Commercial Operation Date (COD)* dan Iuran Tetap Eksplorasi setelah *COD* yang besarnya masing-masing US\$ 2 dan US\$ 4 per hektar luas WKP per tahun. Untuk penerimaan iuran produksi tergantung pada jenis energi yang dihasilkan. Besarnya iuran 2,5% dan 5% per kWh dari pendapatan kotor (*gross revenue*) hasil penjualan uap atau listrik dari energi panas bumi (Pemerintah Indonesia, 2022a).

Selain kedua iuran tersebut, terdapat PNBP pada kategori yang sama yang diatur dengan PP tersendiri yaitu Bonus Produksi. Bonus Produksi mirip dengan Iuran Produksi, besarnya diambil dari pendapatan kotor hasil penjualan uap atau listrik. Namun angkanya lebih kecil yaitu sebesar 1% dan 0,5% untuk penjualan uap dan listrik. Hal lain yang membedakan adalah distribusi bonus produksi hanya untuk daerah penghasil (Pemerintah Indonesia, 2016).

Program *Government Drilling* ini telah dimulai pada tahun 2021 dengan pengeboran di WKP Cisolok-Cisukame dan WKP Nage. Pada masing-masing WKP direncanakan dilakukan pengeboran dua sumur berdiameter kecil yang disebut sumur *slim hole*. Sumur *slim hole* didefinisikan sebagai sumur yang memiliki ukuran selubung produksi kurang dari 7

inci (Badan Standardisasi Nasional, 2015). Pada WKP Nage dilakukan pengeboran dua sumur *slim hole* dengan satu sumur memenuhi target kedalaman, yaitu Sumur NG-1. Suhu reservoir pada sumur diperkirakan mencapai 281°C yang dapat dikategorikan sebagai sumur dengan suhu tinggi (>225°C), meskipun sumur tersebut belum menghasilkan fluida sebagai indikator adanya permeabilitas yang cukup. Untuk WKP Cisolok-Cisukame hanya berhasil melakukan pengeboran satu sumur *slim hole* dari dua sumur yang direncanakan. Sumur tersebut dapat dibor sedalam 821,65 meter dari rencana total kedalaman 2.000 meter. Hal ini karena adanya permasalahan teknis pengeboran sehingga proses ini tidak dilanjutkan. Dari hasil pengukuran suhu pada sumur tersebut, tidak ada indikasi sumur tersebut memiliki anomali suhu dibandingkan gradien normal suhu kerak bumi (Anonim, 2021a, 2021b).

Untuk menilai keberhasilan Program *Government Drilling* ini maka perlu dilakukan evaluasi tidak hanya dari sisi teknis, namun juga dari sisi keuangan. Dari hasil evaluasi ini diharapkan akan menjadi bahan pertimbangan para pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan tentang keberlanjutan program ini. Evaluasi keuangan akan menilai apakah biaya yang dikeluarkan sebagai investasi menghasilkan tingkat pengembalian yang diinginkan. Biaya dimaksud biaya yang dikeluarkan yang berasal dari APBN yang dikeluarkan sedangkan pengembaliannya adalah pendapatan negara berupa pajak dan PNBP.

Dasar pengambilan keputusan investasi yang dilakukan oleh pemerintah berbeda dengan yang dilakukan oleh perusahaan swasta. Perusahaan swasta yang berorientasi pada keuntungan akan menggunakan indikator-indikator yang menunjukkan tingkat pengembalian dari proyek tersebut. Sedangkan pemerintah akan mempertimbangkan dampak yang lebih luas baik dampak langsung maupun tidak langsung pada semua pemangku kepentingan suatu proyek.

Terdapat beberapa indikator kelayakan suatu proyek berdasarkan tingkat pengembalian investasi yang sering digunakan seperti *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Benefit Cost Ratio (BCR)* yang berasal dari perhitungan *Discounted Cash Flow (DCF)*. Selain itu, indikator waktu seperti *Payback Period (PBP)* yang menunjukkan waktu pengembalian investasi (Danar, 2010). Bagi lembaga keuangan, selain keempat indikator tadi, nilai *Debts Service Ratio (DSR)* juga menjadi salah satu indikator yang digunakan untuk memberikan pinjaman. *DSR* merupakan kemampuan perusahaan atau proyek dalam mengembalikan pinjaman.

Untuk dapat mempertimbangkan dampak suatu proyek, bagi institusi non-profit seperti pemerintah bisa menggunakan Analisis Manfaat-Biaya (AMB) atau *Benefit-Cost Analysis (BCA)* (Andreas Wibowo dkk., 2020). AMB ini dapat dilakukan perhitungan secara makro atau mikro. Secara makro dapat dilihat dampak biaya yang dikeluarkan sebagai investasi terhadap peningkatan nilai produk domestik bruto (PDB) pada suatu wilayah. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam perhitungan adalah metode *input-output (I/O)* (West Japan Engineering Consultants, 2019). Secara mikro, analisis dilakukan dengan membandingkan manfaat yang didapat dan biaya yang dikeluarkan oleh para pemangku kepentingan. Manfaat dan biaya yang dikuantifikasi baik manfaat/biaya langsung, tidak langsung dan tak berwujud atau *intangible* (Brent, 2006).

Kekurangan utama dari metode AMB ini adalah dari objektivitas parameter masukan dan fokus keluaran hasil. Untuk analisis mikro, objektivitas AMB dipertanyakan dalam menguantifikasi besar manfaat dan biaya untuk parameter-parameter masukan. Selain itu besarnya tingkat subyektivitas dalam penentuan besar nilai *baseline* parameter, lingkup waktu dan para pemangku kepentingan yang terdampak juga jadi masalah subyektivitas yang lain. Sedangkan untuk

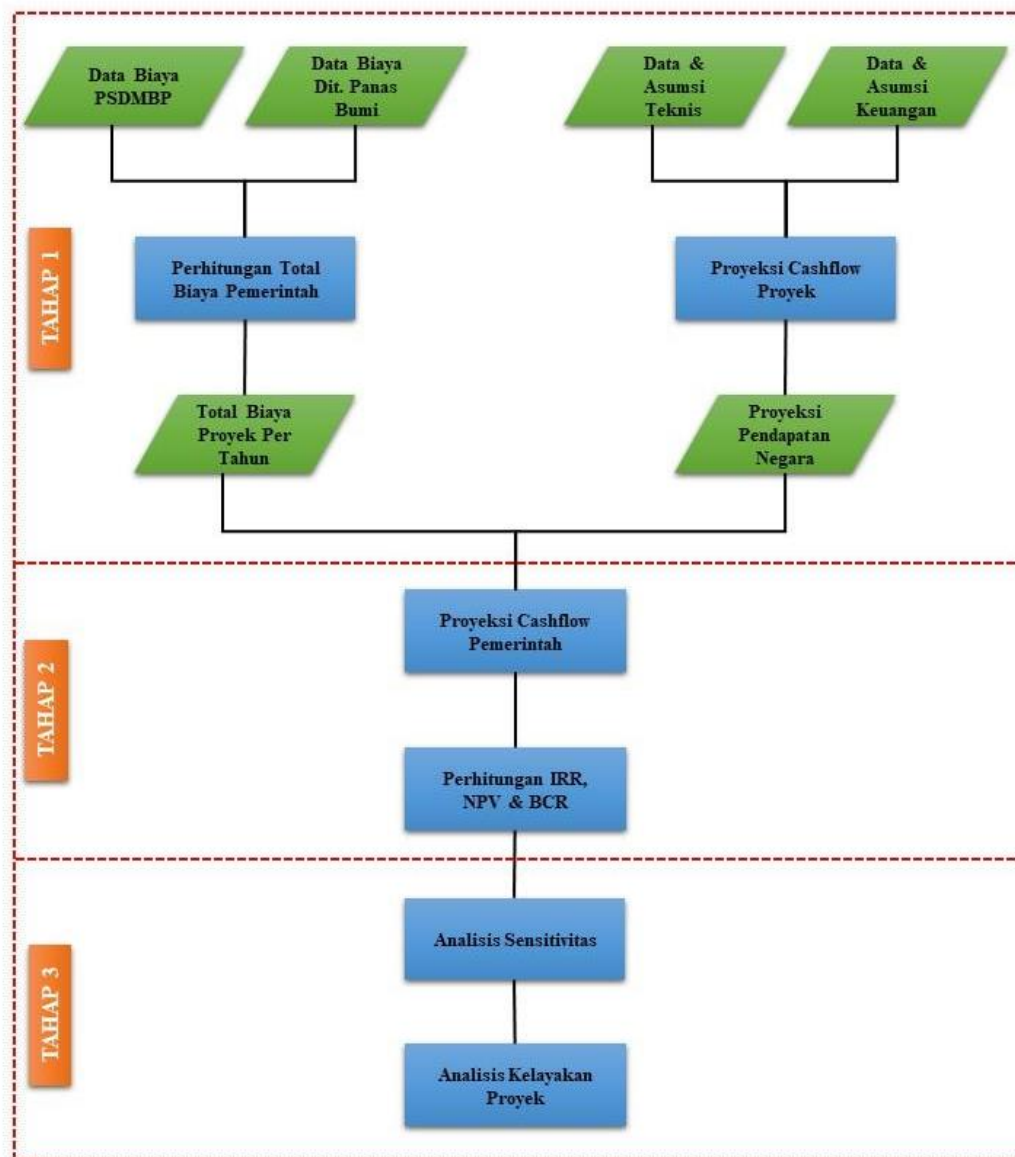
analisis makro menggunakan metode *I/O*, hasilnya terlalu umum dan tidak fokus sehingga kurang cocok untuk analisis lebih detail.

Untuk mendapatkan objektivitas dan analisis detail, maka penelitian ini akan menerapkan analisis kelayakan proyek menggunakan metode *DCF* pada salah satu proyek dalam Program *Government Drilling*. Penelitian ini akan fokus hanya pada biaya dan pendapatan langsung proyek yang dikeluarkan dan didapat oleh pemerintah. Kegiatan proyek yang akan dianalisis adalah Proyek Pengeboran Sumur *slim hole* pada WKP Nage di Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur, selanjutnya disebut Proyek Nage.

GEOLOGI & CADANGAN

Anonim (2021) menggambarkan bahwa daerah panas bumi Prospek Nage ditempati oleh batuan vulkanik serta endapan permukaan yang berumur Tersier hingga Kuarter. Keberadaan prospek panas bumi Nage dicirikan oleh kehadiran manifestasi berupa mata air panas (68°C - 79°C), fumarol (97°C) dan batuan ubahan yang dikontrol oleh struktur geologi berarah relatif utara baratlaut—selatan tenggara dan timurlaut—baratdaya.

Area prospek Nage diperkirakan berada di sekitar mata air panas Nage dan Keli dengan luas sekitar 8 km². Estimasi temperatur reservoir Nage sekitar 210°C. Hasil penghitungan sumber daya menggunakan metode *monte carlo* didapatkan nilai sekitar 19MW_e (P50) pada kelas cadangan mungkin. Sumur *slim hole* NGE-01A (1.500-mMD) mengkonfirmasi adanya temperatur di bawah permukaan sebesar 284°C dan tekanan 1.487 psi pada kedalaman tersebut. Data sumur juga mengkonfirmasi keberadaan puncak reservoir berada pada kedalaman sekitar 800 meter. Estimasi sumber daya setelah menggunakan data bor dengan luas zona prospek minimum (P90) 4km², *most-likely*



Gambar 3. Tahapan Evaluasi Kelayakan Proyek Sumur *Slim Hole* WKP Nage

Berdasarkan instansi penerima pendapatan negara ini dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu Kementerian Keuangan, Kementerian ESDM dan pemerintah daerah. Kementerian Keuangan akan menerima PPh, PPN, Bea Masuk dan Pajak Dalam Rangka Impor (PDRI). Kementerian ESDM akan menerima luran Tetap dan luran Produksi. Sedangkan pemerintah daerah akan menerima Pajak Bumi dan Bangunan (PBB), luran Tetap, luran Produksi, Bonus Produksi dan retribusi daerah. Untuk kepentingan studi ini, pendapatan negara hanya akan dibagi menjadi pajak dan PNBP (Direktorat Panas Bumi, 2023).

Tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai indikator kelayakan proyek seperti *IRR*, *NPV*, *BCR* dan *PBP* dari arus kas bersih pendapatan negara; dan analisis sensitivitas dengan membandingkan skenario kasus dasar dengan tiga skenario lain.

Perhitungan Total Biaya Pemerintah

Sebagai penanggung jawab proyek, Badan Geologi c.q. PSDMBP menjadi instansi yang mengeluarkan biaya lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE) c.q.

Direktorat Panas Bumi. Biaya tersebut dikeluarkan dalam kurun waktu tiga tahun periode 2021 – 2023 dan proyeksi pada saat proyek bisnis panas bumi berjalan selama 35 tahun. Biaya yang dikeluarkan didominasi oleh biaya pengeboran sumur *slim hole*. Sedangkan biaya Direktorat Panas Bumi berasal dari proses lelang WKP.

Selain biaya yang dikeluarkan satu kali, sesuai dengan tugas dan fungsinya, diperkirakan ada kegiatan monitoring sumur dan biaya pembinaan dan pengawasan kegiatan yang akan dikeluarkan tiap tahun. Biaya tersebut digunakan untuk pembinaan dan pengawasan dari sisi teknik dan investasi. Pembinaan dan pengawasan keteknikan antara lain pada fasilitas produksi dan sumur serta Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lindungan Lingkungan (K3LL). Sedangkan pembinaan dan pengawasan investasi lebih untuk menjaga pendapatan negara dari proyek sesuai dengan yang direncanakan.

Proyeksi *Cash Flow* Proyek

Proyeksi *cash flow* akan tergantung pada dua hal yaitu model perhitungan keekonomian proyek panas bumi dan bagaimana skenario pengembangan suatu lapangan panas bumi. Model perhitungan keekonomian akan tergantung pada tingkat kerumitan yang ingin di akomodasi. Model tidak bisa terlalu rumit yang mengakomodasi semua parameter namun juga tidak terlalu simpel yang menyederhanakan masalah yang ada. Skenario yang dikembangkan harus melihat keadaan saat ini dan proyeksi keadaan yang akan datang.

Model Perhitungan Keekonomian Proyek Panas Bumi

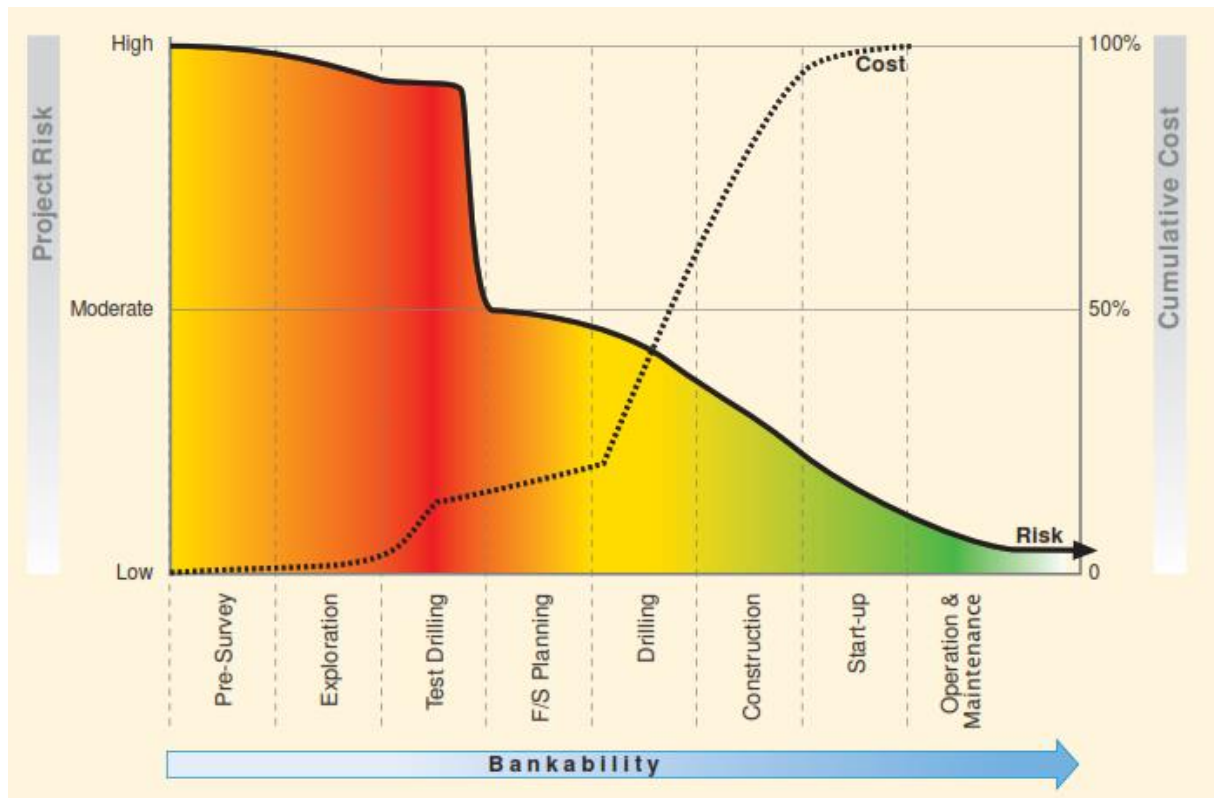
Hasil dari model perhitungan keekonomian proyek panas bumi ini akan tergantung pada tiga hal utama yaitu jadwal

pelaksanaan proyek, nilai parameter masukan dan laju diskonto.

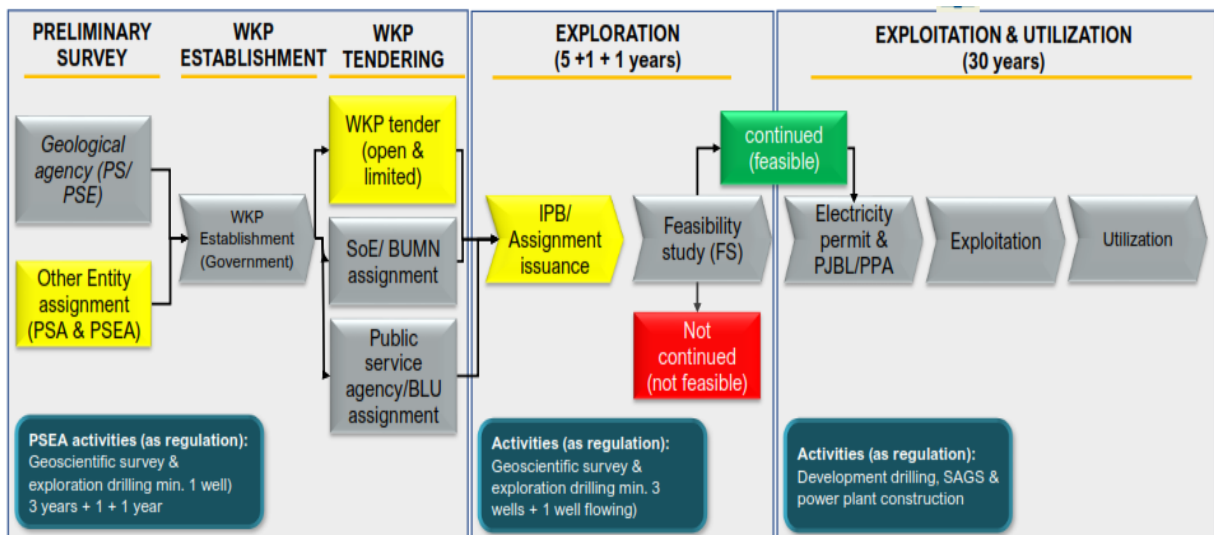
Jadwal Pelaksanaan Proyek

Jadwal pelaksanaan proyek akan menggunakan tahapan pengambilan keputusan investasi. Jadwal pelaksanaan proyek akan tergantung pada asumsi tahapan pelaksanaan. Tahapan pelaksanaan bisa tergantung pada tahapan teknis, sesuai dengan tahapan regulasi atau tahapan pengambilan keputusan investasi. **Gambar 4** menunjukkan gambaran tahapan teknis antara lain terdiri dari survei, eksplorasi, pengeboran konfirmasi, studi kelayakan, pengeboran, konstruksi, memulai produksi, dan operasi & pemeliharaan (Gehring & Loksha, 2012). Sedangkan **Gambar 5** menunjukkan tahapan pengembangan panas bumi berdasarkan regulasi yang dimulai dari survei pendahuluan sampai dengan produksi dan pemanfaatan (Direktorat Panas Bumi, 2023).

Tahapan bisnis panas bumi yang lain adalah berdasarkan tahapan keputusan investasi. Tahapannya antara lain tahapan Eksplorasi, Pra Keputusan Investasi Keuangan (Pra-KIK) atau (Pre-FID: *Pre-Financial Investment Decision*), Pra Produksi (Pre-COD: *Pre-Commercial Operation Date*), dan produksi (*After COD*). Secara sederhana, Pra-KIK merupakan tahapan dimana uap yang dibutuhkan telah tersedia minimal 50% dari rencana kapasitas terpasang (SKM, 2013). Sementara (Direktorat Panas Bumi, 2016) mematok uap yang tersedia minimal sebesar 65%. Tahapan pra-produksi merupakan tahapan untuk dapat memulai produksi. Tahap ini dimulainya pembangunan fasilitas produksi dan pembangunan pembangkit (Direktorat Panas Bumi, 2023). Selain kebutuhan uap untuk produksi yang harus tersedia 120% dari kebutuhan pembangkit dan juga kebutuhan untuk injeksi sudah terpenuhi 100% (SKM, 2013).



Gambar 4. Tahapan Teknis Pengembangan Lapangan Panas Bumi (Gehringer & Loksha, 2012)



Gambar 5. Tahapan Pengembangan Lapangan Panas Bumi Berdasarkan Regulasi (Direktorat Panas Bumi, 2023)

Parameter Masukan

Parameter masukan dapat dikategorikan menjadi empat kategori, yaitu keuangan; infrastruktur; fasilitas produksi dan pembangkit; dan sumur & reservoir.

Data dan Asumsi Keuangan

Parameter data dan asumsi kategori keuangan yang utama adalah harga jual, pajak & retribusi dan pinjaman. Harga jual energi terdiri dari harga jual listrik dan uap. Pajak yang dimasukkan ke dalam

perhitungan adalah pajak penghasilan perusahaan. Parameter pinjaman yang utama adalah proporsi, tenor dan bunga.

Harga jual yang diambil adalah harga jual listrik yang sesuai dengan Peraturan Presiden. Besarnya adalah USD 9,41 sen pada 10 tahun pertama dan USD 8,00 sen pada 20 tahun kedua. Karena lokasinya berada di Pulau Flores maka pada harga 10 tahun pertama dikalikan faktor F sebesar 1,2%, jadi harga 10 tahun pertama menjadi USD 11,292 sen (Pemerintah Indonesia, 2022b).

Pajak Penghasilan (PPH) yang akan diterapkan sesuai dengan aturan adalah 22%. Besar ini mengacu pada undang-undang perpajakan terbaru (Pemerintah Indonesia, 2021). Besaran PPH ini turun dari sebelumnya pada angka 25%. Pajak bumi bangunan PBB tidak dimasukkan ke dalam model karena perhitungannya yang cukup rumit yang dihubungkan dengan fasilitas produksi dan kedalaman sumur (Direktorat Panas Bumi, 2023).

PNBP yang berhubungan langsung bisnis panas bumi terdiri dari iuran tetap, iuran produksi dan bonus produksi. Iuran tetap adalah iuran yang dihubungkan dengan luas WKP dan tahapan yang sedang dijalani. Besarnya iuran USD 2 per hektar per tahun dan USD 4 per hektar per tahun. Karena dihubungkan dengan luas area, bisa dikatakan juga iuran tetap ini sebagai sewa lahan atau *landrent*. Sedangkan, iuran produksi bisa disebut juga sebagai royalti karena dihubungkan dengan pendapatan kotor dari hasil jual energi. Besarnya iuran Produksi ini adalah 5% atau 2,5% masing-masing untuk penjualan uap atau listrik. Selain kedua iuran tadi, terdapat iuran lain yang disebut Bonus Produksi. Bonus produksi pada dasarnya adalah iuran Produksi tambahan yang dikenakan pada pengembang. Perbedaan antara iuran Produksi dan Bonus Produksi selain besarnya adalah pada pembagian pendapatan antara institusi pemerintah. Besar Bonus produksi adalah 1% dan 0,5% untuk penjualan uap dan listrik. Sedangkan

pembagian Bonus Produksi ini hanya untuk kabupaten penghasil.

Parameter pinjaman yang akan digunakan adalah parameter pinjaman bunga lunak (*soft loan*) untuk BUMN. Besarnya bunga pinjaman yang diambil adalah 4,5% dengan total tenor pinjaman selama 20 tahun (SKM, 2013). Bunga tenor pinjaman ini lebih kecil dengan pinjaman komersial yang biasanya pada angka 8% dan tenor 12 tahun (Direktorat Panas Bumi, 2016).

Data dan Asumsi Infrastruktur

Asumsi biaya infrastruktur yang dibutuhkan untuk Proyek Nage ini sekitar USD 3 juta. Nilai ini merupakan hasil perkalian asumsi nilai dasar infrastruktur dikalikan faktor kesulitan lapangan. Faktor kesulitan ini berdasarkan lokasi (Jawa dan Luar Jawa) dan status lapangan (*Green* atau *Brown Field*). Lapangan Nage diasumsikan memiliki tingkat kesulitan 5 dari skala 10, semakin besar nilai semakin sulit tingkat kesulitannya.

Data dan Asumsi Fasilitas Produksi & Pembangkit

Biaya fasilitas produksi sekitar 300 $\$/kW_e$ dengan asumsi nilai entalpi fluida tinggi dan kerapatan energi lapangan sebesar 30 MW_e/km^2 . Jadi dengan rencana pengembangan 30 MW_e , maka total investasi fasilitas produksi total sekitar USD 16.7 juta. Sedangkan untuk biaya operasi fasilitas produksi diasumsikan sebesar USD 4.939 per MW_h per tahun (SKM, 2013).

Investasi pembangkit sekitar USD 1.610 per kW_e . Dengan nilai tersebut didapatkan total investasi sebesar USD 89 juta. Sedangkan untuk biaya operasi menggunakan nilai USD 7,98 per MW_h per tahun. Dengan biaya over haul per empat tahun sebesar USD satu juta per kegiatan.

Data dan Asumsi Sumur & Reservoir

Untuk data asumsi sumur dan reservoir yang perlu digarisbawahi adalah biaya,

persentase keberhasilan dan kapasitas per sumur. Suhu reservoir biasanya akan mempengaruhi besarnya kapasitas per sumur. Meskipun tidak selalu, tapi semakin besar suhu reservoir akan semakin besar kapasitas sumur di suatu lapangan.

Parameter sumur akan dibagi berdasarkan jenis sumur sesuai dengan tahapan. Jenis sumur tersebut adalah sumur produksi, sumur *appraisal*, sumur pengembangan, dan sumur *make-up*. Besar nilai parameter masukan untuk sumur dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Sumur Berdasarkan Jenis Sumur Panas Bumi

Jenis Sumur	% Kesuksesan	Biaya Per Sumur (US \$)
Eksplorasi	50%	5 Juta
Appraisal	75%	5 Juta
Pengembangan	85%	5 Juta
<i>Make-up</i>	85%	5 Juta

Sumber: SKM (2013)

Skenario Pengembangan

Terdapat empat skenario yang akan dimasukkan ke dalam model keuangan untuk mendapatkan proyeksi arus kas. Satu skenario merupakan skenario dasar yang diperkirakan akan dipergunakan, dua skenario selanjutnya merupakan skenario dengan perubahan besar kapasitas terpasang, dan skenario terakhir merupakan skenario dengan asumsi pengembang berbeda.

Skenario Pertama

Skenario pertama merupakan skenario yang sesuai dengan keadaan terakhir pada saat tulisan ini dibuat. Saat ini WKP Nage akan dikelola oleh PT Pertamina sebagai satu-satunya peserta lelang WKP. Dari Cadangan Terduga adalah 46 MW_e berdasarkan hasil pemboran 2 sumur *slim hole*, direncanakan akan dikembangkan sebesar 20 MW_e (Ditjen EBTKE, 2023). Nilai ini masih di bawah rencana pengembangan yang tercantum dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga

Listrik (RUPTL) sebesar 40 MW_e (PT PLN, 2021).

Dalam membuat proyeksi *cash flow* diperlukan asumsi-asumsi teknis dan keuangan. Pada skenario dasar ini, nilai-nilai asumsi teknis dan keuangan diambil dari dua dokumen utama yaitu dokumen studi kelayakan Lapangan Sokoria dan studi harga yang dilakukan pada lapangan-lapangan yang dikelola oleh Pertamina. Sama dengan Lapangan Nage, Lapangan Sokoria merupakan salah satu lapangan yang berada di Pulau Flores dengan jarak ± 170 km dari Lapangan Nage.

Skenario Kedua

Skenario kedua adalah skenario dengan rencana kapasitas terpasang sebesar 30 MW_e. Skenario kapasitas ini diambil dengan asumsi rencana pengembangan 50% dari Cadangan Mungkin. Dengan perkembangan pembangunan Pulau Flores sebagai destinasi wisata unggulan, maka bukanlah tidak mungkin kebutuhan listrik juga meningkat. Penentuan besarnya rencana pengembangan kapasitas terpasang pembangkit listrik dari energi panas bumi akan tergantung pada kondisi suplai dan kebutuhan listrik pada suatu wilayah.

Skenario Ketiga

Skenario ketiga merupakan skenario dengan rencana pengembangan pembangkit listrik sebesar 10 MW_e. Skenario ini untuk mengakomodasi apabila hasil eksplorasi lanjut tidak sesuai dengan perkiraan awal. Ini merupakan salah satu konsekuensi yang dihadapi risiko pada perusahaan panas bumi. Risiko perusahaan panas bumi terbesar terletak pada risiko sumber daya baik dari sisi kuantitas dan kualitas cadangan yang didapat.

Berdasarkan studi dari GeothermEx, didapat bahwa rata-rata rasio kesuksesan sumur panas bumi di Indonesia mencapai 63% (Sanyal dkk., 2014). Risiko ini lebih tinggi dibandingkan dengan risiko di negara

lain. Risiko ini semakin bertambah dengan fakta bahwa kualitas lapangan-lapangan panas bumi yang ditemukan saat ini memiliki kualitas lebih rendah dibandingkan kualitas lapangan-lapangan pada saat studi tersebut dilakukan.

Skenario Keempat

Skenario terakhir merupakan skenario dengan asumsi pengembangan Lapangan Nage dilakukan oleh pengembang swasta non-BUMN dengan asumsi kapasitas terpasang yang sama. (Direktorat Panas Bumi, 2016, 2017) memberikan gambaran bahwa perhitungan *cash flow* untuk *Independent Power Producer (IPP)* atau pengembang swasta dengan pengembang BUMN sangat berbeda. Dari sisi keuangan, BUMN memiliki *privilege* yang berbeda dengan pengembang swasta.

Perbedaan yang mempengaruhi perhitungan nilai indikator keuntungan proyek antara lain pada target keuntungan yang diinginkan dan parameter pinjaman. **Tabel 2** menunjukkan beberapa perbedaan asumsi keuangan yang digunakan dalam perhitungan. Nilai tingkat pengembalian yang diinginkan yang dicerminkan dalam nilai *Minimum Attractive Rate of Return (MARR)* pengembang BUMN berbeda sekitar 200 basis poin dari nilai MARR untuk IPP (Direktorat Panas Bumi, 2017). Sedangkan untuk pinjaman, selain parameter bunga yang dikategorikan sebagai pinjaman bunga lunak (*soft loan*) durasi yang didapat pengembang BUMN dapat dikategorikan sebagai hutang jangka panjang.

Tabel 2. Perbedaan Parameter Masukan Antara BUMN dan IPP

Parameter	BUMN	IPP
1. MARR	15%	18%
2. Pinjaman		
a. Durasi	20 tahun	12 tahun
b. Bunga	4 %	8%
3. Depresiasi		
a. Jenis	DB	DB
b. Durasi	16 tahun	8 tahun
c. Bunga	10%	10%

Sumber: SKM (2013)

Laju Diskonto dan MARR

Laju diskonto untuk perhitungan cash flow pada proyek ini menggunakan angka 10%. Sedangkan MARR proyek untuk analisis diambil nilai 14%. Nilai tersebut untuk proyek panas bumi yang dilakukan oleh BUMN. Nilai tersebut diambil dari perhitungan *Weighted Average Cost of Capital (WACC)* yang dilakukan oleh SKM (2013) dan Direktorat Panas Bumi (2016).

Cash Flow Pemerintah

Perhitungan arus kas bersih terdiri arus kas masuk dan arus kas keluar. Untuk mendapatkan nilai *NPV* nilai-nilai tersebut dikurangi pada nilai tertentu. Nilai diskonto yang diambil adalah 6,5% seperti disarankan kementerian keuangan untuk proyek yang menggunakan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) (Direktorat Panas Bumi, 2016). Arus kas masuk berasal dari pajak dan PNBP. Arus kas masuk dimulai dari tahun penerima kegiatan yang dilakukan pengembang dari PNBP iuran tetap. Perhitungan cash flow akan mempergunakan **Formula 1** (Danar, 2010):

$$\text{Cash Flow} = \text{Pendapatan} + \text{Depresiasi Investasi Berwujud} - \text{Biaya} \dots\dots\dots(1)$$

Pendapatan berasal dari penerimaan negara (pajak & PNBP). Depresiasi akan dilakukan untuk aset berwujud dalam hal ini sumur *slim hole*. Namun tidak semua biaya pengeboran akan dilakukan depresiasi, hanya untuk 70% biaya total pengeboran (Danar, 2010). Biaya merupakan biaya yang telah dan akan dikeluarkan selama umur proyek.

Dengan perkiraan IPB dikeluarkan pada tahun 2024 pada pengembang, maka total durasi *cash flow* pemerintah adalah 38 tahun. Tiga tahun awal merupakan durasi yang dipergunakan pemerintah untuk melakukan pengeboran sumur *slim hole* dan lelang WKP. Tahun pertama untuk perhitungan *cash flow* pemerintah dimulai dari tahun pada saat biaya perencanaan

mulai dikeluarkan. Jadi tahun pertama adalah tahun 2024.

Indikator Kelayakan Proyek

Empat indikator kelayakan proyek yang akan dihitung antara lain *NPV*, *IRR*, *BCR* dan *POT*. *NPV* adalah jumlah rangkaian *present value* dari *cash flow* dari awal sampai akhir proyek. Perhitungannya menggunakan **Formula 2**:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(2)$$

dengan

CF_t : cash flow pada tahun ke-t

r : laju diskonto

n : umur proyek

$$CF_t = CI_t - CO_t \dots\dots\dots(3)$$

Dengan

CI_t : cash inflow pada tahun ke-t

CO_t : cash outflow pada tahun ke-t

Kriteria kelayakan suatu proyek berdasarkan *NPV* adalah sebagai berikut:

- Jika $NPV > 0$, maka suatu proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan;
- Jika $NPV < 0$, maka suatu proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan.

Sedangkan, *IRR* merupakan nilai laju diskonto pada saat nilai *NPV* sama dengan nol. Dua jenis *IRR* yang akan dihitung yaitu *IRR* Proyek dan *IRR* Ekuiti. *Project IRR* adalah *IRR* dengan asumsi tanpa pinjaman, semua menggunakan ekuitas, sedangkan *IRR* Ekuiti adalah *IRR* dengan asumsi menggunakan dana pinjaman dan ekuitas. Rumus perhitungan menggunakan Formula 4.

$$\sum_{t=0}^{t=n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Kriteria kelayakan suatu proyek berdasarkan *IRR* adalah sebagai berikut:

- Jika $NPV > MARR$, maka suatu proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan;
- Jika $NPV < MARR$, maka suatu proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan.

BCR merupakan perbandingan antara pendapatan yang diperoleh dan biaya yang dikeluarkan. Perhitungannya menggunakan **Formula 5** di bawah ini:

$$BCR = NPV \left(\frac{\text{Pendapatan}}{\text{Investasi}} \right) \dots\dots\dots(5)$$

Payback period adalah waktu yang dibutuhkan suatu proyek untuk mengembalikan seluruh biaya dan kewajiban yang telah dikeluarkan. Perhitungannya menggunakan **Formula 6**.

$$PBP = m + \frac{0 - CCF_m}{CCF_{m+1} - CCF_m} \dots\dots\dots(6)$$

dengan

PBP : *payback period*, tahun

m : tahun dengan *CCF* negatif sebelum *CCF* positif

$m+1$: tahun dengan *CCF* positif setelah *CCF* negatif

CCF_m : cash flow kumulatif pada tahun m

CCF_{m+1} : cash flow kumulatif pada tahun $m+1$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dibagi menjadi empat bagian yaitu biaya pemerintah, evaluasi kasus dasar, perbandingan skenario dengan kapasitas terpasang yang berbeda, dan perbandingan skenario dengan jenis pengembang yang berbeda. Pada evaluasi kasus dasar atau Skenario 1 akan dibahas arus kas Proyek Nage dan arus kas pemerintah dari Proyek Nage.

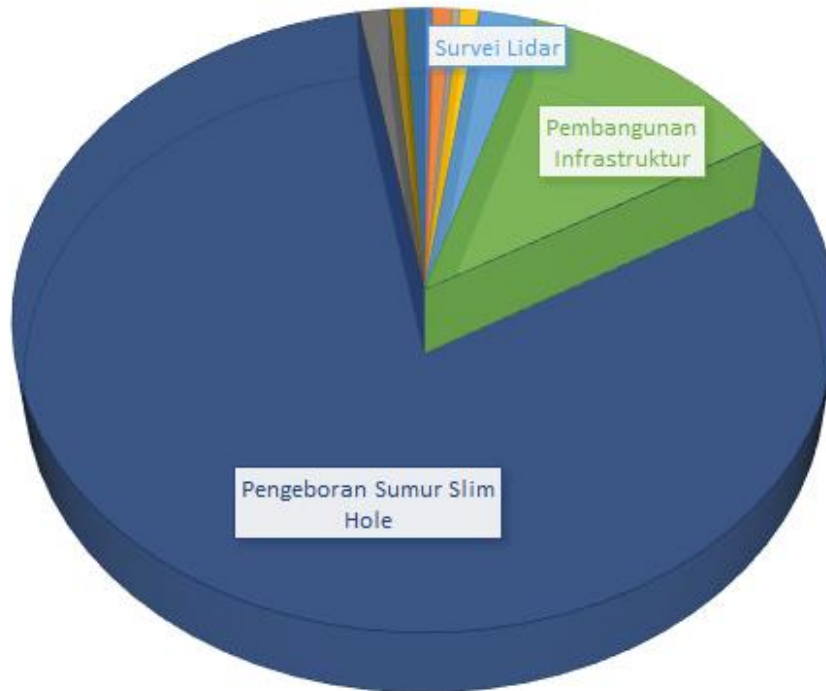
Biaya Pemerintah

Nilai sekarang atau *present value* (PV) total biaya yang telah dikeluarkan pemerintah untuk Proyek Nage adalah sebesar 73,4

miliar rupiah atau setara dengan USD 5 juta dengan laju diskonto sebesar 6,5%. Proporsi terbesar pembiayaan pada

pengeboran sumur *slim hole* yang mencapai 78,49%. Proporsi biayanya dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Gambar 6**.

PROPORSI KOMPONEN BIAYA PEMERINTAH



Gambar 6. Proporsi Komponen Biaya yang Dikeluarkan Pemerintah untuk Proyek Nage

Tabel 3. Biaya yang Dikeluarkan Pemerintah untuk Proyek Nage

No	Biaya	Unit	Nilai	Persentase
1.	PSDMBP			
a.	Survei Geologi	US \$ x1.000	17,93	0,35%
b.	Survei Geokimia	US \$ x1.000	41,38	0,82%
c.	Survei Gaya Berat	US \$ x1.000	15,86	0,31%
d.	Survei MT/TDEM	US \$ x1.000	41,38	0,82%
e.	Survei Lidar	US \$ x1.000	120,69	2,38%
f.	Pembangunan Infrastruktur	US \$ x1.000	586,21	11,58%
g.	Pengeboran Sumur Slim Hole	US \$ x1.000	3.974,04	78,49%
h.	Pengawasan Kegiatan	US \$ x1.000	2,79	0,06%
2.	Direktorat Panas Bumi			
a.	UKL/UPL	US \$ x1.000	62,07	1,23%
b.	Pelaksanaan WKP	US \$ x1.000	34,48	0,68%
c.	Pembinaan & Pengawasan	US \$ x1.000 per tahun	41,38	0,82%
3.	Net Present Value (NPV)	US \$ x1.000	5.063,36	

Evaluasi Kasus Dasar (Skenario 1)

Perbedaan parameter yang digunakan dalam perhitungan untuk lapangan yang dilakukan dan tidak dilakukannya *Program Government Drilling* adalah pada persentase keberhasilan sumur eksplorasi. Pada Proyek Nage ini, berdasarkan kajian dari (Allen dkk., 2013), pada lapangan yang dilakukan program tersebut persentase rata-rata keberhasilan akan meningkat dari 52% menjadi 58%. Nilai tersebut didapatkan dari asumsi bahwa pengeboran sumur eksplorasi yang dilakukan pengembang akan menjadi sumur ketiga sampai kelima dari semula yang merupakan sumur pertama sampai ketiga sesuai dengan **Gambar 7**.

Sedangkan apabila hasil pengeboran pada Proyek Nage ini menghasilkan MW_e kapasitas sumur sesuai yang direncanakan maka asumsi persentase keberhasilan sumur eksplorasi akan lebih tinggi. Persentase keberhasilan sumur eksplorasi akan diasumsikan sebesar 75% (sama dengan persentase keberhasilan sumur *appraisal*) jika *output* sumur *slim hole* sesuai yang diharapkan. Kenaikan persentase tersebut didasarkan pada apabila hasil pengeboran *slim hole* positif, maka akan dilakukan pengeboran eksplorasi sumur standar di sebelah sumur *slim hole* tersebut dalam *wellpad* yang sama.

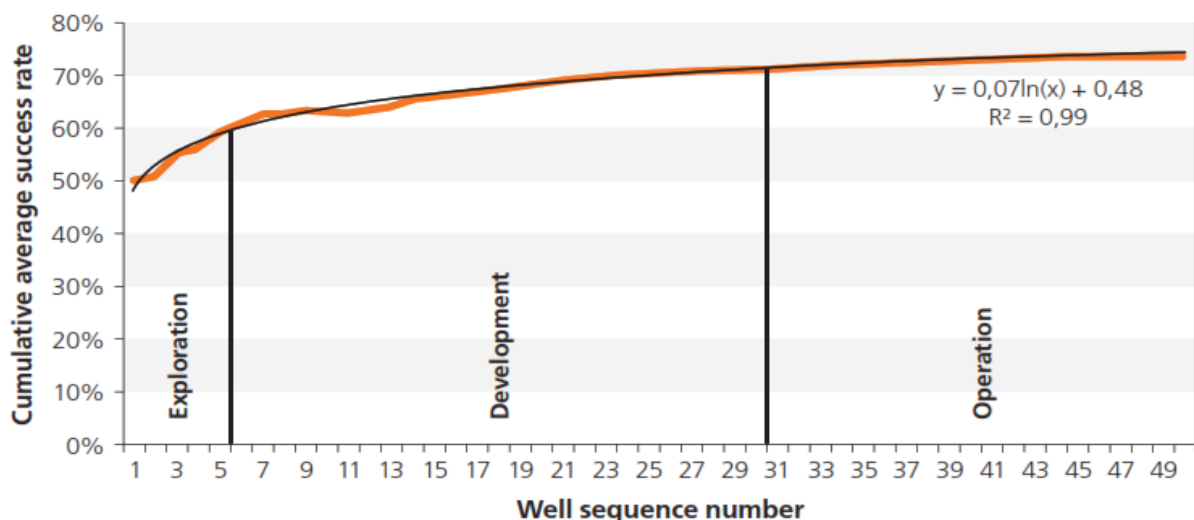
Arus Kas Proyek

Berdasarkan proyeksi arus kas bersih, Proyek Nage ini akan menghasilkan *IRR* ekuiti sebesar 21,57%. Dengan asumsi bahwa nilai *MARR* *IRR* ekuiti sebagai BUMN adalah 15%, maka Proyek Nage ini dapat dikategorikan sebagai proyek yang layak untuk diteruskan (*IRR* ekuiti > *MARR*).

Selain dari nilai *IRR* ekuiti, proyek ini dikatakan layak karena juga memiliki nilai *NPV* > 0 dan *BCR* > 1 yaitu sebesar USD 152,8 juta dan 1,13. Untuk *PBP* diperkirakan pada tahun keenam. Jika dilihat dari sisi indikator proyek dengan harga yang sama, Proyek Nage tidak terlalu menarik karena nilai *IRR* proyek yang kecil. Nilai tersebut masih di bawah *MARR* yang biasanya diambil para pengembang swasta. Selain itu, nilai negatif indikator yang lain *NPV* < 0 dan *BCR* < 1. Nilai-nilai indikator selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Indikator Kelayakan Proyek Nage

Parameter	Unit	Proyek	Ekuiti
IRR	%	7,65	21,57
NPV	US \$ x1.000	95.919	152.834
BCR		0,96	1,13
PBP	tahun	11,9	5,9



Gambar 7. Persentase Kesuksesan Berdasarkan Urutan Jumlah Sumur (Allen dkk., 2013)

Arus Kas Pemerintah

Nilai sekarang proyeksi total pendapatan negara dari Proyek Nage dengan laju diskonto 6,5% adalah sebesar USD 4,95 juta. Proyeksi pendapatan negara ini didapatkan dari hasil proyeksi arus kas proyek Nage seperti dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Nilai sekarang proyeksi arus kas bersih dengan laju diskonto 6,5% adalah sebesar USD 5,5 juta. Arus kas bersih ini merupakan hasil penggabungan arus kas masuk dan arus kas keluar pemerintah dengan menggunakan **Formula 1** menunjukkan parameter indikator kelayakan proyek yang positif ($BCR > 1$, $NPV > 0$, $IRR > \text{Laju Diskonto}$) yaitu senilai 2,1 dan 11,37%.

Dengan nilai BCR tersebut artinya setiap rupiah biaya yang dikeluarkan pemerintah akan menghasilkan pendapatan negara lebih dari dua kali lipatnya. Tingkat pengembalian pun hampir dua kali lipat dari tingkat pengembalian yang ditentukan apabila proyek menggunakan APBN.

Perbandingan Dengan Skenario Berbeda Kapasitas Terpasang (20 MW_e vs 30 MW_e dan 20 MW_e vs 10 MW_e)

Perbandingan Skenario 2 dan 3 dengan kasus dasar (Skenario 1) menghasilkan analisis yang berbeda. Untuk Skenario 2 menghasilkan indikator kelayakan yang lebih baik meskipun dari sisi proyek masih di bawah $MARR$. Sedangkan Skenario 3 menghasilkan indikator-indikator negatif untuk semua parameter.

Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar kapasitas terpasang untuk

Proyek Nage akan semakin baik indikator kelayakan proyeknya. Perbedaannya tingkat pengembaliannya dengan penambahan 10 MW_e mencapai kenaikan 30% dan 88% untuk nilai NPV dibandingkan kasus dasar. Begitu juga sebaliknya dengan penurunan kapasitas. Penurunan kapasitas menjadi 10 MW_e menyebabkan proyek tidak ekonomis bahkan untuk pengembang BUMN sekalipun.

Perubahan kapasitas juga mempengaruhi *cash flow* pemerintah cukup signifikan. Perubahan kenaikan dan penurunan kapasitas terpasang 10 MW_e akan menyebabkan kenaikan dan penurunan tingkat pengembalian sebesar 10% dibandingkan kasus dasar. Begitu pula dengan nilai NPV dan BCR yang berubah naik/turun sebesar masing-masing 43% dan 22%.

Hasil indikator kelayakan negatif ini disebabkan dua faktor yaitu faktor biaya dan pendapatan. Pada kapasitas yang lebih kecil, biaya investasi per MW_e lebih besar karena faktor biaya tetap investasi tidak jauh berbeda dengan kapasitas yang lebih besar. Sedangkan dari sisi pendapatan, dengan kapasitas terpasang yang lebih kecil maka pendapatan juga kecil.

Tabel 5. Perbandingan Indikator Kelayakan Proyek dari Arus Kas Pemerintah pada Berbagai Besar Kapasitas Terpasang

Parameter	Unit	10 MW _e	20 MW _e	30 MW _e
IRR	%	9,73	11,37	12,52
NPV	USD x1.000	3.060	5.542	7.913
BCR		1,6	2,1	2,6

Tabel 6. Perbandingan Indikator Kelayakan Proyek Nage pada Berbagai Besar Kapasitas Terpasang

Parameter	Unit	30 MW _e		10 MW _e	
		Proyek	Ekuiti	Proyek	Ekuiti
Investasi Sebelum COD	US \$ x1.000	132.998		68.070	
IRR	%	8,57	28,23	0,53	-3,56
NPV	US \$ x1.000	82.816	286.770	-212.495	-49.789
BCR		1,00	1,16	0,73	0,96
PBP	tahun	12,2	5,7	32,8	65,9

Perbandingan Dengan Skenario Berbeda Investor Pengembang (BUMN vs Swasta)

Hasil dari Skenario 4 dengan asumsi pengembang dari pihak swasta menghasilkan indikator-indikator kelayakan proyek yang negatif. Secara berturut-turut nilai IRR proyek, IRR ekuiti, dan BCR adalah 7,65%, 1,7%, dan 0,95. Nilai IRR ekuiti masih jauh di bawah tingkat pengembalian untuk swasta yang biasanya pada angka 18% ($IRR_{ekuiti} < MARR$). Hal ini berbeda jika dibandingkan dengan jika asumsikan pengembangnya adalah BUMN yang masih menghasilkan indikator kelayakan proyek positif seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Hal ini karena parameter pinjaman yang didapatkan BUMN adalah pinjaman lunak dengan durasi pinjaman jangka panjang dibandingkan dengan yang didapatkan pengembang swasta. Selain itu, perlakuan nilai penyusutan aset berwujud pada BUMN berbeda dengan IPP.

Berdasarkan nilai-nilai indikator kelayakan proyek tersebut bisa dikatakan bahwa proyek Nage belum menarik bagi investor pengembang swasta non BUMN. Hal inilah yang mungkin menjadi salah satu penyebab tidak ada peserta lain selain Pertamina dalam proses lelang WKP Nage.

KESIMPULAN

Berdasarkan indikator kelayakan, Proyek Nage 20 MW_e layak untuk dilanjutkan oleh pengembang BUMN. Semakin besar kapasitas terpasang pada Proyek Nage, semakin besar nilai indikator kelayakan proyek. Namun dengan kapasitas 10 MW_e, Proyek Nage belum layak untuk dilanjutkan.

Indikator kelayakan yang diterapkan pada arus kas pemerintah terutama nilai *BCR* pada Proyek Nage dapat menjadi salah satu pertimbangan untuk melanjutkan atau menghentikan Program *Government Drilling* secara umum dan Proyek Nage secara khusus.

Berdasarkan nilai *BCR*, Proyek Nage akan menghasilkan pendapatan negara sebesar 2,1 kali dari setiap biaya investasi yang dikeluarkan oleh pemerintah. Selain itu, indikator kelayakan yang lain juga menunjukkan nilai-nilai positif ($NPV > 0$ dan $IRR > MARR$). Berdasarkan hal diatas, dapat disimpulkan Program *Government Drilling* khususnya Proyek Nage layak untuk dilanjutkan.

Proyek Nage 30 MW_e kurang menarik bagi investor pengembang swasta karena nilai indikator kelayakan proyek yang bernilai negatif. Namun proyek ini masih layak dilanjutkan oleh investor pengembang BUMN. Jadi perbedaan parameter pinjaman dan depresiasi antar pengembang BUMN dan swasta berperan penting dalam kelayakan suatu proyek panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya makalah ini maka penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi dan Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi atas ketersediaan data untuk penulisan. Ucapan terima kasih kepada para dosen di Program Magister Akuntansi Universitas Widyatama. Terima kasih juga penulis sampaikan untuk kolega dan sahabat atas diskusi yang sangat berharga untuk melengkapi tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, M., Avato, P. A., Gehringer, M., Harding-Newman, T., Levin, J., Loksha, V. B., Meng, Z., Moin, S., Morrow, J., & Oduolowu, A. O. (2013). *Success of geothermal wells: A global study*.
- Andreas Wibowo, Josep Bely Utarja, & Eko Nur Surachman. (2020). *Panduan Penyusunan Studi Pendahuluan Proyek Infrastruktur Publik*. PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (Persero).

- Anonim, 2022, Laporan Akhir: Pengeboran *Slimhole* NGE-01A di Wilayah Panas Bumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung.
- Anonim, 2022, Laporan Akhir: Pengeboran *Slimhole* NGE-02 di Wilayah Panas Bumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SN 7985:2015 tentang Kriteria Sumur Panas Bumi*.
- Brent, R. J. (2006). *Applied cost-benefit analysis*. Edward Elgar Publishing.
- Danar, A. (2010). Keputusan Investasi Panas Bumi Di Indonesia. Dalam *Energi Panas Bumi Di Indonesia* (hlm. 61–179). Badan Geologi.
- Direktorat Panas Bumi. (2016). *Proposed Methodology for Determining Fixed Tariffs for Geothermal Power Projects in Indonesia*.
- Direktorat Panas Bumi. (2017). *Recommendations for a Geothermal Tariff System*.
- Direktorat Panas Bumi. (2023). *Pengembangan Panas Bumi di Indonesia*.
- Ditjen EBTKE. (2023). *Pengumuman Pelelangan Wilayah Kerja Panas Bumi Di Daerah Nage*.
- Gehring, M., & Loksha, V. (2012). Geothermal handbook: planning and financing power generation. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). *The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank Group, Washington DC, United States, Energy Sector Management Assistance Program Technical Report*, 2(12), 164.
- Nugraha, H., Saefulhak, Y., & Pangaribuan, B. (2017). A Study on the Impacts of Incentives to the Geothermal Energy Electricity Price in Indonesia using Production-based Cost Approach. *The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE)*.
- Pemerintah Indonesia. (2003). *Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara*.
- Pemerintah Indonesia. (2016). *Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2016 tentang Besaran dan Tata Cara Pemberian Bonus Produksi Panas Bumi*.
- Pemerintah Indonesia. (2018). *Undang-Undang Nomor 9 Tahun 2018 tentang Penerimaan Negara Bukan Pajak*.
- Pemerintah Indonesia. (2021). *Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan*.
- Pemerintah Indonesia. (2022a). *Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2022 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Pemerintah Indonesia. (2022b). *Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik*.
- PT PLN. (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2021 sampai dengan Tahun 2030*.
- Sanyal, S. K., Morrow, J. W., Jayawardena, M. S., & Berrah, N. (2014). *Geothermal Resource Risk in Indonesia: A Statistical Inquiry*.
- SKM. (2013). *Geothermal Tariff Study*.
- West Japan Engineering Consultants. (2019). *Application of Input-Output analysis to Energy Policy*.
- World Bank. (2008). *Project Appraisal Document on a Proposed Global Environment Facility (GEF) Grant of US\$4 Million to The Republic of Indonesia for a Geothermal Power Generation Development Project*.

Diterima : 30 Agustus 2022
Direvisi : 8 September 2022
Disetujui : 31 Agustus 2023

**ANALISIS SEBARAN LOGAM TANAH JARANG UNTUK PENGEMBANGAN
WILAYAH PERTAMBANGAN MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT-9
DI KABUPATEN BANGKA SELATAN**

**ANALYSIS OF RARE EARTH METAL DISTRIBUTION
FOR MINING AREA DEVELOPMENT
USING LANDSAT-9 IMAGES IN SOUTH BANGKA REGENCY**

**Sulka Wijaya¹, Mega Rosana Fatimah¹, Euis Tintin Yuningsih¹,
dan Armin Tampubolon²**

¹Universitas Padjadjaran

²Badan Riset dan Inovasi Nasional
sulka20001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi tinggi saat ini banyak membutuhkan unsur Logam Tanah Jarang (LTJ) yang salah satunya didapatkan dari pertambangan bijih timah. Produksi bijih timah terbesar terletak di Kepulauan Bangka Belitung. Cakupan penelitian ini berfokus pada Monasit yang memiliki potensi untuk diolah lebih lanjut menjadi Logam Tanah Jarang yang saat ini banyak dibutuhkan dalam berbagai macam industri global dan akan terus meningkat jumlah permintaannya. Monasit merupakan produk sampingan dari pengolahan bijih timah. Pengusahaan timah di Pulau Bangka pada umumnya dan khususnya Kabupaten Bangka Selatan telah berlangsung lama yaitu dari masa pendudukan Belanda hingga sekarang. Secara geologi kehadiran granit berumur Trias dikaitkan dengan pembentukan timah yang membentang dari Semenanjung Thailand-Malaysia-Kepulauan Riau dan Bangka-Belitung ke Kalimantan Barat sebagai *Granite Tin Belt*, terindikasi dengan potensi mineral ikutan seperti Monasit, Xenotim dan Zirkon yang secara strategis berperan sebagai mineral pembawa unsur LTJ. Adanya potensi logam tanah jarang dalam bentuk mineral Monasit di Pulau Bangka sebagai dasar untuk dianalisis lebih lanjut pola sebarannya menggunakan citra satelit. Wilayah yang kaya akan sumber daya mineral memerlukan perencanaan wilayah yang sesuai agar pengelolaan dan pemanfaatannya lebih optimal. Penelitian ini mengacu pada hasil penelitian Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) tahun 2009, 2014 dan 2018 yang dikomparasikan dengan Citra Landsat-9. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dimana potensi wilayah yang cocok dikembangkan menjadi industri pertambangan mineral pembawa LTJ di Kabupaten Bangka Selatan. Metode penelitian menggunakan analisis deskriptif kualitatif dan analisis spasial. Hasil Analisis menunjukkan kesesuaian pemanfaatan ruang untuk kegiatan pertambangan pada Desa Rindik dan Desa Keposang, diverifikasi dengan pengambilan sampel di lokasi untuk membuktikan potensinya. Keterdapatan Monasit di atas 50% dari total sampel *tailing* mengindikasikan wilayah tersebut dapat dikembangkan menjadi Wilayah Usaha Pertambangan komoditas LTJ.

Kata kunci: Kesesuaian, Logam Tanah Jarang, Monasit, Wilayah Pertambangan

ABSTRACT

The development of high technology currently relies heavily on rare earth elements (REE), some of which are obtained from tin ore mining. The largest production of tin ore is located in the Bangka Belitung Islands. To assess this potential further, this research aims to provide direction for development. The focus of this research centers on Monazite, which has the potential to be processed into rare earth elements, currently in high demand across various global industries and expected to see increasing demand. Monazite is a by-product of tin ore

processing. Tin mining in Bangka Island, in general, and South Bangka Regency, in particular, has a long history dating back to the Dutch occupation period and continues to the present day. Geologically, the presence of Triassic-age granite is associated with tin formation, stretching from the Peninsula of Thailand-Malaysia-Riau Islands to Bangka-Belitung and West Kalimantan, known as the Granite Tin Belt. This is indicated by the presence of associated minerals such as Monazite, Xenotime, and zircon, which play a strategic role as REE sources. Regions abundant in mineral resources require proper regional planning to ensure optimal management and utilization. This study refers to the research results conducted by the Coal and Geothermal Mineral Resources Center (PSDMBP) in 2009, 2014, and 2018, which were compared with Landsat-9 images. The purpose of this research is to identify potential areas suitable for developing the Rare Earth Elements (REE) mining industry in South Bangka. The research methodology employs qualitative descriptive analysis and spatial analysis. The analysis results indicate the suitability of spatial utilization for mining activities in Rindik Village and Keposang Village, confirmed through on-site sampling to substantiate their potential. The presence of Monazite in over 50% of the total tailings samples suggests that the area can be developed into a Mining Business Area for REE commodities.

Keywords: Suitability, REE, Monazite, Mining Business Area

PENDAHULUAN

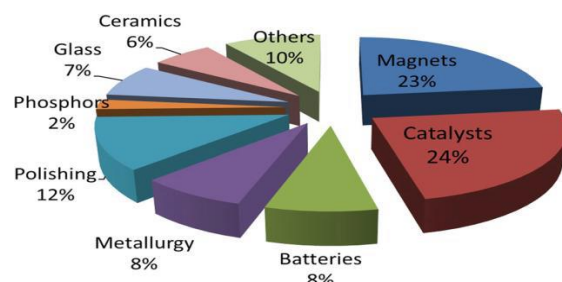
Logam Tanah Jarang (LTJ) mengacu kepada 17 unsur dalam tabel periodik yaitu Sc (Skandium), Y (Yttrium), La (Lantanum), Ce (Serium), Pr (Praseodimium), Nd (Neodimium), Pm (Prometium), Sm (Samarium), Eu (Europium), Gd (Gadolinium), Tb (Terbium), Dy (Disprosium), Ho (Holmium), Er (Erbium), Tm (Thulium), Yb (Ytterbium) dan Lu (Lutetium) (Weng et al., 2015).

Sumber utama LTJ adalah mineral Monasit, Xenotim, dan Basnasit (Jordens et al., 2013). Ketiga mineral ini banyak terdapat pada batuan beku seperti granit, pegmatit, dan karbonatit (Zepf, 2013). Monasit dan Xenotim merupakan produk sampingan dari pengolahan bijih timah. Monasit dipilih sebagai produk unggulan untuk dieksplorasi karena turunan Monasit adalah LTJ yang berpotensi sangat menjanjikan secara ekonomi karena aplikasinya melayani begitu banyak industri yang berbeda seperti LCD, kendaraan listrik, turbin angin dan katalis mobil. Semua industri ini diproyeksikan akan tetap mengalami pertumbuhan positif di masa depan, yang mengindikasikan penggunaan LTJ akan terus berkembang (Rochmadi, 2021).

Monasit biasanya berasosiasi dengan mineral berat seperti ilmenit, magnetit, rutil

dan zirkon (Long, et al., 2012). Pada umumnya Monasit mengandung 10% s.d.40% La_2O_3 , 4% s.d. 12% ThO_2 , 20% s.d. 30% Ce_2O_3 dan sejumlah Nd, Pr, dan Sm. Kandungan Torium dan Uranium dalam Monasit pada endapan plaser lebih besar dibandingkan dengan kandungan unsur tersebut dalam Monasit yang terdapat pada batuan karbonatit (Dushyantha et al., 2020).

Permintaan LTJ pada dasarnya dipengaruhi oleh industri-industri menengah-besar dengan tingkat pertumbuhan yang potensial di masa depan, seperti magnet (23%, menggunakan Nd dan Pr), polisher (12%, menggunakan La dan Ce), paduan logam untuk baterai (8%, menggunakan La, Ce, dan Nd), fosfor (2%, menggunakan Y, La, Ce), keramik (6%, menggunakan Y, La, Ce, Nd, Pr), dan katalis (24%, menggunakan La dan Ce). (gambar 1).



Gambar 1. Global Rare Earth market 2016 (Goodenough, et al., 2018)

Berdasarkan data dari USGS tahun 2021, Tiongkok merupakan produsen LTJ terbesar di dunia. Meskipun Tiongkok hanya memiliki 37% cadangan terbukti dibandingkan dengan total cadangan dunia, namun negara tersebut dapat menyumbang 60% dari total produksi dunia yaitu sebesar 280.000 ton LTJ Oksida, dimana 168.000 ton LTJ Oksida berasal dari Tiongkok. Sisanya, sekitar 112.000 ton LTJ Oksida merupakan produksi dari negara-negara lain.

Di industri LTJ, nama Indonesia belum dikenal sebagai bagian negara produsen LTJ di dunia. Menurut data Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) tahun 2018, sumberdaya Monasit di Kepulauan Bangka-Belitung berkisar 6.466.464 ton.

Salah satu cara yang terbukti meningkatkan pasokan LTJ adalah pengelolaan *tailing* pada pertambangan pasir pembawa kasiterit di Kepulauan Bangka-Belitung Indonesia (Szamalek, 2013). Selain itu, pemanfaatan *tailing* secara menyeluruh sesuai dengan filosofi tanpa limbah akan mengurangi dampak berbahaya dari limbah pertambangan terhadap lingkungan alam (Zglinicki et al., 2021).

Di Pulau Bangka dan Pulau Belitung keberadaan mineral LTJ ditemukan dalam mineral Monasit sebagai ikutan (*tailing*) dari hasil pengolahan mineral bijih timah (kasiterit). Dalam suatu kajiannya, Irzon dkk (2012) mendefinisikan *tailing* sebagai istilah yang diperuntukkan bagi materi atau bahan hasil produksi yang terbuang dari kegiatan eksploitasi dan pengolahan tambang yang berbentuk materi padatan.

Pertambangan timah telah menjadi aktivitas keseharian sebagian masyarakat di Kepulauan Bangka sejak ratusan tahun yang lalu yang hanya memfokuskan pada ekstraksi bijih timah (kasiterit) sehingga relatif tidak memprioritaskan pemanfaatan mineral ikutan lainnya. Hal tersebut ditambah dengan keterbatasan efisiensi teknologi pertambangan sehingga masih

menyisakan mineral-mineral ekonomis pada sisa hasil penambangannya (Ngadenin et al, 2021).

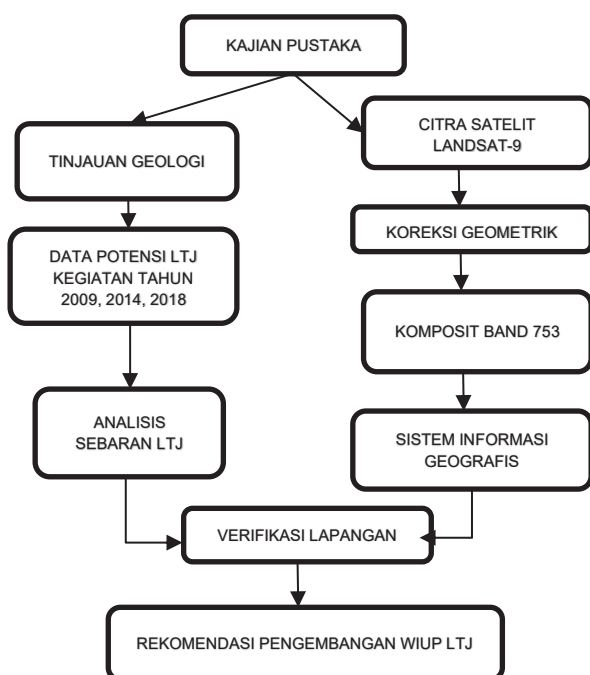
Pada tahun 2014, Pusat Sumber Daya Geologi, sekarang Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) telah melakukan pemetaan terhadap zona-zona *tailing* di Pulau Bangka dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh (gambar 3). Sejak terbitnya Undang-Undang No. 3 tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, maka Monasit digolongkan sebagai salah satu mineral yang dapat diusahakan, sehingga informasi mengenai lokasi yang potensial untuk pertambangan Monasit dan kesesuaiannya terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Bangka Selatan tahun 2014-2034 menjadi penting untuk diketahui. Salah satu metoda untuk mendeteksi hal tersebut adalah dengan bantuan Sistem Informasi Geografis dan dengan menggunakan citra satelit Landsat-9.

Lokasi Daerah penelitian berada di Bangka Selatan Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung. Daerah ini sejak dulu dikenal sebagai penghasil timah. Secara geografis daerah Kabupaten Bangka Selatan terletak antara koordinat 114° 30' 20" - 115° 35' 37" BT dan 2° 49' 55" - 3° 43' 28" LS, dengan luas daerah 3.607,08 Km².

METODOLOGI

Untuk mengidentifikasi kesesuaian wilayah pertambangan Monasit yang mengandung LTJ, perlu dilakukan tinjauan geologi untuk mengidentifikasi keberadaan deposit tersebut. Tinjauan ini mencakup pengumpulan data sebaran dan potensi Monasit yang mengandung logam tanah jarang di wilayah penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder hasil evaluasi potensi LTJ oleh PSDMBP tahun 2009, 2014 dan 2018. Tahap pertama penelitian ini adalah melakukan analisis korelasi antara kondisi geologi dengan kelimpahan LTJ pada daerah penelitian. Setelah didapatkannya informasi tersebut, tahap kedua adalah

membandingkan zona *tailing* hasil kegiatan analisis *remote sensing* PSDMBP tahun 2014 dengan Citra Satelit Landsat 9 menggunakan komposit band 753 untuk mengidentifikasi sebaran *tailing* terkini. Tahap selanjutnya adalah melakukan kajian terkait kewilayahan pertambangan, kehutanan dan tata ruang sehingga didapat lokasi yang memenuhi kriteria untuk dikembangkan menjadi untuk komoditas LTJ. Tahap terakhir adalah verifikasi lapangan pada daerah yang diduga paling potensial dan sesuai peruntukan wilayahnya dengan melakukan pengambilan sampel pada konsentrat *tailing* sebanyak 10 kg, dan dilakukan uji laboratorium. Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Proses Analisis untuk menentukan kesesuaian pengembangan WIUP LTJ

GEOLOGI DAN POTENSI LTJ

Secara garis besar, geologi Pulau Bangka tersusun dari batuan granit, metasedimen dan alluvial. Urutan stratigrafi Bangka Selatan dari tua ke muda adalah Komplek Malihan Pemali (Cpp), Tanjunggenting (Trt), Granit Klabat (TrJkg), Ranggam (TQr), dan Alluvium (Qa). Batuan yang terdiri dari granit Tipe-I dan Tipe-S ini

mengintrusi Kompleks Pemali berupa filit, sekis, dan gneiss berumur Permo-Karbon dan Formasi Tanjung Genting yang tersusun oleh batulempung metasedimen berselang-seling, batulanau, dan batupasir berumur Trias (Margono et al., 1995).

Terbentuknya cebakan timah dan mineral ikutannya di Pulau Bangka diawali oleh adanya Intrusi granit menerobos batuan yang lebih tua pada zaman Trias – Yura Atas yang menghasilkan proses metamorfosis kontak. Bersamaan dengan proses metamorfosis tersebut kemudian terjadi proses pneumatolitik yang menghasilkan mineral kasiterit yang mengisi rekahan – rekahan pada granit. Kemudian pada zaman Kenozoikum, erosi intensif terjadi menyebabkan tersingkapnya granit dan diikuti oleh proses pelapukan, transportasi dan pengendapan cebakan timah di daerah sekitarnya (Mardiah, 2013).

Pada endapan timah plaser, LTJ terdapat pada mineral Monasit, Xenotim, dan Zirkon. Diinterpretasikan bahwa LTJ berasal dari batuan Granit Klabat seperti yang ditemukan di Bangka Selatan (Hamdan et al., 1999).

Jenis mineral LTJ primer yang merupakan sumber utama LTJ di Bangka Selatan dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu LTJ fosfat yang terdiri dari Monasit, Xenotim, dan apatit, LTJ karbonat yang terdiri dari parisit, allanit, dan bastnasite, dan mineral pembawa LTJ lainnya seperti thorit dan zirkon tetapi diklasifikasikan sebagai mineral radioaktif. Kelompok mineral LTJ fosfat terdapat dalam granit yang terbentuk pada awal kristalisasi magmatik dan tahap magmatik-hidrotermal. Sementara Monasit tampaknya telah terbentuk dalam urat kuarsa bersama dengan kasiterit. Batuan induk granit utamanya adalah peraluminous dan tipe-S (Tampubolon, A. 2021).

Kegiatan penyelidikan tentang logam tanah jarang di Kabupaten Bangka Selatan telah dilakukan sejak tahun 2009-2018 yang

dapat dilihat pada Gambar 3 dalam kurun waktu tersebut. Hasil laboratorium geokimia menunjukkan bahwa kadar kasiterit pada konsentrat dulang bervariasi antara 364,950 gr/m³ s.d. 2.876,993 gr/m³ dan pada sampel *tailing* kadar kasiterit pada konsentrat dulang antara 178,400 gr/m³ s.d. 553,888 gr/m³. Selain kasiterit hasil analisis mineralogi butir mendapatkan pula mineral ikutan seperti: magnetit, ilmenit, hematit, rutil, zirkon, Monasit, dan Xenotim.

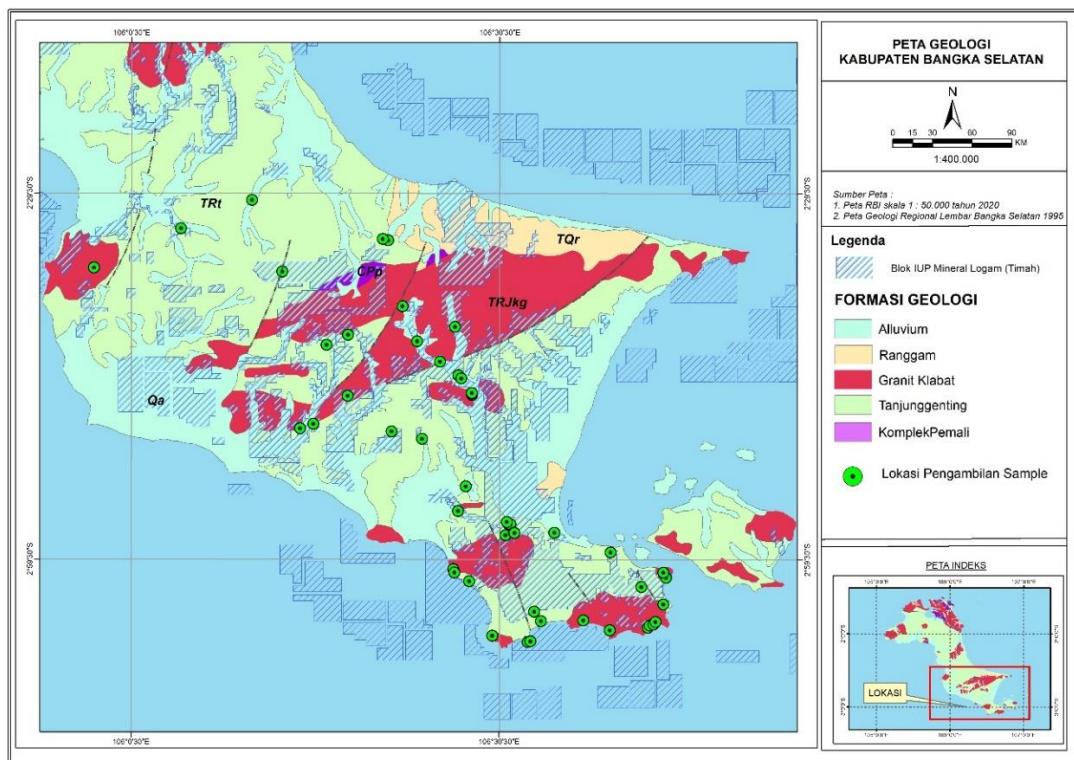
Tabel 1. Hasil analisis sampel konsentrat dulang

Kandungan LTJ Konvensional	Konsentrasi
Ce	4.670 ppm
Y	5.372 ppm
La	34.047 ppm
Nd	2.896 ppm
Kandungan LTJ Tambang Inkonsvensional	Konsentrasi
Ce	12.750 ppm - 31.175 ppm
Y	14.375 ppm - 33.200 ppm
La	59.672 ppm - 233.422 ppm
Nd	9.139 ppm - 18.789 ppm

Tabel 1 menggambarkan bahwa *tailing* di daerah Kabupaten Bangka Selatan terdapat unsur LTJ yang potensial. Berdasarkan kajian ini maka dapat diidentifikasi adanya potensi yang cukup besar terhadap LTJ di Bangka Selatan. Analisis dari hasil pemboran PSDG pada Wilayah Pertambangan Timah Air Nuduh, Kecamatan Air Gegas dengan jumlah sampel pemboran 26 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan LTJ di Air Gegas

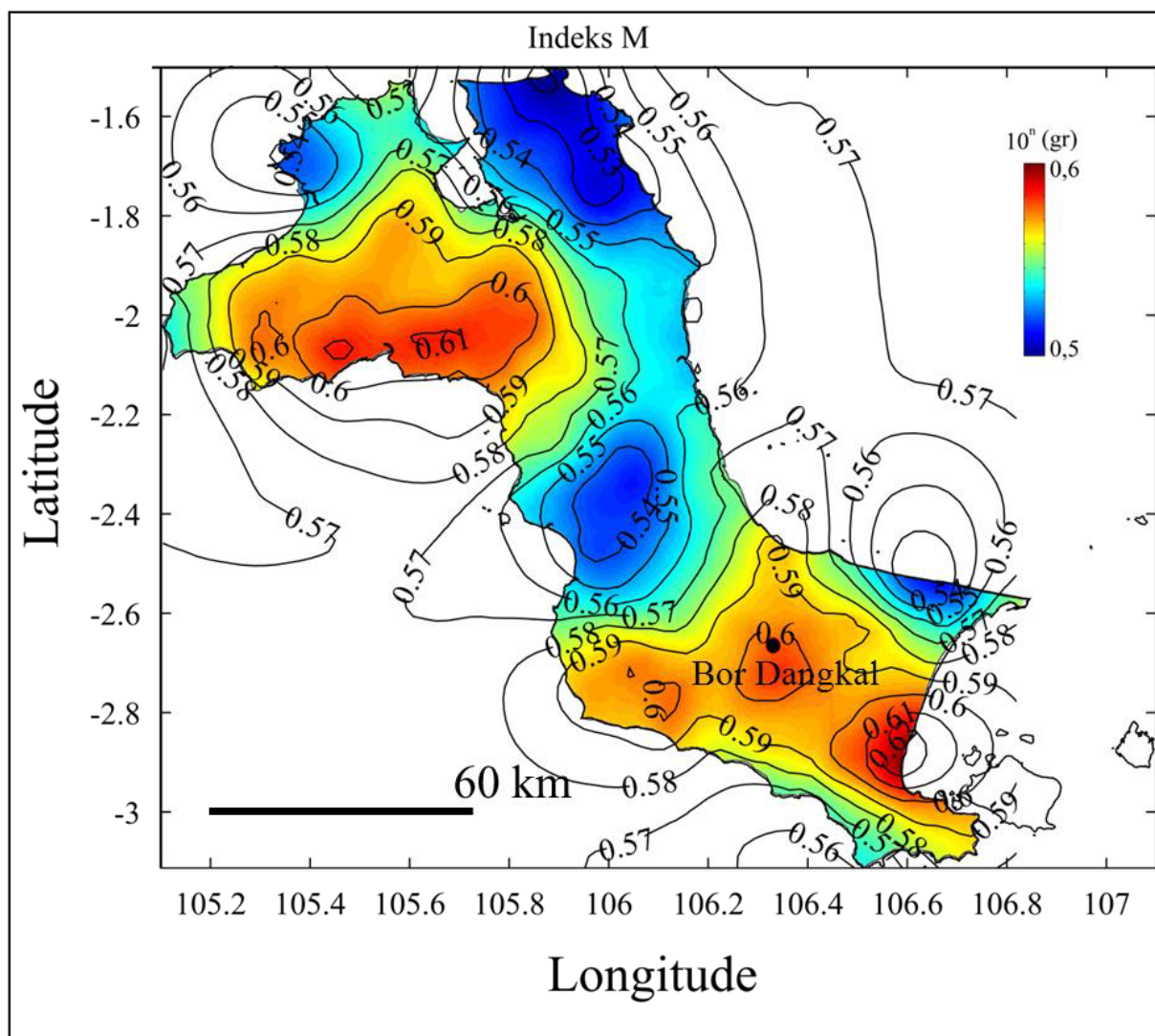
Kandungan Mineral LTJ	Kisaran Kandungan	Rata-rata
(Ce)	13 - 65 ppm	34,65 ppm
(Dy)	5 - 10 ppm	6,35 ppm
Eu	2 - 6 ppm	2,19 ppm
Gd	4 -13 ppm	6,27 ppm
Ho	5 - 8 ppm	5,54 ppm
La	3 - 38 ppm	21,35 ppm
Lu	2 -7 ppm	2,58 ppm
Nd	11 - 30 ppm	18,92 ppm
Pr	12 - 34 ppm	21,31 ppm
Sc	17 - 22 ppm	18,81 ppm
Sm	6 - 11 ppm	7,65 ppm
Tb	4 - 9 ppm	5,15 ppm
Tm	2 - 6 ppm	2,23 ppm
Y	3 - 11 ppm	6,62 ppm
Yb	3 - 8 ppm	4,15 ppm



Gambar 3. Peta lokasi pengambilan sampel oleh PSDG 2009-2018 (PSDG, 2018)

Hasil kajian *remote sensing* dengan metode parameter geostatistik dengan model *spherical* dalam skala logaritmik dimana hasil indeks Monasit sekitar 3.5 gr (gambar 4). Metode yang digunakan pada sisa pengolahan (*tailing*) timah ini berupa inversi data *Polarimetric SAR* (PolSAR) dari sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) yang *onboard* pada satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) untuk mendapatkan parameter kekasaran (h_0), *magnetic permeability* (μ_r), dan *dielectric permittivity* (ϵ_r) permukaan tanah. Tiga parameter ini merupakan representasi fisis target di permukaan, sehingga bisa digunakan untuk mendefinisikan

penyebaran endapan mineral, terutama logam secara spasial. Perbedaan kisaran nilai h_0 , μ_r , dan ϵ_r pada endapan *tailing* atau permukaan tanah yang sama digunakan sebagai basis dalam menentukan elemen atau mineral yang berbeda. Anomali Monasit paling besar dibagi menjadi 3 kelompok ditandai dengan zona warna kuning-merah sebagai zona keberadaan Monasit dalam endapan timah plaser yang diperkuat oleh data hasil uji petik diperoleh mineral butir berupa Monasit (*trace*-67,55%) Kasiterit (0,4-62,10%) dan Xenotim (*trace*-0,08%), dengan data total LTJ tertinggi dari Pertambangan *tailing* (16.232,72 ppm) dan total tertinggi LTJ hasil mesin wilobi (81.755,99 ppm).



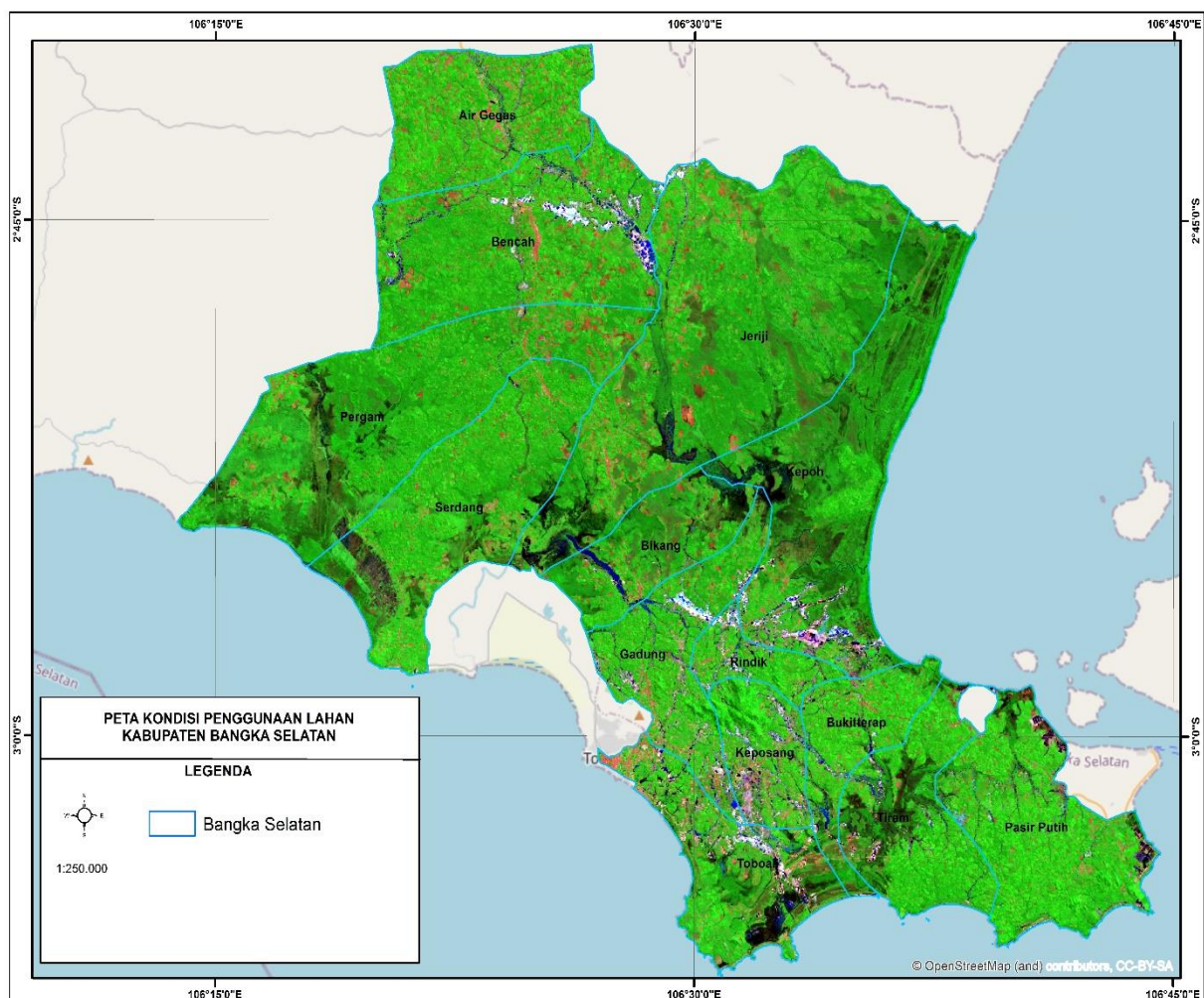
Gambar. 4 Indeks M (Monasit) dalam skala logaritmik berdasarkan parameter geostatistik dengan model *spherical* (PSDG, 2014)

INTERPRETASI CITRA SATELIT

Tahapan pemilihan citra satelit jenis Landsat-9 diambil dari <https://earthexplorer.usgs.gov/> adapun tahapan pemilihan citra satelit sangat penting terutama untuk menghindari awan. Citra yang bersih dari tutupan awan akan menghasilkan rona yang bagus. Pada penelitian ini dipilih citra satelit dengan kode LC09_L2SP_123062_20220529_20220701_02_T1. Sebelum citra satelit digunakan perlu dilakukan koreksi terhadap data yaitu koreksi geometrik dan radiometrik. Tahapan koreksi geometrik digunakan untuk memperbaiki skala dan proyeksi citra satelit agar tidak terjadi kesalahan dalam penentuan lokasi geografis. Sedangkan koreksi radiometrik adalah koreksi dasar citra satelit yang dilakukan untuk menghilangkan gangguan

dari *noise* yang terdapat pada citra sebagai akibat dari adanya distorsi oleh posisi cahaya matahari atau gangguan yang ada di atmosfer (Rahayu, 2014).

Dalam menghasilkan identifikasi suatu unsur dalam citra satelit Landsat membutuhkan kombinasi Band 753 dalam menghasilkan penampakan lahan timah (Yudhatama, 2015). Komposit band yang dipilih adalah Band 7 (*Red*), Band 5 (*Green*), Band 3 (*Blue*), karena Band 7 mampu menghasilkan visualisasi yang baik tentang mineralisasi, dan jenis tanah, Band 5 baik dalam mengidentifikasi penggunaan lahan, kualitas air, dan Band 3 baik dalam identifikasi vegetasi. Maka komposisi Band ini dipilih untuk memudahkan dalam klasifikasi dan visualisasi lokasi persebaran *tailing*. Hasil identifikasi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Peta Identifikasi *tailing* tambang timah di Bangka Selatan (dari Citra Landsat 9)

UJI PETIK DATA LAPANGAN

Berdasarkan data kelimpahan Monasit pada penelitian PSDG (2014) menunjukkan kelimpahan LTJ terbesar terdapat di Desa Air Gegas, Desa Bikang, Desa Jeriji, Desa Bencah, Desa Kepoh, Desa Gadung, Desa Rindik, Desa Keposang, Desa Tiram dan Desa Pasir Putih.

Sedangkan dari identifikasi citra satelit, ditemukan zona *tailing* paling banyak berada di Desa Bencah, Desa Kepoh, Desa Gadung, Desa Rindik dan Desa Keposang. Hal tersebut dikonfirmasi dengan adanya Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) Mineral Logam komoditas timah yang masih aktif beroperasi di daerah tersebut. Maka dari analisis sebaran LTJ yang sudah divisualisasikan menjadi peta, pada wilayah yang mengindikasikan endapan tinggi LTJ berkorelasi dengan wilayah Pertambangan yang sudah berupa *tailing*.

Berdasarkan analisis spasial (tabel 3), di Desa Bencah dan Desa Gadung terdapat zona *tailing* yang cukup luas namun sebagian besar peruntukan lahannya adalah untuk perkebunan. Desa Kepoh, Desa Tiram dan Desa Pasir Putih merupakan tempat dengan kandungan Monasit terbesar namun masuk dalam kawasan Hutan Lindung dan Hutan Produksi.

Penentuan lokasi pengambilan sampel adalah di Desa Rindik dan Desa Keposang yang merupakan daerah *tailing* yang cukup luas, masuk ke dalam wilayah pertambangan dan terdapat formasi granit pembawa mineral timah. Sampel yang diambil berupa konsentrat dulang hasil pengolahan *sluice box* untuk mengetahui kuantitas dan kualitas dari logam tanah jarang pada endapan timah (gambar.6)

Tabel 3. Perbandingan hasil interpretasi *remote sensing* tahun 2014 dengan Citra Landsat terbaru dan kesesuaian penggunaan lahannya

No	Desa dengan kelimpahan monasit tinggi (PSDG, 2014)	Intepretasi Landsat-9	Kesesuaian Lahan (RTRW)
1	Air Gegas	Pemukiman, Tambang,	Perkebunan, Pertanian
2	Bencah	Pemukiman, Tambang, Tailing	Perkebunan, Pertanian
3	Jeriji	Perkebunan	Perkebunan, Pertanian, Pertambangan
4	Kepoh	Pemukiman, Tambang, Tailing	Perkebunan, Pertanian, Pertambangan, HL
5	Bikang	Perkebunan	Perkebunan, Pertanian, Pertambangan
6	Gadung	Tambang, Tailing	Perkebunan, Pertanian
7	Rindik	Tambang, Tailing	Perkebunan, Pertanian, Pertambangan
8	Keposang	Tambang, Tailing	Pertambangan
9	Tiram	Hutan	Pertambangan
10	Pasir Putih	Hutan	Pertambangan



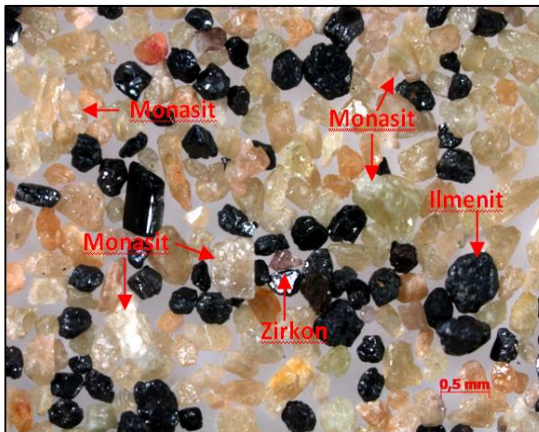
Gambar 6. Pengambilan sampel konsentrat dulang di *sluice box*

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Diperoleh hasil analisis mineralogi butir terhadap sampel di Desa Rindik yang mengandung Monasit terdiri dari: Monasit berwarna kuning muda, kilap lilin, bentuk butir menyudut tanggung - membundar

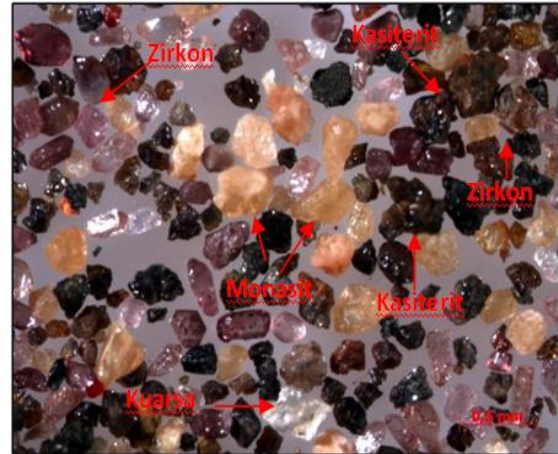
tanggung (64,58 %); Zirkon berwarna merah muda, kelabu, transparan, kilap cemerlang, bentuk butir prismatic (15,33%); Kasiterit berwarna coklat, coklat-hitam, hitam, kilap lilin, bentuk menyudut tanggung - membundar tanggung (9,14 %); dan Xenotim berwarna coklat muda, kilap lilin, bentuk menyudut tanggung - membundar tanggung (0.40%) (Gambar 7).



(Gambar 7). Analisis mineralogi butir sampel konsentrat dulang di Desa Rindik

Sedangkan hasil analisis terhadap sampel dari Desa Keposang yang diambil dari hasil pencucian timah menggunakan *sluice box* diperoleh hasil konsentrat dulang, terdiri dari: Monasit berwarna kuning muda, kilap lilin, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung (54,22 %); Zirkon berwarna merah muda, kelabu, transparan, kilap cemerlang, bentuk butir prismatic (14,21%); Kasiterit berwarna coklat, coklat-hitam, hitam, kilap lilin, bentuk menyudut tanggung - membundar tanggung (10,34 %); dan Xenotim berwarna coklat muda, kilap lilin, bentuk menyudut tanggung - membundar tanggung (0.30%) (gambar 8). Hasil analisis sampel dari lokasi tambang di Desa Rindik dan Desa Keposang menunjukkan kadar Monasit yang tinggi, sebagai hasil akumulasi pencucian oleh *sluice box*, sehingga Monasit mengalami

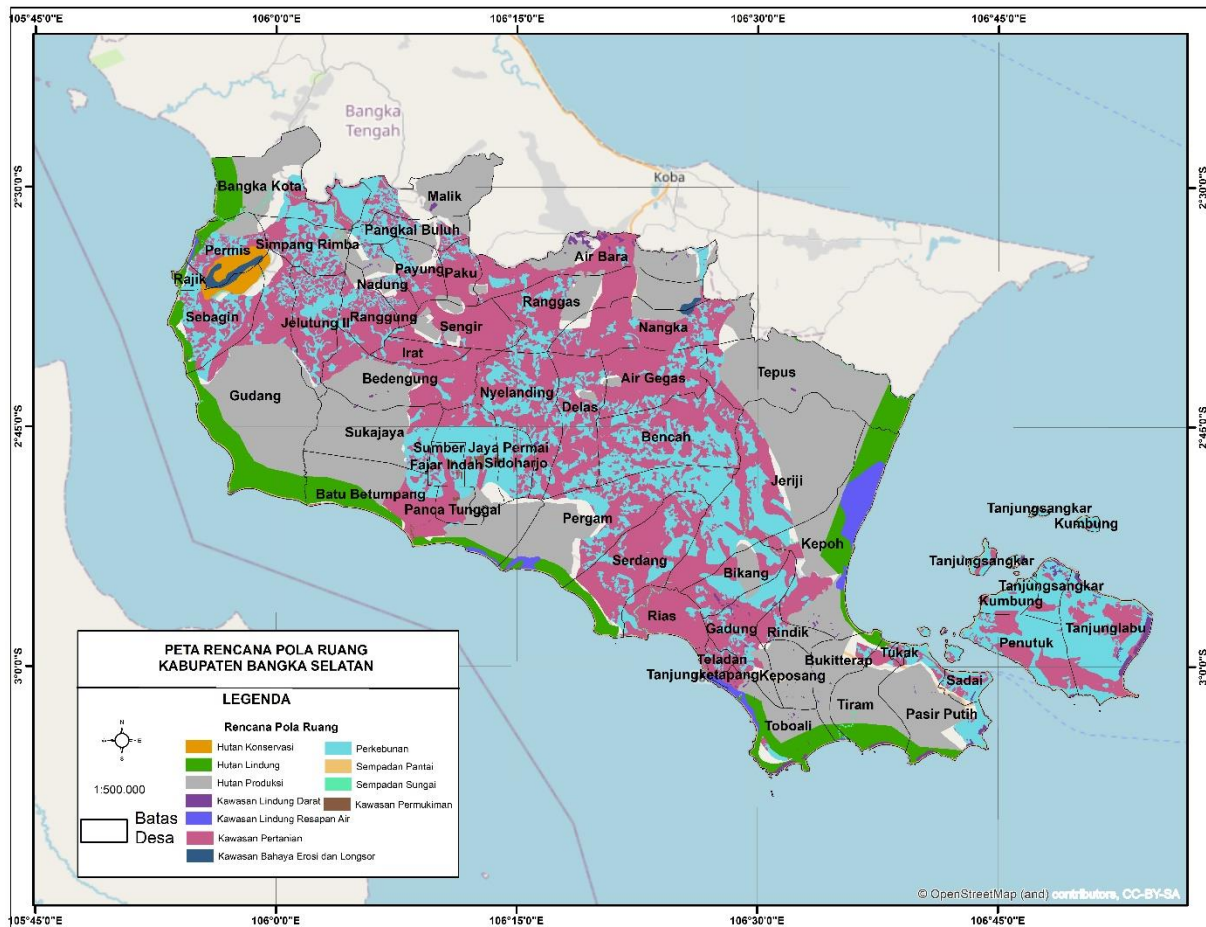
kenaikan konsentrasi khususnya Monasit yang merupakan mineral ikutan dari endapan timah.



Gambar 8. Analisis mineralogi butir sampel konsentrat dulang di Desa Keposang

Dalam arahan strategis kebijakan tata ruang dan pemanfaatan ruang, segala jenis kegiatan harus sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) tidak terkecuali kegiatan pertambangan. Berdasarkan data RTRW untuk tahun 2014-2034 menetapkan bahwa Kabupaten Bangka Selatan menjadi Kawasan Peruntukan Pertambangan dengan luas kurang-lebih 16.900,15 Ha. Analisis *Overlay* dilakukan untuk mengetahui apakah wilayah desa yang teridentifikasi memiliki kelimpahan LTJ berada pada kawasan yang sudah sesuai peruntukannya.

Peningkatan nilai tambah mineral Monasit dengan melakukan pengolahan dan pemurnian dalam rangka mendapatkan LTJ bukan hanya untuk kebutuhan ekspor tetapi juga untuk industri hilir lainnya sehingga *multiplier effect* dapat diwujudkan. Oleh karena itu pengembangan wilayah pertambangan dan industri hilirnya membutuhkan kebijakan pemerintah yang berbasis sumberdaya mineral.



Gambar 9. Peta RTRW Kabupaten Bangka Selatan 2014-2034
(Bappeda Kabupaten Bangka Selatan, 2014)

PEMBAHASAN

Kabupaten Bangka Selatan memiliki 119 Izin Usaha Pertambangan (IUP) Mineral Logam komoditas timah yang masih aktif berlokasi di darat. Dalam perkembangan pengetahuan timah saat ini teridentifikasi memiliki kandungan LTJ. Efeknya tambang yang sudah ada dapat dikembangkan untuk kegiatan usaha pertambangan LTJ tanpa harus membuka lahan baru. Pemanfaatan sumberdaya mineral di samping untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi juga harus memperhatikan faktor lingkungan.

Hasil penyelidikan LTJ sejak tahun 2009 s.d 2018 telah dikompilasi dan dianalisis ulang menggunakan citra Landsat-9 untuk menentukan penyebaran *tailing*. Kemudian hasil analisis tersebut di *overlay* dengan peta RTRW, agar didapatkan wilayah yang

sesuai dengan peruntukan Kawasan Pertambangan. Sebagai hasilnya, Desa Rindik dan Desa Keposang layak dan sesuai untuk dikembangkan menjadi Wilayah Usaha Pertambangan komoditas LTJ.

Hasil analisis mineralogi butir pada lokasi *tailing* Desa Rindik dan Desa Keposang menunjukkan kadar Monasit yang cukup besar yaitu 64,58% dan 54,22%. Lebih dari setengah dari kandungan total, sehingga dapat menjadi ekonomis untuk dilakukan ekstraksi LTJ yang terkandung di dalamnya.

Pengelolaan LTJ di Indonesia masih belum optimal saat ini disebabkan oleh beberapa kendala. Salah satunya adalah karena sumber logam tanah jarang (LTJ) berupa mineral Monasit yang merupakan mineral ikutan timah dan berada dalam *tailing*

sehingga sulit untuk diekstraksi dan diolah. Selain itu, sampai saat ini penelitian LTJ kurang dilakukan secara optimal. Di Indonesia belum ada penelitian khusus yang menggali potensi dan pemanfaatan LTJ, kebanyakan penelitian masih dilakukan secara parsial. (Azhar et al., 2018).

Kendala berikutnya adalah belum dilakukannya kegiatan eksplorasi lanjutan oleh Pemerintah maupun Badan Usaha yang bertujuan untuk mengetahui secara pasti berapa banyak sumber daya dan cadangan LTJ di Indonesia. Survei ekonomi pertambangan LTJ dan pembahasan mengenai teknologi pemurnian LTJ dalam skala industri juga belum pernah dilakukan (Popov, 2018).

Wilayah yang kaya akan sumber daya mineral memerlukan perencanaan wilayah yang sesuai agar pengelolaan dan pemanfaatannya lebih optimal. Wilayah Usaha Pertambangan (WUP) adalah bagian dari Wilayah Pertambangan (WP) yang telah memiliki ketersediaan data, potensi, dan/atau informasi geologi. WP adalah bagian dari tata ruang nasional dan menjadi landasan untuk dapat dilakukannya kegiatan usaha tambang, maka penetapan WP menjadi sangat penting.

Undang-Undang No. 3 tahun 2020 tentang perubahan atas Undang-Undang No. 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara menyatakan bahwa Pemerintah Pusat dalam pengelolaan pertambangan berwenang dalam menetapkan Wilayah Usaha Pertambangan dan Wilayah Izin Usaha Pertambangan. Namun penetapan luas dan batas WUP maupun WIUP tersebut didasarkan pada usulan dari Gubernur. Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah harus menjamin tidak ada perubahan pemanfaatan ruang dan kawasan untuk WIUP yang telah ditetapkan.

Berdasarkan analisis potensi LTJ dan arah kebijakan RTRW dan kajian verifikasi lapangan secara langsung dan uji

laboratorium menunjukkan bahwa Desa Rindik dan Desa Keposang berpotensi dikembangkan menjadi pertambangan LTJ kedepannya.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian PSDMBP tahun 2009, 2014, dan 2018 menunjukkan korelasi kelimpahan LTJ pada lapukan Granit Klabat yang telah menjadi *tailing*. Didukung oleh interpretasi Citra Landsat-9 terbaru, Desa Keposang dan Desa Rindik layak dikembangkan menjadi WUP LTJ karena memiliki kesesuaian dalam peruntukan penggunaan lahannya dan telah diverifikasi keterdapatannya Monasitnya melalui uji petik di kedua desa tersebut.

Analisis deskriptif ini hanya merupakan langkah awal dalam perencanaan pertambangan yang lebih komprehensif. Meskipun kesesuaian arah pengembangan untuk wilayah pertambangan sudah sejalan dengan rencana pola ruang Kabupaten Bangka Selatan, namun perlu ditinjau pula kebijakan dan regulasi terkait pertambangan sehingga nantinya daerah dengan prospek untuk dikembangkan dapat dimanfaatkan secara menyeluruh (*total mining*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) dan kepada Bapak Armin Tampubolon (BRIN) serta kepada pihak terkait yang telah mendukung penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

Azhar, M., Solechan, S., Saraswati, R., Suharso, P., Suhartoyo, S., Ispriyarso, B., 2018. The New Renewable Energy Consumption Policy of Rare Earth Metals to Build Indonesia's National Energy Security. E3S Web Conf. 68, 03008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186803008>

- Bappeda, 2014. Rencana Tata Ruang Bangka Selatan tahun 2014 - 2034. Dinas Tata Ruang Bangka Selatan.
- Dushyantha, N., Batapola, N., Ilankoon, I.M.S.K., Rohitha, S., Premasiri, R., Abeysinghe, B., Ratnayake, N., Dissanayake, K., 2020. The story of rare earth elements (REEs): Occurrences, global distribution, genesis, geology, mineralogy and global production. *Ore Geology Reviews* 122, 103521. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103521>.
- Goodenough, K. M., Wall, F., & Merriman, D. 2018. The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*, 27(2), 201–216. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>.
- Hamdan Z.A., Baharuddin & Surawardi in Metallogeni Sundaland Vol I (Ed.), 1999. *Toboali Alluvial Tin Deposit: Geology, depositional processes, and material sources*. Indonesia Mining Journal.1-12.
- Irzon, R, Sendjadja, P, Kurnia, Imtihanah dan Soebandrio, J, 2014. Kandungan *Rare Earth Elements* Dalam *Tailing* Tambang Timah di Pulau Singkep, Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Vol 15 No.3, Agustus 2014, Bandung, Pusat Survey Geologi.
- Jordens, A., Cheng, Y.P., Waters, K.E., 2013. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Miner. Eng.* 41, 97–114. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.10.017>.
- Mardiah, 2013. Karakteristik Endapan Timah Sekunder Daerah Kelayang dan Sekitarnya, Kabupaten Bangka Barat. *Promine Vol. 1. No. 1* (2013).
- Margono, U., Supandjono, R.J.B., dan Partoyo, E., 1995. *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan Skala 1: 250.000*. P3G, Bandung.
- Ngadenin, Fauzi, R., Widana, Widodo, 2014. Identifikasi Keterdapatan Mineral Ikutan dan Estimasi Kandungan Monasit Pada *Tailing* Tambang Timah Di Pulau Bangka. *Buletin Sumber Daya Geologi Volume 17, No. 2*, 2014: 97 – 108.
- Peraturan Daerah Kabupaten Bangka Selatan Nomor 6 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bangka Selatan Tahun 2014-2034.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2010 tentang Kegiatan Pelaksanaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.
- V. Popov, A. Koptug, I. Radulov, F. Maccari, and G. Muller., 2018. *Procedia Manuf.* 21.
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), 2014. Kajian Potensi REE Dalam *Tailing* Timah Menggunakan Metode *Remote Sensing*, Badan Geologi KESDM, Bandung. (tidak dipublikasikan).
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), 2018. Potensi REE di Kabupaten Bangka Selatan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Kaitannya Dengan Endapan Timah, Badan Geologi KESDM, Bandung. (tidak dipublikasikan)
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), 2018. *Indonesian Minerals Yearbook 2018*, Badan Geologi KESDM, Bandung
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), 2019. *Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia*, Badan Geologi KESDM, Bandung.
- Rahayu, & Candra, D. (2014). Koreksi Radiometrik Citra Landsat-8 Kanal Multispektral Menggunakan Top of Atmosphere (ToA) untuk Mendukung Klasifikasi Penutupan Lahan. In Seminar Nasional Penginderaan Jauh: Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh (pp. 762–767).

- Rohmadi, B.N., 2021. Analysis of Processing Rare Earth Elements from Monazite as Tin by Product Mineral. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik (JMBTL)* Vol. 7 No. 2 Mei 2021. <https://journal.itltrisakti.ac.id/index.php/jmbtl>.
- Szamałek, K.; Konopka, G.; Zglinicki, K.; Marciniak-Maliszewska, B. New potential source of rare earth elements. *Miner. Resour. Manag.* 2013, 29, 59–76.
- Tampubolon, A., Rosana, M.F., Syafri, I., Yuningsih, E.Y., 2021, The occurrence of primary REE minerals and their paragenesis within S-type granite and quartz vein, South Bangka, Bangka Belitung Islands, Indonesia. <https://www.researchsquare.com/article/rs-1849349/v1>.
- USGS. (2022). *RARE EARTHS, Mineral Commodity Summaries*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-rare-earths>.
- Weng, Z., Jowitt, S.M., Mudd, G.M., Haque, N., 2015; A detailed assessment of global rare earth element resources: opportunities and challenges. *Econ. Geol.* 110, 1925–1952.
- Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Yudhatama, D., 2015. Identifikasi Bekas Lahan Tambang Timah Menggunakan Citra Satelit Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kabupaten Bangka Barat).
- Zepf, V., 2013. *Rare Earth Elements*. Springer Theses. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35458-8_2.
- Zglinicki, K., Szamałek, K., Wołkiewicz, S., 2021. Critical Minerals from Post-Processing *Tailing*. A Case Study from Bangka Island, Indonesia. *Minerals* 11, 352. <https://doi.org/10.3390/min11040352>

Diterima : 5 Juni 2023
Direvisi : 15 Juni 2023
Disetujui : 31 Agustus 2023

MINERALOGI BIJIH DAN KORELASI ANTARA UNSUR Au DENGAN UNSUR Ag, Cu, Pb, DAN Zn PADA SAMPEL PARITAN UJI PIT X PT NUSA HALMAHERA MINERALS, KABUPATEN HALMAHERA UTARA, PROVINSI MALUKU UTARA

ORE MINERALOGY AND CORRELATION BETWEEN THE ELEMENT OF Au WITH ELEMENTS OF Ag, Cu, Pb, AND Zn IN TRENCH'S SAMPLE OF PIT X PT NUSA HALMAHERA MINERALS, NORTH HALMAHERA REGENCY, NORTH MALUKU PROVINCE

Nurrezeki Amaliah Dulf¹, Dharma Irwanda², Tatik Handayani³, dan Suwahyadi³

¹Prodi Teknologi Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

²PT Nusa Halmahera Minerals

³Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
nurrezekiadulfi@gmail.com

ABSTRAK

Identifikasi cebakan dan karakteristik mineralogi bijih diperlukan untuk membantu kegiatan pengembangan eksplorasi lanjutan. Penelitian di area paritan uji *Pit X* dilakukan untuk mengetahui tipe cebakan epitermal berdasarkan dari *deposit form*, tekstur mineral bijih, alterasi, mineral sulfida, dan mineral *gangue* yang dominan dijumpai dari hasil deskripsi sampel secara megaskopis secara langsung di area paritan uji *Pit X*, analisis mineragrafi serta analisis petrografi. *Deposit form* yang dijumpai berupa urat, *stockwork*, dan *veinlet*. Tekstur mineral bijih yang dijumpai berupa *banded*, *comb*, *dogteeth*, *moss*, *vuggy*, dan masif. Alterasi yang dijumpai berupa silisifikasi dan silika – lempung. Mineral sulfida yang ditemukan berupa pirit dan sfalerit. Mineral *gangue* yang dijumpai berupa *quartz*, *sericite*, dan *hematite*. Berdasarkan hasil *deposit form*, tekstur mineral bijih, alterasi, mineral sulfida, dan mineral *gangue* yang dijumpai, maka area penelitian paritan uji *Pit X* termasuk kedalam tipe cebakan epitermal sulfida rendah kedalaman sekitar 300–350 m dibawah permukaan, pengendapan diatas zona pendidihan. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data tambahan mengenai korelasi antara Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn menggunakan hasil nilai kadarnya untuk mengetahui hubungan antara Au terhadap setiap unsur keempat lainnya. Hasil koefisien korelasi (R) yang diperoleh antara Au-Ag= 0.158429795, Au-Cu= 0.01, Au-Pb= 0.1923538, Au-Zn= 0.0565685425. Berdasarkan hasil tersebut, menunjukkan bahwa korelasi Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn sangat rendah yang kemungkinan akibat keberadaan semua sampel berasal dari elevasi yang sama.

Kata kunci: mineralogi, paritan uji *Pit X*, epitermal, sulfida rendah, korelasi

ABSTRACT

The identification of deposits and mineralogical characteristics of ores is necessary to assist further exploration development activities. Research in the Pit X test trench area was conducted to determine the type of epithermal deposits based on the deposit form, ore mineral texture, alteration, sulfide minerals, and gangue minerals that are dominantly found from the results of direct megascopic sample descriptions in the Pit X test trench area, mineragraphic analysis, and petrographic analysis. Deposit forms encountered are vein, stockwork, and disseminated. Ore mineral textures encountered are banded, comb, dogteeth, moss, vuggy and massive. Alterations encountered are silicification and silica-clay. Sulfide minerals found are pyrite and sphalerite. Gangue minerals found are quartz, sericite, and hematite. Based on the results of the deposit form, ore mineral texture, alteration, sulfide minerals, and gangue minerals found, the Pit X test trench research area is included in the low sulfide epithermal deposit type at a depth of about 300-350 m below the surface, deposited

above the boiling zone. In this study, additional data processing was carried out regarding the correlation between Au and Ag, Cu, Pb, and Zn using the results of their grade values to determine the relationship between Au and each of the other four elements. The correlation coefficient (R) was obtained between Au-Ag = 0.158429795, Au-Cu = 0.01, Au-Pb = 0.1923538, and Au-Zn = 0.0565685425. Based on these results, it shows that the correlation of Au with Ag, Cu, Pb, and Zn is very low which may be due to the presence of all samples from the same elevation.

Keywords: *mineralogy, pit X's trench, epithermal, low sulphidation, correlation*

PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia memiliki 15 busur magmatik yang teridentifikasi, terbentuk pada Akhir Mesozoik sampai Kenozoik, dengan pelampiran berupa daratan memanjang sekitar 15.000 km (Carlille dan Mitchell, 1994). Di antara busur magmatik tersebut terdapat Busur Besar Sunda – Banda, Busur Sulawesi Utara, Busur Halmahera, dan Busur Papua (Briyantara dan Yulianto, 2015). Kondisi tektonik ini menjadikan Indonesia kaya akan sumberdaya mineral, salah satunya adalah emas.

Pada Busur Halmahera terdapat tambang emas PT Nusa Halmahera Minerals salah satu tambang emas terbesar di Indonesia yang terletak di Halmahera Utara, Maluku Utara. Tipe deposit emas yang ditambang yakni tipe urat *low sulphidation*. Kegiatan eksplorasi emas di lokasi ini masih terus dilakukan untuk mendapatkan cebakan yang dapat memperpanjang umur tambang.

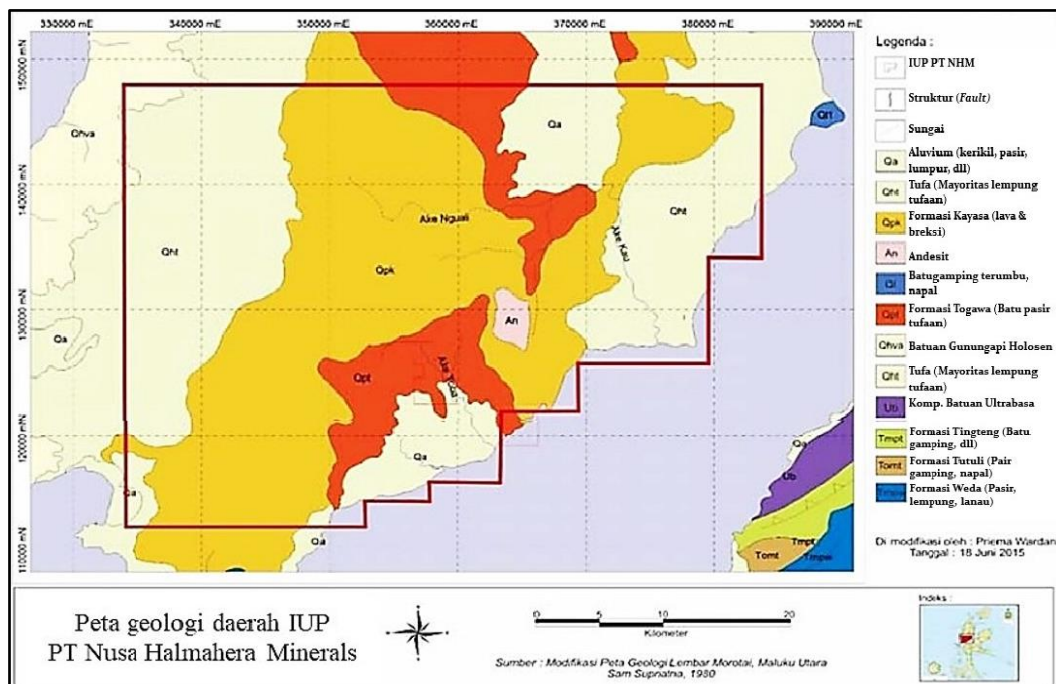
Untuk menunjang kegiatan tersebut, lokasi penelitian dilakukan di lingkungan Pit X. Penelitian dilakukan dengan metode paritan uji. Sampel yang mengindikasikan alterasi dan mineralisasi diambil dari paritan uji di Pit X, PT Nusa Halmahera Minerals. Penelitian ini sekaligus untuk menunjang kegiatan *grade control*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui mineralogi bijih dan tipe endapan epitermal berdasarkan tabel Hedenquist, et al., 2000, serta mengetahui korelasi antara unsur Au

dengan unsur Ag, Cu, Pb, dan Zn berdasarkan hasil nilai assay atau kadarnya, dengan mengacu pada model Buchanan (1981).

Geologi Regional

Kondisi geologi dan tektonik Halmahera cukup unik, karena pulau ini terbentuk akibat pertemuan tiga lempeng yaitu: Eurasia, Pasifik dan Indo – Australia. (Katili, 1974). Akibat dari perkembangan tektoniknya, maka Maluku Utara meliputi Pulau Halmahera dan pulau-pulau sekitarnya dikelompokkan menjadi tiga wilayah tektonik yaitu Mandala Geologi Halmahera Timur, Mandala Geologi Halmahera Barat, dan Mandala Geologi Talaud-Tidore (Apandi dan Sudana, 2000).

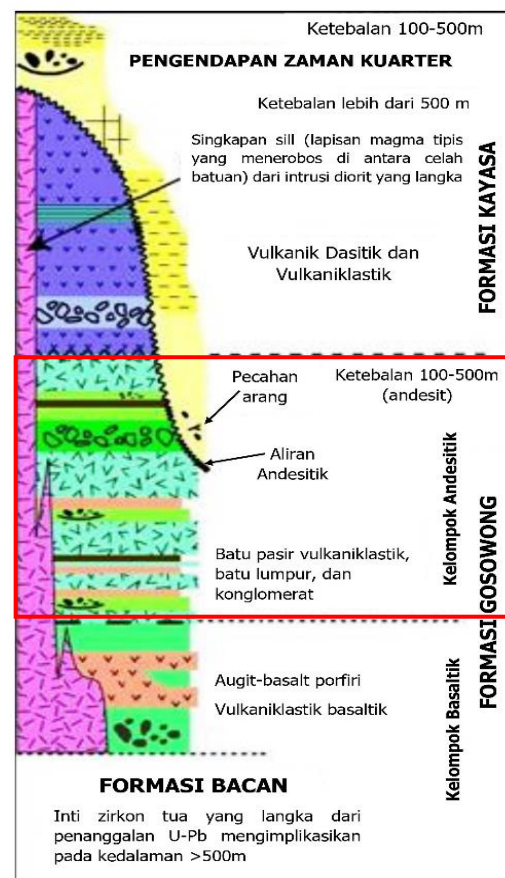
Mandala tektonik Halmahera Timur (Gag, Gebe, Weda dan Waigeo) dicirikan dengan ragam batuan ultra-basa, sedangkan Halmahera Barat (Morotai, Bacan, dan Obi) oleh batuan gunung api. Zona perbatasan antara kedua mandala tersebut terisi oleh batuan Formasi Weda yang terlipat dan tersesarkan. Sumbu lipatan berarah utara-selatan, timur laut-barat daya, dan barat laut-tenggara. Struktur sesar terdiri dari sesar normal dan sesar naik, umumnya berarah utara-selatan dan barat laut-tenggara (Bessho, 1944). Secara umum keadaan geologi regional disekitar lokasi IUP PT Nusa Halmahera Mineral (PT NHM) oleh Supriatna (1980) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta geologi daerah IUP PT Nusa Halmahera Minerals

Stratigrafi Daerah Penelitian

Tunjaman ke arah Timur dari lempeng samudra Maluku di bawah lempeng laut Halmahera dan Filipina sejak zaman Paleogen telah menghasilkan empat busur vulkanik di lengan Barat Halmahera, yaitu: Formasi Bacan (Paleogen), Formasi Gosowong (Miosen Akhir), Formasi Kayasa (Pliosen) dan Formasi Vulkanik Kuartar yang masih aktif hingga saat ini (Clark, 2012). Batuan paling tua yang dijumpai yaitu kelompok batuan basaltik berupa augit-porfiri basalt dan vulkaniklastik basaltik. Kemudian lapisan batuan yang lebih muda dari basaltik dijumpai kelompok andesitik berupa batu pasir vulkanik, batu-lempung, dan batu konglomerat dari tipe andesit, serta batuan paling muda pada area wilayah Izin Usaha Pertambangan PT NHM adalah kelompok dasitik berupa vulkanik dasitik, vulkaniklastik, dan intrusi diorit. Formasi daerah penelitian berada di Formasi Gosowong yang batuan asalnya merupakan kelompok dari batuan andesitik (Gambar 2).



Gambar 2. Stratigrafi Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Nusa Halmahera Minerals (Clark, 2012)

Karakteristik Endapan Epitermal

Penentuan tipe endapan epitermal didasarkan pada tabel karakteristik milik Hedenquist, et al. (2000). Karakteristik dari tipe endapan epitermal dapat dilihat dari *host rock*, tekstur bijih, alterasi batuan, mineral sulfida, dan mineral *gangue* yang dominan dijumpai. Secara umum endapan epitermal dikelompokkan menjadi *Low Sulphidation* dan *High Sulphidation*. Endapan *Low Sulphidation* dibagi menjadi dangkal dan dalam, sedangkan *High Sulphidation* dikelompokkan lagi menjadi dangkal, menengah, dan dalam (Hedenquist, dkk., 2000).

Korelasi

Korelasi merupakan teknik analisis yang termasuk dalam salah satu teknik pengukuran asosiasi / hubungan (*measures of association*). Analisis korelasi digunakan untuk mengukur hubungan antara dua variabel kontinu, misalnya antara independen dan variabel dependen atau antara dua variabel independen. Ukuran hubungan antar dua variabel dalam uji korelasi disebut dengan koefisien korelasi atau *rho* (Jonathan Sarwono, 2011).

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari metode observasi lapangan,

pengambilan sampel, menganalisis sampel secara megaskopis di lapangan, kemudian analisis petrografi dan mineragrafi di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral dan Batubara dan Panas Bumi Bandung, serta pembuatan grafik korelasi antara kadar unsur Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn (diperoleh menggunakan *fire assay methode* di laboratorium PT NHM) menggunakan grafik chart di *Ms. Excel* dan perhitungan regresi linear berganda menggunakan *software IBM Statistic 20*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, diperoleh sebanyak 79 sampel yang di ambil dari empat paritan uji (Gambar 3). Arah paritan memanjang memotong relatif tegak lurus arah jurus urat kuarsa. Pada *Pit X* urat kuarsa memiliki kemiringan 45° s.d. 50° dengan arah Utara-Timur Laut, tebal 1,5 s.d. 4,5 m. Posisi tersebut hampir sejajar dengan arah *strike* urat utama yaitu, Barat-Timur dengan arah *dip* ke utara.

Jarak antar paritan uji $\pm 1-1,3$ m. Panjang paritan uji ke-1 20,2 m dan lebar 0,8-1 m (Gambar 4.A) yang diambil 18 sampel. Panjang paritan uji ke-2 26,8 m dan lebar 0,8-1 m (Gambar 4.B) dengan jumlah 23 sampel. Panjang paritan uji ke-3 31 m dan lebar 0,8-1 m (Gambar 4.C) dengan jumlah 26 sampel. Panjang paritan uji ke-4 yaitu 15,9 m dan lebar 0,8-1 m (Gambar 4.D) dengan jumlah 12 sampel.



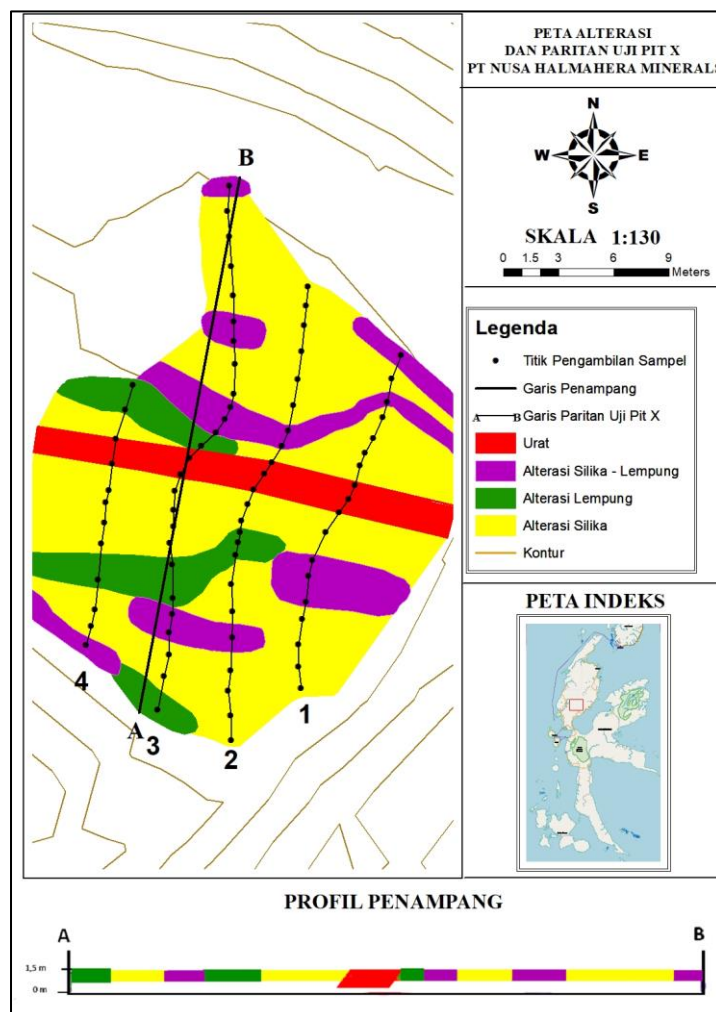
Gambar 3. Lubang paritan uji area penelitian

Hasil Observasi di Lapangan

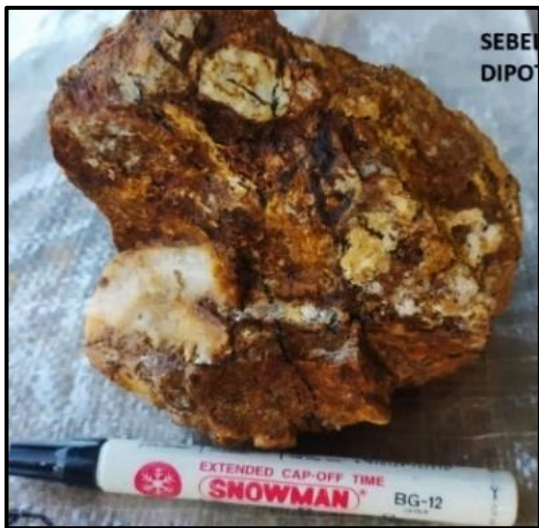
Pengamatan megaskopis dilakukan di *Pit X* saat penelitian menggunakan metode paritan uji. *Pit X* merupakan penamaan lokasi lapangan penelitian yang disamarkan dengan simbol huruf "X". Secara stratigrafi, *Pit X* berada di Formasi Gosowong, batuan asalnya merupakan kelompok dari batuan andesitik (vulkaniklastik, batu pasir, batu lempung, lava, breksi, dan konglomerat). Hasil pengamatan di sepanjang jalur paritan, menghasilkan Peta Sebaran Alterasi (Gambar 4) dan sampel untuk dianalisis di laboratorium.

Dari paritan uji diperoleh sampel sebanyak 79. Lima sampel yang memiliki nilai kadar Au tertinggi dideskripsi lebih lanjut secara

megaskopis. Deskripsi ini mewakili hampir keseluruhan sampel yang lainnya, terdapat warna urat kuarsa dominan coklat (Gambar 5), tetapi sebagian berwarna putih susu (Gambar 6). Urat kuarsa mengalami pelapukan lemah dan teroksidasi sebagian. Dengan warna coklat kekuningan menghasilkan *goethite* (Gambar 7) dan warna merah kecoklatan menghasilkan hematit (Gambar 8). Mineral lempung dijumpai juga pada urat kuarsa dengan jumlah kandungan <3% (Gambar 9). Tekstur pada urat kuarsa umumnya masif, sebagian *vuggy* dan dijumpai juga tekstur *banded*, di dalam tekstur banded terdapat tekstur *comb* (Gambar 10), tekstur *dogteeth* (Gambar 11), dan tekstur *moss* (Gambar 12), serta rangkuman deskripsi secara megaskopis kelima sampel tersebut (Tabel 1).



Gambar 4. Peta alterasi dan paritan uji *Pit X*



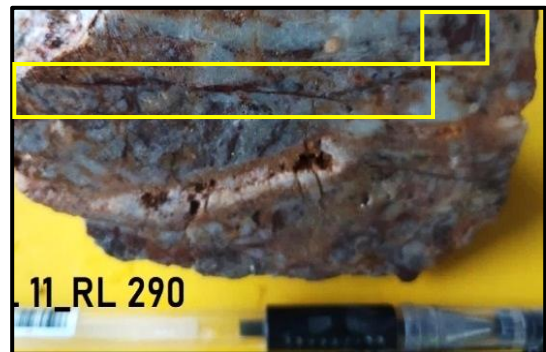
Gambar 5. Warna coklat pada bijih urat kuarsa



Gambar 6. Warna putih susu pada bijih urat kuarsa



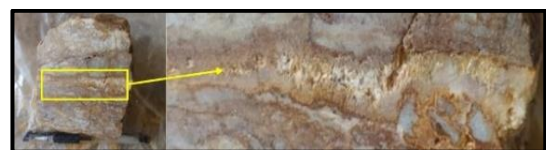
Gambar 7. Goethite



Gambar 8. Oksidasi hematit



Gambar 9. Keberadaan mineral lempung pada urat kuarsa



Gambar 10. Tekstur *comb* dalam tekstur *banded*



Gambar 11. Tekstur *dogteeth*



Gambar 12. Tekstur *moss*

Tabel 1. Deskripsi Sampel Secara Megaskopis

Nama Sampel	Nomor Paritan	Warna	Alterasi	Oksidasi	Tekstur	Metode Analisis
OPL 11	1	Abu-Abu Kecokelatan	Silisifikasi	Goethite, Hematite	Masif, Vuggy, Comb, Moss	Petrografi dan Mineragrafi
OPL 53	3	Cokelat	Silisifikasi	Goethite, Hematite	Masif, Crustiform, dogteeth	Petrografi
OPL 57	3	Abu-Abu Kecokelatan	Silika-Lempung	Goethite, Hematite	Masif, Crustiform, dan Vuggy	Petrografi dan Mineragrafi
OPL 68	4	Putih	Silisifikasi	Goethite, Hematite	Masif, Vuggy dan Moss	-
OPL 74	4	Cokelat	Silisifikasi	Goethite, Hematite	Masif	Mineragrafi

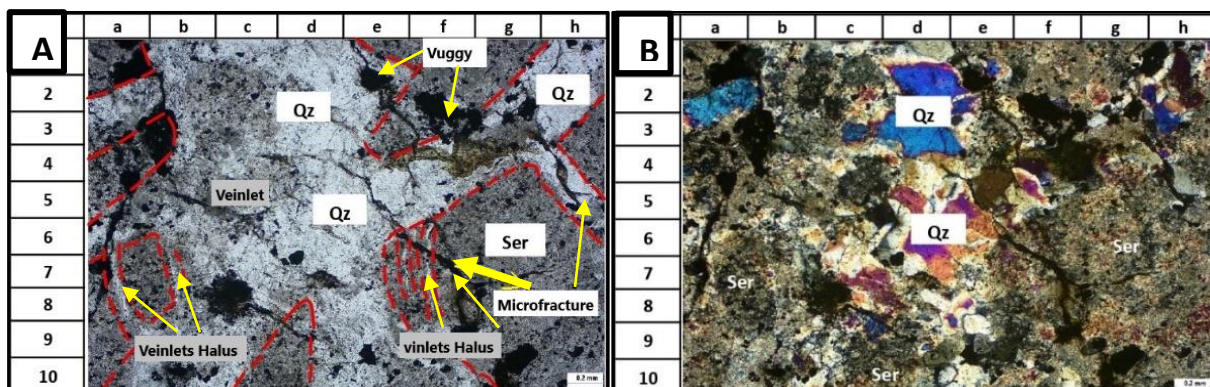
Hasil Analisis Petrografi

Analisis petrografi dilakukan terhadap dua sampel, yaitu sampel OPL 53 dan OPL 57 yang memiliki tekstur urat kuarsa, kedua sampel tersebut diambil dari lubang paritan uji ketiga. Berdasarkan hasil analisis menggunakan mikroskop polarisasi, pada pengamatan nikol sejajar, sampel OPL 57 (X) berwarna abu-abu tua, merupakan kristal kuarsa berbutir halus yang terpotong oleh *veinlet* kuarsa berwarna abu-abu cerah, berbutir kristal lebih kasar, membentuk *stockwork* serta terdapat *microfracture* memotong *veinlet* hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas hidrotermal terjadi lebih dari satu kali

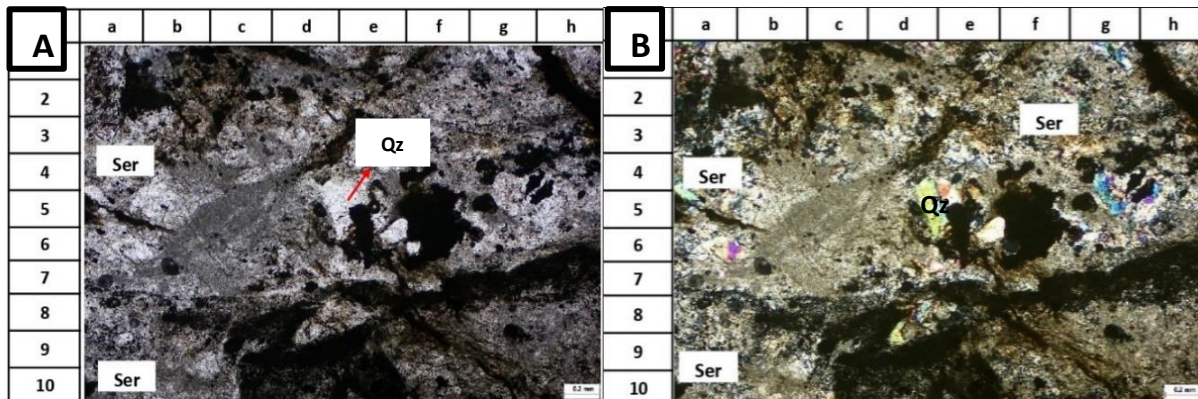
(Gambar 13.A) dan ditemukan juga kehadiran mineral serisit (Gambar 13.B). Pada sampel OPL 57 (Y) dijumpai mineral kuarsa dan serisit (Gambar 14). Pada sampel OPL 53 dijumpai mineral kuarsa, plagioklas, dan opak (Gambar 15).

Hasil Analisis Mineragrafi

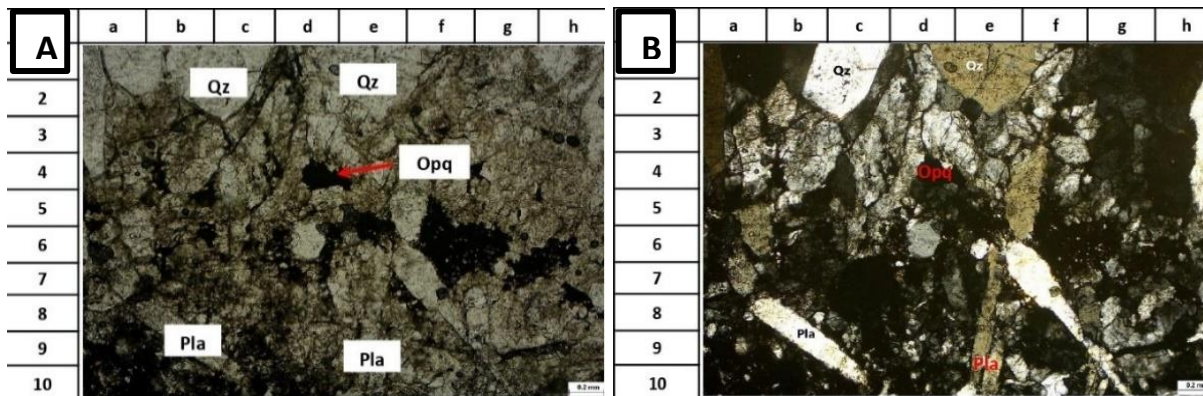
Pada daerah penelitian, keberadaan mineral lempung dan alterasi silisifikasi mendominasi area *Pit X* dengan bentuk silika yang tersebar mengisi pori batuan dan mengisi bukaan. Analisis mineragrafi dilakukan terhadap ketiga sampel yang memiliki nilai kadar Au nya tertinggi, yaitu OPL 11 (sampel dari lubang paritan uji pertama), OPL 57 (sampel dari lubang paritan uji ketiga), dan OPL 74 (sampel dari lubang paritan uji keempat) Berdasarkan pengamatan mineragrafi dibawah mikroskop polarisasi dengan panduan buku atlas mineral berjudul "*The Ore Minerals Under The Microscope*" (Pracejus, 2015), ditemukan mineral pirit berwarna krem, isotrop, bentuk butirnya euhedral, dan ukuran butir $\pm 0,03$ mm (Gambar 16); telah teroksidasi berwarna krem kecoklatan, isotrop, bentuk butirnya subhedral, dan ukuran butir $\pm 0,01$ mm (Gambar 17); sfalerit berwarna abu-abu, isotrop, bentuk butirnya anhedral, dan ukuran butir $\pm 0,07$ mm (Gambar 18).



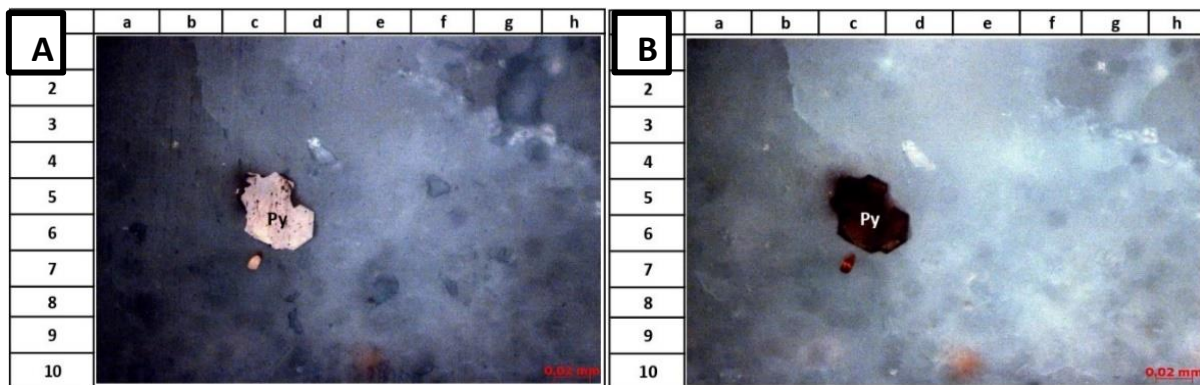
Gambar 13. (A) Pada fotomikrograf nikol sejajar, terdapat *vuggy*, *microfracture*, dan *veinlets* halus yang memotong *veinlet* yang besar pada sampel OPL 57 (X);
(B) Fotomikrograf nikol silang, sampel OPL 57(X)



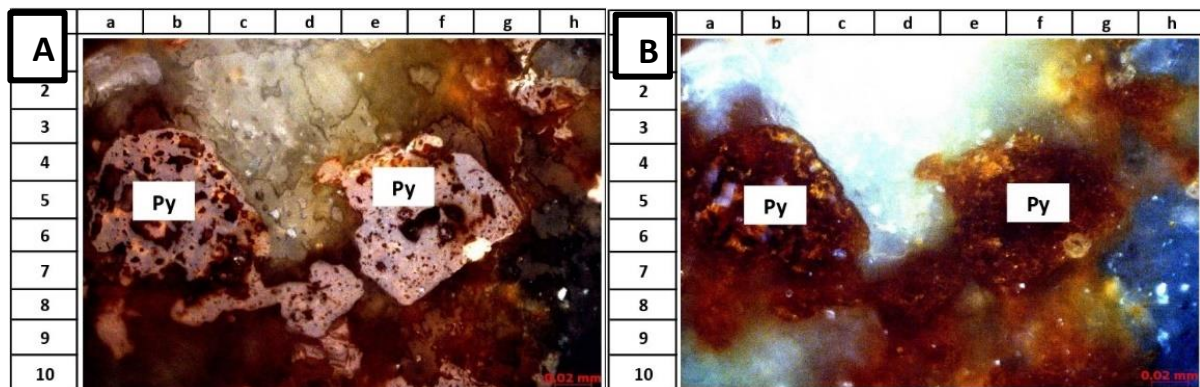
Gambar 14. (A) Fotomikrograf nikol sejajar sampel OPL 57 (Y);
(B) Fotomikrograf nikol silang sampel OPL 57 (Y)



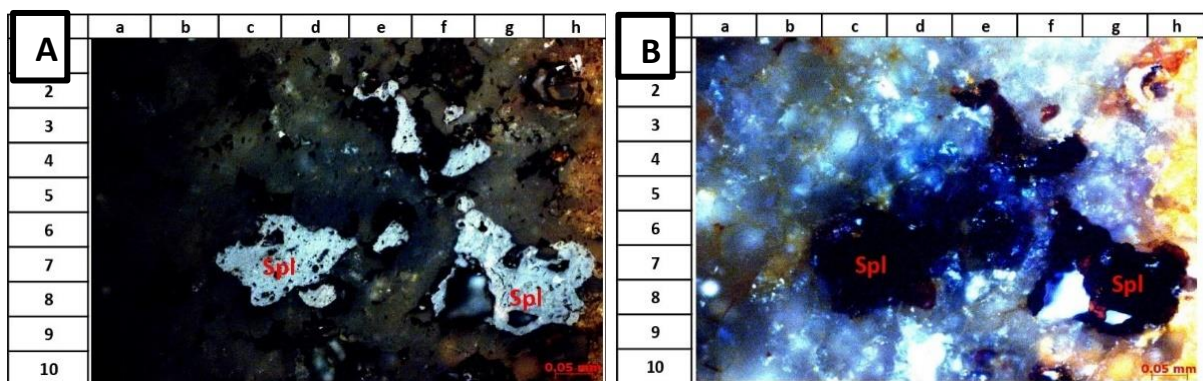
Gambar 15. (A) Fotomikrograf nikol sejajar sampel OPL 53;
(B) Fotomikrograf nikol silang sampel OPL 53



Gambar 16. Fotomikrograf mineral pirit (Py) pada sampel OPL 11.
(A) nikol sejajar, (B) nikol silang



Gambar 17. Fotomikrograf mineral pirit (Py) yang telah teroksidasi pada sampel OPL 57.
(A) nikol sejajar, (B) nikol silang



Gambar 18. Fotomikrograf mineral sfalerit (Spl) pada sampel OPL 74.
(A) nikol sejajar, (B) nikol silang

Mineralisasi

Mineralisasi di daerah penelitian dijumpai berupa urat kuarsa, *stockwork*, dan *veinlets* yang saling berpotongan. Urat kuarsa pada *Pit X* memiliki kemiringan 45° s.d. 50° dengan arah jurus Utara-Timur Laut, tebal 1,5 s.d. 4,5 m. Tekstur kuarsa berupa *comb*, *dogteeth*, *banded*, *vuggy*, dan *moss*. Komposisi mineral oksida di dalam urat kuarsa yang ditemukan adalah pirit dan sfalerit. Alterasi daerah penelitian berupa silisifikasi dan silika-lempung. Mineral *gangue* yang ditemukan berupa kuarsa, serisit, dan hematit (Tabel 2). Berdasarkan keterdapatan tekstur, bentuk deposit,

tekstur bijih, alterasi, mineral sulfida, mineral *gangue*, dan kandungan logam, mineralisasi yang berkembang di daerah penelitian adalah epitermal tipe *low sulphidation*, menurut klasifikasi Hedenquist dkk., (2000) berada pada zona 300 s.d. 800 meter, sedangkan menurut klasifikasi Buchanan (1981) berada pada zona 200 s.d. 350 meter di bawah permukaan, dengan posisi pengendapan di atas *boiling zone*.

Rata-rata kandungan logam di paritan uji *Pit X* adalah 0,23 ppm Au, 1,69 Ag, 96,67 ppm Cu, 15,10 ppm Pb, dan 34,22 ppm Zn dengan Rasio antara Au:Ag adalah 1:7,2.

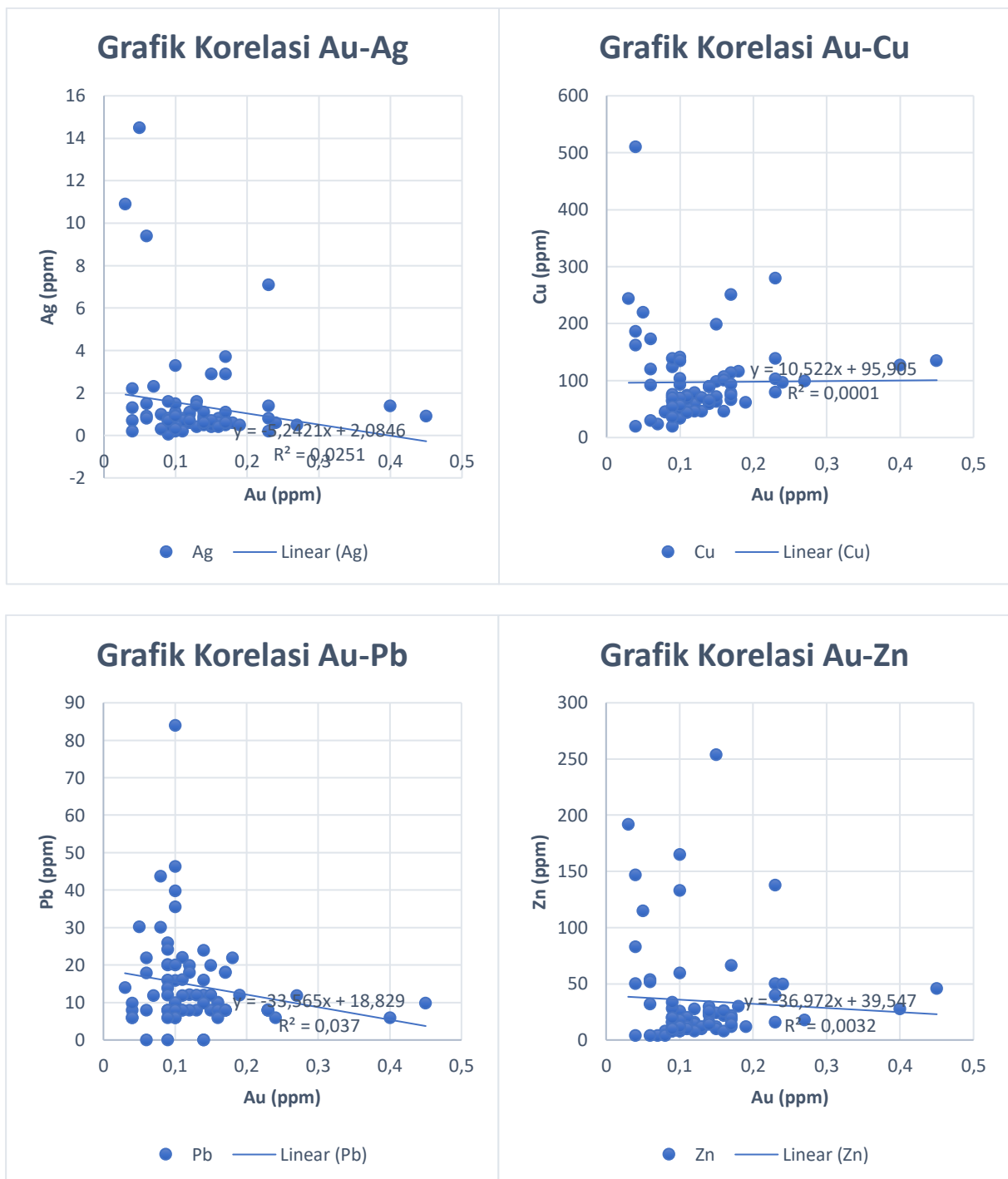
Tabel 2. Karakteristik tipe endapan epitermal (Hedenquist et. al., 2000) disandingkan dengan daerah penelitian

Tipe	Epitermal		Daerah Penelitian
	Sulfidasi Rendah	Sulfidasi Tinggi	
Bentuk Deposit	<i>Vein, Vein Swarm, Stockwork, Disseminated</i>	<i>Disseminated, breccia, dan veinlet</i>	<i>Vein, Stockwork, veinlet</i>
Tekstur Bijih	<i>Band halus, combs, crustiform, breksi</i>	<i>Vuggy quartz hosts replacement</i>	<i>Combs, dogteeth, vug, banded, moss.</i>
Alterasi	<i>Alunite kaolinite blanket, clay halo</i>	<i>Silicic (Vuggy), quartz-alunite</i>	Silisifikasi, silika – lempung
Sulfida	<i>Cinnabar stibnite; pyrite/marcasite - arsenophyrite, Au - Ag selenides, Se sulfosalts, Sphalerite kaya akan Fe (RB)</i>	<i>Enargite/luzonite, covellite, pyrite</i>	Pirit, sfalerit
Gangue	<i>Chalcedony-adularia-illite-calcite</i>	<i>Quartz-carbonate-rhodonite-sericite-adularia±barite anhydrite±hematite±chlorite (AR)</i>	<i>Quartz, sericite, hematite</i>
Metals	<i>Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Ti (RB), low Ag:Au; <0,1-1% base metals</i>	<i>Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se (AR), high Ag:Au; 2-10 (20+) % base metals</i>	<i>Cu-Pb-Zn Rasio Au:Ag 1:7,2</i>

Hasil Korelasi

Jumlah data yang digunakan dalam pembuatan grafik korelasi sebanyak 79 sampel berasal dari paritan uji, masing-masing dianalisis kandungan Au, Ag, Cu, Pb, dan Zn. Kedudukan semua sampel berada pada elevasi yang sama. Analisis ini menggunakan nilai kadar dari Au, Ag, Cu, Pb, dan Zn. Hasil analisis korelasi kandungan unsur, menghasilkan grafik dan koefisien korelasi antara Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn (Gambar 19). Berdasarkan hasil diagram pencar dan perhitungan koefisien korelasi antara Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn, diperoleh kisaran 0,00 s.d. 0,199, hal ini menurut Sugiyono, (2006) mempunyai tingkat hubungan korelasi yang sangat rendah. Tingkat korelasi sangat rendah tersebut kemungkinan

akibat kedudukan semua sampel berasal dari elevasi yang sama yang berasal dari proses penelitian ini dengan pengambilan data secara langsung pada empat lubang paritan uji yang memiliki elevasi yang sama, kemudian melakukan pengambilan sampel sesuai batas interval yang ditentukan, sampel dibawa ke laboratorium untuk mendapatkan nilai kadar, lalu mendeskripsikan 5 sampel secara megaskopis yang memiliki kadar Au nya tinggi, kemudian sampel yang menarik di analisis secara petrografi dan mineragrafi, dan membuat grafik korelasi Perhitungan statistik menggunakan metode korelasi, yaitu mengakarkan nilai R^2 nya untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi (R). Berikut adalah nilai koefisien korelasi (R) antara Au – Ag = 0,158, Au – Cu = 0,01, Au – Pb = 0,192, dan Au – Zn = 0,057.



Gambar 19. Diagram pencar Au terhadap Ag, Cu, Pb, dan Zn

Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linear berganda diolah menggunakan aplikasi IBM SPSS *Statistic* 20., yakni untuk mengetahui pengaruh unsur Ag, Cu, Pb, dan Zn terhadap Au. Analisis ini menggunakan dua metode,

yaitu analisis simultan (secara bersama-sama) dan analisis parsial (secara sendiri-sendiri). Dari hasil pengolahan data di IBM SPSS *Statistic* 20., didapatkan tabel Anova yang digunakan untuk analisis simultan dan tabel *coefficients* untuk analisis parsial (Gambar 20).

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	16,156	4	4,039	13,139	,000 ^b
	Residual	22,749	74	,307		
	Total	38,906	78			

a. Dependent Variable: Au (ppm)

b. Predictors: (Constant), Zn (ppm), Pb (ppm), Ag (ppm), Cu (ppm)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,302	,142		2,128	,037
	Ag (ppm)	,166	,023	,697	7,189	,000
	Cu (ppm)	-,001	,001	-,113	-,842	,402
	Pb (ppm)	-,007	,005	-,117	-1,286	,202
	Zn (ppm)	-,004	,002	-,263	-1,954	,055

a. Dependent Variable: Au (ppm)

Gambar 20. Hasil perhitungan regresi linear berganda pada IBM SPSS *Statistic 20*

Analisis Simultan

Analisis simultan (secara bersama-sama) dilakukan pada Ag, Cu, Pb, dan Zn terhadap kadar Au dari 79 sampel. Persyaratan dalam analisis simultan adalah, jika “Sig hitung Tabel Anova < α = terdapat pengaruh antara satu variabel terhadap variabel lainnya secara bersama-sama, begitupun sebaliknya”. Berdasarkan tabel Anova didapatkan Sig hitung 0.000 dan α memiliki nilai tetap 0.05, maka Sig hitung < α , dimana terdapat pengaruh antara Ag, Cu, Pb, dan Zn terhadap Au.

Analisis Parsial

Analisis parsial (secara sendiri-sendiri) dilakukan pada Ag, Cu, Pb, dan Zn terhadap kadar Au yang berjumlah 79 sampel. Persyaratan dalam analisis parsial adalah, jika “Sig hitung Tabel Coefficients < α = terdapat pengaruh antara satu variabel terhadap variabel lainnya secara sendiri-

sendiri, begitupun sebaliknya. α memiliki nilai tetap, yaitu 0.05”. Berdasarkan tabel *coefficients* sesuai dengan persyaratan tersebut, maka hasil analisis parsial menunjukkan bahwa Ag memiliki pengaruh terhadap Au sedangkan Cu, Pb, dan Zn tidak memiliki pengaruh terhadap Au.

KESIMPULAN

Urut kuasa di *Pit X* PT Nusa Halmahera Minerals merupakan endapan epitermal tipe *low sulphidation*, terbentuk pada kisaran kedalaman 300 s.d. 350 m di bawah permukaan, pengendapan di atas *boiling zone*. Jenis alterasi berupa silisifikasi dan silika-lempung. Terdapat mineral sulfida berupa pirit dan sfalerit.

Berdasarkan hasil analisis korelasi, antara Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn didapatkan tingkat korelasi yang sangat rendah, kemungkinan akibat kedudukan semua sampel berasal dari elevasi yang

sama. Sedangkan berdasarkan perhitungan regresi linear berganda menggunakan dua metode, yaitu metode simultan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh antara Ag, Cu, Pb, dan Zn terhadap Au secara bersama-sama, sedangkan metode parsial (secara sendiri-sendiri) menunjukkan bahwa Ag memiliki pengaruh terhadap Au sedangkan Cu, Pb, dan Zn tidak memiliki pengaruh terhadap Au.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Management* dan *Mine Geology* PT Nusa Halmahera Minerals, khususnya yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di area Izin Usaha Pertambangannya. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada bapak Ir. Sabtando Joko Suprpto, M.T., bapak Ir. Oman Abdurahman, M.T., Bang Barto PT NHM, Bang Tomi PT NHM serta manajemen Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung yang telah membantu dalam proses penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apandi dan Sudana. (1980). Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Buchanan. (1981). *Hydrothermal Processes And Mineral Systems: Model Of Epithermal Styles. Geological Survey of Western Australia*, Australia.
- Bessho. (1944). Zona Sesar Maluku Utara, Dalam Hamilton 1979, Institut Teknologi Bandung. Dep Umum Research Nasional, Jakarta.

- Briyantara, S.S. dan Yulianto, T. (2015). Aplikasi Metode Magnetik untuk Melokalisasi Target Zona Mineralisasi Emas di Daerah "X". *Youngster Physics Journal*, 4(1), 1-6.
- Carlile dan Mitchell. (1994). *Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia. Journal of Geochemical Exploration* 50 (1-3): 91- 142.
- Clark, L.V. (2012). *The geology and genesis of the Kencana epithermal Au-Ag deposit, Gosowong Goldfields, Halmahera Island, Indonesia*. Ph.D Thesis at CODES University of Tasmania, h. 1-14.
- Hedenquist, J.W. et al. 2000. *Exploration for Epithermal Gold Deposit*. SEG Reviews Vol. 13, 2000, p. 245-277.
- Katili, J.A. (1974). Geologi Daerah Halmahera Barat. Institut Teknologi Bandung. Departemen Umum Research Nasional, Jakarta.
- Pracejus, B. (2015). *The Ore Minerals Under The Microscope. Second Edition*. Elsevier, Amsterdam.
- Sarwono, Jonathan. 2009. Statistik itu Mudah Panduan Lengkap untuk Belajar Komputasi Statistik Menggunakan SPSS 16. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sugiyono. (2006). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. Alfabeta, Bandung.
- Supriatna, S. (1980). Modifikasi Peta Geologi Lembar Morotai – Maluku Utara. Pusat Survey Geologi, Bandung. terhadap Au sedangkan Cu, Pb, dan Zn tidak memiliki pengaruh terhadap Au.

Diterima : 12 Juni 2023
Direvisi : 12 Agustus 2023
Disetujui : 31 Agustus 2023

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasamanya dalam proses review lima makalah untuk edisi kedua Buletin Sumber Daya Geologi tahun 2023. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya, antara lain Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso, M.Sc; Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana; Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D; M.Sc, Ph.D; Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc; Dr. Eng, Ir. Agus Didit Haryanto, M.T; Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T; Ir. Bambang Pardiarto; Ir. Teuku Ishlah; Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi, Ir. Asep Suryana. Dr. Asep Kurnia Permana. ST, MT; Asep Rohiman, S.Si, M.Si dan Dr. Ronaldo Irzon, S.Si, M.T.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penulis yang telah mengirimkan makalah ilmiahnya kepada sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terimakasih diucapkan kepada para kontributor foto yang telah berpartisipasi untuk mengisi Galeri Foto.

Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada semua unsur Dewan Redaksi dalam proses penyusunan dan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.18 Nomor.2, Tahun 2023. Semoga hadirnya Buletin Sumber Daya Geologi kepada masyarakat dan pihak-pihak yang berkepentingan dalam bentuk cetakan maupun digital secara *online* dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

Salam sehat dan selalu semangat.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 2 Tahun 2023

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Adhika Junara Karunianto
Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan
Riset dan Inovasi Nasional
Email: adhi007@brin.go.id

Armin Tampubolon
Universitas Padjadjaran
Email: armin_tampubolon@yahoo.com

Dharma Irwanda
PT Nusa Halmahera Minerals
Email: dharmai@nhm.co.id

Ersina Rakhma
Direktorat Pengelolaan Laboratorium,
Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains
Teknologi, Badan Riset dan Inovasi
Nasional
Email: ersi001@brin.go.id

Euis Tintin Yuningsih
Universitas Padjadjaran
Email: etintiny@yahoo.com

Evi Octavia
Universitas Widyatama
Email: evi.octavia@widyatama.ac.id

Firdaus Djabar
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Email: dj12@gmail.com

Fitro Zamani
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan
Pansa Bumi
Email: fitro.zamani@esdm.go.id

Fitri Purnamasari Liveta
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan
Pansa Bumi
Email: fitri.liveta@esdm.go.id

Frederikus Dian Indrastomo
Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar
Nuklir dan Limbah Radioaktif, Badan Riset
dan Inovasi Nasional
Email: fred002@brin.go.id

Herry Rodiana Eddy
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan
Pansa Bumi
Email: herry_rodiana@gmail.com

Iman K Sinulingga
Universitas Widyatama
Email: iman.kristian@esdm.go.id

Mega Rosana Fatimah
Universitas Padjadjaran
Email: mega.fatimah.rosana@unpad.ac.id

Ngadenin
Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar
Nuklir dan Limbah Radioaktif, Badan Riset
dan Inovasi Nasional
Email: ngad001@brin.go.id

Nurrezeki Amaliah Dulf
Prodi Teknologi Geologi, Politeknik Energi
dan Pertambangan Bandung
Email: nurrezekiadulfi@gmail.com

Rachman Fauzi
Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan
Riset dan Inovasi Nasional
Email: rach021@brin.go.id

Sulka Wijaya
Dinas ESDM Provinsi Kepulauan Bangka
Belitung
Email: sulkawijaya@gmail.com

Suwahyadi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan
Pansa Bumi
Email: suwahyadi@esdm.go.id

Tatik Handayani
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan
Pansa Bumi
Email: tatik.handayani@esdm.go.id

Tukijo
Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar
Nuklir dan Limbah Radioaktif, Badan Riset
dan Inovasi Nasional
Email: tukijo@batan.go.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 18 Nomor 2 Tahun 2023

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

- | | |
|---|---|
| Analisis Batubara 88, 89, 93 | Monasit 73, 77, 79, 81, 84, 118-123, 125-129 |
| Bahan Acuan Baku 88-90, 92-94, 96-98 | Paritan uji Pit X 132, 136, 140 |
| Batubesi 72-74, 76-78, 80-82, 84-86 | Pendapatan negara 100, 102, 103, 105-107, 116, 116 |
| benefit-cost ratio (BCR) 100, 101, 104-106, 112, 114-115 | PT Berau Coal 88-91, 98, 99 |
| Epitermal 132, 133, 135, 140, 141, 143 | Radioaktivitas 72-76, 78-82, 84, 86 |
| <i>Government Drilling</i> 100-104, 114, 116 | Radiometri 72, 79, 86, 124, 129 |
| Kabupaten Berau 88-90, 99 | Sulfida rendah 132 |
| Keekonomian panas bumi 100 | Sumber daya tereka 72-74, 81, 84 |
| Kesesuaian 118, 120, 121, 125, 128 | Torium 72, 74-76, 78, 82-84, 86, 88, 89, 92, 98-119, 121, 122, 128, 135, 136, 141 |
| Korelasi 120, 125, 128, 132-136, 138, 140-144 | Wilayah Pertambangan 118, 120, 122, 124, 125, 126, 128 |
| Logam Tanah Jarang 118-122, 124-130 | |
| Mineralogi 85, 122, 125-127, 132-134, 136, 138, 140, 142, 144 | |

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Agustus 2023

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

Rachman Fauzi¹, Adhika Junara Karunianto², Ersina Rakhma³, Ngadenin⁴, Frederikus Dian Indrastomo⁴, dan Tukijo⁴

(¹Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, ²Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, ³Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, ⁴Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif, Badan Riset dan Inovasi Nasional)

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

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2023 Vol. 18 No. 2 Hal. 72 - 86

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 keterdapat 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

Firdaus Djabar¹, Fitro Zamani², dan Herry Rodiana Eddy²

(¹Badan Riset dan Inovasi Nasional, ²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi)

PEMBUATAN BAHAN ACUAN BAKU UNTUK ANALISIS SAMPEL BATUBARA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2023 Vol. 18 No. 2 Hal. 88 - 89

Salah satu syarat sistem pengendalian mutu SNI ISO/IEC 17025:2017 adalah penggunaan bahan acuan baku yang tersertifikasi atau CRM (Certified Reference Material) untuk menjamin akurasi dan validasi pengukuran. Meskipun CRM adalah bahan acuan standar yang umum digunakan, bahan ini mahal, prosedur pengadaannya sulit, dan matriksnya terbatas. Oleh sebab itu, laboratorium perlu melaksanakan pembuatan bahan acuan baku secara mandiri. Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan pembuatan bahan standar internal batubara dari wilayah konsesi PT Berau Coal di

Tambang Sambarata, Desa Tasuk, Kecamatan Gunung Tabur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Tahapan pembuatan bahan acuan baku batubara meliputi preparasi, homogenisasi, analisis parameter, uji statistik dan pengemasan sampel. Statistik yang digunakan adalah uji F/anova single factor/homogen sampel, uji Dixon dan Z-Score/untuk mengukur kehandalan data. Sampel batubara dianalisis di tujuh laboratorium batubara terakreditasi di Indonesia. Metode analisis kimia dan fisik menggunakan American Standar Testing and Material (ASTM), dan BSI British Standards. Bahan acuan baku untuk analisis kadar abu $1,36 \pm 0,23\%$, kadar zat terbang $45,03 \pm 1,29\%$, sulfur total $0,14 \pm 0,07\%$, nilai kalori $7.310 \pm 67\text{kal/gr}$, dan specific gravity $1,30 \pm 0,06$.

Kata kunci: analisis batubara, bahan acuan baku, Kabupaten Berau, PT Berau Coal

Iman K. Sinulingga¹, Fitri Purnamasari Liveta², Evi Octavia³, dan Husin Setia Nugraha²

(¹Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, ²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, ³Universitas Widyatama)

PENGARUH NILAI CADANGAN PANAS BUMI TERHADAP KELAYAKAN PROYEK PENGEBORAN SUMUR EKSPLORASI OLEH PEMERINTAH BERDASARKAN PERBANDINGAN BIAYA DAN PENDAPATAN NEGARA: STUDI KASUS PROYEK NAGE, KABUPATEN NGADA, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2023 Vol. 18 No. 2 Hal. 100 - 117

Tiga masalah utama pengembangan panas bumi di Indonesia yakni harga jual listrik, lelang wilayah kerja, dan risiko hulu yang tinggi. Ketiganya akan bermuara pada satu keadaan yaitu proyek panas bumi yang belum mencapai level keekonomian. Salah satu usaha mengurangi risiko hulu yang tinggi, pemerintah telah menginisiasi Program Government Drilling. Selain tujuan utama untuk menurunkan risiko hulu panas bumi, secara tidak langsung program ini juga dapat menghasilkan pendapatan negara. Untuk menilai keberhasilan Program Government Drilling ini maka perlu dilakukan evaluasi tidak hanya dari sisi teknis, namun juga dari sisi keuangan. Berdasarkan hasil evaluasi ini diharapkan akan menjadi bahan pertimbangan para pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan tentang keberlanjutan program ini. Evaluasi keuangan ini akan menilai apakah biaya yang dikeluarkan sebagai investasi menghasilkan tingkat pengembalian yang diinginkan. Dalam hal ini adalah perbandingan antara biaya yang dikeluarkan dari APBN dan pendapatan yang diperoleh pemerintah dari pajak dan PNB dengan menggunakan parameter nilai Benefit Cost Ratio (BCR) sebagai indikator penilaiannya. Hasil penelitian memperlihatkan nilai BCR pada arus kas pemerintah dari Proyek Nage adalah sebesar 2,1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap rupiah biaya yang dikeluarkan pemerintah dalam proyek tersebut akan menghasilkan pendapatan negara lebih dari dua kali lipatnya. Dengan menggunakan parameter tingkat pengembalian, yaitu nilai Internal Rate of Return (IRR), proyek ini menghasilkan nilai hampir dua kali lipat dari tingkat pengembalian yang

ditentukan apabila proyek menggunakan APBN. Selain itu, valuasi Proyek Nage ini berdasarkan nilai Net Present Value (NPV) menunjukkan nilai positif (NPV>0). Berdasarkan ketiga indikator di atas, dapat disimpulkan Program Government Drilling khususnya Proyek Nage ini layak untuk dilanjutkan. Namun demikian jika dilihat dari sisi arus kas pengembang, Proyek Nage sebesar 30 MWe ini masih kurang menarik bagi investor pengembang swasta karena nilai indikator kelayakan proyek yang bernilai negatif atau tingkat pengembalian masih di bawah nilai yang diinginkan ($IRR < MARR$ – Minimum Attractive Rate of Return). Proyek ini masih layak dilanjutkan oleh pengembang dari BUMN yang biasanya memiliki nilai MARR yang lebih rendah dan keistimewaan dalam parameter pinjaman dan depresiasi dibandingkan pengembang swasta.

Kata kunci: government drilling, benefit-cost ratio (BCR), keekonomian panas bumi, pendapatan negara

Sulka Wijaya¹, Mega Rosana Fatimah¹, Euis Tintin Yuningsih¹, dan Armin Tampubolon²
(¹Universitas Padjadjaran, ²Badan Riset dan Inovasi Nasional)

ANALISIS SEBARAN LOGAM TANAH JARANG UNTUK PENGEMBANGAN WILAYAH PERTAMBANGAN MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT-9 DI KABUPATEN BANGKA SELATAN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2023 Vol. 18 No. 2 Hal. 118 - 130

Perkembangan teknologi tinggi saat ini banyak membutuhkan unsur Logam Tanah Jarang (LTJ) yang salah satunya didapatkan dari pertambangan bijih timah. Produksi bijih timah terbesar terletak di Kepulauan Bangka Belitung. Cakupan penelitian ini berfokus pada Monasit yang memiliki potensi untuk diolah lebih lanjut menjadi Logam Tanah Jarang yang saat ini banyak dibutuhkan dalam berbagai macam industri global dan akan terus meningkat jumlah permintaannya. Monasit merupakan produk sampingan dari pengolahan bijih timah. Pengusahaan timah di Pulau Bangka pada umumnya dan khususnya Kabupaten Bangka Selatan telah berlangsung lama yaitu dari masa pendudukan Belanda hingga sekarang. Secara geologi kehadiran granit berumur Trias dikaitkan dengan pembentukan timah yang membentang dari Semenanjung Thailand-Malaysia-Kepulauan Riau dan Bangka-Belitung ke Kalimantan Barat sebagai Granite Tin Belt, terindikasi dengan potensi mineral ikutan seperti Monasit, Xenotim dan Zirkon yang secara strategis berperan sebagai mineral pembawa unsur LTJ. Adanya potensi logam tanah jarang dalam bentuk mineral Monasit di Pulau Bangka sebagai dasar untuk dianalisis lebih lanjut pola sebarannya menggunakan citra satelit. Wilayah yang kaya akan sumber daya mineral memerlukan perencanaan wilayah yang sesuai agar pengelolaan dan pemanfaatannya lebih optimal. Penelitian ini mengacu pada hasil penelitian Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMP) tahun 2009, 2014 dan 2018 yang dikomparasikan dengan Citra Landsat-9. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dimana potensi wilayah yang cocok dikembangkan menjadi industri pertambangan mineral pembawa LTJ di Kabupaten Bangka Selatan. Metode

penelitian menggunakan analisis deskriptif kualitatif dan analisis spasial. Hasil Analisis menunjukkan kesesuaian pemanfaatan ruang untuk kegiatan pertambangan pada Desa Rindik dan Desa Keposang, diverifikasi dengan pengambilan sampel di lokasi untuk membuktikan potensinya. Keterdapatan Monasit di atas 50% dari total sampel tailing mengindikasikan wilayah tersebut dapat dikembangkan menjadi Wilayah Usaha Pertambangan komoditas LTJ.

Kata kunci: Kesesuaian, Logam Tanah Jarang, Monasit, Wilayah Pertambangan

Nurrezeki Amaliah Dulf¹, Dharma Irwanda², Tatik Handayani³, dan Suwahyadi³
(¹Prodi Teknologi Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, ²PT Nusa Halmahera Minerals, ³Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi)

MINERALOGI BIJIH DAN KORELASI ANTARA UNSUR Au DENGAN UNSUR Ag, Cu, Pb, DAN Zn PADA SAMPEL PARITAN UJI PIT X PT NUSA HALMAHERA MINERALS, KABUPATEN HALMAHERA UTARA, PROVINSI MALUKU UTARA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2023 Vol. 18 No. 2 Hal. 132 - 144

Identifikasi cebakan dan karakteristik mineralogi bijih diperlukan untuk membantu kegiatan pengembangan eksplorasi lanjutan. Penelitian di area paritan uji Pit X dilakukan untuk mengetahui tipe cebakan epitermal berdasarkan dari deposit form, tekstur mineral bijih, alterasi, mineral sulfida, dan mineral gangue yang dominan dijumpai dari hasil deskripsi sampel secara megaskopis secara langsung di area paritan uji Pit X, analisis minerografi serta analisis petrografi. Deposit form yang dijumpai berupa urat, stockwork, dan veinlet. Tekstur mineral bijih yang dijumpai berupa banded, comb, dogteeth, moss, vuggy, dan masif. Alterasi yang dijumpai berupa silisifikasi dan silika – lempung. Mineral sulfida yang ditemukan berupa pirit dan sfalerit. Mineral gangue yang dijumpai berupa quartz, sericite, dan hematite. Berdasarkan hasil deposit form, tekstur mineral bijih, alterasi, mineral sulfida, dan mineral gangue yang dijumpai, maka area penelitian paritan uji Pit X termasuk kedalam tipe cebakan epitermal sulfida rendah kedalaman sekitar 300–350 m dibawah permukaan, pengendapan diatas zona pendidihan. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data tambahan mengenai korelasi antara Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn menggunakan hasil nilai kadarnya untuk mengetahui hubungan antara Au terhadap setiap unsur keempat lainnya. Hasil koefisien korelasi (R) yang diperoleh antara Au-Ag= 0.158429795, Au-Cu= 0.01, Au-Pb= 0.1923538, Au-Zn= 0.0565685425. Berdasarkan hasil tersebut, menunjukkan bahwa korelasi Au dengan Ag, Cu, Pb, dan Zn sangat rendah yang kemungkinan akibat keberadaan semua sampel berasal dari elevasi yang sama.

Kata kunci: mineralogi, paritan uji Pit X, epitermal, sulfida rendah, korelasi



Intrusi Diorit di Pantai Dunu, Kecamatan Monano, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo (Candra, 2023)



Pengambilan sampel tanah dengan metode Ridge and Spur pada zona horizon B Kecamatan Monano, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo (Candra, 2023)



Zona Stockwork sebagai indikasi porfiri di Kecamatan Monano, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo (Candra, 2023)



Zona Stockwork sebagai indikasi porfiri di Kecamatan Monano, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo (Candra, 2023)



Pemasangan Sensor Magnetik. [A] HY (Horisontal) dan [B] HZ (Vertikal) di Daerah Sipoholon, Provinsi Sumatera Utara (Erwan Heryana, 2023)



Pemasangan Sensor Magnetik(Coil) Horizontal Hx dan Hy dimana HY diarahkan ke utara dan selatan dan Hy di arahkan ke arah barat timur, sementara sensor Coil HZ ditanam Vertikal di Daerah Sipoholon, Provinsi Sumatera Utara (Erwan Heryana, 2023)



Survei potensi panas bumi dengan metode Gravity di Daerah Sipoholon, Provinsi Sumatera Utara (Erwan Heryana, 2023)



Pengukuran Hg tanah pada survei rinci geokimia Daerah Sipoholon Ria-Ria, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara (Hamdi Anwar, 2023)



Pengukuran Hg, CO dengan NaOH pada survei rinci geokimia Daerah Sipoholon Ria-Ria, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara (Hamdi Anwar, 2023)



Batugamping formasi sampolakosa di Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara (Soleh Basuki Rahmat, 2023)



Kenampakkan batugamping di pantai Bahari, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara
(Soleh Basuki Rahmat, 2023)



Batubara Formasi Warukin di daerah konsesi PT. Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong,
Provinsi Kalimantan Selatan (Soleh Basuki Rahmat, 2023)



Air terjun dadakan setelah hujan turun. Lokasi PT. Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan (Soleh Basuki Rahmat, 2023)



Mata air panas Sipoholon menunjukkan temperatur 64°C , pH 6,3 menghasilkan endapan karbonat (Travertin) berwarna putih, sebagian berasosiasi dengan oksida besi (kecoklatan) (Sukaesih, 2023)



Keberadaan Mata Air Panas Sipoholon telah dimanfaatkan langsung oleh Masyarakat sebagai pemandian air panas, dan tempat wisata menikmati hamparan endapan Travertin yang putih menyerupai salju (Sukaesih, 2023)



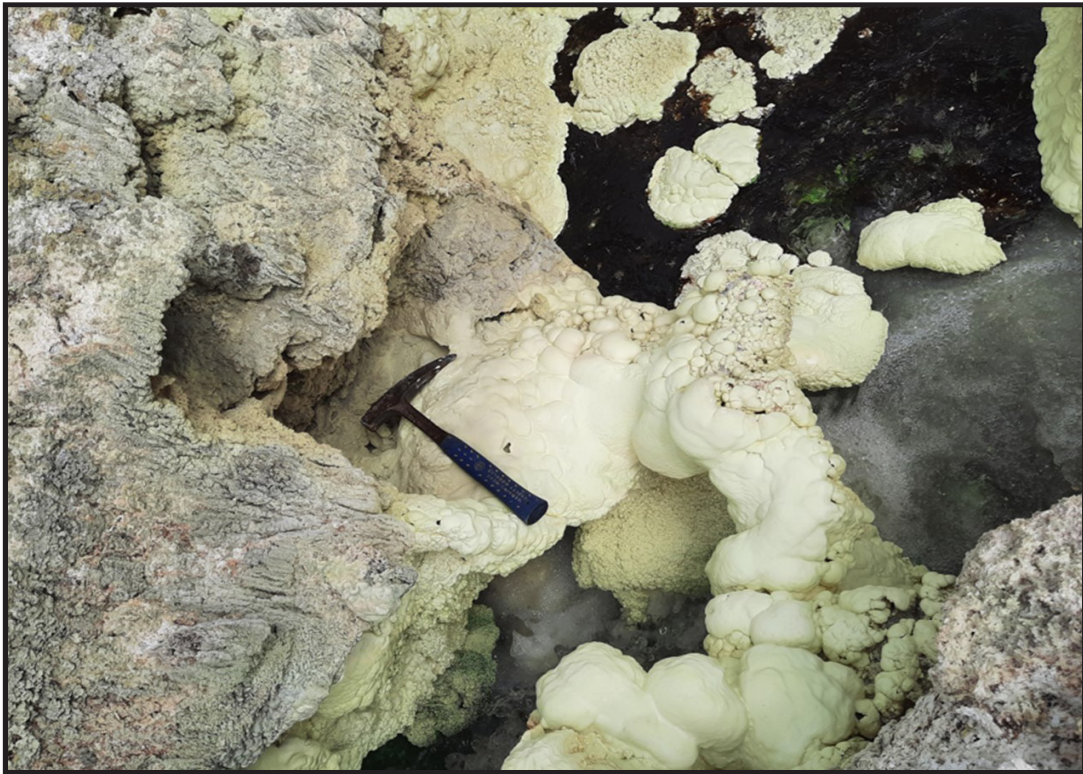
Singkapan Batuan Tuff merupakan produk vulkanik Toba, sebagai Batas Endapan Travertin di sekitar mata air panas Sipoholon (Sukaesih, 2023)



Batuan Tuff tampak Berwarna Hitam dan sangat padu, membentuk tebing tinggi nan Curam, terindikasi telah terkena struktur Geologi berupa pensesaran (Sukaesih, 2023)



Mata air Panabungan menunjukkan temperatur 47°C, pH 6,7, tampak gelembung-gelembung gas secara kontinyu, mata air panas keluar pada batuan Tuff, berada di Parbaju Julu, Kecamatan Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara (Sukaesih, 2023)



Endapan Sulfur, tampak berwarna kuning, umumnya masih lunak menempel pada batuan sekitar mata air panas Panabungan di Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara (Sukaesih, 2023)



Singkapan Batuan Tuff, tampak masiv, memiliki kelurusan dengan mata air panas Panabungan, terindikasi adanya struktur geologi berupa pensesaran yang memiliki potensi munculnya mata air panas Panabungan (Sukaesih, 2023)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/Karya Tulis Ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

Naskah makalah/karya tulis ilmiah untuk publikasi di Buletin Sumber Daya Geologi dapat berupa artikel hasil penelitian, ulasan balik (*review*) dan ulasan/tinjauan (*feature*) tentang geologi baik sains maupun terapan terutama berkaitan dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Naskah yang diajukan belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada publikasi lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Judul naskah ditulis dengan huruf besar (*capital*) di tengah atas halaman dan di cetak tebal (*bold*). Naskah harus selalu dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Kata-kata bahasa asing yang tidak dapat dialih bahasa/disadur dicantumkan dalam bentuk asli dan ditulis dengan huruf miring (*italic font*).

FORMAT**UMUM**

Seluruh bagian dari naskah termasuk Sari, *Abstract*, judul tabel dan gambar, catatan kaki tabel, keterangan gambar dan daftar acuan diketik satu spasi dalam bentuk *electronic file* dan dicetak pada kertas HVS A4; menggunakan huruf Arial berukuran 11 *point*. Setiap lembar tulisan dalam naskah diberi nomor halaman dengan jumlah maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Susunan naskah dibuat sebagai berikut:

NO	POKOK BAHASAN	POKOK PIKIRAN
I	Judul (<i>Title</i>)	Pada halaman judul makalah/karya tulis dicantumkan nama setiap penulis dengan jumlah penulis maksimum 5 orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faxsimile serta email.
II	Abstrak dan <i>Abstract</i>	Berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan isi naskah seperti latar belakang (yaitu berupa alasan ilmiah ataupun alasan keperluan penting mengapa tulisan ini dipublikasikan), obyek yang diteliti, permasalahan riset, tujuan riset, kegunaan hasil riset, metode yang digunakan dalam mencapai solusi riset tanpa harus memberikan keterangan terlalu rinci dari setiap bab, dengan jumlah maksimum 250 kata. Abstrak dicantumkan terlebih dahulu apabila naskah berbahasa Indonesia, sementara <i>Abstract</i> tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/ <i>keyword</i> yang ditulis di bawah Abstrak/ <i>Abstract</i> , terdiri dari 4 hingga 6 kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan <i>italic font</i> .

III	Pendahuluan (<i>Introduction</i>)	Bab ini dapat berisi latar belakang (alasan ilmiah dan maksud penelitian fenomena aktual bermasalah sebagai tema sentral penelitian), masalah aktual yang perlu solusi, pengantar tentang profil wilayah/lokasi kajian/riset, tujuan penelitian, spesifik, metode riset, hipotesis (kalau ada) dengan gaya bahasa lebih populer dengan bab dan sub-bab tidak perlu menggunakan nomor. Bab berisi pernyataan yang mencukupi sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.
IV	Metodologi (<i>Methodology</i>)	Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/ <i>sampling</i> , cara pengukuran dan komputasi.
V	Hasil dan Pembahasan (<i>Results and Discussion</i>)	Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. <i>Font</i> huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 <i>point</i>. Berisi tentang analisis/interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.
VI	Kesimpulan dan Saran (<i>Conclusions and Recommendation</i>)	Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).
VII	Ucapan Terima Kasih (<i>Acknowledgements</i>)	Dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penyelidikan/penelitian dan untuk pernyataan penghargaan kepada institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penyelidikan/penelitian dan penulisan makalah/karya tulis.
VIII	Acuan (<i>References</i>)	Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (<i>surname</i>), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (<i>italic font</i>)

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

Harvey, R.D. dan Dillon, J.W., 1985. *Maceral distribution in Illinois coals and their palaeoenvironmental implication*. International Journal of Coal Geology, 5, h.141-165.

Buku

Petters, W.C., 1987. *Exploration and Mining Geology*. John Wiley & Sons, New York, 685 h.

Bab dalam Buku

Chen, C.H., 1970. *Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region*. Di dalam : Barnes, H.L. (ed.), 1979. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h.632-683.

Prosiding

Suwarna, N. dan Suminto, 1999. *Sedimentology and Hydrocarbon Potential of the Permian Mengkarang Formation, Southern Sumatera*. Proceedings Southeast Asian Coal Geology, Bandung.

Skripsi/Tesis/Disertasi

DAM, M.A.C., 1994. *The Late Quarternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia*. Ph.D Thesis at Dept. of Quarternary Geology Faculty of Earth Science Vrije Universitet Amsterdam, h.1-12.

Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. Sri Lanka's tsunami drive blossom : Local man's effort keeps on giving. http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/ [26 Jan 2006].

Wewenang Redaksi

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa mengubah substansi isi naskah.
- Redaksi mempunyai hak dan wewenang penuh untuk menolak naskah dengan isi dan format yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Buletin Sumber Daya Geologi dan tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut.

Pengiriman Naskah

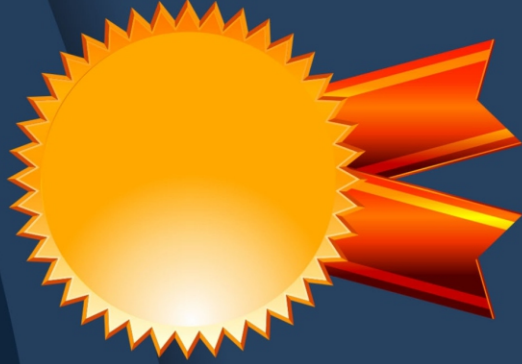
Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Umum, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270
Fax. (022) 522 6270, 522 6263
Email: buletinsdg@gmail.com
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

Semua tulisan yang ada dalam **Buletin Sumber Daya Geologi** bukan merupakan cerminan sikap dan atau pendapat **Dewan Redaksi Buletin Sumber Daya Geologi**.
Tanggung jawab terhadap isi atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.

SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional

Nomor 200/M/KPT/2020

Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020

Nama Jurnal Ilmiah

Buletin Sumber Daya Geologi

E-ISSN: 25801023

Penerbit: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan
Sumber Daya Mineral

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020 sampai Volume 20 Nomor 1 Tahun 2025

Jakarta, 23 Desember 2020

Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Republik Indonesia,



Bambang P. S. Brodjonegoro

Alamat Redaksi

Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Umum, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263
Website : <http://psdg.geologi.esdm.go.id>
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>
Email: buletinpsdg@gmail.com

ISSN 1907-5367



eISSN 2580-1023

