

Artikel Penelitian

Karakteristik Logam Tanah Jarang di Lapisan Batubara Formasi Pulaubalang dan Formasi Balikpapan

Characteristics of Rare Earth Elements in Coal Layers of the Pulaubalang and Balikpapan Formations

Edy Nursanto^{1*}, Adi Ilham², Arif Rianto Budi Nugroho³, Hakim Erlangga Bernado Sakti¹

¹Prodi Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia

²Prodi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia

³Prodi Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia

*Edy Nursanto

e-mail: edynursanto@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar, batubara juga dimanfaatkan sebagai salah satu batuan pembawa logam tanah jarang (LTJ) dalam kadar yang cukup signifikan. Permintaan akan Logam Tanah Jarang terus meningkat tajam, didorong oleh perannya yang tidak tergantikan dalam berbagai aplikasi teknologi tinggi, termasuk baterai, paduan ringan, perangkat medis, katalis, dan teknologi energi terbarukan. Batubara, bersama dengan produk samping pembakarannya seperti abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash), telah diidentifikasi sebagai sumber potensial yang melimpah dan belum banyak dimanfaatkan. Penelitian ini disusun untuk menganalisis potensi LTJ di batubara Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang. Potensi berupa kadar LTJ pada sampel batubara di Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat untuk menambah khazanah ilmu pengetahuan di bidang geologi batubara, khususnya mengenai akumulasi dan distribusi LTJ dalam batubara khususnya batubara Cekungan Kutai. Penelitian ini mengukur konsentrasi dan jenis LTJ dalam batubara dari Formasi Pulau Balang dan Balikpapan menggunakan metode kuantitatif-kualitatif deskriptif-analitis dan pengujian ICP-OES sesuai standar ASTM D6357-11, dengan sampel diambil melalui random sampling. Analisis ICP-OES menunjukkan total Rare Earth Elements (REE) pada sampel batubara bervariasi antara 104,29-269,63 mg/kg, dengan dominasi light rare earth elements (LREE) di seluruh sampel. Analisis sampel batubara menunjukkan variasi luas pada nilai koefisien konsentrasi (CC) unsur REE, yang dihitung sebagai rasio konsentrasi unsur terhadap nilai Clarke. Nilai CC di atas 1 mengindikasikan pengayaan dibandingkan kerak bumi, sementara di bawah 1 menunjukkan deplesi. Unsur seperti Pr, Tb, Gd, dan Lu secara umum sangat kaya (CC > 1), berbeda dengan Ce dan Y yang memiliki nilai CC lebih rendah.

Kata Kunci: Batubara Cekungan Kutai, Logam Tanah Jarang, Koefisien Konsentrasi, Pengayaan Unsur

ABSTRACT

In addition to its utilization as fuel, coal is also employed as a significant carrier rock for rare earth elements (REEs). The demand for Rare Earth Elements continues to surge, driven by their indispensable roles in various high-technology applications, including batteries, lightweight alloys, medical devices, catalysts, and renewable energy technologies. Coal, along with its combustion byproducts such as fly ash and bottom ash, has been identified as an abundant and largely untapped potential source. This research is structured to analyze the potential of REEs in the coals of the Balikpapan Formation and Pulau Balang Formation. The potential is represented by the concentration of REEs in coal samples from the Balikpapan Formation and Pulau Balang Formation. The findings of this study are expected to contribute to the body of scientific knowledge in the field of coal geology, particularly concerning the accumulation and distribution of REEs in coal, specifically within the Kutai Basin coals. This research measures the concentration and types of REEs in coals from the Pulau Balang and Balikpapan Formations using a descriptive-analytical quantitative-qualitative method and ICP-OES testing

Naskah masuk	: 23 Januari 2026
Revisi pertama	: 24 Januari 2026
Naskah diterima	: 27 Januari 2026
Naskah dipublikasi online	: 28 Januari 2026

in accordance with ASTM D6357–11 standards, with samples collected through random sampling. ICP-OES analysis indicates that the total Rare Earth Elements (REEs) in the coal samples range from 104.29–269.63 mg/kg, with a dominance of light rare earth elements (LREEs) across all samples. The analysis of coal samples reveals a wide variation in the concentration coefficient (CC) values for REE elements, calculated as the ratio of elemental concentration to Clarke values. CC values above 1 indicate enrichment relative to the Earth's crust, while values below 1 suggest depletion. Elements such as Pr, Tb, Gd, and Lu are generally highly Diperkaya ($CC > 1$), contrasting with Ce and Y, which exhibit lower CC values

Keywords: Kutai Basin Coal, Rare Earth Elements, Concentration Coefficient, Element Enrichment

I. PENDAHULUAN

Cekungan Kutai adalah cekungan sedimen Tersier yang signifikan secara geologi dan ekonomis, terletak di bagian timur Pulau Kalimantan, Indonesia. Wilayah ini telah menjadi fokus studi intensif karena ketebalan sedimennya yang luar biasa dan akumulasi hidrokarbon yang melimpah. Secara geografis, Cekungan Kutai menempati wilayah Kalimantan Timur. Cekungan ini dibatasi secara tektonik oleh beberapa fitur regional: di sebelah utara, dipisahkan dari Cekungan Tarakan oleh Mangkalihat *Arch*; di sebelah timur berbatasan dengan Tinggian Kuching; dan di selatan, ia terpisah dari Cekungan Barito oleh Tinggian Patenoster. Cekungan ini merupakan cekungan Tersier terdalam di Indonesia, dengan akumulasi sedimen yang mencapai lebih dari 10.000 meter (Moss et al., 1997; Moss & Chambers, 1999). Batubara merupakan salah satu batuan yang banyak dijumpai di Cekungan Kutai. Diantara Formasi pembawa batubara di Cekungan Kutai adalah Formasi Pulau Balang dan Formasi Balikpapan. Sebagian besar tambang-tambang batubara di Cekungan Kutai Berada di atas kedua formasi ini

Selain dimanfaatkan sebagai bahan baku, batubara juga dimanfaatkan sebagai salah satu batuan pembawa logam tanah jarang (LTJ) dalam kadar yang cukup signifikan. Permintaan akan Logam Tanah Jarang terus meningkat tajam, didorong oleh perannya yang tidak tergantikan dalam berbagai aplikasi teknologi tinggi, termasuk baterai, paduan ringan, perangkat medis, katalis, dan teknologi energi terbarukan (Coe et al., 2024; Thomas et al., 2024). Batubara, bersama dengan produk samping pembakarannya seperti abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash), telah diidentifikasi sebagai sumber potensial yang melimpah dan belum banyak dimanfaatkan (Blyalova et al., 2025; Thomas et al., 2024; Wu et al., 2024).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini disusun untuk menganalisis potensi LTJ di batubara Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang. Potensi berupa kadar LTJ pada sampel batubara di Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat untuk menambah khazanah ilmu pengetahuan di bidang geologi batubara, khususnya mengenai akumulasi dan distribusi LTJ dalam batubara khususnya batubara Cekungan Kutai.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-kualitatif dengan metode deskriptif-analitis. Pendekatan kuantitatif dipilih karena fokus utama penelitian adalah mengukur konsentrasi dan mengidentifikasi jenis LTJ dalam batubara, serta melakukan analisis statistik untuk membandingkan karakteristik antar formasi. Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan secara rinci temuan mengenai karakteristik LTJ.

Sampel batubara diambil dengan metode random sampling. Formasi Pulau Balang diambil diambil sebanyak dua sampel. Adapun Formasi Balikpapan diambil sebanyak tiga sampel. Sampel yang telah diperoleh kemudian dilakukan prepasi untuk selanjutnya dilakukan pengujian Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Pengujian ICP-OES menggunakan standar ASTM D6357 – 11.

Tahapan pengujian ICP-MS dimulai dengan pengeringan pada temperatur rendah. Kemudian sampel digerus hingga ukuran -200 mesh. Pertama, sampel batubara dikeringkan dan digerus halus hingga homogen. Selanjutnya, dilakukan proses pelarutan menggunakan metode digestion menggunakan larutan asam kuat. *Microwave digestion* agar pelarutan unsur logam tanah jarang menjadi lebih efisien dan lengkap. Setelah larutan didinginkan dan diencerkan hingga volume tertentu, larutan hasil digestion kemudian dianalisis menggunakan instrumen ICP-OES. Pada tahap ini, instrumen akan mendeteksi intensitas emisi optik dari unsur-unsur logam tanah jarang pada panjang gelombang spesifik yang telah dikalibrasi sebelumnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ICP OES untuk sampel uji dapat dilihat pada (Tabel 1). Hasil analisis ICP-OES menunjukkan bahwa total kandungan REE pada sampel batubara dari site FM.BPN PIT SST dan FM.P.Balang PIT GTR bervariasi cukup signifikan, dengan rentang total REE antara 104,29 mg/kg (ppm) hingga 269,63 mg/kg.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Tanah Jarang Pada Sampel Uji Batubara dalam mg/kg

No.	Unsur	FM.BPN PIT SST-1 (2646/2025)	FM.BPN PIT SST-2 (2647/2025)	FM.BPN PIT SST-3 (2648/2025)	FM.P.Balang PIT GTR-1 (2649/2025)	FM.P.Balang PIT GTR-2 (2650/2025)
1	La	8.61	6.44	6.14	18.3	24.32
2	Ce	12.66	7.22	4.21	28.88	42.19
3	Pr	35.73	32.89	34.38	28.84	22.1
4	Nd	12.66	10.93	8.76	38.5	51.45
5	Sm	7.38	5.98	6.29	9.51	9.16
6	Eu	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	2.24
7	Gd	19.26	19.68	21.42	31.48	31.35
8	Tb	2.96	3.46	3.13	6.51	5.16
9	Dy	<0.010	<0.010	<0.010	4.35	5
10	Y	7.58	5.64	5.02	29.7	33.54
11	Ho	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
12	Er	2.42	2.08	2.2	4.5	5.28
13	Tm	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
14	Yb	1.93	1.86	1.82	4.99	5.12
15	Lu	2.82	3.25	3.53	5.71	4.27
16	Sc	9.87	7.63	7.39	23.11	28.45
Total		123.88	107.06	104.29	234.38	269.63
Light REE		77.04	63.46	59.78	124.03	149.22
Medium REE		29.8	28.78	29.57	72.04	77.29
High REE		7.17	7.19	7.55	15.2	14.67

Nilai tertinggi ditemukan pada sampel FM.P.Balang PIT GTR-2, sedangkan nilai terendah pada FM.BPN PIT SST-3. Secara umum, konsentrasi REE pada seluruh sampel didominasi oleh light rare earth elements (LREE), diikuti oleh medium rare earth elements (MREE) dan high rare earth elements (HREE). Hal ini tercermin dari proporsi LREE yang secara konsisten lebih tinggi daripada MREE dan HREE di seluruh lokasi pengambilan sampel.

Distribusi REE pada sampel batubara ini memperlihatkan pola yang umum ditemukan pada batubara sedimen, di mana LREE seperti La, Ce, Pr, dan Nd memiliki kandungan tertinggi. Sebagai contoh, pada FM.P.Balang PIT GTR-2, kandungan La dan Ce masing-masing mencapai 24,32 mg/kg dan 42,19 mg/kg, jauh melampaui kadar HREE seperti Yb dan Lu yang berada di bawah 6 mg/kg. Rasio LREE/HREE yang tinggi pada seluruh sampel menunjukkan adanya fraksinasi REE yang kuat, yang umumnya mengindikasikan pengaruh utama dari material sumber (provenance) serta kondisi lingkungan pengendapan yang lebih condong ke arah input detrital dan sedikit pengayaan oleh proses hidrotermal (Lin et al., 2017).

Polanya juga sejalan dengan penelitian-penelitian terdahulu pada batubara di Asia Tenggara, yang

menunjukkan bahwa REE dalam batubara umumnya terakumulasi dalam bentuk mineral aksesori (seperti monasit dan xenotim) serta teradsorpsi pada matriks organik dan mineral lempung. LREE yang dominan merefleksikan sumber utama dari batuan beku felsik di lingkungan sedimentasi, sementara variasi kandungan MREE dan HREE dapat dipengaruhi oleh proses diagenesis maupun perubahan kimia air pori selama pembatubaraan (Anggara et al., 2018).

Signifikansi geokimia dari rasio LREE/HREE dan pola distribusi REE dalam batubara tidak hanya penting untuk memahami genesis dan lingkungan pengendapan, tetapi juga menentukan potensi ekonomi batubara sebagai sumber REE non-konvensional. Beberapa studi telah melaporkan bahwa batubara dengan total REE >100 mg/kg, terutama dengan rasio LREE/HREE tinggi, memiliki prospek yang menarik untuk eksplorasi REE sekunder, khususnya di wilayah Asia.

Hasil analisis koefisien konsentrasi sampel uji dapat dilihat pada (Tabel 2) dan (Tabel 3).

Tabel 2. Koefisien Konsentrasi Logam Tanah Jarang Pada Sampel Uji Batubara

No.	Unsur	Clarke Value	Koefisien Konsentrasi (CC)				
			FM.BPN PIT SST-1 (2646/2025)	FM.BPN PIT SST-2 (2647/2025)	FM.BPN PIT SST-3 (2648/2025)	FM.P.Balang PIT GTR-1 (2649/2025)	FM.P.Balang PIT GTR-2 (2650/2025)
1	La	10±0.5	0.861	0.644	0.614	1.830	2.432
2	Ce	22±1	0.575	0.328	0.191	1.313	1.918
3	Pr	3.5±0.3	10.209	9.397	9.823	8.240	6.314
4	Nd	11±1	1.151	0.994	0.796	3.500	4.677
5	Sm	1.9±0.1	3.884	3.147	3.311	5.005	4.821
6	Eu	0.50±0.02	-	-	-	-	4.480
7	Gd	2.6±0.2	7.408	7.569	8.238	12.108	12.058
8	Tb	0.32±0.03	9.250	10.813	9.781	20.344	16.125
9	Dy	2.0±0.1	-	-	-	2.175	2.500
10	Y	8.6±0.4	0.881	0.656	0.584	3.453	3.900
11	Ho	0.50±0.05	-	-	-	-	-
12	Er	0.85±0.08	2.847	2.447	2.588	5.294	6.212
13	Tm	0.31±0.02	-	-	-	-	-
14	Yb	1.0±0.05	1.930	1.860	1.820	4.990	5.120
15	Lu	0.19±0.02	14.842	17.105	18.579	30.053	22.474
16	Sc	4.1±0.2	2.407	1.861	1.802	5.637	6.939

Tabel 3. Deskripsi Kualitatif Koefisien Konsentrasi Logam Tanah Jarang Pada Sampel Uji Batubara

No.	Unsur	FM.BPN PIT SST-1 (2646/2025)	FM.BPN PIT SST-2 (2647/2025)	FM.BPN PIT SST-3 (2648/2025)	FM.P.Balang PIT GTR-1 (2649/2025)	FM.P.Balang PIT GTR-2 (2650/2025)
1	La	Normal	Normal	Normal	Normal	Sedikit Diperkaya
2	Ce	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
3	Pr	Diperkaya	Diperkaya	Diperkaya	Diperkaya	Diperkaya
4	Nd	Normal	Normal	Normal	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya
5	Sm	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya	Diperkaya	Sedikit Diperkaya
6	Eu					Sedikit Diperkaya
7	Gd	Diperkaya	Diperkaya	Diperkaya	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya
8	Tb	Diperkaya	Diperkaya Secara Signifikan	Diperkaya	Diperkaya Secara Signifikan	Diperkaya Secara Signifikan
9	Dy	-S	-	-	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya
10	Y	Normal	Normal	Normal	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya
11	Ho					
12	Er	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya	Diperkaya	Diperkaya
13	Tm					
14	Yb	Normal	Normal	Normal	Sedikit Diperkaya	Sedikit Diperkaya
15	Lu	Diperkaya Secara Signifikan	Diperkaya Secara Signifikan	Diperkaya Secara Signifikan	Diperkaya Secara Signifikan	Diperkaya Secara Signifikan
16	Sc	Sedikit Diperkaya	Normal	Normal	Diperkaya	Diperkaya

Secara umum, nilai koefisien konsentrasi (CC) unsur REE pada seluruh sampel batubara yang dianalisis menunjukkan variasi yang cukup lebar antar unsur maupun antar lokasi. Nilai CC dihitung sebagai rasio konsentrasi unsur pada sampel terhadap nilai Clarke (nilai rata-rata unsur tersebut dalam kerak bumi). Nilai $CC > 1$ menandakan adanya pengayaan (enrichment) relatif terhadap kerak bumi, sedangkan $CC < 1$ menunjukkan deplesi (depletion). Dari tabel, terlihat bahwa beberapa unsur seperti Pr, Tb, Gd, dan Lu umumnya memiliki nilai CC yang jauh di atas 1, menandakan pengayaan signifikan, sedangkan unsur lain seperti Ce dan Y umumnya lebih rendah.

Karakteristik koefisien konsentrasi REE dalam batubara sangat penting untuk menilai potensi sumber daya dan memahami proses geokimia pembentukan batubara. Nilai CC yang tinggi pada unsur tertentu, seperti Pr (hingga >10) dan Gd (>8), mengindikasikan bahwa proses sedimentasi dan diagenesis batubara di lokasi ini cenderung memperkaya unsur-unsur tersebut. Studi oleh Dai et al. (2012) menegaskan bahwa pengayaan REE dalam batubara dapat terjadi melalui akumulasi mineral aksesori, adsorpsi pada mineral lempung, atau proses migrasi hidrotermal, dan bahwa nilai $CC > 1,5$ untuk beberapa REE dianggap sebagai indikator enrichment yang signifikan secara ekonomi dan geokimia (Attry et al., 2025).

Selain itu, pola enrichment yang berbeda antar LREE (light REE), MREE (medium REE), dan HREE (heavy REE) dapat merefleksikan variasi sumber material dan kondisi lingkungan pengendapan. Menurut Seredin & Dai (2012), batubara yang memperlihatkan enrichment pada MREE dan HREE, selain LREE, umumnya terkait dengan kontribusi material vulkanik atau proses diagenetik khusus (Attry et al., 2025). Nilai CC yang sangat tinggi pada Lu dan Tb dalam beberapa sampel juga sejalan dengan hasil penelitian pada batubara di Asia, yang menunjukkan bahwa unsur-unsur ini dapat terakumulasi secara lokal akibat variasi mineralogi dan perubahan kimia air pori selama pembatubaraan (Attry et al., 2025).

Secara keseluruhan, distribusi dan nilai CC REE dalam batubara tidak hanya penting untuk penilaian potensi eksplorasi, tetapi juga memberikan wawasan tentang proses geokimia dan sumber material batubara tersebut, sebagaimana telah dibahas dalam berbagai studi geokimia batubara di Indonesia dan dunia.

IV. KESIMPULAN

Analisis ICP-OES menunjukkan total Rare Earth Elements (REE) pada sampel batubara bervariasi antara 104,29-269,63 mg/kg, dengan dominasi light rare earth elements (LREE) di seluruh sampel. Analisis sampel batubara menunjukkan variasi luas pada nilai koefisien konsentrasi (CC) unsur REE, yang dihitung sebagai rasio konsentrasi unsur terhadap nilai Clarke. Nilai CC di atas 1 mengindikasikan pengayaan

dibandingkan kerak bumi, sementara di bawah 1 menunjukkan deplesi. Unsur seperti Pr, Tb, Gd, dan Lu secara umum sangat kaya ($CC > 1$), berbeda dengan Ce dan Y yang memiliki nilai CC lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, F., Amijaya, D. H., Harijoko, A., Tambaria, T. N., Sahri, A. A., & Asa, Z. A. N. (2018). Rare earth element and yttrium content of coal in the Banko coalfield, South Sumatra Basin, Indonesia: Contributions from tonstein layers. *International Journal of Coal Geology*, 196, 159–172.
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.07.006>
- Attry, B., Subramanyam, K. S. V., Tiwari, V. M., & Saikia, B. K. (2025). Exploring rare earth elements in coalmine overburden: nanoscale insights from FESEM, TEM and XPS analysis. *RSC Advances*, 15(24), 19218–19235.
<https://doi.org/10.1039/D5RA02774H>
- Blyalova, G., Amangeldykyzy, A., Kopobayeva, A., Zhirkov, V., & Ryzhkov, S. (2025). A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan. *Minerals*, 15(2), 170.
<https://doi.org/10.3390/min15020170>
- Coe, H. H., Birgenheier, L. P., Fernandez, D. P., Gall, R. D., Vanden Berg, M. D., & Giebel, A. (2024). Rare earth element enrichment in coal and coal-adjacent strata of the Uinta Region, Utah and Colorado. *Frontiers in Earth Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1381152>
- Lin, R., Howard, B. H., Roth, E. A., Bank, T. L., Granite, E. J., & Soong, Y. (2017). Enrichment of rare earth elements from coal and coal by-products by physical separations. *Fuel*, 200, 506–520.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.096>
- Moss, S. J., Chambers, J., Cloke, I., Satria, D., Ali, J. R., Baker, S., Milsom, J., & Carter, A. (1997). New observations on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan. *Geological Society, London, Special Publications*, 126(1), 395–416.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.126.01.24>
- Moss, S. J., & Chambers, J. L. C. (1999). Tertiary facies architecture in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17(1–2), 157–181.
[https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00035-X)
- Thomas, B. S., Dimitriadis, P., Kundu, C., Vuppaladadiyam, S. S. V., Raman, R. K. S., & Bhattacharya, S. (2024). Extraction and separation of rare earth elements from coal and coal fly ash: A review on fundamental understanding and on-going engineering advancements. *Journal of Environmental*

Chemical Engineering, 12(3), 112769.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112769>

Wu, G., Ma, Z., Li, G., & Bo, C. (2024). The distribution and enrichment characteristics of rare earth elements between coals and coal ashes from four coal-fired power plants. *RSC Advances*, 14(4), 2678–2686.
<https://doi.org/10.1039/D3RA08198B>