JURNAL | SAINS DAN TEKNOLOGI
KEILMUAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI INDUSTRI
E-ISSN : 2615-2827 P-ISSN : 1412-5455
Volume 25, Nomor 2 Tahun 2025
https://ejurnalsttind.id/index.php/SainsdanTeknologi

Potensi Logam Tanah Jarang Pada *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Endapan Batubara Peringkat Rendah Formasi Muara Enim

Wahyudi Zahar[1)], Yudi Arista Yulanda[2) *], Jarot Wiratama[3)], Muhammad El Hakim[4)].

[1,2,3,4] Universitas Jambi, Jambi, Indonesia.

wahyudizahar@unja.ac.id; yudiarista@unja.ac.id*; jarot.mining@unja.ac.id; elhakim@unja.ac.id

ABSTRAK

Logam tanah jarang (LTJ) saat ini menjadi material bernilai strategis seiring pesatnya perkembangan teknologi modern. Unsur-unsur ini berperan penting dalam berbagai sektor, antara lain industri pertahanan, bidang kesehatan, kendaraan listrik, pembangkit energi, serta perangkat elektronik berteknologi tinggi. Secara geologi, LTJ umumnya dijumpai sebagai mineral aksesoris yang berasosiasi dengan batuan beku felsik atau granitoid, seperti monasit, xenotim, allanit, titanit, dan zirkon. Namun demikian, sejumlah penelitian terbaru menunjukkan bahwa residu pembakaran batubara berupa fly ash dan bottom ash (FABA) dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) juga berpotensi mengalami pengkayaan unsur LTJ. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keberadaan LTJ pada batubara peringkat rendah Formasi Muara Enim, baik pada kondisi endapan insitu maupun pada produk samping pembakaran batubara berupa FABA. Sampel batubara diperoleh melalui metode grab sampling di area tambang, sedangkan sampel fly ash dan bottom ash dikumpulkan secara grab sampling dari PLTU mulut tambang. Analisis laboratorium dilakukan menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) untuk mengidentifikasi kandungan oksida mineral, serta analisis Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) di Laboratorium BRIN untuk menentukan konsentrasi unsur LTJ. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa oksida utama penyusun batubara insitu didominasi oleh Fe_2O_3, MgO, dan SO_3. Sementara itu, hasil analisis ICP-OES mengindikasikan terjadinya peningkatan konsentrasi LTJ yang signifikan pada FABA dibandingkan dengan batubara asalnya. Unsur cerium (Ce) menunjukkan tingkat pengkayaan tertinggi, dengan kenaikan konsentrasi hingga 19 kali pada fly ash menjadi 40,12 ppm dan 17 kali pada bottom ash menjadi 37,15 ppm. Selain itu, unsur lanthanum (La) juga mengalami peningkatan yang cukup besar, yakni 27 kali pada fly ash menjadi 19,02 ppm dan 24 kali pada bottom ash menjadi 16,86 ppm. Secara keseluruhan, tingkat pengkayaan LTJ teramati lebih tinggi pada fly ash dibandingkan dengan bottom ash.

Kata kunci: Batubara, Fly Ash, Bottom Ash, Logam Tanah Jarang

ABSTRACT

Rare earth elements (REEs) have become increasingly strategic materials in response to rapid advancements in modern technology. These elements play a critical role in various sectors, including defense, healthcare, electric vehicles, energy generation, and high-technology electronic devices. Geologically, REEs are commonly present as accessory minerals associated with felsic igneous or granitoid rocks, such as monazite, xenotime, allanite, titanite, and zircon. Nevertheless, recent studies have revealed that coal combustion residues, namely fly ash and bottom ash (FABA) generated by coal-fired power plants, may also serve as alternative sources of REE enrichment. This study investigates the occurrence of REEs in low-rank coal of the Muara Enim Formation, focusing on both in-situ coal deposits and REE enrichment within FABA. Coal samples were collected using grab sampling methods at the mining site, while fly ash and bottom ash samples were obtained through grab sampling at a mine-mouth coal-fired power plant. Laboratory analyses included X-Ray Fluorescence (XRF) to identify major mineral oxide compositions and Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) conducted at the BRIN laboratory to quantify REE concentrations. XRF results indicate that the dominant oxide components in the in-situ coal samples are Fe_2O_3, MgO, and SO_3. In contrast, ICP-OES analysis demonstrates a significant increase in REE concentrations in FABA relative to the original coal. Cerium (Ce) exhibits the highest degree of enrichment, increasing up to 19 times in fly ash to 40.12 ppm and 17 times in bottom ash to 37.15 ppm. Lanthanum (La) also shows substantial enrichment, with

concentrations rising 27 times in fly ash to 19.02 ppm and 24 times in bottom ash to 16.86 ppm. Overall, REE enrichment is more pronounced in fly ash compared to bottom ash..

Keywords: *Coal, Fly Ash, Bottom Ash, Rare Earth Elements,*

Copyright (c) 2025 Wahyudi Zahar, Yudi Arista Yulanda, Jarot Wiratama, Muhammad El Hakim
DOI: https://doi.org/10.36275/wffpht91

PENDAHULUAN

Logam tanah jarang (LTJ) merupakan komoditas strategis saat ini seiring dengan perkembangan teknologi. Penggunaan LTJ banyak diaplikasikan pada industri pertahanan, kesehatan, mobil listrik, turbin, handphone, laptop, dan banyak teknologi maju lainnya. Logam tanah jarang juga telah menjadi komoditas mineral yang paling dicari saat ini di dunia Industri, terutama setelah Cina memberlakukan kebijakan kontroversial yang memotong ekspor logam tanah jarang pada dunia (Ismawati & Suparno, 2020). Cina saat ini merupakan produsen utama dari LTJ dengan memasok kurang lebih 90% dari kebutuhan dunia. Keterdapatan LTJ pada umumnya berasosiasi sebagai mineral-mineral aksesoris pada batuan berkomposisi granitoids seperti pada *monasit, senotim, allanit, titanit*, dan *zircon* (Setiawan et al., 2023).

Potensi LTJ juga sudah banyak diteliti di Indonesia. Bangka Belitung merupakan daerah yang banyak menjadi target penelitian. Keberadaan Timah yang berasosiasi dengan batuan granitoids merupakan potensi keterdapatan LTJ. Penelitian di Toboali Kabupaten Bangka Selatan menemukan terdapat 5 unsur LTJ yang paling dominan ditemui di wilayah penelitian yaitu *Serium (Ce), Ittrium (Y), Lantanum (La), Neodimium (Nd)* dan *Samarium (Sm)* dengan kadar rata-rata unsur Ce mencapai 61,92 Ppm, Y 34,6 Ppm, La 27,64 Ppm, Nd 27,55 Ppm, dan Sm 2,82 Ppm (Asof et al., 2022).

Selain pada endapan granitoids, keberadaan LTJ juga diteliti pada endapan batubara insitu. Penelitian yang dilakukan di Muara Enim pada endapan batubara yang terintrusi batuan beku andesit menunjukkan keterdapatan LTJ pada batubara yaitu serium (Ce) 6,0153 Ppm, gadolinium (Gd) 0,0309 Ppm, lanthanum (La) 0,1979 Ppm, skandium (Sc) 0,1049 Ppm dan yttrium (Y) 0,3109 Ppm (Puspita et al., 2022). Konsentrasi LTJ pada endapan batubara menunjukkan nilai yang jauh lebih kecil jika dibandingkan pada endapan timah.

Penelitian tentang LTJ juga mengungkap bahwa ada keterdapatan pada abu sisa pembakaran batubara di PLTU berupa *bottom ash* dan *fly ash* (FABA). Hasil penelitian pada FABA PLTU di Kalimantan Timur menunjukkan keterdapatan LTJ pada sampel *bottom ash* dengan konsentrasi Ce (64,2 Ppm), Nd (31,2 Ppm), La (25,4 Ppm), Y (23,3 Ppm) dan Sc (20,1 Ppm) dan pada *fly ash* hanya Ce (22,2 Ppm) (Firman et al., 2020). Konsentrasi LTJ pada FABA menunjukkan potensi yang lebih besar dibandingkan pada endapan batubara insitu.

Penelitian-penelitian tentang potensi LTJ pada endapan batubara baik insitu maupun FABA menunjukkan konsentrasi yang berbeda-beda berdasarkan kondisi geologi yang khas. Penelitan konsentasi LTJ pada umumnya memilih lokasi endapan batubara yang dipengaruhi intrusi dan juga pada batubara dengan kualitas moderat sampai tinggi. Belum ada penelitian yang secara khas menganalisis keterdapan LTJ pada kondisi batubara *Low Quality* di Formasi Muara Enim baik pada endapan insitu maupun pada FABA hasil pembakaran PLTU. Potensi batubara di Sumatera mencakup 52% cadangan Indonesia dengan cadangan sebesar 186 miliar ton dan hampir sebagian besar merupakan batubara peringkat rendah (Afin & Kiono, 2021). Sehingga penelitian tentang potensi keterdapatan LTJ pada endapan batubara peringkat rendah dan FABA hasil pembakarannya cukup menarik dan prospek untuk dikembangkan.

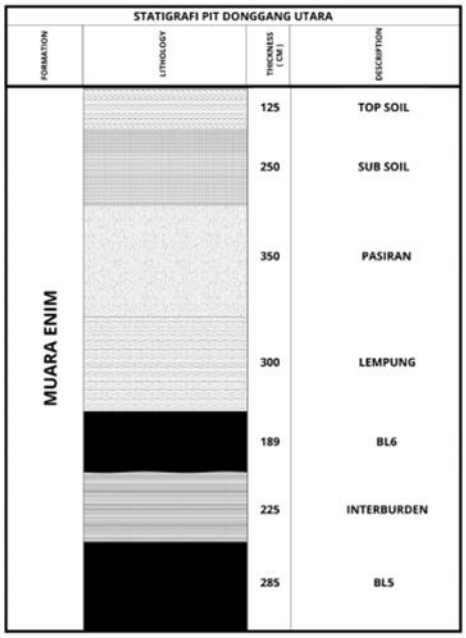
METODE

Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan pada endapan batubara peringkat rendah Formasi Muara Enim yang berada di wilayah Desa Kali Berau, Kecamatan Bayung Lencir, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Secara geografis, lokasi pengambilan sampel batubara berada pada koordinat 2°10′15″ LS dan 103°45′13″ BT. Sementara untuk koordinat sampel FABA pada 2°09′20″ LS dan 103°45′17″ BT yang merupakan PLTU Mulut Tambang. Penelitian difokuskan pada lapisan batubara seam BL6 yang secara stratigrafi berada pada Formasi Muara Enim (Gambar 1).

Sampel batubara insitu diambil sebanyak 6 sampel yang mewakili variasi litologi dan keberadaan parting berupa *bone coal* pada seam BL6. Kemudian dilakukan *coning* dan *quartering* untuk mengambil 1 sampel *composite*. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode grab sampling dan channel sampling, dengan interval pengambilan yang disesuaikan dengan ketebalan lapisan batubara dan posisi *parting*. Strategi sampling yang diterapkan bersifat *systematic sampling*, di mana sampel diambil secara berurutan sepanjang singkapan lapisan batubara untuk merepresentasikan kondisi vertikal dan lateral endapan.

Selain sampel batubara insitu, dilakukan pula pengambilan sampel abu sisa pembakaran batubara berupa fly ash dan bottom ash (FABA) di PLTU mulut tambang Dian Swastika Power (DSSP). Sampel FABA masing-masing diambil sebanyak 3 sampel *fly ash* dan 3 sampel *bottom ash*, sehingga total sampel FABA berjumlah 6 sampel. *Coning* dan *Quartering* juga dilakukan untuk mengambil 1 sampel *composite*. Pengambilan sampel FABA dilakukan menggunakan metode *systematic grab sampling* pada interval waktu operasi yang sama guna meminimalkan variasi akibat fluktuasi proses pembakaran.

Preparasi sampel dilakukan dengan pengecilan ukuran hingga lolos ayakan 200 mesh, sebelum dilakukan analisis geokimia. Analisis laboratorium meliputi uji X-Ray Fluorescence (XRF) untuk menentukan kandungan oksida utama, serta uji Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) di Laboratorium BRIN untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi unsur logam tanah jarang (LTJ).



Gambar 1. Stratigrafi Formasi Muara Enim

HASIL DAN PEMBAHASAN

Batubara yang terdapat di lokasi penelitian terdiri dari 2 *seam* (lapisan) yaitu *seam* BL6 dan *seam* BL5. Pada Seam BL6 terdapat *parting* berupa *Bone Coal* (Gambar-2) yang tersebar secara *spotting* tidak merata. Kualitas BL6 secara umum mempunyai kalori berkisar 3.200-3.400 Kkal/Kg dengan ash content 6-8% dan Total Moisture 45-48%.

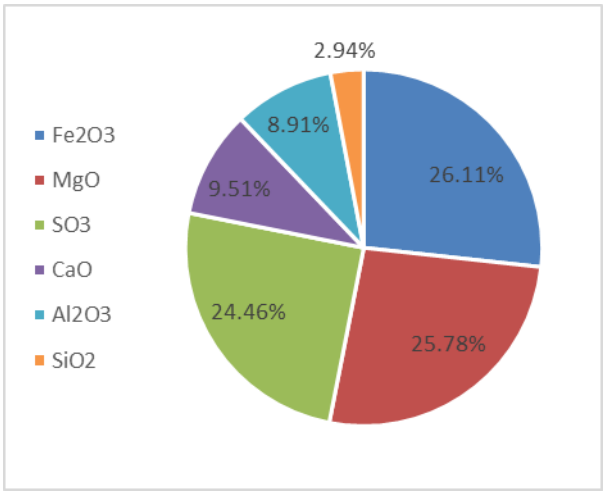


Gambar 2. Parting Bone Coal pada Seam BL6

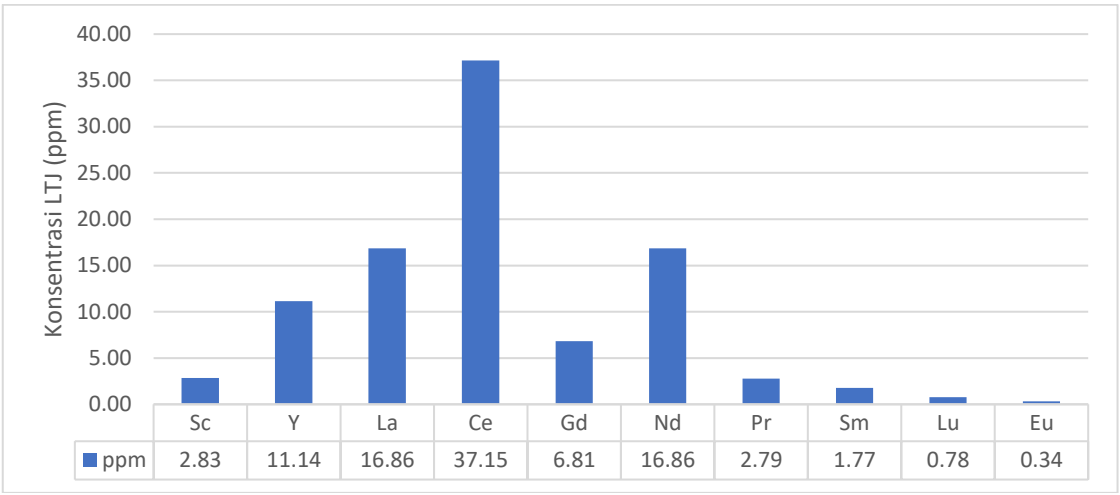
Batubara tersusun oleh komponen organik dan anorganik. Komponen organik merupakan penyusun utama dari batubara yang berasal dari sisa tumbuh-tumbuhan sedangkan komponen anorganik tersusun atas *mineral matter* yang terendapkan sebagai *parting* pada saat pembentukan batubara. Komponen anorganik merupakan pengotor yang biasa disebut komponen *ash* (Annisa et al., 2022). *Bone coal* sebagai *parting* merupakan komponen anorganik yang dapat tersusun dari beberapa *mineral matter*.

Hasil analisis XRF menunjukkan oksida utama penyusun batubara *seam* BL6 pada lokasi penelitian terdiri atas Fe_2O_3, MgO, dan SO_3 seperti pada Gambar-3. Hasil analisis sampel batubara menggunakan ICP OES menunjukkan keterdapatan LTJ pada lapisan batubara seperti pada Gambar-4.

Konsentrasi LTJ pada lapisan batubara *low calorie* tergolong sangat rendah rata-rata dibawah 1 Ppm. Dari 17 unsur-unsur LTJ, hanya 6 unsur dengan konsentrasi diatas 1 Ppm diantaranya Y 3,3 Ppm, Nd 2,88 Ppm, Gd 2,58 Ppm, Sm 2,33 Ppm, dan Ce 2,13 Ppm (Gambar-4). Keterdapatan LTJ pada batubara berasosiasi dengan komponen anorganik dan terkonsentrasi disekitar perlapisan *parting* (Anggara et al., 2019). Hasil ini berbeda terhadap hasil uji sampel batubara yang terkena intrusi di Muara Enim yang menunjukkan angka konsentrasi yang tinggi Ce 61,54 Ppm, Gd 40,9 Ppm, La 48,8 Ppm, Sc 59.02 Ppm, dan Y 59,54 Ppm (Puspita et al., 2022).

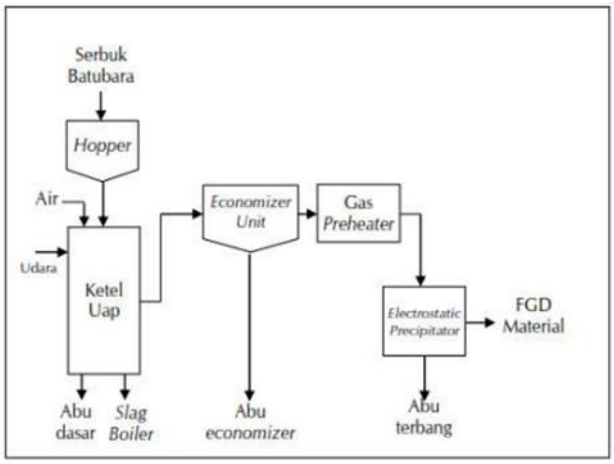


Gambar 3. Kandungan Oksida pada Lapisan Batubara



Gambar 4. Keterdapatan LTJ pada Lapisan Batubara Insitu

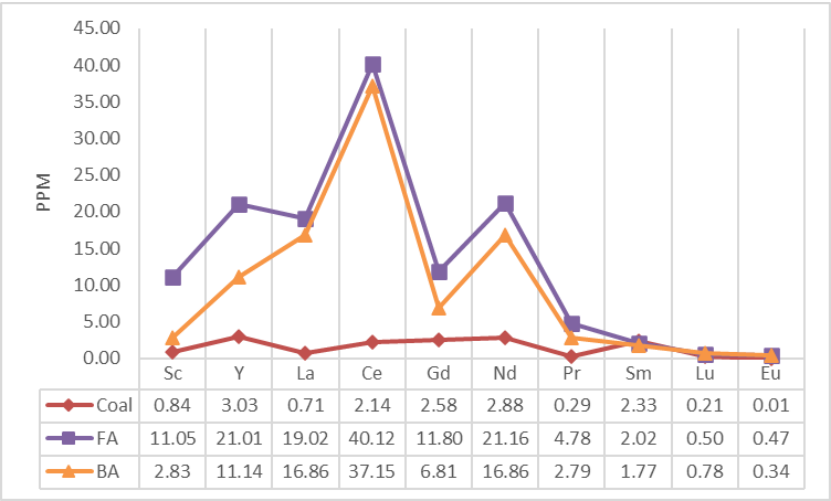
Pembakaran batubara di PLTU menghasilkan panas untuk memanaskan air pada *boiler* sehingga memutar turbin dan menghasilkan listrik. Proses pembakaran batubara menghasilkan kalori berasal dari komponen organik. Sementara komponen anorganik tidak ikut terbakar dan menjadi abu sisa pembakaran (Gambar-5). Abu sisa pembakaran terdiri atas *fly ash* (75%) berupa partikel abu yang terbawa gas buang dan *bottom ash* (25%) yang tertinggal dibawah tungku. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya konsentrasi *mineral matter* pada FABA termasuk pengkayaan unsur-unsur LTJ. Konsentrasi LTJ pada FABA bisa mencapai 10-15 kali dibandingkan pada lapisan batubara (Besari et al., 2022).



Gambar 5. Proses Pembakaran Batubara di PLTU

Hasil analisis memperlihatkan terjadi pengkayaan (*enrichment*) yang sangat signifikan antara konsentrasi LTJ pada sampel *coal* (*insitu deposit*) terhadap sampel FABA (*fly ash* dan *bottom ash*). Pada grafik (Gambar-6) terlihat hampir semua unsur REE mengalami pengkayaan, seperti unsur Sc, Y, La, Ce, Gd, Nd, Pr, Sm, Lu. Namun pengkayaan yang paling signifikan terdapat pada unsur *Ce (Serium), La (Lantanum), Nd (Neodimium)* dan *Y(lttrium)*, sedangkan unsur Lu, dan Eu sangat kecil kelimpahannya pada batubara (*insitu*) dan pada *fly ash* nya.

Gambar-6 juga menunjukkan besarnya konsentrasi pengkayaan LTJ pada FABA. Pengkayaan paling besar terjadi pada unsur Ce dimana pada *Fly Ash* terjadi peningkatan 19 kali menjadi 40,12 Ppm dan pada *Bottom Ash* 17 kali menjadi 37,15 Ppm. Selanjutnya pada La terjadi pengkayaan 27 kali pada *fly ash* menjadi 19,02 Ppm dan 24 kali pada *bottom ash* menjadi 16,86 Ppm. Secara umum pengkayaan terjadi lebih besar pada *fly ash* dibandingkan dengan *bottom ash*.



	Sc	Y	La	Ce	Gd	Nd	Pr	Sm	Lu	Eu
Coal	0.84	3.03	0.71	2.14	2.58	2.88	0.29	2.33	0.21	0.01
FA	11.05	21.01	19.02	40.12	11.80	21.16	4.78	2.02	0.50	0.47
BA	2.83	11.14	16.86	37.15	6.81	16.86	2.79	1.77	0.78	0.34

Gambar 6. Pengkayaan LTJ pada Fly Ash Bottom Ash

Pengkayaan unsur-unsur LTJ pada *fly ash* mempunyai potensi untuk dikembangkan lebih lanjut mengingat hampir 75% hasil pembakaran batubara pada PLTU merupakan komponen *fly ash*. Unsur-unsur LTJ yang mempunyai konsentasi tinggi pada *Fly Ash* diantaranya Ce 40,12 Ppm, Y 21,01 Ppm, Nd 21,16 Ppm, La 19,02 Ppm, Sc 11,05 Ppm dan Gd 11,80 Ppm. Enam unsur tersebut berpotensi untuk dapat di ekstrak lebih lanjut.

Proses pengkayaan konsentrasi unsur LTJ yang signifikan antara batubara *coal deposit* terhadap FABA dipengaruhi oleh proses penguapan beberapa unsur LTJ pada proses pembakaran batubara yang berlangsung dengan temperatur tinggi yang selanjutnya mengalami pengkodensesian setelah bergabung dengan partikel padatan pada *fly ash* dan tertangkap pada *Electroststistic Separator* (Peramaki, 2014).

Klasifikasi LTJ digolongkan menjadi 2, yaitu golongan LTJ ringan / *light rare earth elements* dan LTJ berat/ *heavy rare earth elements*. LTJ ringan terdiri dari unsur Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, dan Eu dan sisanya digolongkan LTJ berat. Hasil penelitian memperlihatkan unsur – unsur yang mengalami kelimpahan didominasi oleh golongan LTJ ringan yang terkonsentrasi pada *fly ash* diakibatkan oleh massa yang lebih ringan (Abbas & Firman, 2020).

Perbandingan kandungan LTJ pada sampel FABA pada daerah penelitian (PT. DSSP, Sumatera Selatan) lebih rendah apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu, yang mana sampel FABA diambil dari PLTU Ombilin dengan konsentrasi unsur LTJ pada fly ash Ce 71 Ppm, Y 40 Ppm, La 28 Ppm, dan Nd 28 Ppm (Suganal et al., 2018). Terjadi pengkayaan yang lebih besar dipandingkan dengan lokasi penelitian walaupun tidak signifikan.

Dibandingkan dengan konsentrasi kelimpahan unsur LTJ di sampel FABA pada negara Amerika Serikat, China, Meksiko, Spanyol, dan Rusia. Konsentrasi dan Pengkayaan LTJ pada FABA lokasi penelitian (Sumatera Selatan) tergolong sangat rendah. Pada negara negara tersebut terdapat pengkayaan LTJ yang sangat signifikan antara sampel FABA terhadap sampel batubara insitu (Ce 468 m/kg dari 20,9), La (259,85 dari 9), Y (408,34 dari 8,18), Nd (236,02 dari 8,48) (Ahn et al., 2015). Walaupun konsentrasi LTJ di Indonesia jauh lebih rendah dibandingkan dengan kelimpahan pada FABA dari negara lain, tetapi produksi FABA sebagai *by product* dari PLTU masih sangat besar dan masih sangat prospektif untuk dikembangkan di masa yang akan datang. Maka dari itu perlu dikaji dari aspek teknologi ekstraktif dan kajian ekonominya

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa batubara peringkat rendah Formasi Muara Enim pada kondisi insitu memiliki kandungan logam tanah jarang (LTJ) yang relatif rendah dan didominasi oleh asosiasi dengan komponen anorganik, sebagaimana tercermin dari dominasi oksida Fe_2O_3, MgO, dan SO_3. Namun, proses pembakaran batubara di PLTU menyebabkan terjadinya pemusatan unsur-unsur LTJ secara signifikan pada residu abu pembakaran (FABA), khususnya pada fraksi fly ash. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pembakaran batubara berperan sebagai mekanisme alamiah yang meningkatkan konsentrasi LTJ melalui eliminasi komponen organik dan pemusatan mineral matter yang bersifat non-volatil.

Secara praktis, temuan ini menegaskan bahwa fly ash dari PLTU mulut tambang berpotensi dikembangkan sebagai sumber alternatif LTJ, terutama untuk unsur-unsur dominan seperti Ce dan La, meskipun berasal dari batubara peringkat rendah. Dengan volume produksi fly ash yang besar dan bersifat kontinu, FABA berpeluang menjadi bahan baku sekunder yang lebih prospektif dibandingkan endapan batubara insitu. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan data awal (baseline) mengenai karakter dan tingkat pengkayaan LTJ pada batubara peringkat rendah Formasi Muara Enim serta produk samping pembakarannya, yang sebelumnya masih sangat terbatas. Hasil ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang berfokus pada karakterisasi mineralogi mikroskopis, evaluasi teknologi ekstraksi, dan kajian keekonomian pemanfaatan LTJ dari FABA di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, S. H., & Firman, F. (2020). Analisis Potensi Logam Tanah Jarang Abu Batubara Limbah Pltu Mulut Tambang Pt. Wanatiara Persada Kawasi Obi. *Journal Of Science and Engineering*, *3*(2).

Afin, A. P., & Kiono, B. F. T. (2021). Potensi Energi Batubara serta Pemanfaatan dan Teknologinya di Indonesia Tahun 2020 – 2050 : Gasifikasi Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *2*(2), 144–122.

Ahn, J. W., Thriveni T., T., & Jegal, Y. (2015). Occurence and Distribution rare earths with different coal power plants ash and recovery of critical rare earth from coal ash for simultaneous utilization of CO2. *2015 World Coal Ash Conference in Nasvhille*, 1–14.

Anggara, F., Cikasimi, M., Rahmat, B., Wibisono, S. A., & Susilawati, R. (2019). Karakteristik Dan Genesa Pengayaan Unsur-Unsur Tanah Jarang Pada Batubara Lapangan Batubara Muara Tiga Besar Utara, Tanjung Enim, Cekungan Sumatera Selatan. *Buletin Sumber Daya Geologi*, *14*(3), 198–212.

Annisa, A., Dwiatmoko, M. U., Saismana, U., Gultom, N. P., & Antoni, V. (2022). Studi Karakteristik Batubara terhadap Lingkungan Pengendapan Batubara pada Formasi Tanjung Kalimantan Selatan. *Jurnal GEOSAPTA*, *8*(2), 159.

Asof, M., Pebrianto, R., & Harsiga, E. (2022). Potensi Logam Tanah Jarang Wilayah Toboali Bangka Selatan. *Promine Journal*, *10*(1), 30–36.

Besari, D. A. A., Anggara, F., Rosita, W., & Petrus, H. T. B. M. (2022). Characterization and mode of occurrence of rare earth elements and yttrium in fly and bottom ash from coal-fired power plants in Java, Indonesia. *International Journal of Coal Science and Technology*, *9*(1).

Firman, F., Haya, A., & Sahidi, A. A. (2020). Analisis Kandungan Logam Tanah Jarang pada Abu Batubara PLTU Mulut Tambang. *JURNAL GEOMining Teknik Pertambangan Unkhair*, *1*(1), 18–24.

Ismawati, L., & Suparno, F. A. D. (2020). Logam Tanah Jarang, Kedaulatan dan Keamanan Nasional. *Prosiding Temu Profesi Tahunan XXIX PERHAPI 2020*, *71*(71), 765–772.

Peramaki, S. (2014). *Method development for determination and recovery of rare earth elements from industrial fly ash*. University of Jyvaskyla.

Puspita, M., AR, A., & Zahar, W. (2022). Identifikasi Keterdapatan Unsur Logam Tanah Jarang dalam Lapisan Batubara di PT Prima Mulia Sarana Sejahtera Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. *COMSERVA Indonesian Jurnal of Community Services and Development*, *1*(9), 657–666.

Setiawan, R., Aritonang, S., & Juhana, R. (2023). Penerapan Unsur Tanah Jarang pada Struktur Rangka Persenjataan Militer (Kasus Struktur Rangka F-35 Lightning II). *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, *6*(1), 8–17.

Suganal, S., Umar, D. F., & Mamby, H. E. (2018). Identifikasi keterdapatan unsur logam tanah jarang dalam abu batubara Pusat Listrik Tenaga Uap Ombilin, Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, *14*(2), 111–125.