

POTENSI LOGAM TANAH JARANG DI DALAM ABU BATUBARA

POTENTIAL OF RARE EARTH METALS IN COAL ASH

Diana Purbasari^{1*}, Rosihan Pebrianto¹, Edwin Harsiga²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

²Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

* Korespondensi E-mail: dianapurbasari@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang masih digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Semakin besarnya kebutuhan energi listrik membuat semakin banyak pula kebutuhan batubara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar PLTU. Pembakaran PLTU menghasilkan sisa pembakaran berupa abu terbang dan abu padat. Abu terbang memiliki tingkat permasalahan tersendiri dibandingkan abu padat. Isu pencemaran udara, sumber penyakit dan polutan radioaktif adalah dampak negatif dari abu terbang sisa pembakaran batubara. Abu batubara terbentuk dari senyawa-senyawa yang tidak ikut terbakar dalam proses pembakaran batubara termasuk didalamnya adanya unsur logam tanah jarang (LTJ). LTJ ini merupakan unsur berharga yang dalam kadar tertentu dapat diolah menjadi barang berharga. Pemisahan LTJ pada batubara dapat mengurangi kadar abu dan meningkatkan kualitas batubara, sehingga perlu diketahui potensi LTJ yang terdapat dalam abu batubara. Sampel batubara yang diuji adalah batubara PT Bukit Asam Unit Penambangan Tanjung Enim. Identifikasi unsur LTJ pada abu di PLTU menggunakan analisis XRD, ICP dan SEM. Terdapat unsur Sesium (Ce) 55,3 ppm pada abu terbang dan 22,6 ppm pada abu dasar, unsur itrium (Y) 36 ppm pada abu terbang dan 10,7 ppm pada abu dasar, unsur Lantanum (La) 27,3 ppm pada abu terbang dan 10,5 ppm pada abu dasar. Neodimium (Nd) 26,1 ppm pada abu terbang dan 6,9 ppm pada abu dasar. Terakhir terdapat unsur Samarium (Sm) 1,4 ppm pada abu terbang dan 0,7 ppm pada abu dasar. Terdapat potensi LTJ yang cukup menjanjikan pada abu batubara, akan tetapi untuk kadar dibawah 500 ppm masih belum layak untuk dikelola sehingga perlu dilakukan pengayaan LTJ terlebih dahulu.

Kata kunci: Potensi, Logam Tanah Jarang, Abu, Batubara

Abstract

Coal is a fossil fuel that is still used as fuel for Steam Power Plants (PLTU). The greater the demand for electrical energy, the greater the need for coal to meet the fuel needs of the PLTU. The combustion of PLTU produces combustion residue in the form of fly ash and solid ash. Fly ash has its own problem level compared to solid ash. The issue of air pollution, sources of disease and radioactive pollutants are the negative impacts of fly ash left over from burning coal. Coal ash is formed from compounds that do not burn in the coal combustion process including the presence of rare earth metals (LTJ). LTJ is a valuable element which in certain levels can be processed into valuable goods. Separation of LTJ in coal can reduce the ash content and improve the quality of coal, so it is necessary to know the potential of LTJ contained in coal ash. The coal sample tested was coal from PT Bukit Asam Tanjung Enim Mining Unit. Identification of LTJ elements in the ash at the PLTU using XRD, ICP and SEM analysis. There is element Cerium (Ce) 55.3 ppm in fly ash and 22.6 ppm in bottom ash, element yttrium (Y) 36 ppm in fly ash and 10.7 ppm in bottom ash, element Lanthanum (La) 27.3 ppm on fly ash and 10.5 ppm on bottom ash. Neodymium (Nd) 26.1 ppm in fly ash and 6.9 ppm in bottom ash. Finally, there is an element of Samarium (Sm) 1.4 ppm in fly ash and 0.7 ppm in bottom ash. There is a promising potential for rare earths in coal ash, but for levels below 500 ppm it is still not feasible to manage, so it is necessary to enrich the rare earths first.

Keywords: Potential, Rare Earth Metal, Ash, Coal

1. Pendahuluan

Logam tanah jarang (LTJ) adalah kumpulan 17 unsur kimia pada tabel periodik, terutama 15 lantanida ditambah skandium dan itrium. Walaupun disebut unsur tanah jarang, sebenarnya unsur ini mudah ditemui dan tersebar di permukaan bumi dengan berasosiasi

dengan mineral-mineral tertentu. LTJ ini banyak dijumpai sebagai mineral ikutan dalam penambangan Timah (Purbasari dkk, 2019)

Batubara merupakan salah satu sumber energi fosil yang masih menjadi primadona sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Semakin hari jumlah PLTU semakin banyak sebagai upaya pemenuhan energi listrik

di Indonesia. Semakin banyak PLTU maka semakin banyak pula kebutuhan Batubara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan PLTU tersebut. Pada saat pembakaran batubara di PLTU terdapat sisa dari pembakaran tersebut yaitu berupa abu batubara yang tersimpan di dalam ruang pembakaran.

Batubara digunakan sebagai bahan bakar di PLTU. Batubara dibakar untuk menguapkan uap air sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan energi listrik. Dalam pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar ini tidak lepas dari permasalahan yang menyertainya seperti isu lingkungan. Batubara yang dibakar memiliki sisa berupa abu dan abu ini terbagi menjadi 2 jenis yaitu abu padat dan abu terbang.

Abu terbang banyak dipermasalahkan karena dapat menimbulkan berbagai macam penyakit bagi manusia ditambah lagi dengan adanya polutan radioaktif (Ida N. Finahari et al, 2007). Peningkatan penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA) juga dapat disebabkan oleh debu dari pembakaran batubara (Halulunga dkk, 2021).

Abu batubara ini merupakan unsur yang tidak ikut terbakar dalam proses pembakaran batubara karena terdiri dari unsur SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O , dan LOI . Terdapat 2 jenis abu sisa dari pembakaran batubara yaitu abu padat dan abu terbang. Logam tanah jarang banyak terdapat pada abu terbang dibandingkan dengan abu padat. Abu terbang dari PLTU berbahan bakar batubara berkisar 74% dari total abu batubara (Vulcan, 2014).

Abu terbang dari pembakaran batubara telah banyak digunakan sebagai bahan pembuatan beton, bahan baku semen, penetral air asam tambang, bahan kontruksi dan absorber yang digunakan dalam bentuk zeolit sintetik. Penambahan abu sebanyak 18% dari komposisi mineral menunjukkan tidak adanya pengaruh kenaikan kandungan unsur kelumit logam pada aliran air dari timbunan material (Kusuma dkk, 2012).

Indonesia sebagai salah satu Negara penghasil batubara terbesar di dunia dan sebagian besar batubara domestik digunakan untuk PLTU tentu memiliki potensi untuk memanfaatkan LTJ dari sisa pembakaran batubara tersebut. Kebutuhan batubara domestik untuk PLTU mencapai 82 juta ton pertahun bahkan dapat meningkat hingga 100 juta ton pertahun apabila program 35.000 Mega Watt terealisasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kandungan LTJ yang terdapat di dalam batubara. Menurut Puspita dkk (2022) terdapat LTJ dalam batubara seperti Serium (Ce),

Gadolinium (Gd) Lanthanum (La), Skandium (Sc) dan Yttrium (Y). LTJ juga diketahui keterdapatannya pada batubara dan abu batubara. Menurut Seredin dkk (2012) menyebutkan bahwa endapan batubara dunia memiliki kandungan LTJ tinggi. Pada batubara LTJ dapat dijumpai dalam *mineral matter* maupun pada abu sisa dari pembakaran batubara pada PLTU. Menurut Firman dkk (2020) LTJ yang potensial untuk diekstraksi dari *bottom ash* adalah Ce (64,2 ppm), Nd (31,2 ppm), La (25,4 ppm), Y (23,3 ppm) dan Sc (20,1 ppm) sedangkan dari sampel *fly ash* hanya Ce (22,2 ppm).

Seredin dan Dai (2012) menyatakan bahwa kadar LTJ rata-rata dalam abu terbang batubara dunia sebesar 404 ppm sedangkan Blissett et al (2014) menyatakan sebesar 445 ppm. Beberapa penyelidikan menunjukkan bahwa abu sisa pembakaran batubara dapat mengandung LTJ dengan konsentrasi tinggi (Seredin dan Dai, 2012; Tambaria dkk, 2017) bahkan bisa mencapai 10 kali lebih besar dibandingkan di dalam batubara itu sendiri (Seredin dan Finkelman, 2008).

Pemanfaatan LTJ dalam abu terbang batubara secara umum memiliki beberapa keuntungan diantaranya meningkatkan nilai tambah batubara karena memanfaatkan mineral sisa pembakaran batubara. Di Indonesia penggunaan batubara sebagai salah satu sumber energi utama pembangkit tenaga listrik akan menghasilkan abu sisa hasil pembakaran yang juga signifikan jumlahnya sehingga berpotensi menghasilkan LTJ yang layak untuk dikembangkan (Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, 2019).

Dengan diketahuinya kandungan LTJ dalam batubara sangat mungkin dilakukan pengolahan terlebih dahulu untuk memisahkan LTJ dari batubara. Terpisahannya LTJ dari batubara selain mengurangi kadar abu batubara juga dapat meningkatkan kualitas batubara itu sendiri.

2. Metode

Batubara yang diidentifikasi adalah batubara yang terdapat di PT. Bukit Asam (PTBA) Unit Penambangan Tanjung Enim. PTBA terletak di Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan dengan jarak sekitar 200 Km dari Kota Palembang bisa dilalui dengan melalui jalur darat sekitar 4 sampai 5 jam perjalanan (Gambar 1).

Pemilihan sampel batubara PTBA untuk dilakukan pengujian dikarenakan Perusahaan ini merupakan produsen terbesar batubara di pulau Sumatera. Batubara dari sini tidak hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik khususnya PLTU namun juga untuk diekspor ke luar negeri.

Jumlah sampel batubara yang diambil sebanyak 10 sampel yaitu 2 sampel dari Tambang Air Laya (TAL), 2 sampel dari Tambang Bangko Barat, 2 sampel dari Tambang Muara Tiga Besar Utara, 2 sampel dari Tambang Muara Tiga Besar Selatan dan 2 sampel dari Tambang Town Site Base Camp (TSBC).

Secara litologi lapisan batubara dari semua tambang yang dimiliki PT Bukit Asam Unit Penambangan Tanjung Enim berada pada fase atau umur pengendapan yang sama (Formasi Muara Enim). Sehingga untuk mengetahui kesamaan kandungan yang ada di dalam batubara tersebut perlu dilakukan pengambilan sampel pada setiap lokasi tambang.

Sampel batubara diambil sebanyak 1 kg untuk setiap sampelnya dan dimasukkan kedalam kantong plastik bening, diikat dan diberi label atau nomor serta lokasi pengambilan sampel. Kemudian sampel-sampel ini dikirim ke laboratorium untuk mengetahui kandungan mineral yang ada didalamnya.

Tahapan awal dari analisis batubara ini adalah dengan melakukan pembakaran sampel batubara di dalam oven. Setelah pembakaran batubara selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pendinginan abu batubara. Kemudian abu batubara tersebut mulai dilakukan tahapan pengujian laboratorium.

Sampel batubara dianalisis di laboratorium menggunakan X-RD (X-ray Diffraction), XRF, Scanning Electron Microscope (SEM) dan Inductively Coupled Plasma (ICP). Kemudian abu akan dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).

Identifikasi unsur LTJ pada abu di PLTU menggunakan analisis XRD, ICP dan SEM telah dilakukan oleh Franus dkk (2015) dan Suginal dkk (2018).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari analisis XRF terhadap batubara yang diambil dari PT. Bukit Asam terdapat 10 senyawa yang paling dominan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Abu Batubara

No.	Senyawa	Komposisi (%)	
		Abu Terbang	Abu Dasar
1.	SiO ₂	53,9	38,5
2.	Al ₂ O ₃	32,2	16,4
3.	Fe ₂ O ₃	3,2	4,45
4.	MnO	0,022	0,05
5.	MgO	0,85	4,06
6.	CaO	1,56	0,23
7.	Na ₂ O	0,15	2,01
8.	K ₂ O	4,36	0,40
9.	TiO ₂	0,3	0,44
10.	P ₂ O ₅	0,045	0,07

Jika dilihat dari tabel tersebut diketahui bahwa senyawa yang paling dominan dari abu batubara (berurutan dari besar ke kecil) dengan kadar diatas 10% adalah SiO₂ dan Al₂O₃.

Keterdapatan 5 unsur LTJ dalam abu batubara PTBA yaitu Serium (Ce), Ittrium (Y), Lantanum (La), Neodimium (Nd) dan Samarium (Sm). Hampir kelima unsur ini dijumpai pada abu terbang dan abu dasar seperti yang terlihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2 menunjukkan komposisi LTJ yang terdapat dalam abu terbang batubara. Kandungan serium (Ce) tertinggi dijumpai di batubara yang berasal dari Tambang Air Laya (TAL). Kedua sampel menunjukkan kehadiran Ce sebesar 75 dan 76 ppm. Ittrium (Y) memiliki kadar 45 dan 47 ppm. Lantanum (La) 35 dan 30 ppm. Neodimium (Nd) 32 dan 33 ppm. Samarium (Sm) 5 dan 6 ppm.

Batubara yang berasal dari Bangko Barat memiliki kadar LTJ yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara yang berasal dari TAL. Komposisi Ce 57 dan 49 ppm, Y 39 dan 26 ppm, La 25 dan 23 ppm, Nd 23 dan 25 ppm, Sm 1 ppm.

Batubara yang berasal dari Muara Tiga Besar Utara (MTBU) memiliki kandungan LTJ Ce 55 dan 45 ppm, Y 36 dan 30 ppm, La 20 dan 24 ppm, Nd 26 ppm dan Sm 1 ppm. Untuk batubara yang berasal dari Muara Tiga Besar Selatan (MTBS) memiliki kandungan LTJ Ce 39 dan 54 ppm, Y 29 dan 34 ppm, La 22 dan 30 ppm, Nd 27 dan 24 ppm, dan Sm tidak ada. Batubara yang berasal dari Tambang Town Site Base Camp (TSBC) memiliki kadar LTJ Ce 51 dan 52 ppm, Y 36 dan 38 ppm, La 33 dan 31 ppm, Nd 23 dan 22 ppm, dan Sm 1 ppm.

Jika dirata-ratakan kandungan LTJ pada abu terbang di 10 sampel yang diambil dari 5 lokasi tambang batubara milik PTBA diketahui memiliki kandungan Ce 55,3 ppm, Y 36 ppm, 27,3 ppm, Nd 26,1 ppm dan Sm 1,4 ppm.

Tabel 3 menunjukkan komposisi LTJ yang terdapat didalam abu dasar batubara. Sama seperti kadar LTJ di abu terbang, kehadiran Ce cukup dominan dibandingkan 4 unsur lainnya. Namun kadar LTJ yang terdapat pada abu dasar lebih sedikit dibandingkan dengan kadar LTJ yang terdapat pada abu terbang.

Batubara yang berasal dari TAL memiliki kadar Ce 30 dan 32 ppm, Y 9 dan 10 ppm, La 10 dan 11 ppm, Nd 13 dan 11 ppm dan Sm 1 ppm. Batubara yang berasal dari Bangko Barat memiliki kadar Ce 25 dan 20 ppm, Y 7 dan 8 ppm, La 7 dan 6 ppm, Nd 4 dan 3 ppm, dan Sm 1 ppm. Batubara yang berasal dari MTBU memiliki kadar Ce 15 dan 16 ppm, Y 12 ppm, La 11 dan 14 ppm,

Nd 1 dan 2 ppm, dan Sm 1 ppm. Batubara yang berasal dari MTBS memiliki kadar Ce 20 dan 29 ppm, Y 14 dan 11 ppm, La 11 dan 12 ppm, Nd 7 dan 9 ppm, dan Sm 1 ppm. Batubara yang

berasal dari TSBC memiliki kadar Ce 20 dan 19 ppm, Y 12 dan 11 ppm, La 11 dan 12 ppm, Nd 9 dan 10 ppm, dan Sm 1 ppm.

Tabel 2. Komposisi logam tanah jarang pada abu terbang

No.	Asal Sampel	Logam Tanah Jarang Pada Abu Terbang (ppm)				
		Serium (Ce)	Ittrium (Y)	Lantanum (La)	Neodium (Nd)	Samarium (Sm)
1	Tambang Air Laya	75	45	35	32	5
2	Tambang Air Laya	76	47	30	33	6
3	Bangko Barat	57	39	25	23	1
4	Bangko Barat	49	26	23	25	0
5	Muara Tiga Besar Utara	55	36	20	26	0
6	Muara Tiga Besar Utara	45	30	24	26	1
7	Muara Tiga Besar Selatan	39	29	22	27	0
8	Muara Tiga Besar Selatan	54	34	30	24	0
9	Town Site Base Camp	51	36	33	23	0
10	Town Site Base Camp	52	38	31	22	1
	Rata-rata	55,3	36	27,3	26,1	1,4

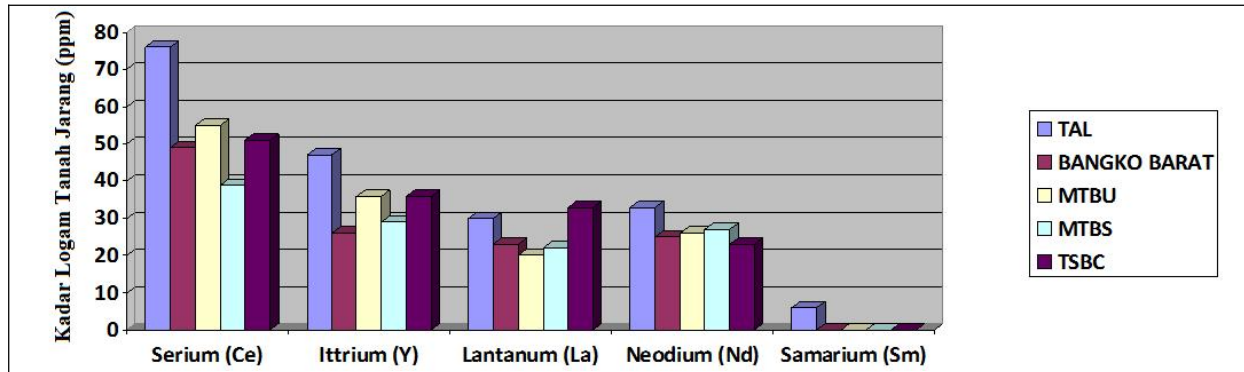
Tabel 3. Komposisi logam tanah jarang pada abu dasar

No.	Asal Sampel	Logam Tanah Jarang Pada Abu Dasar (ppm)				
		Serium (Ce)	Ittrium (Y)	Lantanum (La)	Neodium (Nd)	Samarium (Sm)
1	Tambang Air Laya	30	9	10	13	1
2	Tambang Air Laya	32	11	11	11	0
3	Bangko Barat	25	7	7	4	1
4	Bangko Barat	20	8	6	3	1
5	Muara Tiga Besar Utara	15	12	11	1	1
6	Muara Tiga Besar Utara	16	12	14	2	0
7	Muara Tiga Besar Selatan	20	14	11	7	1
8	Muara Tiga Besar Selatan	29	11	12	9	1
9	Town Site Base Camp	20	12	11	9	0
10	Town Site Base Camp	19	11	12	10	1
	Rata-rata	22,6	10,7	10,5	6,9	0,7

Rata-rata kandungan LTJ pada abu dasar batubara adalah Ce 22,6 ppm, Y 10,7 ppm, La 10,5 ppm, Nd 6,9 ppm dan Sm 0,7 ppm. Kandungan LTJ rata-rata abu dasar juga lebih kecil dibandingkan dengan kandungan LTJ pada abu terbang.

Jika diamati secara seksama pada gambar 2 terdapat kandungan LTJ pada abu terbang yang cukup tinggi untuk batubara yang berasal dari TAL. Hal ini dimungkinkan akibat dari proses

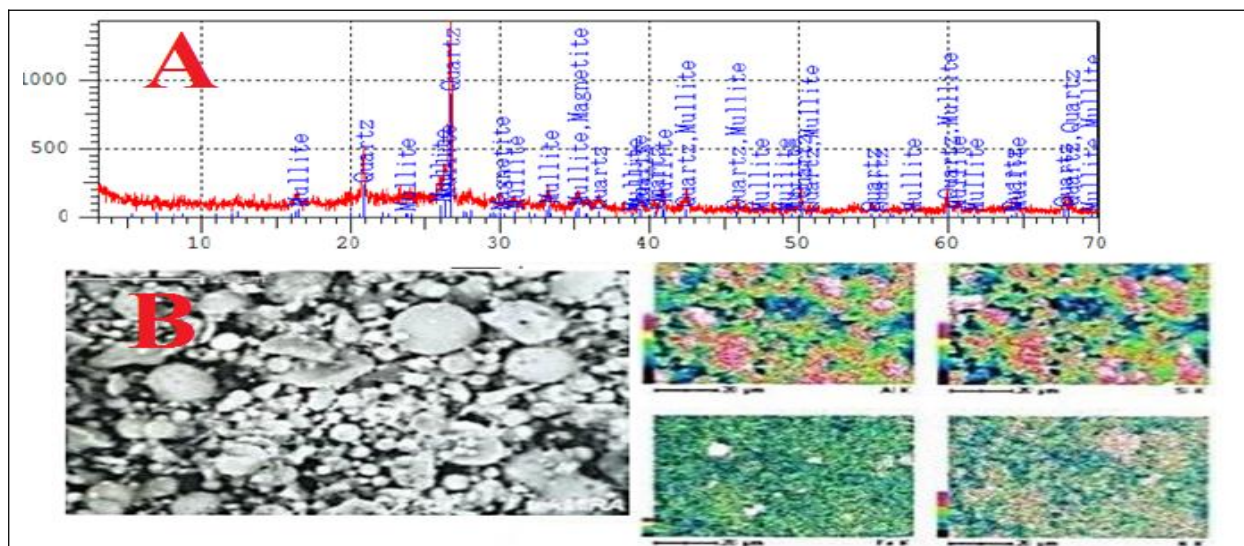
magmatik yaitu intrusi andesit yang menerobos lapisan batubara di wilayah tambang PT Bukit Asam Tanjung Enim khususnya di area TAL. Adanya aktivitas magmatik ini, selain meningkatkan kualitas batubara, hal ini juga membuat kandungan LTJ di dalam batubara ikut meningkat. Melihat dari unsur LTJ yang ditemui pada abu batubara tersebut bisa diketahui mineral LTJ pada batubara adalah mineral monasit (Ce, La, Y, Th) fosfat.



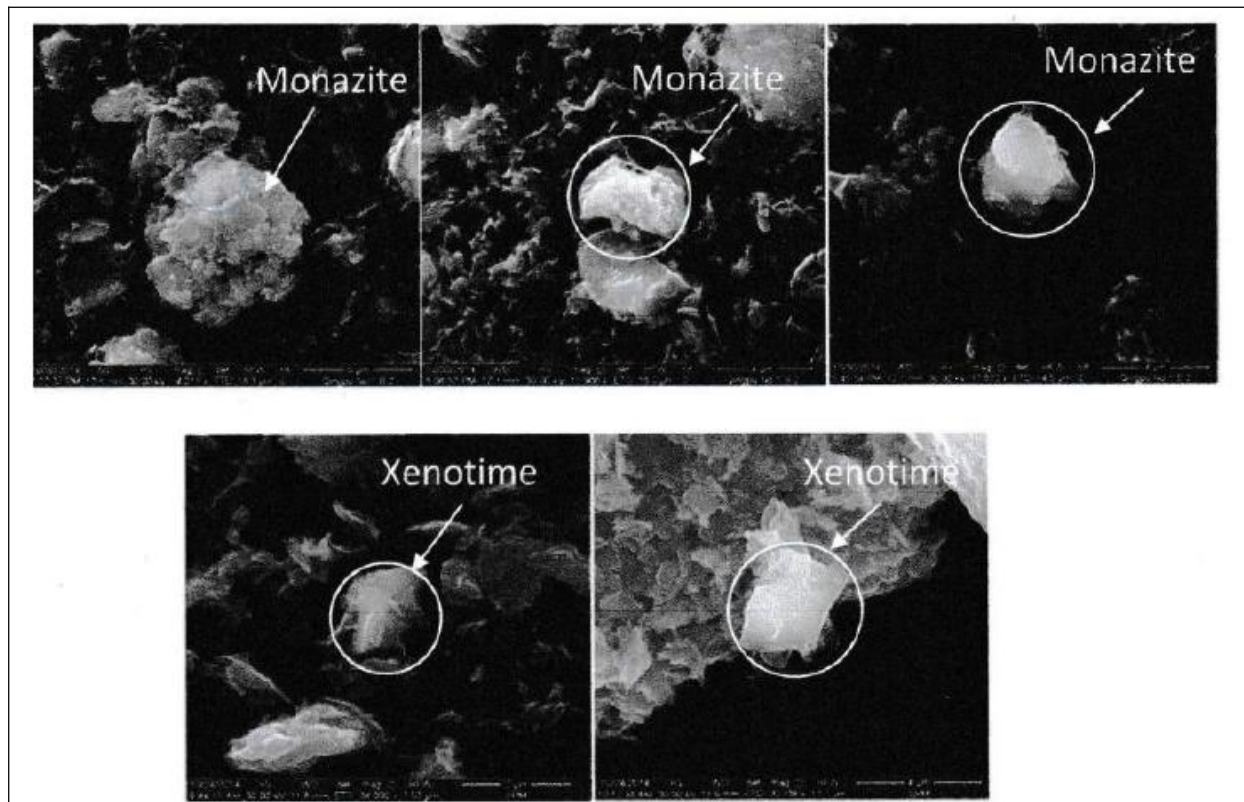
Gambar 2. Kadar logam tanah jarang pada 5 sampel batubara PT Bukit Asam

Hasil analisis XRD pada abu terbang dapat dilihat pada gambar 3. Dari gambar tersebut hanya terdapat mineral kuarsa (silikon oksida), alumina silikat dan magnetit (oksida besi). Abu terbang dari PLTU di Brasilia mempunyai komposisi mineral relatif sama yang terdiri dari kuarsa dan alumina silika serta maghemit (Silva dkk, 2010). Analisis XRD dan SEM EDS

(Scanning Electron Microscope Energy Dispersive Spectroscopy) belum menunjukkan mineral pembawa logam tanah jarang sehingga perlu dilakukan analisis SEM EDS seperti yang pernah dilakukan oleh Zhang dkk (2015) pada penelitian abu batubara Hazard 4 seam di United Kingdom sehingga monazite terdeteksi dengan jelas seperti pada gambar 4.



Gambar 3. Hasil XRD (A) dan SEM EDS (B) pada abu terbang batubara (Suginal dkk, 2018)



Gambar 4. Mineral Pembawa Logam Tanah Jarang (Zhang dkk, 2015)

Dari hasil analisis kadar logam tanah jarang yang terdapat dalam abu batubara masih tergolong kecil seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 dan 3. Akan tetapi dengan banyaknya PLTU yang tersebar di wilayah Indonesia mungkin LTJ yang terdapat dalam abu terbang dapat dipertimbangkan untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut. Selain sebagai untuk mendapatkan nilai tambah dari pemanfaatan batubara, hal ini juga berpotensi untuk memanfaatkan LTJ itu sendiri serta meminimalisir isu lingkungan dari efek pembakaran batubara. (Umar dkk, 2012) menyebutkan bahwa batubara Indonesia umumnya memiliki kadar abu antara 2 – 10%. Kadar LTJ dalam abu batubara yang layak untuk diolah minimal 500 ppm (Hower dkk. 2013).

Berdasarkan dari analisis contoh batubara yang dilakukan di penelitian ini kandungan LTJ dibawah 500 ppm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengelolaan LTJ dari abu terbang sisa pembakaran batubara belum layak untuk

dilakukan pengolahan. Akan tetapi jika batubara yang digunakan untuk PLTU dilakukan pengolahan terlebih dahulu untuk membuang senyawa dominan seperti silika dan alumina maka kadar LTJ dalam batubara dapat meningkat sehingga sangat mungkin LTJ di dalam abu batubara menjadi layak untuk diekstrak.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan laboratorium sampel batubara dari PTBA memiliki kandungan logam tanah jarang Ce, Y, La, Nd, dan Sm. Namun kadar LTJ pada batubara tersebut masih dibawah 500 ppm, sehingga belum layak untuk dilakukan pengolahan. Pengayaan LTJ bisa menjadi pilihan sebagai upaya peningkatan nilai tambah penggunaan batubara. Walaupun kadar LTJ masih tergolong rendah, diharapkan penanganan abu terbang tetap menjadi perhatian untuk mencegah timbulnya permasalahan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Perlu dilakukan penelitian lanjutan agar tingkat keyakinan menjadi lebih tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] Blissett, R. S., Smalley, N., & Rowson, N. A. (2014). An investigation into six coal fly ashes from the United Kingdom and Poland to evaluate rare earth element content. *Fuel*, 119, 236-239.
- [2] Firman, F., Haya, A., & Sahidi, A. A. (2020). Identifikasi Kandungan Logam Tanah Jarang pada Abu Batubara PLTU Mulut Tambang. *Jurnal GEOMining*, 1(1), 18-24.
- [3] Franus, W., Wiatros-Motyka, M. M. and Wdowin, M. (2015) "Coal fly ash as a resource for rare earth elements," *Environmental Science and Pollution Research*, 22(12), pp. 9464–9474.
- [4] Halulanga, A. J., Rosdiana, R., Adami, A. (2021). Uji Kandungan Gas Sulfur Dioksida (SO₂) pada Udara Ambien Akibat Adanya Pembakaran Batubara PLTU Nii Tanasa Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teluk* Vol.1 No.2 Hal.05-10. Daulay, B. (2012) "Perkembangan industri batubara Indonesia," in Daulay, B., Umar, D. F., Suprpto, S., Ningrum, N. S., and Huda, M. (eds.) *Teknologi Pemanfaatan Batubara Indonesia*. Bandung: Puslitbang tekMIRA, pp. 13–31.
- [5] Hower, J. C., Groppo, J. G., Joshi, P., Dai, S., Moecher, D. P., & Johnston, M. N. (2013). Location of cerium in coal-combustion fly ashes: implications for recovery of lanthanides. *Coal Combustion and Gasification Products*, 5(4), 73-78.
- [6] Ida, N. F., Djati H. S., Susiati, H. (2007). Gas CO₂ dan Polutan Radioaktif Dari PLTU Batubara. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 9(1), 1-8.
- [7] Kusuma, G. J., Shimada, H., Sasaoka, T., Matsui, K., Nugraha, C., S. Gautama, R. and Sulistianto, B. (2012) "An evaluation on the physical and chemical composition of coal combustion ash and its co-placement with coal-mine waste rock," *Journal of Environmental Protection*, 03(07), pp. 589–596.
- [8] Purbasari, D., & Pebrianto, R. (2019). Studi Potensi Penambangan Zirkon Sebagai Mineral Ikutan Dari Pengolahan Timah Kepulauan Bangka. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 790-792.
- [9] Puspita, M., Arsyad A. R., Zahar, W. (2022). Identifikasi Keterdapatan Unsur Logam Tanah Jarang Dalam Lapisan Batubara di PT Prima Mulia Sarana Sejahtera Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat: Comserva*, 1(9), 657-666.
- [10] Seredin, V., Finkelman R. (2008). Metalliferous Coals: A Review of The Main Genetic and Geochemical Types. *International Journal of Coal Geology*.
- [11] Seredin, V., Dai, S. (2012). Coal Deposites as Potential Alternative Sources for Lanthanides and Yttrium. *International Journal Of Coal Geology*: Vol 94 Page 67-93.
- [12] Silva, L., Ward, C., Hower, J., Izquierdo, M., Waanders, F., Oliveira, M., Li, Z., Hatch, R. and Querol, X. (2010) "Mineralogy and leaching characteristics of coal ash from a major Brazilian power plant," *Coal Combustion and Gasification Products*, 2(1), pp. 51–65.
- [13] Suginal, Datin F. Umar dan Hasudungan E. Mamby. (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.
- [14] Tambaria T., Amijaya H., Anggara F. (2017). Intrusion Effect to Rare Earth Elements Enrichment on Coal in Air Laya Area, South Sumatera. *International Symposium on Earth Science and Technology 2017* Page 684 – 689.
- [15] Umar, D. F., Santoso, B., & Daulay, B. (2012). Susceptibility to spontaneous combustion of some Indonesian coals. *Indonesian Mining Journal*, 15(2), 100-109.
- [16] Vulcan, T. (2014). Cracking The Rare Earth Code In Coal Combustion Products, ETF.com. Available at: <http://www.etf.com/sections/features-and-news/5591-cracking-the-rare-earth-code-in-coal-combustion-products?nopaging=1> (Accessed: April 28, 2016).
- [17] Zhang, W., Rezaee, M., Bhagavatula, A., Li, Y., Groppo, J. and Honaker, R. (2015) "A review of the occurrence and promising recovery methods of rare earth elements from coal and coal by-products," *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 35(6), pp. 295–330.