



IDENTIFIKASI KETERDAPATAN UNSUR LOGAM TANAH JARANG DALAM LAPISAN BATUBARA DI PT. PRIMA MULIA SARANA SEJAHTERA KABUPATEN MUARA ENIM PROVINSI SUMATRA SELATAN

*Identification of Rare Earth Metal Elements In The Coal Coil At Pt. Prima Mulia Sarana
Sejahtera, Muara Enim Regency, South Sumatra Province*

¹⁾Memilia Puspita, ²⁾Arsyad A.R., ³⁾Wahyudi Zahar

^{1,2,3)}Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi.

*Email: ¹⁾memiliapuspita06@gmail, ²⁾arsyad.ar@gmail.com, ³⁾wahyudizahar@unja.ac.id

*Correspondence: memiliapuspita06@gmail

DOI:

10.36418/comserva.v1i9.55

Histori Artikel:

Diajukan:
13/11/2021

Diterima:
15/11/2021

Diterbitkan:
29/01/2022

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan unsur tanah jarang, batubara muncul sebagai salah satu alternatif sumber unsur tanah jarang (UTJ). Kondisi geologi tertentu mengakibatkan ketersediaan unsur tanah jarang dalam batubara. Kehadiran unsur tanah jarang di lapisan batubara PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera terbentuk dari intrusi batuan asal yaitu batuan beku andesit. Intrusi batuan beku andesit ke dalam batubara diketahui dapat meningkatkan nilai kalor batubara dan mungkin juga mengandung unsur tanah jarang tingkat tinggi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy) dan SEM (Scanning Electron Microscopy). Unsur-unsur yang dianalisis menggunakan ICP-OES adalah serium (Ce), gadolinium (Gd), lanthanum (La), skandium (Sc), dan itrium (Y). Sedangkan analisis SEM digunakan guna mengetahui kandungan mineral dari batubara yang dianalisis. Dari hasil laboratorium, total kandungan unsur tanah jarang pada sampel batubara terintrusi adalah 66.599 ppm. Kandungan unsur tanah jarang tertinggi adalah Ce sebesar 6,0153 ppm. Sementara itu, hasil analisis SEM yang diperoleh dari uji laboratorium menunjukkan bahwa strukturnya berlapis, granular, dan memiliki morfologi kuarsa. Analisis ICP-OES dan SEM digunakan guna mengidentifikasi kandungan logam tanah jarang dalam batubara. Unsur tanah jarang yang dianalisis terutama serium, gadolinium, lanthanum, skandium dan itrium. Mineral pembawa unsur tanah jarang di PT batubara. Prima Mulia Sarana Sejahtera adalah monasit (Ce, La, Y, Gd dan Sc).

Kata kunci: Batubara; Intrusi; Unsur Logam Tanah Jarang.

ABSTRACT

With the increasing demand for rare earth elements, coal has emerged as an alternative source of rare earth elements (UTJ). Certain geological conditions result in the availability of rare earth elements in coal. The presence of rare earth elements in the coal seams of PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera is formed from the intrusion of the original rock, namely andesite igneous rock. Intrusion of andesite igneous rock into coal is known to increase the calorific value of coal and may also contain high levels of rare earth elements. The research was conducted using the ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy) and SEM (Scanning Electron Microscopy) methods. The elements analyzed using ICP-OES are cerium (Ce), gadolinium (Gd), lanthanum (La), scandium (Sc), and yttrium (Y). Meanwhile, SEM analysis is used to determine the mineral content of the analyzed coal. From the laboratory results, the total content

of rare earth elements in the intruded coal sample is 66,599 ppm. The highest content of rare earth elements is Ce at 6.0153 ppm. Meanwhile, the results of SEM analysis obtained from laboratory tests show that the structure is layered, granular, and has a quartz morphology. ICP-OES and SEM analysis were used to identify the rare earth metal content in coal. The rare earth elements analyzed were mainly cerium, gadolinium, lanthanum, scandium and yttrium. Rare earth element carrier minerals in PT coal. Prima Mulia Sarana Sejahtera is monazite (Ce, La, Y, Gd and Sc).

Keywords: Coal; Intrusion; Rare Earth Metal Elements.

PENDAHULUAN

Logam tanah jarang (biasa disebut sebagai LTJ) terdiri dari 17 elemen, 15 di antaranya dirinci dalam seri lantanida dan 2 lainnya, skandium dan itrium. Unsur LTJ meliputi La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y, dan Sc. LTJ ada dalam bentuk kompleks fosfat dan karbonat di alam, dan biasanya ada dalam bentuk mineral ikutan dalam mineral utama seperti tembaga, emas, perak, dan timah ([Atmawinata et al., 2014](#)).

Logam tanah jarang adalah kelompok unsur yang semuanya tersusun dari logam, sehingga sebagian orang menyebutnya REE (unsur tanah jarang), yaitu kelompok unsur langka bertingkat, yaitu unsur-unsur yang terdapat di kerak bumi dalam jumlah yang lebih sedikit, dari 0,1% berat. Menurut ([Badan Geologi, 2019](#)), dalam buku Potensi Logam Tanah Jarang menyebutkan bahwa Logam Tanah Jarang (LTJ) merupakan kumpulan dari lima belas unsur dan dua unsur lainnya yaitu *scandium* (Sc) dan *yttrium* (Y).

Logam tanah jarang tidak ditemukan di bumi sebagai unsur bebas tetapi terbentuk dalam kompleks ([Suprpto, 2009](#)). Jadi untuk memanfaatkan logam tanah jarang, pertama-tama kita harus memisahkannya dari senyawa kompleks terlebih dahulu. Unsur logam tanah jarang dikategorikan kedalam dua sub kelompok, yaitu:

- a. Unsur tanah jarang ringan, atau sub kelompok *serium* yang mencakup *lanthanum* hingga *europium*.
- b. Unsur tanah jarang berat, atau sub kelompok *yttrium*, termasuk *gadolinium*, *lutetium*, dan *yttrium*.

Logam tanah jarang juga diketahui ada dalam batubara dan abu batubara. Dalam batubara, LTJ hadir dalam mineral serta abu sisa pembakaran batubara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Menurut ([Seredin, 1996](#)), menyatakan bahwa LTJ dapat ditemukan di dua jenis cekungan pembentuk batubara, yaitu cekungan batuan dasar yang terbentuk oleh pelapukan batuan beku dan/atau batuan metamorf, dan cekungan batubara yang terbentuk dari aktivitas vulkanik.

Lebih lanjut ([Dai et al., 2012](#)), bahwa batubara yang mengandung LTJ terbentuk di bawah kondisi geologi yang berbeda. Asal usul LTJ dalam batubara meliputi empat jenis: *terrigenous*, *tuff*, *rembesan* dan *hidrotermal*. Jenis *terrigenous* dipengaruhi oleh masukan air permukaan; jenis tufaan dikaitkan dengan jatuh dan larutnya abu vulkanik asam dan basa; jenis infiltrasi sangat dipengaruhi oleh air atmosfer; dan jenis hidrotermal melibatkan air panas yang mengandung mineral. Tahapan rawa gambut membentuk tipe berbasis lahan dan tufa; tipe infiltrasi umumnya bersifat epigenetik; dan tipe hidrotermal dapat terbentuk pada berbagai tahap pengembangan cekungan batubara.

Batubara adalah batuan sedimen yang terdiri dari bahan organik dan beberapa fragmen batuan anorganik dan mineral seperti tanah liat, serpih, kuarsa dan kalsit ([Juda-Rezler & Kowalczyk, 2013](#)). Batubara tersusun dari beberapa komponen organik dan anorganik. Kehadiran LTJ dalam batubara terkait dengan konstituen non-organiknya. Menurut ([Anggara et al., 2018](#)), Batubara bongo Sumatera

Selatan menunjukkan kandungan LTJ hingga 118,4 ppm dan bertipe *Tufaceous*. Pembentukan jenis tufaan pada batubara Bangko diduga terkait dengan pelarutan silika dan pozolan alkali selama pengendapan batubara.

Unsur tanah jarang cenderung terbentuk secara alami sebagai kombinasi dari unsur tanah jarang tertentu. Menurut (Herman, 2009), dari segi komposisi magma dan sebaran unsur-unsur tanah jarang yang berukuran kecil atau terdispersi mikro, dalam konteks ini bukan merupakan penyusun utama pembentukan batuan. Namun, semua mineral dapat ditempati oleh salah satu dari tiga kelompok elemen, tergantung pada kandungan totalnya:

- a. Kelompok mineral dengan kandungan konsentrasi logam tanah jarang sangat kecil, termasuk sebagian besar mineral pembentuk batuan. Tingkat konsentrasi relatifnya terkait dengan variasi pola distribusi unsur-unsur logam tanah jarang ringan (*Light Rare Earth Element/REE*) dan berat (*Heavy Rare Earth Element/HREE*) di dalam mineral-mineral tersebut.
- b. Kelompok mineral dengan sedikit kandungan unsur logam tanah jarang tetapi merupakan bahan inti, terdiri atas mineral-mineral mengandung >0,01 wt% unsur tanah jarang.
- c. Kelompok mineral dengan kandungan terutama unsur logam tanah jarang yang termasuk kedalam kategori kaya kandungan lantanida, serupa dengan mineral-mineral mengandung kadar unsur logam tanah jarang rendah.

METODE

Penelitian ini dilakukan secara langsung dengan pengambilan sampel di lapangan yaitu PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera, Metode penambangan batubara memakai metode batch sampling, yaitu pengambilan sampel secara tepat dari batubara yang terkena intrusi di lapisan D, diikuti dengan pengambilan sampel di PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera kemudian dianalisis di laboratorium. Pengujian dilakukan di laboratorium memakai analisis ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer*). Pengujian ICP-OES dirancang untuk mengetahui komposisi kimia suatu sampel batubara, unsur yang dianalisis adalah: *Cerium (Ce)*, *Gadolinium (Gd)*, *Lanthanum (La)*, *Scandium (Sc)*, dan *Yttrium (Y)*, dan pengujian menggunakan SEM dirancang untuk menentukan morfologi Spesimen, struktur dan unsur kimia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Geologi Lokal PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera

Pembentukan unsur tanah jarang pada batubara di daerah penelitian bersifat sekunder, yaitu hasil dekomposisi atau pengendapan batuan beku yang kaya akan unsur tanah jarang. Proses intrusi tergantung pada kondisi lingkungan yang berlaku, dan logam tanah jarang dalam batubara dapat masuk melalui retakan pada laminasi atau pada batubara. Unsur logam tanah jarang pada batubara terbentuk dalam bentuk endapan sekunder, umumnya berasosiasi dengan endapan sedimen, dan memiliki ciri-ciri kontak yang jelas dengan batuan samping. Keberadaan unsur tanah jarang dalam batubara tidak berkaitan dengan aktivitas magmatik, tetapi merupakan hasil proses pelapukan batuan murni atau sedimen yang mengandung mineral/unsur mineral berharga.

PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera memiliki dua lubang besar yaitu lubang barat dan lubang selatan. Daerah penelitian terletak di pit selatan, di pit selatan terdapat 8 lapisan batubara. Tergantung pada ketebalan dan kualitas batubara di wilayah tersebut, mereka dikategorikan menjadi 2 kelompok, yaitu Grup Vena Utama dan Grup Vena Atas. 8 lapisan batubara di PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera adalah batubara yang kontak dengan intrusi. Batubara yang paling dekat

dengan tubuh intrusi adalah batubara urat utama, khususnya urat D. Sedangkan urat atas adalah urat batubara yang jauh dari tubuh intrusi, jaraknya sampai 100m. Adanya intrusi ini diketahui terintrusi oleh intrusi batuan beku andesit.



Gambar 1
Seam D PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera

B. Satuan Intrusi

Keterdapatan batuan andesit yang mengintrusi batubara di daerah penelitian menunjukkan bahwa adanya proses magmatisme yang berkembang di daerah penelitian. Adanya intrusi andesit di lokasi penelitian diduga akibat dari pembekuan magma yang terjadi di bawah permukaan. Telah diketahui dengan baik bahwa intrusi batuan beku andesit ke dalam batubara meningkatkan nilai kalor batubara dan mungkin juga mengandung unsur tanah jarang karena pengaruh suhu dan tekanan selama intrusi batubara. Intrusi batubara menciptakan suhu dan tekanan yang membekukan magma, dan kontaminasi antara batuan beku dan batubara ditemukan di daerah penelitian.

Ketebalan rata-rata batubara yang dekat dengan intrusi di daerah penelitian diketahui memiliki ketebalan mencapai 5-7 m. Berdasarkan ketebalan dari batubara yang intrusi tersebut diketahui bahwa luasan area tersebut berpotensi mengandung unsur logam tanah jarang. Terdapat dua sampel yang akan dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kadar unsur logam tanah jarang yang terkandung di dalam dua sampel tersebut yaitu batubara intrusi dan batubara yang jauh dari intrusi.



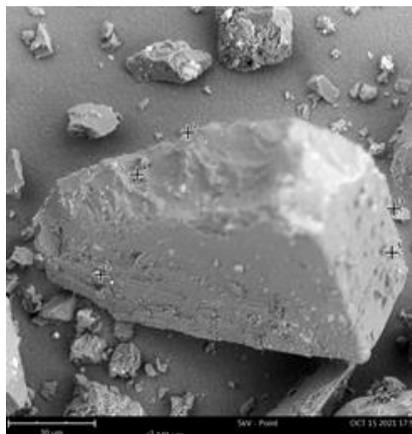
Gambar 2
Pengambilan Sampel Batubara

Pengambilan sampel di lokasi penelitian memakai metode batch sampling, yaitu metode pengambilan sampel dengan jumlah bahan yang banyak. Ambil 2 sampel yaitu 1 sampel batubara intrusi dan sampel batubara 100 m dari titik intrusi, hal tersebut dikarenakan untuk mengetahui perbandingan kadar unsur logam tanah jarang dari kedua sampel tersebut.

Sampel yang terkumpul di lokasi penelitian selanjutnya dianalisis di laboratorium Institut Teknologi Mineral, Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia, menggunakan analisis geokimia ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer*), analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*). OES dirancang guna mencari tahu komposisi kimia sampel batubara (unsur logam tanah jarang yang terkandung dalam batubara), sedangkan pengujian SEM dipakai guna mencari tahu kandungan mineral batubara yang dianalisis.

C. Analisa Kadar Unsur Logam Tanah Jarang Berdasarkan Hasil Laboratorium Analisis Scanning electron microscope (SEM)

Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan dengan menggunakan sampel batubara dari PT di Laboratorium Teknik Sipil dan Material, Fakultas Sains dan Teknologi. Prima Mulia Sarana Sejahtera. Hasil yang diperoleh dari informasi SEM berupa morfologi, struktur dan unsur kimia. Hasil yang diperoleh dari uji laboratorium menunjukkan adanya pengotor mineral dalam batubara yang dianalisis. Mineral ini berwarna putih mengkilap, mempunyai struktur padat, serta memiliki kandungan unsur kimia seperti yang terdapat pada tabel 1.



Gambar 3
Hasil analisis SEM

Berdasarkan hasil analisis tersebut unsur-unsur yang ditemukan adalah seperti yang terlihat dalam tabel dibawah ini:

Table 1
Persentase Unsur-Unsur Yang Terkandung di dalam Batubara

Unsur	Simbol	No Atom	Persentase
Carbon	C	6	0.8
Calcium	Ca	20	85.7
Antimony	Sb	51	20.2
Tellurium	Te	52	3.4
Thallium	Tl	81	1.6

(Sumber: Laboratorium Rekayasa Sipil dan Material)

Seperti dapat dilihat dari tabel di atas, Ca (kalsium) merupakan unsur terpenting dengan kandungan 85,7%, dan Sb (antimon) sebesar 20,2%. Hal ini dapat diketahui dari persentase masing-masing elemen.

D. Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

Sampel batubara dianalisis di laboratorium Institut Teknologi Mineral, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Unsur tanah jarang yang dianalisis meliputi: *Cerium* (Ce), *Gadolinium* (Gd), *Lanthanum* (La), *Scandium* (Sc), dan *Yttrium* (Y).

Analisis menggunakan metode *Geochemical Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) dilakukan melalui tahapan sebagai berikut: preparasi sampel, penghancuran, filtrasi, preparasi ke dalam larutan, dan analisis menggunakan pengujian ICP-OES. Berdasarkan hasil pengujian menyatakan kandungan unsur tanah jarang pada lapisan batubara invasif dan invasif jauh adalah sebagai berikut:

Tabel 2
Hasil Pengujian di Laboratorium menggunakan ICP-OES

No	Kode	Parameter yang dianalisis	kadar	satuan
1	Batubara	Cerium (Ce)	61,54	Ppm
		Gadolinium (Gd)	40,9	Ppm
		Lanthanum (La)	48,8	Ppm
		Scandium (Sc)	59,02	Ppm
		Yttrium (Y)	59,54	Ppm

(Sumber : Laboratorium Balai Penelitian Teknologi Mineral)

Hasil analisis kandungan logam tanah jarang pada sampel batubara intrusi PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera diketahui telah mendeteksi 5 unsur. Logam tanah jarang tersebut antara lain *serium* (Ce), *gadolinium* (Gd), *lanthanum* (La), *skandium* (Sc), dan *yttrium* (Y). Dari tabel di atas, total kandungan unsur tanah jarang dari sampel batubara yang terintrusi adalah 269,8 ppm. Kandungan unsur tanah jarang tertinggi adalah Ce, yaitu sebesar 61,54 ppm.

Tabel 3
Hasil Pengujian Sampel Batubara dengan Jarak 100 m dari Intrusi di Laboratorium menggunakan ICP-OES.

No	Kode	Parameter yang dianalisis	kadar	satuan
1	Batubara	Cerium (Ce)	6,01	Ppm
		Gadolinium (Gd)	0,04	Ppm
		Lanthanum (La)	0,20	Ppm
		Scandium (Sc)	0,11	Ppm
		Yttrium (Y)	0,31	Ppm

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa kandungan unsur logam tanah jarang total untuk sampel batubara yang jauh dari intrusi sebesar 6,67 ppm.

E. Pengaruh Jarak Terhadap Keterdapatn Unsur Logam Tanah Jarang

Intrusi batuan beku andesit di PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera mempengaruhi nilai kalori dari batubara sampai mencapai peringkat semi-antrasit, yang mempunyai nilai kalori lebih dari 7000 kcal/kg. Sedangkan untuk batubara yang jaraknya jauh dari intrusi mempunyai nilai kalori <6100 kcal/kg. Hal tersebut diakibatkan oleh pengaruh temperatur dan tekanan pada saat batubara tersebut mengalami intrusi. Perbedaan secara megaskopik antara batubara intrusi dan batubara yang jauh dari intrusi dapat dilihat pada gambar dibawah. Batubara yang dekat intrusi mempunyai kenampakan berwarna hitam pekat, lebih mengkilap dan bertekstur padat, sedangkan untuk batubara yang jauh dari intrusi mempunyai ciri-ciri berwarna coklat gelap yang cenderung hitam dan mudah rapuh.



Sampel Batubara yang Dekat Intrusi (kiri) dan Batubara dengan Jarak 100 m dari Intrusi (kanan)

Berdasarkan hasil pengujian dua sampel yang diuji laboratorium menggunakan analisis ICP OES, yaitu sampel batubara yang dekat dengan badan intrusi dan sampel batubara yang berjarak 100 m dari tubuh intrusi, dapat disimpulkan bahwa batubara tubuh intrusi tingkat tinggi sampel mengandung sejumlah besar unsur tanah jarang, hal ini karena sifat batuan asalnya adalah intrusi andesit. Untuk sampel batubara yang berjarak 100 m dari intrusi diketahui kandungan persentasenya sangat kecil, bahkan mencapai 0,04 ppm. Semakin jauh batubara dari intrusi, semakin rendah persentasenya.

F. Pemanfaatan Unsur Logam Tanah Jarang

Memasuki industri modern saat ini, unsur tanah jarang merupakan komoditas penting dengan arti strategis. Pemanfaatan unsur tanah jarang sangat diperlukan, karena bahan tersebut merupakan faktor yang menyebabkan perkembangan teknologi baru dan akan terus berkembang. Hal ini mengakibatkan peningkatan permintaan logam tanah jarang yang berkelanjutan.

Dari hasil kajian kandungan unsur tanah jarang pada batubara di PT, keberadaan unsur tanah jarang di daerah penelitian dipengaruhi oleh intrusi jenis batubara. Prima Mulia Sarana Sejahtera memiliki kandungan unsur tanah jarang yang tinggi. Unsur tanah jarang yang dianalisis terutama *serium*, *gadolinium*, *lanthanum*, *scandium* dan *yttrium*.

Pemanfaatan unsur logam tanah jarang yang terkandung di dalam sampel batubara yaitu cerium digunakan sebagai konverter katalis di mobil, pewarna kaca, produksi baja. *Gadolinium* digunakan sebagai neomagnet, *lanthanum* digunakan sebagai katalis dalam berbagai jenis baterai, studio lighting dan baterai mobil hibrida. Scandium dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan memori elektronik, handphone, magnet. Serta *yttrium* dapat digunakan sebagai penghasil cahaya warna, TV, monitor komputer dan sebagainya.

Unsur logam tanah jarang umumnya dijumpai bersamaan dalam bijih dikarenakan unsur-unsur tersebut dapat saling mengganti tempat satu sama lain atau saling mensubstitusi. Sifat inilah yang membuat unsur logam tanah jarang tidak dijumpai berupa satu unsur saja, tetapi berkaitan dengan unsur logam tanah jarang lainnya. Unsur-unsur logam tanah jarang bukan merupakan komponen utama pembentuk batuan namun tersebar dalam jumlah sedikit atau sebagai jejak. Dalam industri, penggunaan tanah jarang sangat beragam. Dari berbagai kegunaan logam tanah jarang dapat disimpulkan bahwa material ini merupakan material yang akan terus meningkat di masa mendatang. Pertimbangkan bahwa bahan merupakan faktor lahirnya teknologi baru dan akan terus meningkat. Hal ini mengakibatkan peningkatan permintaan logam tanah jarang yang berkelanjutan.

SIMPULAN

Potensi sumber daya logam tanah jarang daerah penelitian cukup besar karena terletak di daerah pit selatan PT. Prima Mulia Sarana Sejahtera merupakan tambang batubara yang rusak akibat intrusi andesit. Intrusi batuan beku memiliki dampak besar pada lapisan batubara karena mungkin mengandung unsur tanah jarang tingkat tinggi. Pembentukan logam tanah jarang pada lapisan batubara di daerah penelitian terbentuk oleh endapan bijih sekunder dan merupakan hasil pelapukan, pengangkutan dan pengendapan. Proses pembentukan berasal dari batuan induk/batuan samping atau sedimen yang mengandung mineral berharga. Unsur tanah jarang yang terdapat pada batubara adalah *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.

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>.
- Atmawinata, A., Yahya, F., Widhianto, S., Irianto, D., & Adlir, A. (2014). *Telaah penguatan struktur industri pemetaan potensi logam tanah jarang di indonesia*. The Ministry of Industry of Indonesia Jakarta.
- Dai, S., Jiang, Y., Ward, C. R., Gu, L., Seredin, V. V, Liu, H., Zhou, D., Wang, X., Sun, Y., & Zou, J. (2012). Mineralogical and geochemical compositions of the coal in the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, China: Further evidence for the existence of an Al (Ga and REE) ore deposit in the Jungar Coalfield. *International Journal of Coal Geology*, 98, 10–40. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.03.003>.
- Geologi, B. (2019). *Potensi Logam Tanah Jarang Di Indonesia*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://geologi.esdm.go.id/assets/media/content/content-potensi-logam-tanah-jarang-di-indonesia.pdf>.
- Herman, D. Z. (2009). Tinjauan Kemungkinan Sebaran Unsur Tanah Jarang (REE) di Lingkungan Panas Bumi. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(1), 1–8. <http://dx.doi.org/10.17014/ijog.vol4no1.20091>.
- Juda-Rezler, K., & Kowalczyk, D. (2013). Size Distribution and Trace Elements Contents of Coal Fly Ash from Pulverized Boilers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(1).
- Seredin, V. V. (1996). Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East deposits. *International Journal of Coal Geology*, 30(1–2), 101–129. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(95\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0166-5162(95)00039-9).
- Suprpto, S. J. (2009). Tinjauan tentang unsur tanah jarang. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4(1), 36–47. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v4i1.173>.