

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI LOGAM TANAH JARANG
CERIUM DARI ABU LAYANG BATUBARA**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia



Oleh

Agnino Muhammad Kevin

2004830

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

BANDUNG

2024

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI LOGAM TANAH JARANG
CERIUM DARI ABU LAYANG BATUBARA**

Oleh

Agnino Muhammad Kevin

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains
di Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

©Agnino Muhammad Kevin

Universitas Pendidikan Indonesia

2024

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruh ataupun sebagian,

Dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI LOGAM TANAH JARANG
CERIUM DARI ABU LAYANG BATUBARA**

Oleh

Agnino Muhammad Kevin

2004830

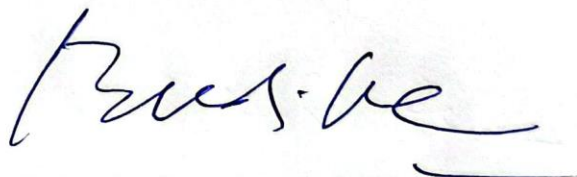
Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Galuh Yuliani, Ph.D.
NIP. 198007252001122001

Pembimbing II,



Dr. H. Budiman Anwar, M.Si.
NIP. 19070031319970031004

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia



Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D.
NIP. 197806282001122001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Ekstraksi dan karakterisasi Logam Tanah Jarang Cerium dari Abu Layang Batubara**” beserta seluruh isinya merupakan benar-benar karya Saya sendiri. Saya tidak melakukan pengutipan atau penjiplakan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam Masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, Saya siap menerima resiko atau sanksi apabila kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya Saya.

Bandung, 22 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

Agnino Muhammad Kevin

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alaamiin, Segala puji kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan Rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Ekstraksi dan Karakterisasi Logam Tanah Jarang Cerium dari Abu Layang Batubara” sebagai salah satu syarat untuk memenuhi tercapainya gelar sarjana sains pada Program Sarjana (S1) Jurusan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulisan skripsi ini memang melalui banyak tantangan dan hambatan, namun dengan adanya bantuan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat dilalui. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan wawasan dan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak serta dapat berkontribusi dalam kemajuan penelitian dalam bidang kimia atau bidang lainnya. Penulis juga menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena hal tersebut, kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun sangat dibutuhkan untuk perbaikan dan juga penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih.

Bandung, 22 Agustus 2024

Penulis,

Agnino Muhammad Kevin

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Ekstraksi dan karakterisasi Logam Tanah Jarang Cerium dari Abu Layang Batubara**” dengan lancar dan tepat waktu. Dalam proses penyusunan skripsi banyak pihak yang terlibat serta mendukung penulis hingga selesai. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih yang mendalam kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu mendo'akan, mengingatkan, memberikan semangat, dan segala pengorbanan lainnya yang tidak terhitung kepada penulis,
2. Keluarga besar Bachtiar yang selalu mendo'akan, memberikan semangat, dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi
3. Ibu Galuh Yuliani, Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu, membimbing proses penelitian, memberikan saran serta selalu memotivasi penulis,
4. Bapak Dr. H. Budiman Anwar, M.Si. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, dan saran kepada penulis,
5. Ibu Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D. selaku ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI, serta Bapak dan Ibu Dosen Departemen Pendidikan Kimia yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis,
6. Luthfia Thahir yang selalu memberikan dukungan, mendo'akan, memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi
7. Muhamad Rivaldi dan Gabriel Ryan Alfred Balbo yang telah membantu, mendukung penulis untuk cepat dan tepat menyelesaikan penelitian,
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dan selalu mendukung penulis dalam melaksanakan dan menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.

ABSTRAK

Limbah abu layang batubara atau *fly ash* (FA) merupakan hasil pembakaran batubara untuk pembangkit listrik. Limbah ini tersedia melimpah di Indonesia dan belum dikelola secara maksimal, sehingga berpotensi menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa FA dapat menjadi sumber alternatif dari logam tanah jarang (LTJ) yang sangat berharga seperti cerium. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk ekstraksi dan karakterisasi LTJ cerium dari sampel FA di PT.TI. Analisis awal *X-Ray Fluoresence* (XRF) pada sampel FA menunjukkan adanya potensi LTJ yang berikatan dengan unsur lainnya sebesar 13,2%. Metode ekstraksi LTJ cerium dalam penelitian ini meliputi pelindian alkali, pelindian asam, *stripping*, penggunaan ekstraktan *Di(2-Ethyl Hexyl)Phosphoric Acid* (D2EHPA), dan pengendapan ammonium hidroksida untuk memisahkan fraksi cerium. Hasil ekstraksi yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan FTIR. Hasil XRD menunjukkan adanya pola difraksi pada nilai 2θ 29,06°, 33,00°, 48,13°, 57,43°, dan 70,27°, yang mengindikasikan adanya fraksi cerium sebagai cerium oksida. Analisis FTIR menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 447,50 cm^{-1} yang merupakan vibrasi regangan Ce-O. Dengan demikian metode yang digunakan berpotensi mengekstrak cerium dari sampel FA.

Kata Kunci: Abu layang batubara, Cerium, Pengendapan ammonium hidroksida, Ekstraksi, Karakterisasi, Logam tanah jarang, *Di(2-Ethyl Hexyl)Phosphoric Acid*.

ABSTRACT

Coal fly ash (FA) is the result of burning coal for electricity generation. This waste is abundant in Indonesia and has not been managed optimally, so it has the potential to cause environmental and health problems. Recent research shows that FA can be an alternative source of highly valuable rare earth metals (REEs) such as cerium. Therefore, this research aims to extract and characterize REEs of cerium from FA samples at PT.TI. Initial X-Ray Fluorescence (XRF) analysis of the FA sample showed that the potential for REEs binding to the other elements was 13.2%. Cerium REE extraction methods in this research include alkaline leaching, acid leaching, stripping, use of Di(2-Ethyl Hexyl)Phosphoric Acid (D2EHPA) extractant, and ammonium hydroxide precipitation to separate the cerium fraction. The extraction results obtained were then characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and FTIR. The XRD results show a diffraction pattern at values 2θ 29.06°, 33.00°, 48.13°, 57.43°, and 70.27°, which indicates the presence of a cerium fraction as cerium oxide. FTIR analysis shows that there is absorption at a wave number of 447.50 cm^{-1} which is the Ce-O stretching vibration. Thus, the method used has the potential to extract cerium from FA samples.

Keywords: Coal fly ash, Cerium, Precipitation of ammonium hydroxide, Extraction, Characterization, Rare earth metals, *Di(2-Ethyl Hexyl)Phosphoric Acid*.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Struktur Organisasi Skripsi.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Abu Batubara	6
2.1.1 Abu Layang Batubara (<i>Coal Fly Ash</i>)	7
2.1.2 Abu Dasar Batubara (<i>Coal Bottom Ash</i>)	8
2.2 Logam Tanah Jarang.....	9
2.2.1 Logam Tanah Jarang Berat	12
2.2.2 Logam Tanah Jarang Sedang.....	13
2.2.3 Logam Tanah Jarang Ringan.....	13
2.3 Pemanfaatan Logam Tanah Jarang	14
2.4 Cerium	15
2.4.1 Sifat Fisik dan Kimia Cerium	15
2.4.2 Senyawa Cerium	16
2.4.3 Kegunaan Cerium	19
2.5 Eksraksi Logam Tanah Jarang Cerium.....	19
2.5.1 Pelindian Alkali	19
2.5.2 Pelindian Asam Klorida.....	21
2.5.3 Pelindian Asam Nitrat	22
2.5.4 Stripping dan Di(2-etilheksil)fosfat (D2EHPA).....	22

2.5.6 Pengendapan Ammonium Hidroksida.....	23
2.6 Karakterisasi Logam Tanah Jarang Cerium.....	24
2.6.1 XRF	24
2.6.2 XRD.....	25
2.6.3 FTIR.....	26
BAB III.....	29
METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Bahan.....	29
3.2.1 Alat	29
3.2.2 Bahan	30
3.3 Alur Prosedur Penelitian	30
3.4 Prosedur Penelitian.....	32
3.4.1 Preparasi.....	32
3.4.2 Pelindian Alkali/Basa.....	32
3.4.3 Pelindian Asam Klorida.....	32
3.4.4 Pelindian Asam Nitrat	32
3.4.5 Ekstraksi dengan D2EHPA dan Stripping.....	33
3.4.6 Kalsinasi dan Hasil Akhir.....	33
3.5 Karakterisasi	33
3.5.1 Karakterisasi XRF	33
3.5.2 Karakterisasi XRD.....	34
3.5.3 Karakterisasi FTIR.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Karakterisasi Abu Layang Batubara (CFA).....	35
4.2 Pelindian	38
4.2.1 Pelindian Alkali	38
4.2.2 Pelindian HCl 37%	41
4.2.3 Pelindian Asam Nitrat (HNO ₃) 50%.....	43
4.3 Ekstraksi D2EHPA dan Stripping H ₂ O ₂	45
BAB V	50
KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	57
RIWAYAT HIDUP	82

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2.1 Contoh pemanfaatan HREE</i>	<i>12</i>
<i>Tabel 2.2 Contoh pemanfaatan MREE.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabel 2.3 Contoh Pemanfaatan LREE</i>	<i>13</i>
<i>Tabel 2.4 Contoh Pemanfaatan LTJ.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Kimia D2EHPA</i>	<i>23</i>
<i>Tabel 3.1 Alat penelitian</i>	<i>29</i>
<i>Tabel 3.2 Bahan Penelitian</i>	<i>30</i>
<i>Tabel 4.1 Karakteristik Abu Layang Batubara PT. TI</i>	<i>35</i>
<i>Tabel 4.2 Hasil XRF Abu Layang Batubara PT.TI.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabel 4.3 Analisa FTIR Abu Layang Batubara</i>	<i>38</i>
<i>Tabel 4.4 Karakteristik Hasil Pelindian NaOH 8M.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabel 4.5 Karakteristik Hasil Pelindian HCl 37%.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabel 4.6 Karakteristik Hasil Pelindian HNO₃ 50%.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabel 4.7 Karakteristik Hasil akhir Ekstraksi Cerium pada Sampel Abu Layang Batubara</i>	<i>46</i>
<i>Tabel 4.8 Analisis FTIR Hasil Akhir Ekstraksi</i>	<i>48</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jumlah Penggunaan Batubara Periode Tahun 2020-2024.....	7
Gambar 2.2 Abu Layang Batubara.....	8
Gambar 2.3 Abu Dasar Batubara (Abuelgasim et al. 2020).....	9
Gambar 2.4 Produksi tambang global oksida tanah jarang berdasarkan negara dan persentase produksiberdasarkan negaranya (Liu et al. 2023).....	10
Gambar 2.5 Wujud CeO ₂ (Beyond Chem n.d.-c).....	16
Gambar 2.6 Struktur Kristal CeO ₂ (Younis, Chu, and Li 2016).....	16
Gambar 2.7 Wujud Cerium Nitrat (Beyond Chem n.d.-b).....	17
Gambar 2.8 Struktur Cerium Nitrat (Cymit Quimica S.L. n.d.).....	17
Gambar 2.9 Wujud Cerium Sulfat (Beyond Chem n.d.-d).....	18
Gambar 2.10 Wujud Cerium Sulfat (Chemical Book 2023b).....	18
Gambar 2.11 Wujud Cerium Asetat (Beyond Chem n.d.-a).....	18
Gambar 2.12 Struktur Cerium Asetat (Tokyo Chemical Industry n.d.).....	19
Gambar 2.13 Struktur silikat (Ausetute n.d.).....	21
Gambar 2.14 Struktur Alumina Oksida(Ghalme, Koinkar, and Bhalerao 2020).....	21
Gambar 2.15 Struktur Besi Oksida (E Chemi.com n.d.).....	21
Gambar 2.16 Struktur Di(2-Ethyl-Hexyl) Phosphoric Acid (D2EHPA) (Chemical Book 2023a).....	23
Gambar 2.17 Skema XRF (Kaur et al 2019).....	25
Gambar 2.18 Skema XRD (Bijelic and Rompel 2018).....	26
Gambar 2.19 Skema FTIR (Mathias 2022).....	27
Gambar 2.20 FTIR Pita Serapan Ce-O (Zamiri et al. 2015).....	27
Gambar 4.1 Abu Layang Batubara.....	35
Gambar 4.2 Hasil XRD Abu Layang Batubara PT.TI.....	37
Gambar 4.3 Hasil FTIR Abu Layang Batubara PT.TI.....	38
Gambar 4.4 Hasil XRD Abu Layang Batubara Pelindian Alkali.....	39
Gambar 4.5 Pelindian Alkali NaOH 8M.....	39
Gambar 4.6 (a) Data XRD Sebelum Pelindian Alkali NaOH 8M (b) Sesudah Pelindian Alkali NaOH 8M.....	40
Gambar 4.7 Pelindian HCl 37% dan Penyaringan.....	42
Gambar 4.8 Hasil Pelindian HCl 37% (di wadah plastik).....	42
Gambar 4.9 Hasil XRD Pelindian HCl 37%.....	43
Gambar 4.10 Proses Pelindian HNO ₃ 50%.....	44
Gambar 4.11 Hasil Pelindian HNO ₃ 50%.....	45

Gambar 4.12 (a) Hasil Penyaringan dari Ekstraksi dengan Ekstraktan D2EHPA (b) Hasil dari Ekstraksi dengan Ekstraktan D2EHPA	46
Gambar 4.13 Hasil XRD Ekstraksi Cerium dengan D2EHPA dan Stripping	47
Gambar 4.14 FTIR Hasil Akhir (Wavenumber 400-800 cm-1)	48
Gambar 4.16 Layering XRD Hasil Akhir Ekstraksi Cerium.....	49
Gambar 4.17 Layering FTIR (a) Sampel awal CFA sebelum ekstraksi (b) Hasil Akhir Ekstraksi Cerium dengan pelindian bertahap dan penggunaan ekstraktan D2EHPA	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data XRF	57
Lampiran 2 Data XRD	58
Lampiran 3 Data FTIR	63
Lampiran 4 Hasil Analisis XRD	65
Lampiran 5 Perhitungan Ekstraksi Cerium dari Abu Layang Batubara	78
Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian	79

DAFTAR PUSTAKA

- Abuelgasim, R., A. S. A. Rashid, M. Bouassida, N. Shien, and M. H. Abdullah. 2020. "Geotechnical Characteristics of Tanjung Bin Coal Bottom Ash." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 932(1):012055. doi: 10.1088/1757-899X/932/1/012055.
- Agusriyadin, Agusriyadin. 2021. "Karakterisasi Abu Dasar Batubara Termodifikasi 8-Hidroksikuinolin sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II) dan Cd(II)." *SAINTIFIK* 7(1):77–86. doi: 10.31605/saintifik.v7i1.307.
- Amijaya, Hendra, Beny Wiranata, and Ferian Anggara. 2020. "Occurrence of Rare Earth Element and Yttrium (REY) in Tanjung Formation Coking Coal from Sekako Area, Central Kalimantan" edited by E. Haryono, F. Lavigne, R. Che Omar, B. White, A. Cardenas Tristan, D. Rahmawati Hizbaron, and R. Fitria Putri. *E3S Web of Conferences* 200:06008. doi: 10.1051/e3sconf/202020006008.
- Anon. 2024. "PT Tiffico Fiber Indonesia, Tbk." Retrieved (<https://www.tiffico.co.id/index.php/id/tentangkami/id-article-informasi-perusahaan>).
- Aulia, Muhammad Azmi, Cepi Kurniawan, and Moch Setyadji. 2021. "Cerium, Neodimium, and Lanthanum Leaching from Rare Earth Oxides (REO) using Hydrochloric Acid."
- Ausetute. n.d. "Silicates." Retrieved (https://www.usetute.com.au/silicates.html#google_vignette).
- Balaram, V. 2019. "Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact." *Geoscience Frontiers* 10(4):1285–1303. doi: 10.1016/j.gsf.2018.12.005.
- Beyond Chem. n.d.-a. "Cerium Acetate." Retrieved (<https://www.rareearthchem.com/productinfo/421036.html?templateId=1133605>).
- Beyond Chem. n.d.-b. "Cerium Nitrate." Retrieved (<https://www.rareearthchem.com/productinfo/420922.html>).
- Beyond Chem. n.d.-c. "Cerium Oxide." Retrieved (<https://www.beyondchem.com/productinfo/420681.html>).
- Beyond Chem. n.d.-d. "Cerium Sulfate." Retrieved (<https://www.beyondchem.com/productinfo/421040.html>).
- Bijelic, Aleksandar, and Annette Rompel. 2018. "Polyoxometalates: More than a Phasing Tool in Protein Crystallography." *ChemTexts* 4(3):10. doi: 10.1007/s40828-018-0064-1.
- Bunaciu, Andrei A., Elena Gabriela Udriștioiu, and Hassan Y. Aboul-Enein. 2015. "X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications." *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 45(4):289–99. doi: 10.1080/10408347.2014.949616.
- Cao, Shanshan, Changchun Zhou, Jinhe Pan, Cheng Liu, Mengcheng Tang, Wanshun Ji, Tingting Hu, and Ningning Zhang. 2018. "Study on Influence Factors of Leaching of Rare Earth Elements from Coal Fly Ash." *Energy & Fuels* 32(7):8000–8005. doi: 10.1021/acs.energyfuels.8b01316.

- Charalampides, Georgios, Konstantinos I. Vatalis, Baklavaridis Apostoplos, and Benetis Ploutarch-Nikolas. 2015. "Rare Earth Elements: Industrial Applications and Economic Dependency of Europe." *Procedia Economics and Finance* 24:126–35. doi: 10.1016/S2212-5671(15)00630-9.
- Chemical Book. 2023a. "Bis(2-Ethylhexyl) Phosphate." Retrieved (https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4464040.htm).
- Chemical Book. 2023b. "Ceric Sulfate." Retrieved (https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB1430688.htm).
- Chen, Ziyang, Zhan Li, Jia Chen, Parashuram Kallem, Fawzi Banat, and Hongdeng Qiu. 2022. "Recent Advances in Selective Separation Technologies of Rare Earth Elements: A Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10(1):107104. doi: 10.1016/j.jece.2021.107104.
- Cymit Quimica S.L. n.d. "Cerium (III) Nitrate Hexahydrate." Retrieved (<https://cymitquimica.com/cas/10294-41-4>).
- Damayanti, Retno. 2018. "Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya." *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 14(3):213–31. doi: 10.30556/jtmb.Vol14.No3.2018.966.
- Dumpalapally, Mahesh, Sasikumar Boggala, Rohitha Chozhiyath Nappuni, Shirisha Varimalla, and Venugopal Akula. 2023. "Cerium Sulfate Doped ZrO₂ as a Solid Acid Catalyst for the Synthesis of Polyoxymethylene Dimethyl Ethers: Influence of Brønsted Acidity on the Catalytic Activity and Product Selectivity." *Chemical Engineering Science* 278:118922. doi: 10.1016/j.ces.2023.118922.
- Dzulqornain, Arsyad Maulana, Ana Belen Cueva-Sola, Kyeong Woo Chung, Jin-Young Lee, and Rajesh Kumar Jyothi. 2024. "Strategy for Possible Separation of Light Rare Earth Elements (La, Ce, Pr, Nd) from Synthetic Chloride Solutions by Oxidative Precipitation, Solvent Extraction and Stripping." *Hydrometallurgy* 224:106242. doi: 10.1016/j.hydromet.2023.106242.
- E Chemi.com. n.d. "Iron (III) Oxide." Retrieved (https://www.echemi.com/community/what-is-the-chemical-structure-of-iron-iii-oxide-like_mjart2204182772_442.html).
- El Ouardi, Youssef, Sami Virolainen, Emile Salomon Massima Mouele, Markku Laatikainen, Eveliina Repo, and Katri Laatikainen. 2023. "The Recent Progress of Ion Exchange for the Separation of Rare Earths from Secondary Resources – A Review." *Hydrometallurgy* 218:106047. doi: 10.1016/j.hydromet.2023.106047.
- Firman, Firman, Arbi Haya, and Abdul Azis Sahidi. 2020. "Identifikasi Kandungan Logam Tanah Jarang pada Abu Batubara PLTU Mulut Tambang." (1).
- Franus, Wojciech, Małgorzata M. Wiatros-Motyka, and Magdalena Wdowin. 2015. "Coal Fly Ash as a Resource for Rare Earth Elements." *Environmental Science and Pollution Research* 22(12):9464–74. doi: 10.1007/s11356-015-4111-9.
- Ghalme, S., P. Koinkar, and Y. Bhalerao. 2020. "Effect of Aluminium Oxide (Al₂O₃) Nanoparticles Addition into Lubricating Oil on Tribological Performance." *Tribology in Industry* 42(3):494–502. doi: 10.24874/ti.871.04.20.07.

- Gschneidner, Karl A. 1978. "Armco Steel Corporation, Armco Research Center, Middletown, Ohio 45042, USA."
- Gupta, C. K., and N. Krishnamurthy. 2005. *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Harvey, David. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. Boston: McGraw-Hill.
- Iruson, Baskaran. 2021. "Synthesize of CeO₂ Nanoparticles and Investigation of Antibacterial, Antifungal, Anticancer Activity." *JMSA* 5(1). doi: 10.17303/jmsa.2021.5.105.
- Ismawati, Lilik, and Fanteri Aji Dharma Suparno. 2020. "LOGAM TANAH JARANG, KEDAULATAN DAN KEAMANAN NASIONAL."
- Jha, Manis Kumar, Archana Kumari, Rekha Panda, Jyothi Rajesh Kumar, Kyoungkeun Yoo, and Jin Young Lee. 2016. "Review on Hydrometallurgical Recovery of Rare Earth Metals." *Hydrometallurgy* 161:77. doi: 10.1016/j.hydromet.2016.01.003.
- Ji, Bin, and Wencai Zhang. 2022. "Adsorption of Cerium (III) by Zeolites Synthesized from Kaolinite after Rare Earth Elements (REEs) Recovery." *Chemosphere* 303:134941. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134941.
- Jumaeri, W. Astuti, and W. T. P. Lestari. 2007. "PREPARASI DAN KARAKTERISASI ZEOLIT DARI ABU LAYANG BATUBARA SEC." 11:38–44.
- Kaur, Kirandeep, Manmohan Singh, and H. S. Sahota. 2019. "Wavelength Dispersive XRF Study of Heavy Elements in Soil in Cancer Hit Villages of Malwa Region of Punjab, India." *Oriental Journal of Chemistry* 35(3):1045–53. doi: 10.13005/ojc/350317.
- Khaironie, Mohamed Takip, Markom Masturah, Meor Yusoff Meor Sulaiman, and Salim Nazaratul Ashifa. 2014. "Solvent Extraction of Light Rare Earth Ions Using D2EHPA from Nitric Acid and Sulphuric Acid Solutions." *Advanced Materials Research* 970:209–13. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.970.209.
- Khalil, Magdy, Gehan Abdel Rahman Sadek Dakroury, and Emad Hassan Borai. 2022. "Efficient Sorption and Group Separation of Rare Earth Elements Using Modified CuO Nanocomposite." *Surfaces and Interfaces* 33:102233. doi: 10.1016/j.surfin.2022.102233.
- Kilbourn, Barry T. 2011. "Cerium and Cerium Compounds." Pp. 1–23 in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, edited by Kirk-Othmer. Wiley.
- Kinasti, Rr. Mekar Ageng, and Notodisuryo. 2018. "PEMANFAATAN LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA (BOTTOM ASH) PADA PLTU SURALAYA SEBAGAI MEDIA TANAM DALAM UPAYA MENGURANGI PENCEMARAN LINGKUNGAN." *Kilat* 6(2):129–38. doi: 10.33322/kilat.v6i2.129.
- Koundal, Minakshi, Chhaya Sharma, and A. K. Singh. 2024. "Effect of Organic Component (Tartrate) Addition on Cerium Nitrate's Ability to Inhibit Corrosion of Mild Steel in NaCl Solution." *Journal of Rare Earths* S1002072124000206. doi: 10.1016/j.jre.2024.01.011.
- Leksono, Eko Budi, and Ali Abidin. 2021. "Pemanfaatan Limbah Fly Ash Batubara sebagai Koagulan dengan Konsep Reverse Logistics." *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya* 7(1):39–44. doi: 10.30656/intech.v7i1.2736.

- Li, Yang, Feifei Yang, Jing Xiong, Kejia Liu, Wanhai Xiao, Tao Qi, Zhipeng Dong, and Yong Wang. 2024. "Separation of La/Ce in Rare Earth Polishing Powder Waste via Two-Stage Hydrochloric Acid Leaching and Corresponding Leaching Mechanism." *Separation and Purification Technology* 330:125297. doi: 10.1016/j.seppur.2023.125297.
- Liu, Shuang-Liang, Hong-Rui Fan, Xuan Liu, Jianyin Meng, Alan R. Butcher, Lahaye Yann, Kui-Feng Yang, and Xiao-Chun Li. 2023. "Global Rare Earth Elements Projects: New Developments and Supply Chains." *Ore Geology Reviews* 157:105428. doi: 10.1016/j.oregeorev.2023.105428.
- Mathias, Jennifer. 2022. "How Does FTIR Analysis Work?" Retrieved (<https://www.innovatechlabs.com/newsroom/672/stuff-works-ftir-analysis/>).
- McNeice, James, Rina Kim, and Ahmad Ghahreman. 2020. "Oxidative Precipitation of Cerium in Acidic Chloride Solutions: Part II – Oxidation in a Mixed REE System." *Hydrometallurgy* 194:105331. doi: 10.1016/j.hydromet.2020.105331.
- Mokoena, By K., L. S. Mokhahlane, and S. Clarke. 2022. "Effects of Acid Concentration on the Recovery of Rare Earth Elements from Coal Fly Ash." *International Journal of Coal Geology* 259:104037. doi: 10.1016/j.coal.2022.104037.
- Munir, Misbachul. 2008. "PEMANFAATAN ABU BATUBARA (FLY ASH) UNTUK HOLLOW BLOCK YANG BERMUTU DAN AMAN BAGI LINGKUNGAN." *Diponegoro University Institutional Repository*.
- Nechaev, A. V., A. S. Sibilev, A. V. Smirnov, S. V. Shestakov, and E. G. Polyakov. 2016. "A Rational Approach to Processing Cerium-Containing Raw Materials." *Theoretical Foundations of Chemical Engineering* 50(5):863–66. doi: 10.1134/S0040579516050171.
- Pan, Jinhe, Lei Zhang, Zhiping Wen, Tiancheng Nie, Ningning Zhang, and Changchun Zhou. 2023. "The Mechanism Study on the Integrated Process of NaOH Treatment and Citric Acid Leaching for Rare Earth Elements Recovery from Coal Fly Ash." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 11(3):109921. doi: 10.1016/j.jece.2023.109921.
- Pandit, Bidhan, Nitish Kumar, Pankaj M. Koinkar, and Babasaheb R. Sankapal. 2019. "Solution Processed Nanostructured Cerium Oxide Electrode: Electrochemical Engineering towards Solid-State Symmetric Supercapacitor Device." *Journal of Electroanalytical Chemistry* 839:96–107. doi: 10.1016/j.jelechem.2019.02.047.
- Park, Sungyoon, Minsoo Kim, Yejee Lim, Jimin Yu, Siyu Chen, Sang Woon Woo, Sunho Yoon, Sungjun Bae, and Han S. Kim. 2021. "Characterization of Rare Earth Elements Present in Coal Ash by Sequential Extraction." *Journal of Hazardous Materials* 402:123760. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123760.
- ppid.menlhk.go.id. 2021. "Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola." *Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola*. Retrieved May 12, 2024 (<https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/5864/fly-ash-dan-bottom-ash-faba-hasil-pembakaran-batubara-wajib-dikelola>).
- Putri, Adinda Ramadhani Haka, and Agam Diandra Lesmana. 2022. "ANALISIS POTENSI DAN ARAH STRATEGI KEBIJAKAN LOGAM TANAH JARANG DI INDONESIA."
- Rahmi, Aufa, and Mawardi Mawardi. 2022. "Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH Sebagai Alkali Aktivator Terhadap Kuat Tekan Semen Geopolimer Berbasis Tanah Napa." *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP* 11(2):21. doi: 10.24036/p.v11i2.113719.

- Ramos, Silvio J., Guilherme S. Dinali, Cynthia Oliveira, Gabriel C. Martins, Cristiano G. Moreira, José O. Siqueira, and Luiz R. G. Guilherme. 2016. "Rare Earth Elements in the Soil Environment." *Current Pollution Reports* 2(1):28–50. doi: 10.1007/s40726-016-0026-4.
- Rodič, Peter, Maria Lekka, Francesco Andreatta, Ingrid Milošev, and Lorenzo Fedrizzi. 2021. "The Synergistic Effect of Cerium Acetate and Sodium Sulphate on Corrosion Inhibition of AA2024-T3 at Various Temperatures." *Electrochimica Acta* 370:137664. doi: 10.1016/j.electacta.2020.137664.
- Rosita, Widya, Indra Perdana, I. Made Bendiyasa, Ferian Anggara, Himawan Tri Bayu Murti Petrus, Agus Prasetyo, and Isyatun Rodliyah. 2023. "Sequential Alkaline-Organic Acid Leaching Process to Enhance the Recovery of Rare Earth Elements from Indonesian Coal Fly Ash." *Journal of Rare Earths* S1002072123002405. doi: 10.1016/j.jre.2023.09.001.
- Salinita, Silti, Asep Bahtiar Purnama, Andi Agus Nur, and Yuyun Yuniardi. 2023. "INVENTARISASI POTENSI LOGAM TANAH JARANG MENGGUNAKAN METODE GEOFISIKA DI DAERAH AIRBARA, KABUPATEN BANGKA SELATAN, KEPULAUAN BANGKA BELITUNG." *JURNAL GEOMINERBA (JURNAL GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA)* 8(1):62–78. doi: 10.58522/ppsdm22.v8i1.130.
- Scirè, Salvatore, and Leonardo Palmisano. 2020. "Cerium and Cerium Oxide: A Brief Introduction." Pp. 1–12 in *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier.
- Setiawan, Rudi, Sovian Aritonang, Djoko Andreas, and Riyadi Juhana. 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). doi: 10.30596/rmme.v6i1.12627.
- Shwe, Lwin Thuzar, Nwe Nwe Soe, and Kay Thi Lwin. 2008. "Study on Extraction of Ceric Oxide from Monazite Concentrate." 2(12).
- Singh, Kshitij Rb, Vanya Nayak, Tanushri Sarkar, and Ravindra Pratap Singh. 2020. "Cerium Oxide Nanoparticles: Properties, Biosynthesis and Biomedical Application." *RSC Advances* 10(45):27194–214. doi: 10.1039/D0RA04736H.
- Soetopo, Bambang. 2013. "STUDI GEOLOGI DAN LOGAM TANAH JARANG DAERAH AIR GEGAS BANGKA SELATAN." 34(1).
- Suganal, Suganal, Datin Fatia Umar, and Hasudungan Eric Mamby. 2018. "Identifikasi keterdapatn unsur logam tanah jarang dalam abu batubara Pusat Listrik Tenaga Uap Ombilin, Sumatera Barat." *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 14(2):111–25. doi: 10.30556/jtmb.Vol14.No2.2018.395.
- Sulistyowati, Nurul Aini. 2013. "BATA BETON BERLUBANG DARI ABU BATUBARA (FLY ASH DAN BOTTOM ASH) YANG RAMAH LINGKUNGAN."
- Suyanti, and Aryadi. 2011. "EKSTRAKSI TORIUM DARI KONSENTRASI TH, LTJ (HIDROKSIDDA) MENGGUNAKAN SOLVEN BIS2-ETIL HEKSIL FOSFAT." *Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan-BATAN, Babarsari Yogyakarta* 55281.
- Tokyo Chemical Industry. n.d. "Cerium(III) Acetate Hydrate." Retrieved (<https://www.tcichemicals.com/KR/ko/p/C2974>).
- Trinopiawan, Kurnia, Maria Veronica Purwani, Mutia Anggraini, and Riesna Prassanti. 2019. "Pemisahan Cerium dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Melalui Kalsinasi dan Pelindian

- Menggunakan HNO₃ Encer.” *EKSPLORIUM* 40(1):63. doi: 10.17146/eksplorium.2019.40.1.5411.
- Ulum, M. Bahrul. 2014. “KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA FLY ASH DARI PERUSAHAAN READY MIX BETON DAN LIMBAH PABRIK TERHADAP SIFAT MEKANIK PASTA DAN MORTAR.” 8–11.
- Vansla, Tryudha, Harizona Aulia Rahman, and Rusli Har. 2023. “KAJIAN POTENSI LOGAM TANAH JARANG PADA BATUPASIR FORMASI OMBILIN ATAS DAN FORMASI OMBILIN BAWAH MENGGUNAKAN ANALISIS X-RAY FLUORESCENCE.” doi: <https://doi.org/10.24036/bt.v8i2.125158>.
- Wang, Weiwei, Zhangkuang Peng, Chunlei Guo, Qiang Li, Yanjiang Liu, Shaochun Hou, and Hailong Jin. 2023. “Exploring Rare Earth Mineral Recovery through Characterization of Riebeckite Type Ore in Bayan Obo.” *Heliyon* 9(3):e14060. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14060.
- Wardhana, Henry, and Ninis Hadi Haryanti. 2001. “Studi Abu Dasar Batubara Sebagai Bahan Konstruksi Campuran Beton.”
- Yenni, Fitri Rahma, and Heri Prabowo. 2021. “Management Pengendalian Kualitas Batubara Berdasarkan Parameter Kualitas Batubara Mulai Dari Front Sampai Ke Stockpile Di PT. Budi Gema Gempita, Merapi Timur, Lahat, Sumatera Selatan.”
- Younis, Adnan, Dewei Chu, and Sean Li. 2016. “Cerium Oxide Nanostructures and Their Applications.” Retrieved (<https://www.intechopen.com/chapters/52860>).
- Yuliani, Galuh, Widya Liswanti, Rahmadhita Murida, Siska Mutiara, and Agus Setiabudi. 2020. “Adsorption-Desorption Properties of Ammonium Ion on Zeolite Bottom Ash in Aqueous Solution.” in *Proceedings of the Proceedings of the 7th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar, MSCEIS 2019, 12 October 2019, Bandung, West Java, Indonesia*. Bandung, Indonesia: EAI.
- Zamiri, Reza, Hossein Abbastabar Ahangar, Ajay Kaushal, Azmi Zakaria, Golnoosh Zamiri, David Tobaldi, and J. M. F. Ferreira. 2015. “Dielectrical Properties of CeO₂ Nanoparticles at Different Temperatures” edited by M. G. Kuzyk. *PLOS ONE* 10(4):e0122989. doi: 10.1371/journal.pone.0122989.
- Zheng, Heishu, Jiajing Tang, Yanhua Wei, Xi Deng, Yingjuan Zhang, Xiangyu Ma, Xudong Jiang, Zhi Ping Xu, and Hongbing Liao. 2024. “Antibacterial Properties of Cerium Oxide Nanoparticles: Recent Progresses and Future Challenges.” *Particuology* 93:264–83. doi: 10.1016/j.partic.2024.06.017.
- Zou, Dan, Ji Chen, Hongmin Cui, Yu Liu, and Deqian Li. 2014. “Wet Air Oxidation and Kinetics of Cerium(III) of Rare Earth Hydroxides.” *Industrial & Engineering Chemistry Research* 53(35):13790–96. doi: 10.1021/ie502241t.