

**PEMISAHAN DAN KARAKTERISASI NEODIMIUM DARI ABU
TERBANG BATUBARA MENGGUNAKAN PELINDIAN ALKALI-ASAM,
PENGENDAPAN SELEKTIF, DAN KALSINASI**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia



Oleh

Nopita Putri

NIM 2005300

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2024

**PEMISAHAN DAN KARAKTERISASI NEODIMIUM DARI ABU
TERBANG BATUBARA MENGGUNAKAN PELINDIAN ALKALI-ASAM,
PENGENDAPAN SELEKTIF, DAN KALSINASI**

Oleh

Nopita Putri

NIM 2005300

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

©Nopita Putri

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.

NOPITA PUTRI

**PEMISAHAN DAN KARAKTERISASI NEODIMIUM DARI ABU TERBANG
BATUBARA MENGGUNAKAN PELINDIAN ALKALI-ASAM, PENGENDAPAN
SELEKTIF, DAN KALSINASI**

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

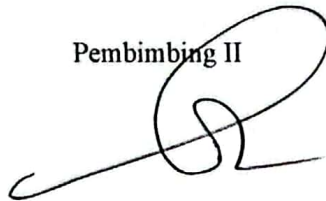
Pembimbing I



Dr. Galuh Yuliani, M.Si.

NIP.198007252001122001

Pembimbing II

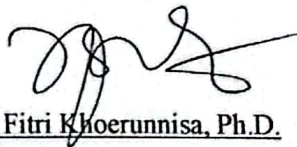


Prof. Dr. rer. nat. H. Ahmad Mudzakir, M.Si.

NIP. 196611211991031002

Mengetahui

Ketua Departemen Prodi Kimia



Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D.

NIP.197806282001122001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pemisahan dan Karakterisasi Neodimium dari Abu Terbang Batubara Menggunakan Pelindian Alkali-Asam, Pengendapan Selektif, dan Kalsinasi**" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2024
Yang membuat pernyataan,

Nopita Putri
2005300

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemisahan dan Karakterisasi Neodimium dari Abu Terbang Batubara Menggunakan Pelindian Alkali-Asam, Pengendapan Selektif, dan Kalsinasi” dengan tepat waktu. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan akibat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, tidak hanya bagi penulis dan pembaca, tetapi juga bagi peneliti yang akan melanjutkan penelitian di bidang ini.

Bandung, Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

Nopita Putri

2005300

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kesehatan dan kekuatan selama pelaksanaan riset dan penyusunan skripsi ini. Selama pelaksanaan riset dan penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian skripsi ini, terutama kepada:

1. Kedua orang tua saya Bapak Asep Maman dan Ibu Titin Lisdiawati yang selalu mendoakan dan memberi semangat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselenggarakan dengan baik.
2. Ketiga saudara saya, Ari, Andri, Qonita yang selalu menghibur, memberikan semangat dan mendoakan penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
3. Ibu Dr. Galuh Yuliani, M.Si., selaku pembimbing 1 yang telah membimbing, memberikan arahan serta masukan sehingga pelaksanaan riset dan penyusunan skripsi dapat terselesaikan.
4. Bapak Prof. Dr. rer. nat. H. Ahmad Mudzakir, M.Si., selaku pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
5. Dr. H. Budiman Anwar, M.Si., selaku ketua KBK Kimia Material.
6. Ibu Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D., selaku Ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI.
7. Bapak Drs. Ali Kusrijadi, M.Si., selaku Pembimbing Akademik.
8. Segenap dosen, staf, dan laboran Program Studi Kimia FPMIPA UPI yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu, motivasi, serta pelayanan terbaik kepada penulis selama proses pelaksanaan riset.
9. Agnino Muhamad Kevin, Putri Ayu Lestri, dan Shafira Azzahra Maharani selaku teman satu bimbingan yang telah menjadi rekan diskusi serta memberikan banyak bantuan selama proses pelaksanaan riset.
10. Hilman Fauzi Herdiana selaku sahabat yang selalu memberikan afirmasi positif serta menjadi tempat berbagi cerita selama pengerjaan skripsi ini.
11. Seluruh rekan kimia angkatan 2020 dan semua pihak yang telah berpartisipasi atas terselesaikannya riset dan skripsi ini.

Penulis berharap dengan tulus agar Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

ABSTRAK

Abu terbang merupakan limbah padat hasil pembakaran batubara yang mengandung kuarsa serta logam berharga lainnya, termasuk logam tanah jarang seperti neodimium. Peningkatan penggunaan batubara dalam industri di Indonesia telah menyebabkan akumulasi limbah padat batubara. Penelitian ini bertujuan untuk memisahkan dan mengkarakterisasi neodimium dari abu terbang batubara menggunakan dua metode, yaitu (i) pelindian alkali-asam, pengendapan pH-10 dengan ammonium hidroksida dan kalsinasi pada suhu 600°C selama 2 jam, serta (ii) pelindian alkali-asam, diikuti pelindian nitrat, pengendapan selektif dengan ammonium hidroksida dan kalsinasi pada suhu yang sama. Hasil yang didapat dikarakterisasi dengan XRD dan FTIR. Pada metode (i) menunjukkan pola difraksi yang mengindikasikan keberadaan spesi neodimium oksida, seperti $\text{Cl}_3\text{CuNd}_4\text{O}_{15}\text{Te}_5$ (COD. 4309286), $\text{Nd}_4\text{O}_{15}\text{W}_3$ (COD. 1527945), dan NNdO_2Zr (COD. 4303940) dengan serapan pada bilangan gelombang 554,76 cm^{-1} yang disebabkan oleh vibrasi ikatan Cu-O, Nd-O, atau Zr-O. Pada metode (ii) menunjukkan pola difraksi yang mengindikasikan adanya $\text{Nd}_4\text{O}_{15}\text{W}_3$ (COD. 1527945) dengan serapan pada bilangan gelombang 852,89 cm^{-1} yang disebabkan oleh vibrasi W-O dalam senyawa $\text{Nd}_4\text{O}_{15}\text{W}_3$. Pemisahan neodimium dari abu terbang dengan kedua metode ini menghasilkan spesi yang diperkirakan mengandung neodimium oksida.

Kata Kunci: abu terbang, neodimium, pelindian, pengendapan selektif

ABSTRACT

Fly ash is a solid waste from coal combustion that contains quartz and other valuable metals, including rare earth metals such as neodymium. The increasing use of coal in industries in Indonesia has led to the accumulation of coal solid waste. This study aims to separate and characterize neodymium from coal fly ash using two methods, namely (i) alkali-acid leaching, pH-10 precipitation with ammonium hydroxide and calcination at 600°C for 2 hours, and (ii) alkali-acid leaching, followed by nitrate leaching, selective precipitation with ammonium hydroxide and calcination at the same temperature. The results obtained were characterized by XRD and FTIR. Method (i) showed diffraction patterns indicating the presence of neodymium oxide species, such as $Cl_3CuNd_4O_{15}Te_5$ (COD. 4309286), $Nd_4O_{15}W_3$ (COD. 1527945), and $NNdO_2Zr$ (COD. 4303940) with absorption at wavenumber 554.76 cm^{-1} caused by Cu-O, Nd-O, or Zr-O bond vibrations. Method (ii) showed a diffraction pattern indicating the presence of $Nd_4O_{15}W_3$ (COD. 1527945) with absorption at wavenumber 852.89 cm^{-1} caused by W-O vibrations in the $Nd_4O_{15}W_3$ compound. The separation of neodymium from fly ash by these two methods produced specimens that are thought to contain neodymium oxide.

Keywords: *fly ash, neodymium, leaching, selective precipitation*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Struktur Organisasi Skripsi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Abu Terbang Batubara (<i>Coal Fly Ash</i>).....	5
2.2 Neodimium (Nd)	6
2.3 Magnet Neodimium.....	8
2.4 Pelindian Alkali-Asam	11
2.5 Pengendapan Logam Tanah Jarang	12
2.5.1 Pengendapan pH 10 Menggunakan NH_4OH	13
2.5.2 Pengendapan Selektif Menggunakan NH_4OH	13
2.6 Kalsinisasi.....	13
2.7 Karakterisasi Material	14
2.7.1 <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF)	14
2.7.2 <i>X-ray Diffractometer</i> (XRD)	16
2.7.3 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	17
BAB III METODE PENELITIAN	19

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.2.1 Alat.....	19
3.2.2 Bahan	19
3.3 Alur Prosedur Penelitian.....	20
3.4 Prosedur Penelitian.....	20
3.4.1 Preparasi CFA.....	20
3.4.2 Pelindian Alkali	21
3.4.3 Pelindian Asam.....	21
3.4.4 Pengendapan NH_4OH pada pH 10.....	21
3.4.5 Variasi Metode.....	21
3.4.6 Prosedur Analisis Instrumen.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Karakterisasi Sampel Abu Terbang Batubara (CFA).....	24
4.2 Hasil Karakterisasi Pelindian Alkali-Asam.....	28
4.3 Hasil Karakterisasi Metode 1	33
4.4 Hasil Karakterisasi Metode 2	37
4.5 Perbandingan Hasil Karakterisasi Metode 1 dan 2.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Abu Terbang Batubara.....	5
Tabel 2.2 Karakteristik Neodimium	7
Tabel 2.3 Aplikasi Neodimium	8
Tabel 2.4 Kegunaan Magnet Neodimium	9
Tabel 4.1 Komposisi Sampel CFA.....	24
Tabel 4.2 Klasifikasi Struktur Kristal Sampel CFA setelah Preparasi	26
Tabel 4.3 Hasil FTIR Abu Terbang Batubara (CFA).....	28
Tabel 4.4 Klasifikasi Struktur Kristal Pelindian Alkali.....	29
Tabel 4.5 Klasifikasi Struktur Kristal Pengendapan NH_4OH pH 10	32
Tabel 4.6 Klasifikasi Struktur Kristal Kalsinasi Endapan pH 10.....	35
Tabel 4.7 Hasil FTIR Metode 1.....	37
Tabel 4.8 Klasifikasi Struktur Kristal Endapan Oksalat	38
Tabel 4.9 Klasifikasi Struktur Kristal Pengendapan Selektif.....	41
Tabel 4.10 Klasifikasi Struktur Kristal Metode 1 dan 2.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tabel Periodik Logam Tanah Jarang	6
Gambar 2.2 Hasil XRD Neodimium pada suhu kalsinasi yang berbeda.....	17
Gambar 2.3 Hasil FTIR Neodimium Oksida.....	18
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian Secara Umum	20
Gambar 3.2 Alur Prosedur Penelitian.....	20
Gambar 4.1 Hasil XRD CFA Menggunakan Origin	25
Gambar 4.2 Hasil XRD CFA Menggunakan MATCH-3	26
Gambar 4.3 Hasil FTIR Abu Terbang Batubara (CFA)	27
Gambar 4.4 Hasil XRD CFA setelah Pelindian Alkali	29
Gambar 4.5 Perbandingan Hasil XRD CFA dengan Pelindian Alkali	30
Gambar 4.6 Hasil XRD Pengendapan NH_4OH pH 10 Menggunakan Origin	31
Gambar 4.7 Hasil XRD Pengendapan NH_4OH pH 10 Menggunakan MATCH-3	31
Gambar 4.8 Perbandingan Hasil XRD Pelindian Alkali dengan Pengendapan NH_4OH pH 10.....	33
Gambar 4.9 Hasil XRD Kalsinasi Endapan pH 10 Menggunakan Origin	34
Gambar 4.10 Hasil XRD Kalsinasi Endapan pH 10 Menggunakan MATCH-3 ..	34
Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Pengendapan NH_4OH pH 10 dengan Kalsinasi pH 10.....	36
Gambar 4.12 Hasil FTIR Metode 1	36
Gambar 4.13 Hasil XRD Endapan Oksalat Menggunakan MATCH-3.....	38
Gambar 4.14 Perbandingan Hasil XRD Pelindian Asam dengan Pengendapan Oksalat	39
Gambar 4.15 Hasil XRD Pengendapan Selektif Menggunakan Origin	40
Gambar 4.16 Hasil XRD Pengendapan Selektif Menggunakan MATCH-3	40
Gambar 4.17 Perbandingan Hasil XRD Pengendapan Oksalat dengan Pengendapan Selektif.....	41
Gambar 4.18 Hasil FTIR Metode 2	42
Gambar 4.19 Perbandingan Hasil XRD Metode 1 dengan Metode 2	43
Gambar 4.20 Perbandingan Hasil FTIR Metode 1 dengan Metode 2	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Perhitungan.....	52
Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian	52
Lampiran 3. Data Karakterisasi	54

DAFTAR PUSTAKA

- Achary, S. N., Jayakumar, O. D., Tyagi, A. K., & Kulshreshtha, S. K. (2003). Preparation, phase transition, and thermal expansion studies on low-cristobalite type $Al_{1-x}Ga_xPO_4$ ($x = 0.0, 0.20, 0.50, 0.80,$ and 1.00). *Journal of Solid State Chemistry*, *176*, 37-46.
- Al-Kofahi, M. M., Al-Tarawneh, K. F., & Shobaki, J. M. (1997). Analysis of Abbasid dirhams using XRF techniques. *X-Ray Spectrometry*, *26*(1), 10-14.
- Anggraini, M., Saron, B., Waluyo, S., Rusydi, R., & Sujono, S. (2015). Pengendapan Uranium dan Thorium Hasil Pelarutan Slag II. *Eksplorium*.
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W., & Nichols, M. C. (2001). *Handbook of Mineralogy Crystal Data* (Vol. 657). Mineralogical Society of America.
- Behera, S., Kumari, U., & Meikap, B. (2018). A review of chemical leaching of coal by acid and alkali solution. *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, *54*(1), 1–24. <https://doi.org/10.5937/JMMA1801001B>
- Ballestracci, R. (1965). Etude cristallographique de nouveaux sulfures de terres rares at de metaux alcalins $M = Li, K$. *Bulletin de la Societe Francaise de Mineralogie et de Cristallographie*, *88*, 207-210.
- Coey, J. M. D., & Ray, A. E. (1980). Crystal structure and magnetic properties of NdFeB. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, *19*(1), 1-10.
- Collins, A., Strydom, C.A., Matjie, R.H., Bunt, J.R., & van Dyk, J. (2023). Production of sodium-based zeolites and a potassium-containing leach liquor by alkaline leaching of South African coal fines ash. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*.
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001). *Elements of X-Ray Diffraction* (3rd ed.). Prentice Hall.
- El-Refaie, A. M. (2010). Radial flux permanent magnet generators for wind power applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *57*(10), 3471-3483.
- Griffiths, P. R., & De Haset, J. A. (2007). Signal-to-noise ratio. In *Chemical Analysis* (Vol. 171). <https://doi.org/10.1002/9780470106310.ch7>
- Gupta, C. K., & Krishnamurthy, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press.
- Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. (2006). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-36722-2>

- Hassan, I., Antao, S. M., & Parise, J. B. (2004). Sodalite: High-temperature structures obtained from synchrotron radiation and Rietveld refinements—Sample: T = 967 °C. *American Mineralogist*, 89, 359-364.
- Hendriana, P., Anggraeni, A. F., Hardianto, A., & Bahti, H. H. (2023). Penggunaan Agen Pengendap terhadap Pengendapan Lantanum dan Neodimium. *Jurnal Sains dan Kesehatan Huve*, M., Martin, C., Michel, C., Maignan, A., Hervieu, M., & Raveau, B. (1993). Influence of the size of alkaline earth cations on the structural distortion and transport properties of the semiconducting 1212-type cuprates $TlBa_{2-x}Sr_xLnCu_2O_7$. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 54, 145-152.
- Iandelli, A., & Palenzona, A. (1965). Atomic size of rare earths in intermetallic compounds. M X compounds of Cs Cl type. *Journal of the Less-Common Metals*, 9, 1-6.
- Iqbal, R. M., Simarmata, S. N., Sinaga, T. C., Simanjutak, E. R., Putra, R., & Khaerudini, D. S. (2024). Chemical and physical activation of natural pyrite as potential inorganic pigment material. *Konversi*, 13(1), 16–20. <https://doi.org/10.20527/k.v13i1.16947>
- Lukic, S. M. (2009). Design and performance of axial flux permanent magnet generators. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45(10), 4313-4320.
- Lee, J., Kim, J., & Kim, S. (2018). Chemical composition of fly ash from coal-fired power plants in Korea. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53(10), 931-938.
- Lehmann, U., & Mueller-Buschbaum, Hk. (1980). Der Aufbau von Nd_2NiO_4 und seine Verwandtschaft zu La_2NiO_4 und La_2CuO_4 . *Zeitschrift fuer Naturforschung, Teil B. Anorganische Chemie, Organische Chemie (33,1978-41,1986)*, 35, 389-390.
- Machatschki, F. (1936a). Die Kristallstruktur von Tiefquarz SiO_2 und Aluminiumorthoarsenat $AlAsO_4$. *Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie*, 94, 222-230.
- Machatschki, F. (1936b). Kristallstruktur von Tiefquarz. *Fortschritte der Mineralogie*, 20, 45-47.
- Manz, O. E. (1999). Coal fly ash: A retrospective and future look. *Fuel*, 78(2), 133–136. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)00148-3](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)00148-3)
- Middleton, A., Park, D. M., Jiao, Y., & Hsu-Kim, H. (2020). Major element composition controls rare earth element solubility during leaching of coal fly ash and coal by-products. *International Journal of Coal Geology*, 227(June), 103532. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2020.103532>

- Minghui, Y., Rodgers, J. A., Middler, L. C., Oró-Solé, J., Jorge, A. B., Fuertes, A., & Attfield, J. P. (2009). Direct solid-state synthesis at high pressures of new mixed-metal oxynitrides: $RZrO_2N$ ($R = Pr, Nd, \text{ and } Sm$). *Inorganic Chemistry*, *48*(24), 11498-11500.
- Modiga, A., Abdulsalam, J., Eterigho-Ikelegbe, O., Bada, S. O., & Goso, X. (2023). Optimisation of ultrasound-assisted alkali-acid leaching of rare earth elements from run-of-mine and discard coal using the response surface methodology. *Minerals Engineering*.
- Nermark, F. M., Mapolelo, M. M., Darkwa, J., Wendt, O. F., & Turner, C. (2022). Desulfurization of Morupule Coal with Subcritical Aqueous Ethanol Extraction. *ChemistryOpen*, *11*(11), e202200046. <https://doi.org/10.1002/open.202200046>
- Novriyanisti, A., Prassanti, R., & Widana, K. S. (2021). Pemisahan Unsur-unsur pada Monasit Bangka dengan Pengendapan Bertingkat.
- Polyanskaya, T. M., Borisov, S. V., & Belov, N. V. (1970). The structure of $Nd_4W_3O_{15}$. *Kristallografiya*, *15*, 1135-1139.
- Purnomo, C. (1995). Pengaruh pemberian abu batubara dan kotoran sapi terhadap perubahan sifat-sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) Hibrida pada Typic Hapludult dari Gajrug.
- PT Tifico Fiber Indonesia. (n.d.). Retrieved August 22, 2024, from <https://tifico.co.id/index.php/id/>
- Rare Earth Elements. (n.d.). [Rare Earth Elements Resources]. Diakses pada 23 Agustus 2024, dari <https://www.rareelementresources.com/rare-earth-elements>
- Ramlan, R., Setibudidaya, D., Bama, A. A., Muljadi, M., & Djuhana, D. (2020). Preparation and characterization of bakelite bonded magnet NdFeB used for electric generator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *463*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012085>
- Rattanaphra, D., Kingkam, W., & Nuchdang, S. (2022). Characterization of rare earths obtained from monazite concentrate processing and their application in esterification for biodiesel production. *Energy Reports*, *8*(November), 6914–6928. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.05.022>
- Sahidi, A. A., Senen, A. M., & Madjid, S. M. (2020). Pemanfaatan limbah abu batubara sebagai sumber logam tanah jarang.
- Shackley, M. (2011). *An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology*.

- Shen, Y.-L., & Mao, J.-G. (2005). Syntheses, crystal structures, and properties of six new lanthanide(III) transition metal tellurium(IV) oxyhalides with three types of structures. *Inorganic Chemistry*, 44, 5328-5335.
- Strnat, K. J. (1991). Anisotropy and magnetization processes in NdFeB. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 100(1-3), 1-10.
- 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.
- Su-zhen, R. (2008). Morphology control of neodymium hydroxide and oxide nanorods synthesized by hydrothermal method. *Journal of Functional Biomaterials*.
- Trinopiawan, K., Purwani, M. V., Anggraini, M., & Prassanti, R. (2019). Pemisahan Cerium dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Melalui Kalsinasi dan Pelindian Menggunakan HNO₃ Encer. *EKSPLORIUM*.
- Utami, A. L., Hadi, W., & Chaidir, A. R. (2023). Rancang Bangun Generator Axial Flux Tiga Fasa dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Rotor dan Stator Ganda untuk Pengisian Baterai 12 Volt. *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*.
- Vainshtein, B. K. (1956). Refinement of the structure of the group NH₄ in the structure of ammonium chloride. *Trudy Instituta Kristallografi Akademiyi Nauk SSSR*, 12, 18-24.
- Wai, A. M. (2018). Selective precipitation of neodymium oxide (Nd₂O₃) from monazite. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(8), 1-5.
- Wang, Z., Dai, S., Zou, J., French, D., & Graham, I. T. (2019). Rare earth elements and yttrium in coal ash from the Luzhou power plant in Sichuan, Southwest China: Concentration, characterization and optimized extraction. *International Journal of Coal Geology*, 203, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.01.001>
- Yue-Ling, S., & Jiang-Gao, M. (2005). Syntheses, crystal structures, and properties of six new lanthanide(III) transition metal tellurium(IV) oxyhalides with three types of structures. *Inorganic Chemistry*, 44(12), 5328-5335.