

**PENGAYAAN SERIUM DARI LOGAM TANAH JARANG
HIDROKSIDA HASIL OLAH PROSES ROASTING PASIR
MONASIT BANGKA MELALUI PROSES LEACHING DAN
PRESIPITASI**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana
Kimia**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2024**

PENGESAHAN SKRIPSI



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1427/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : **PENGAYAAN SERIUM DARI LOGAM TANAH JARANG HIDROKSIDA HASIL
OLAH PROSES ROASTING PASIR MONASIT BANGKA MALALUI PROSES
LEACHING DAN PRESIPITASI**

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : **MUTIK ULYA AUDITA**
Nomor Induk Mahasiswa : **20106030034**
Telah diujikan pada : **Senin, 29 Juli 2024**
Nilai ujian Tugas Akhir : **A**

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Endaraji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66b5f4d3e0260



Penguji I
Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66a7f3c19090d



Penguji II
Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66b1b3e3e6a2e



Yogyakarta, 29 Juli 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 66bed631e0290

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Mutik Ulya Audita
NIM : 20106030034
Judul Skripsi : Pemisahan Serum dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Olah Proses Roasting Pasir Monasit Bangka

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.



Pembimbing I

Endang Sedyadi, S.Si., M.Sc.
NIP: 19820265 201503 1 003

Yogyakarta, 23 Juli 2024
Pembimbing II

Suyanti, S. ST., M. Eng.
NIP: 19630615 198402 2 001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Mubik Ulya Audita
NIM : 20106030034
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Pemisahan Serium dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Olah Proses Roasting Pasir Monasit Bangka"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengelahaan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 23 Juli 2024


Mubik Ulya Audita
NIM 20106030034

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Karena sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah, 94:5-6)

Hatiku tenang karena mengetahui apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu

- Umar bin Khattab

وَعَسَى أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَكُمْ وَعَسَى أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَكُمْ

“Boleh jadi kamu benci kepada sesuatu padahal ia baik bagi kamu, dan boleh jadi kamu suka kepada sesuatu padahal ia buruk bagi kamu”

(QS. Al-Baqarah, 2:216)

“Pasti ada tantangan yang berat, disetiap perjalanan yang hebat. Tetapi, tak perlu tunggu hebat untuk berani memulai apa yang kau impikan, hanya perlu memulai untuk menjadi hebat raih yang kau impikan”

- CJR

“The best way to predict the future is to create it.”

- Peter Drucker

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:
Diri sendiri, Mama, Ayah, Adik, Keluarga
sebagai bukti semangat usaha penulis,
juga cinta dan kasih sayang penulis kepada mereka
Serta Almamater penulis Program Studi Kimia
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan, kekuatan, dan segala karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengayaan Serium dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Olah Proses Roasting Pasir Monasit Bangka” dengan baik. Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW agar kelak mendapat syafaatnya, dan Allah sandingkan kita dengan beliau di surga. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Kimia (S.Si). Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini banyak rintangan dan cobaan yang telah dihadapi. Namun, semua itu dapat terlewati berkat doa, dukungan, dan motivasi yang diberikan oleh orang-orang terdekat. Oleh karena itu, dengan ketulusan hati, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Endaruji Sedyadi, M. Sc., dan Ibu Suyanti S.ST., M.Eng., selaku Pembimbing Skripsi yang telah sabar dan ikhlas dalam memberikan ilmu, nasihat, bimbingan, masukan, serta dukungan kepada penulis, dari mulai sebelum hingga selesainya penelitian, serta penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen, PLP, dan staff Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu dan bantuan yang bermanfaat kepada penulis.
4. Pintu surga dan cinta pertama penulis, Ibunda Suprihati dan Ayahanda Kholis Budi Asmoro yang telah memberi kepercayaan dan mengorbankan segalanya agar penulis dapat melanjutkan pendidikan sampai tahap ini. Terima kasih telah senantiasa memberikan doa, cinta, kasih sayang, nasihat, motivasi, dan dukungan kepada penulis selama ini. Semoga seluruh jerih payah mama dan ayah dibalas oleh Allah SWT dengan kesehatan, umur yang panjang, rezeki, dan kebahagiaan yang tiada hentinya. Mama dan ayah harus selalu ada disetiap perjalanan dan pencapaian hidup penulis.
5. Adik penulis tercinta, Muhammad Faishal Hammam. Terima kasih atas doa dan semangat yang telah diberikan. Terima kasih juga sudah menemani penulis merantau ke Jogja. Semoga kita bisa sama-sama membuat bangga mama dan ayah.
6. Sahabat-sahabat seperjuangan penulis, Dede Siska Apriliani, Nada Hamida, dan Liza Abelia Putri. Terima kasih atas dukungan, bantuan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih sudah selalu kebersamai, mendengarkan keluh kesah, dan memberikan kebahagiaan kepada penulis.
7. Seluruh warga asrama putri dan asrama putra Batam yang telah menjadi keluarga penulis selama merantau di Jogja. Terutama Muhammad Rifai, terima kasih telah memberikan dukungan serta bersedia meluangkan waktu untuk kebersamai, mendengarkan, menghibur, dan membantu penulis.
8. Teman-teman Hydroxyl Kimia 2020 yang telah berjuang bersama-sama. Terima kasih atas kenangan-kenangan yang telah terukir selama perkuliahan.

9. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam bentuk apapun selama penyusunan skripsi ini.
10. Dan yang terakhir, kepada diri sendiri, Mutik Ulya Audita. Terima kasih sudah berjuang dan bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap memilih terus berusaha, bukan menyerah sesulit apapun proses yang dijalani. Walau sering *over thinking*, nyatanya *alhamdulillah* satu persatu bisa terlewati dan tercapai. Kedepannya untuk raga yang lebih kuat, hati yang selalu tegar, mari bekerja sama untuk lebih berkembang menjadi pribadi yang lebih baik lagi.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan masih memerlukan banyak perbaikan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Namun, penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua yang membutuhkan dan dapat menjadi referensi bidang ilmu yang terkait.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 2 Juli 2023

Penulis



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

PENGESAHAN SKRIPSI	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
MOTTO..	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah	6
C. Rumusan Masalah	7
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
A. Tinjauan Pustaka.....	9
B. Landasan Teori.....	14
1. Pasir Monasit	14
2. Logam Tanah Jarang (LTJ).....	16
3. Serium (Ce).....	24
4. Proses Roasting.....	26
5. Proses <i>leaching</i> /pelindian	28
6. Asam Nitrat (HNO ₃) sebagai reagen dalam proses <i>leaching</i>	30
7. Proses oksidasi dan reduksi	32
8. Proses presipitasi/pengendapan	34
9. Asam oksalat (H ₂ C ₂ O ₄) dan amonium hidroksida (NH ₄ OH) sebagai agen presipitasi	38
10. Kalsinasi.....	40
11. XRF (X-Ray Fluorescence)	43
12. XRD (X-Ray Diffraction).....	46
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	49
BAB III METODE PENELITIAN	53
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	53
B. Alat-alat Penelitian.....	53
C. Bahan Penelitian	53
D. Cara Kerja Penelitian	54
1. Proses <i>Leaching</i>	54
2. Proses Presipitasi	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
A. Proses <i>Leaching</i>	59

1.Karakterisasi umpan.....	59
2. <i>Leaching</i> /pelindian.....	60
B. Proses Presipitasi.....	71
1.Oksidasi dan Presipitasi	71
2.Reduksi dan Presipitasi	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	86
A. Kesimpulan	86
B. Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN.....	96
CURRICULUM VITAE	104



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Ksp LTJ dalam bentuk senyawa hidroksida.....	36
Tabel 4.1. Kadar unsur dalam umpan LTJOH.....	59
Tabel 4.2. Kadar unsur dalam konsentrat $\text{Ce}(\text{OH})_3$	71
Tabel 4.3. Kadar unsur dalam $\text{Ce}(\text{OH})_4$	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perkiraan permintaan global terhadap LTJ.....	18
Gambar 2.2. Distribusi produksi LTJ di seluruh dunia pada 2021.....	19
Gambar 2.3. LTJ dalam tabel periodik.....	19
Gambar 2.4. Presentase aplikasi penggunaan LTJ	23
Gambar 2.5. Kelimpahan unsur tanah jarang di kerak bumi	25
Gambar 2.6. Penggunaan LTJ (%) berdasarkan jenis bidang aplikasinya.....	25
Gambar 2.7. Diagram pourbaix serum	36
Gambar 2.8. Hubungan waktu dan suhu pada proses kalsinasi.....	42
Gambar 2.9. Prinsip kerja XRF	45
Gambar 2.10. Prinsip kerja alat XRD.....	48
Gambar 2.11. Prinsip XRD	48
Gambar 4.1. Grafik pengaruh konsentrasi HNO_3 terhadap kadar unsur LTJ dalam residu hasil leaching.....	61
Gambar 4.2. Grafik pengaruh konsentrasi HNO_3 terhadap efisiensi leaching unsur LTJ.....	64
Gambar 4.3. Grafik pengaruh waktu terhadap kadar unsur LTJ dalam residu hasil leaching pada suhu (a) 30°C , (b) 50°C , (c) 75°C	67
Gambar 4.4. Grafik pengaruh waktu leaching terhadap efisiensi leaching unsur LTJ pada suhu (a) 30°C , (b) 50°C , (c) 75°C	69
Gambar 4.5. Grafik pengaruh pH presipitasi terhadap kadar unsur LTJ dalam residu hasil reduksi dan presipitasi.....	78
Gambar 4.6. Difraktogram sinar-x $\text{Ce}(\text{C}_2\text{O}_4)$ dan CeO_2	84

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil XRF	96
Lampiran 2. Contoh perhitungan	99
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian	101



INTISARI

PENGAYAAN SERIUM DARI LOGAM TANAH JARANG HIDROKSIDA HASIL OLAH PROSES ROASTING PASIR MONASIT BANGKA MELALUI PROSES LEACHING DAN PRESIPITASI

Oleh:

Mutik Ulya Audita

20106030034

Pembimbing:

Endaruji Sedyadi, M.Sc. dan Suyanti, S.ST., M.Eng.

Pengayaan serum dari logam tanah jarang hidroksida hasil olah proses *roasting* pasir monasit Bangka melalui proses *leaching* dan presipitasi telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi asam nitrat, suhu, dan waktu terhadap kadar serum dan efisiensi proses *leaching* LTJOH. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi pH terhadap kemurnian serum pada proses presipitasi dalam pemurnian serum.

Pada penelitian ini dilakukan analisis variasi konsentrasi asam nitrat 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7M, variasi suhu 30°C, 50°C, dan 75°C, serta variasi waktu 1, 3, 10, 30, dan 60 menit untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kadar serum dan efisiensi proses *leaching*. Dilakukan juga variasi pH 3, 4, 6, dan 7 pada proses presipitasi setelah proses reduksi untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kemurnian serum. Analisis kadar setiap proses dilakukan menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk memastikan produk akhir yang terbentuk.

Hasil penelitian menunjukkan *leaching* $\text{LTJ}(\text{OH})_3$ menggunakan asam nitrat dapat memisahkan unsur serum yang tetap berada di fasa padat sebagai residu, sedangkan unsur LTJ lainnya larut di fasa cair sebagai filtrat. Perbedaan konsentrasi berpengaruh terhadap kelarutan unsur-unsur tanah jarang. Semakin tinggi konsentrasi asam nitrat, maka semakin sedikit Ce yang larut namun semakin banyak Y, La, Pr, dan Nd yang larut, sehingga kadar Ce pada residu semakin besar, sedangkan kadar Y, La, Pr, dan Nd pada residu cenderung semakin kecil. Peningkatan konsentrasi asam nitrat menyebabkan efisiensi *leaching* Y, La, Pr, dan Nd meningkat, sementara efisiensi *leaching* Ce tetap konstan pada 0%, yang menandakan tidak ada serum yang larut dalam kondisi konsentrasi berapapun. Suhu dan waktu *leaching* juga mempengaruhi kadar serum dan efisiensi *leaching*. Peningkatan waktu *leaching* cenderung menurunkan kadar unsur Y, La, Pr, dan Nd dalam residu, tetapi meningkatkan kadar Ce. Pada ketiga kondisi suhu, waktu yang semakin lama menyebabkan efisiensi *leaching* Y, La, Pr, dan Nd meningkat. Namun, peningkatan suhu pada durasi *leaching* yang sama tidak meningkatkan kadar Ce dan unsur LTJ lainnya. Peningkatan suhu *leaching* menurunkan perolehan unsur Y, La, Ce, Pr, dan Nd, sehingga efisiensinya juga cenderung

meningkat. Perbedaan nilai K_{sp} yang signifikan antara serum dan LTJ lainnya dapat memurnikan serum. Perbedaan pH berpengaruh terhadap kemurnian serum. Kemurnian serum meningkat seiring dengan meningkatnya pH presipitasi.

Kata kunci: Serum, Logam Tanah Jarang, *Leaching*, Oksidasi, Reduksi, dan Presipitasi



ABSTRACT

By:

Mutik Ulya Audita

20106030034

Adviser:

Endaruji Sedyadi, M.Sc. dan Suyanti, S.ST., M.Eng.

The enrichment of cerium from REE hydroxide derived from the roasting process of Bangka's monazite sand via leaching and precipitation processes has been carried out. This research aims to analyze the effect of nitric acid concentration, temperature, and time variations on the cerium content and efficiency of the REE hydroxides leaching process. Furthermore, this research also aims to analyze the effect of pH variation conditions on the purity of cerium during the precipitation processes in cerium purification.

In this study, variations in nitric acid concentration of 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; and 0,7M, temperature variations of 30°C, 50°C, and 75°C, and time variations of 1, 3, 10, 30, and 60 minutes were analyzed to determine the effect on cerium content and efficiency of the leaching process. pH variations of 3, 4, 5, 6, and 7 were also carried out in the precipitation process after the reduction process to determine the effect for purifying the cerium. The concentration analysis of each process as carried out using X-Ray Fluorescence (XRF) instrument and X-Ray Diffraction (XRD) instrument to ensure the final product is formed.

The results showed that leaching $\text{REE}(\text{OH})_3$ using nitric acid could separate Ce elements, which remained in the solid phase as residue, while other REEs dissolve in the liquid phase as filtrate. The concentration difference affects the solubility of rare earth elements. The higher the concentration of nitric acid, the less Ce dissolves, but more Y, La, Pr, and Nd dissolve, leading to an increased Ce content in the residue, while the Y, La, Pr, and Nd content in the residue tends to decrease. Increasing the concentration of nitric acid enhances the leaching efficiency of Y, La, Pr, and Nd, while the leaching efficiency of Ce remains constant at 0%, indicating that no cerium dissolves at any concentration. Temperature and leaching time also affect cerium content and leaching efficiency. Longer leaching times tend to decrease the content of Y, La, Pr, and Nd in the residue but increase Ce content. At all three temperature conditions, longer leaching times result in higher leaching efficiency for Y, La, Pr, and Nd. However, increasing the temperature during the same leaching duration does not increase the content of Ce and other LTJ elements. Higher leaching temperatures reduce the recovery of Y, La, Ce, Pr, and Nd, leading to a tendency for increased efficiency. The significant difference in K_{sp} values between cerium and other LTJ elements can purify cerium. pH variation affects cerium purity, with cerium purity increasing as the precipitation pH rises.

Keywords: Cerium, Rare Earth Metals, Leaching, Oxidation, Reduction, and Precipitation

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Unsur tanah jarang (*Rare Earth Elements*) merupakan sekelompok logam istimewa yang dianggap sebagai unsur penting, bernilai tinggi, dan dapat diterapkan di banyak bidang yang terkait dengan sains dan teknologi modern karena sifat fisik dan kimianya yang unik (European Commission, 2014). Logam Tanah Jarang (LTJ) sering digunakan sebagai bahan tambahan peralatan modern, sehingga memicu perkembangan teknologi material baru guna meningkatkan kualitas produk (Hendriana et al., 2023). LTJ dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti konduktor bersuhu tinggi, *green energy*, feromagnetik, perangkat elektronik, panel surya, peralatan medis, optik, metalurgi, energi nuklir, kimia, laser, baterai, serta di industri tradisional seperti kaca, keramik, katalisator, dan lampu (Purwani et al., 2019; Amalia, 2015; Mashadi et al., 2023). Logam ini juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku dalam industri otomotif dan militer, hingga teknologi masa depan seperti superkonduktor dan pengangkut hidrogen (Pusporini et al., 2020; Haryono et al., 2015; Amalia, 2015). Banyaknya manfaat dari LTJ membuat permintaan industri terhadap logam ini semakin meningkat (Aulia et al., 2021). Namun, seperti namanya, unsur tanah jarang merupakan unsur-unsur yang jarang ditemukan dalam bentuk murni atau bebas di alam. Selain itu, sifat-sifatnya yang sama membuat unsur ini sulit ditambang dan diproses, serta langka di pasaran (Peelman et al., 2015).

Secara geologis, LTJ tidak ada dalam bentuk unsur bebas di alam (Arianto et al., 2020), melainkan ditemukan dalam bentuk senyawa kompleks bersama mineral lain, seperti senotim, monasit, dan gadolinit, serta biasanya ditemukan secara bersamaan dengan logam-logam seperti tembaga, emas, fosfat, uranium, dan besi (Prameswara et al., 2019). Mineral-mineral LTJ tersebut dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok, yaitu mineral karbonat, fosfat, oksida, silikat, dan fluorida. Contoh mineral LTJ yang telah teridentifikasi di Indonesia adalah monasit ((Ce, La, Nd)PO₄) dan senotim (YPO₄), yang keduanya berbentuk fosfat dan merupakan mineral yang sering ditemui dalam proses pengolahan timah (Haryono et al., 2015; Amalia, 2015). Bijih monasit diketahui mengandung sejumlah besar LTJ, terutama Ce dan La, sehingga pengolahan bijih monasit untuk menghasilkan LTJ menjadi lebih terlihat akhir-akhir ini (Sadri et al., 2017). Urutan kandungan unsur tanah jarang yang berlimpah secara berurutan yaitu serium (Ce), lantanum (La), dan neodimium (Nd) dengan persentase sekitar ±16–20%, 7–10%, dan 5–7% (Pusporini et al., 2020). Unsur-unsur yang terdapat di dalam monasit masih bercampur satu sama lain, sehingga perlu dipisahkan untuk dapat digunakan sesuai dengan fungsinya masing-masing.

Unsur Serium (Ce) memiliki berbagai kegunaan, terutama sering digunakan dalam paduan besi, sebagai bubuk *polishing* kaca, dan sebagai katalis untuk industri perminyakan. Akan tetapi, serium tidak ditemukan dalam bentuk murni, mineral tersebut harus dilakukan proses pengayaan terlebih dahulu agar dapat dimanfaatkan. Diperkirakan pada tahun 2030 produksi dari Tiongkok tidak lagi mampu memenuhi 60% permintaan serium dunia (Nguyen dan Imholte, 2016). Hal

ini bisa menjadi potensi besar Indonesia untuk menjadi salah satu produsen serium. Aplikasi serium sedang dikembangkan oleh lembaga-lembaga penelitian di Indonesia sebagai bahan baku SOFC (*solid oxide fuel cell*) dan sebagai material penyerap gelombang mikro (Yunasfi et al., 2021). Namun, pengayaan serium dari tanah jarang masih belum banyak dilakukan di Indonesia (Setyadi & Sediawan, 2017; Indriawati et al., 2020; Yulandra et al., 2020).

Diindustri LTJ, Indonesia masih belum dikenal sebagai salah satu produsen LTJ dunia, padahal sebenarnya Indonesia memiliki potensi besar dalam produksi LTJ. Dengan pengolahan potensial yang memadai, Indonesia memiliki peluang untuk menjadikannya sebagai sumber cadangan mineral yang ekonomis dan strategis (Aulia et al., 2021; ESDM, 2017; Sajima et al., 2020). Hingga saat ini, upaya terus dilakukan untuk mengembangkan industrialisasi LTJ di Indonesia melalui proses pengolahan mineral monasit yang berasal dari sisa penambangan timah (Nuri et al., 2014; Trinopiawan et al., 2016). Saat ini, LTJ di Indonesia tersebar di Pulau Sumatera, Pulau Kalimantan, Pulau Jawa, Pulau Sulawesi, dan Pulau Papua yang ditemukan dalam mineral bawaan pada komoditas utama, terutama pada timah dan emas (Hastiawan et al., 2016). Total potensi simpanan LTJ di Indonesia diperkirakan mencapai 1,5 miliar ton, dengan 7 juta tonnya merupakan *tailing* atau hasil samping dari penambangan timah di Provinsi Bangka Belitung (ESDM, 2017). Meskipun belum terdapat penelitian khusus mengenai jumlah sebaran cadangan monasit di Bangka, namun temuan kandungan monasit dalam *tailing* yang dimiliki oleh PT Timah dan Koba Tin menunjukkan prospek yang menjanjikan dan mengindikasikan bahwa terdapat cadangan LTJ yang cukup besar

(Radianto, 2017). Walaupun deposit LTJ cukup banyak terdapat di Indonesia, namun pengolahan LTJ di negara ini masih belum optimal (Fabiani et al., 2017). Hingga saat ini sebagian besar pasokan LTJ di pasar dunia berasal dari Tiongkok dan masih banyak negara yang bergantung pada Tiongkok karena mengendalikan lebih dari 60 persen pasokan global (Mancheri et al., 2019; Statista, 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, LTJ telah menjadi isu menarik yang signifikan dalam industri logam karena terjadi penurunan pasokan global (Hendriana et al., 2023; European Commission, 2014). Menurut perkiraan USGS, dalam 50 tahun ke depan, cadangan LTJ diperkirakan akan mengalami penurunan signifikan. Faktor utama penyebabnya adalah peningkatan permintaan LTJ dari berbagai negara industri maju (Atmawinata et al., 2014). Untuk mengatasi tantangan dalam memenuhi kebutuhan sumber daya ini, diperlukan penerapan metodologi pengayaan baru (Purwani et al., 2019).

Serium merupakan komoditi mineral yang memiliki nilai strategis dan ekonomis, sehingga diperlukan upaya untuk mendapatkan logam tersebut dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Handini & Rachmi Pusparini, 2018). Hingga saat ini, pengayaan unsur tanah jarang masih menjadi hal yang cukup sulit karena unsur-unsur dalam golongan lantanida ini memiliki kesamaan sifat kimia dan fisika yang sulit dibedakan satu sama lain (Suyanti & Amiliana, 2020). Mulai dari valensi, jari-jari, nilai K_{sp} , bahkan warnanya (Aulia et al., 2021). Logam-logam tanah jarang memiliki jari-jari ionik dan bilangan oksidasi yang relatif sama, sehingga memungkinkan terjadinya substitusi antar logam tanah jarang secara bebas (Krishnamurthy & Gupta, 2015). Faktor-faktor seperti *pretreatment*, konsentrasi

pelarut, suhu, waktu, rasio padatan terhadap larutan (S/L), ukuran partikel, kecepatan pengadukan, dan pH dapat mempengaruhi proses pengayaan (Trinopiawan et al., 2016).

Sebenarnya sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk pengayaan serum dari LTJOH. Namun, tahapan prosesnya panjang, memerlukan peralatan dan bahan kimia yang banyak, serta membutuhkan waktu yang cukup lama. Berdasarkan kajian *feasibility study* industrialisasi LTJ dengan menggunakan data-data *pilot plant*, proses-proses tersebut belum menunjukkan tingkat *feasibility study* yang baik. Hal ini salah satunya disebabkan oleh kebutuhan bahan kimia yang terlalu tinggi dikarenakan tahapan proses pengolahan yang cukup panjang. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan metode pengayaan yang lebih sederhana tetapi tingkat selektifitas yang dihasilkan tinggi, meningkatkan efisiensi waktu, menghemat biaya, dan meminimalisir penggunaan bahan kimia, sehingga dapat meningkatkan daya tarik investasi (Trinopiawan et al., 2019; Setyadji & Sediawan, 2017). Selain itu, pengolahan LTJ dengan memanfaatkan potensi bahan baku yang berasal dari mineral monasit diharapkan akan menjadi salah satu langkah penting dalam memenuhi permintaan LTJ di masa depan serta meningkatkan nilai tambah dari pengolahan LTJ di Indonesia (Haryono et al., 2015). Mengacu pada permasalahan-permasalahan yang ada dan aplikasinya yang sangat potensial, maka penting untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan pengolahan dan pemurnian LTJ, yang pada penelitian ini terfokus pada pengayaan serum berbasis monasit guna mewujudkan optimalisasi potensi monasit yang tersedia di Indonesia. Penelitian ini melakukan pengayaan serum yang sudah

dilakukan proses *roasting* sebelumnya dengan metode *leaching* dan presipitasi yang lebih singkat serta penggunaan bahan yang diminimalisir.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Sampel (LTJOH hasil olah proses *roasting* pasir monasit Bangka) yang digunakan diperoleh dari BRIN Pasar Jumat, Jakarta Selatan.
2. Metode yang digunakan adalah *leaching*, oksidasi, reduksi, dan presipitasi.
3. Variasi konsentrasi HNO_3 yang digunakan pada proses *leaching* meliputi 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 dan 0,7 M.
4. Variasi suhu dan waktu yang digunakan pada proses *leaching* meliputi variasi suhu 30°C, 50°C, dan 75°C serta variasi waktu 1, 3, 10, 30, dan 60 menit.
5. Pada proses oksidasi dan presipitasi tidak dilakukan variasi, melainkan menggunakan kondisi proses terbaik pada penelitian sebelumnya.
6. Variasi pH yang digunakan pada proses presipitasi setelah reduksi meliputi pH 3, 4, 6, dan 7.
7. Pengayaan yang dilakukan hanya difokuskan untuk unsur serum.
8. Kondisi yang dipilih untuk proses *leaching* selanjutnya adalah ketika kadar serum dalam sampel paling tinggi, namun kadar unsur lainnya paling rendah.
9. Analisis karakteristik komposisi menggunakan instrumen XRF.
10. Analisis untuk memastikan produk yang dihasilkan menggunakan instrument XRD.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi asam nitrat, suhu, dan waktu terhadap kadar serum dan efisiensi proses *leaching* logam tanah jarang hidroksida hasil olah proses *roasting* pasir monasit Bangka?
2. Bagaimana pengaruh variasi pH terhadap kemurnian serum pada proses presipitasi dalam pemurnian serum dari logam tanah jarang hidroksida hasil olah proses *roasting* pasir monasit Bangka?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi asam nitrat, suhu, dan waktu terhadap kadar serum dan efisiensi proses *leaching* logam tanah jarang hidroksida hasil olah proses *roasting* pasir monasit Bangka.
2. Menganalisis pengaruh variasi pH terhadap kemurnian serum pada proses presipitasi dalam pemurnian serum dari logam tanah jarang hidroksida hasil olah proses *roasting* pasir monasit Bangka.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengayaan serum dari logam tanah jarang hidroksida hasil olah *roasting* pasir monasit Bangka, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi konsentrasi pelarut berpengaruh terhadap kelarutan unsur-unsur tanah jarang. Peningkatan konsentrasi asam nitrat dari 0,2M ke 0,5M mengurangi kelarutan Ce tetapi meningkatkan kelarutan Y, La, Pr, dan Nd, sehingga kadar Ce dalam residu meningkat dari 25,22% menjadi 68,526%, sementara Y, La, Pr, dan Nd menurun. Peningkatan konsentrasi asam nitrat dari 0,2M ke 0,5M menyebabkan efisiensi leaching Y, La, Pr, dan Nd berturut-turut meningkat dari 42,523%; 44,054%; 41,088%; dan 43,411%; menjadi 61,559%; 93,483%; 86,5698%; dan 82,5519%, sementara efisiensi leaching Ce tetap konstan pada 0%, yang menandakan tidak ada serum yang larut dalam kondisi konsentrasi berapapun. Suhu dan waktu *leaching* juga mempengaruhi kadar serum dan efisiensi *leaching*. Peningkatan waktu *leaching* dari 1 menit ke 30 menit cenderung menurunkan kadar unsur Y, La, Pr, dan Nd dalam residu, tetapi meningkatkan kadar Ce. Pada ketiga kondisi suhu, waktu yang semakin lama dari 1 menit ke 30 menit menyebabkan efisiensi *leaching* Y, La, Pr, dan Nd meningkat. Namun, peningkatan suhu dari 30° ke 75° pada durasi *leaching* yang sama tidak meningkatkan

kadar Ce dan unsur LTJ lainnya. Peningkatan suhu *leaching* dari 30° ke 75° menurunkan perolehan unsur Y, La, Ce, Pr, dan Nd, sehingga efisiensinya juga cenderung meningkat.

2. Variasi pH pada proses presipitasi berpengaruh terhadap kemurnian serum dalam proses pemurnian serum. Peningkatan pH presipitasi setelah proses reduksi dari pH 3 ke pH 7 meningkatkan kemurnian serum dari 79,7% menjadi 97%.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan kualitas penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan variasi konsentrasi, rasio S/L, suhu, dan waktu pada proses reduksi dan presipitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, R. D., & Morais, C. A. (2010). Purification of Rare Earth Elements from Monazite Sulphuric Acid Leach Liquor and The Production of High-purity Ceric Oxide. *Minerals Engineering*, 23(6), 536–540. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.03.010>
- Ahmed, S. H., Helaly, O. S., & El-Ghany, M. S. A. (2014). Preliminary Study for Separation of Heavy Rare Earth Concentrates from Egyptian Crude Monazite. *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, 8(8), 866–872. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1337849>
- Alemayehu, A., Zakharanka, A., & Tyrpekl, V. (2022). Homogeneous Precipitation of Lanthanide Oxalates. *ACS Omega*, 7(14), 12288–12295. <https://doi.org/10.1021%2Facs.omega.2c00763>
- Amalia, V. (2015). Penentuan Kondisi Optimum pada Pemisahan Serium (IV) dari Mineral Monasit Melalui Teknik Membran Cair Berpendukung Tubular Membran. *Jurnal Istek*, 9(2).
- Anzelmo, J., Seyfarth, A., & Arias, L. (2001). Approaching a Universal Sample Preparation Method for XRF Analysis of Powder Materials. *Advances in X-Ray Analysis*, 44, 368–370.
- Arianto, Sosidi, H., Prismawiryanti, & Pusptasari, D. J. (2020). Pemisahan Logam Tanah Jarang dari Limbah (Tailing) Emas Poboya dengan Metode Pengendapan. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(1), 9–17. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i1.13861>
- Atmawinata, A., Yahya, F., Widhianto, S., Roosmariharso, Irianto, D., Adlir, A., Susilo, Y., Radjid, W., Massaruddin, Noviansyah, D., Sutjiatmo, A. I., V, S., Wuri, S., Sutjiatmo, B. P., & Ardhana. (2014). *Telaah Penguatan Struktur Industri Pemetaan Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia*.
- Aulia, M. A., Kurniawan, C., & Setyadji B A, M. (2021). Cerium, Neodimium, and Lanthanum Leaching from Rare Earth Oxides (REO) using Hydrochloric Acid. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Berry, L., Galvin, J., Agarwal, V., & Safarzadeh, M. S. (2017). Alkali Pug Bake Process for The Decomposition of Monazite Concentrates. *Minerals Engineering*, 109, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.02.007>
- Binnemans, K., & Jones, P. T. (2014). Perspectives for The Recovery of Rare Earths from End-of-Life Fluorescent Lamps. *Journal of Rare Earths*, 32(3), 195–200. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(14\)60051-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(14)60051-X)
- Chen, K., Pei, J., Yin, S., Li, S., Peng, J., & Zhang, L. (2018). Leaching Behaviour of Rare Earth Elements from Low-grade Weathered Crust Elution-deposited Rare Earth or using Magnesium Sulfate. *Clay Minerals*, 53(3), 505–514. <http://dx.doi.org/10.1180/clm.2018.37>
- Chi, R., Li, Z., Peng, C., Gao, H., & Xu, Z. (2006). Preparation of Enriched Cerium Oxide from Bastnasite with Hydrochloric Acid by Two-Step Leaching. *Metallurgical and Materials Transactions*, 37(2), 155–160. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02693144>

- Dahle, J. T., & Arai, Y. (2015). Environmental geochemistry of cerium: Applications and toxicology of cerium oxide nanoparticles. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 12, Issue 2, pp. 1253–1278). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph120201253>
- Day, R. A., & Underwood, A. L. (1994). *Analisis Kimia Kuantitatif*. Erlangga.
- Doni Johansyah. (2012). *Studi Pengaruh Proses Reduksi Pemangangan dan Waktu Pelindian Amonium Bikarbonat terhadap Perolehan Nikel dari Bijih Limonit*. Universitas Indonesia.
- Dutta, T., Kim, K. H., Uchimiya, M., Kwon, E. E., Jeon, B. H., Deep, A., & Yun, S. T. (2016). Global Demand for Rare Earth Resources and Strategies for Green Mining. In *Environmental Research* (Vol. 150, pp. 182–190). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.052>
- Eliyani. (2019). *Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Reduksi dengan Penambahan Konsentrasi Reduktor terhadap Peningkatan Kadar dan Recovery Feronikel Melalui Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Kadar Rendah Menggunakan Antrasit dan Aditif $MgCl_2$* . Universitas Lampung.
- ESDM. (2017). *Kajian Potensi Mineral Ikutan pada Pertambangan Timah*.
- European Comission. (2014). *Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials*.
- Fabiani, V. A., Pitulima, J., & Nurhadini, D. (2017). Pengaruh Penambahan Natrium Hidroksida Terhadap Komposisi Logam Tanah Jarang Pasir Monazit Pulau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, 43–46.
- Fattah Alfawwazi, A., & Setyadji, M. (2022). Separation of Cerium, Neodymium, and Lanthanum from Rare Metal Concentrates by Calcining and Leaching Using Chloric Acid. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Galvin, J., & Safarzadeh, M. S. (2018). Decomposition of monazite concentrate in potassium hydroxide solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 1353–1363. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.042>
- Girard, J. (2010). *Principles of Environmental Chemistry*. Jones and Bartlett Publishers.
- Gumustas, M., Sengel-Turk, C. T., Gumustas, A., Ozkan, S. A., & Uslu, B. (2017). Effect of Polymer-Based Nanoparticles on the Assay of Antimicrobial Drug Delivery Systems. *Multifunctional Systems for Combined Delivery, Biosensing, and Diagnostics*, 67–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52725-5.00005-8>
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.136>
- Han, K. N. (2020). Characteristics of Precipitation of Rare Earth Elements with Various Precipitants. *Minerals*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/min10020178>
- Handini, T., & Rachmi Pusparini, W. (2018). Pelindian Y Hasil Dekomposisi Pasir Senotim Menggunakan Na_2CO_3 dan $NaHCO_3$. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*.

- Haryono, D., Fajrian Nurly, H., & Setiyadji, M. (2015). *Proses Roasting Pasir Monasit dari Kepulauan Bangka Belitung dengan NaOH Padat Menggunakan Muffle Furnace*.
- Hastiawan, I., Firmansyah, F., Rakhmawaty Eddy, D., & Rostika Noviyanti, A. (2016). Pemisahan Lanthanum dari Limbah Hasil Pengolahan Timah dengan Menggunakan Metode Pengendapan Bertingkat. *Chimica et Natura Acta*, 4(2). <https://doi.org/10.24198/cna.v4.n2.10678>
- Hendriana, P., Anggraeni, A., Hardianto, A., & Bahti, H. H. (2023). Penggunaan Agen Pengendap terhadap Pengendapan Lantanum dan Neodimium. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 5(3), 420–429. <https://doi.org/10.25026/jsk.v5i3.1723>
- Indriawati, A., Aldila, H., & Fabiani, V. A. (2020). Synthesis of Rare Earth Metal Oxides Based on Monasite Sand with pH Variations. *Stannum: Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 2(2), 1–4. <https://doi.org/10.33019/jstk.v2i2.1953>
- Jonan, I., & Suhendar, R. (2013). *Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia* (1st edition). Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi.
- Kedari, C. S., Pandit, S. S., & Ramanujam, A. (1999). Studies on The In Situ Electrooxidation and Selective Permeation of Cerium(IV) Across a Bulk Liquid Membrane Containing Tributyl Phosphate as The Ion Transporter. *Separation Science and Technology*, 34(9), 1907–1923. <https://doi.org/https://doi.org/10.1081/SS-100100746>
- Khopkar, S. M. (1984). *Konsep Dasar Kimia Analitik (Terjemahan)*. UI Press.
- Kim, C. J., Yoon, H. S., Chung, K. W., Lee, J. Y., Kim, S. D., Shin, S. M., Lee, S. J., Joe, A. R., Lee, S. Il, Yoo, S. J., & Kim, S. H. (2014). Leaching Kinetics of Lanthanum in Sulfuric Acid from Rare Earth Element (REE) Slag. *Hydrometallurgy*, 146, 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.04.003>
- Kim E, & Osseo-Asare K. (2012). Hydrometallurgy Aqueous Stability of Thorium and Rare Earth Metals in Monazite Hydrometallurgy: Eh-pH Diagrams for The Systems Th–, Ce–, La–, Nd– (PO₄)–(SO₄)–H₂O at 25 °C. *Hydrometallurgy*, 113–114, 67–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.12.007>
- Kim, J. S., Kim, H. S., Kim, M. J., Lee, J.-Y., & Kumar, J. R. (2015). Status of Separation and Purification of Rare Earth Elements from Korean Ore. *Rare Metal Technology*, 117–126. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-48188-3_14
- Kim, J.-Y., Kim, U.-S., Byeon, M.-S., Kang, W.-K., Hwang, K.-T., & Cho, W.-S. (2011). Recovery of Cerium from Glass Polishing Slurry. *Journal of Rare Earths*, 29(11), 1075–1078. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60601-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60601-1)
- Kim, R., Cho, H., Han, K. N., Kim, K., & Mun, M. (2016). Optimization of Acid Leaching of Rare-earth Elements from Mongolian Apatite-based Ore. *Minerals*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/min6030063>
- Krishnamurthy, N., & Gupta, C. K. (2015). *Extractive Metallurgy of Rare Earths* (2nd ed.). CRC Press.
- Kriswarini, R., Anggraini, D., & Djamaludin, A. (2010). Validasi Metoda XRF (XRay Fluorescence) Secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg,

- Mn dan Fe dalam Paduan Aluminium. *Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*.
- Lucas, J., Lucas, P., Mercier, T. Le, Rollat, A., & Davenport, W. G. (2015). *Rare Earth Science, Technology, Production, and Use*. Elsevier.
- Mancheri, N. A., Sprecher, B., Bailey, G., Ge, J., & Tukker, A. (2019). Effect of Chinese Policies on Rare Earth Supply Chain Resilience. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.017>
- Mashadi, M., Suyanti, S., Setiawan, J., Yunasfi, Y., & Adi, W. A. (2023). Magnetic and Microwave Absorbing Properties of Cerium Substituted Zinc Ferrite Synthesized Using Milling Technique. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 36(2), 721–731. <https://doi.org/10.1007/s10948-023-06518-3>
- Mayangsari, W., & Prasetyo, A. B. (2016). Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Limonit Menggunakan Zat Aditif CaSO_4 . *Metalurgi*, 1, 1–68. <http://dx.doi.org/10.14203/metalurgi.v31i1.86>
- McNeice, J., & Ghahreman, A. (2018). Selective Oxidation of Cerium in Rare Earth Solutions, a Comparison of Four Oxidants. *Rare Metal Technology* 2018, 15–25. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-72350-1_2
- McNeice, J., Kim, R., & Ghahreman, A. (2020). Oxidative precipitation of cerium in acidic chloride solutions: Part II – oxidation in a mixed REE system. *Hydrometallurgy*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105331>
- Morgenstern, R. (2016). *Hydrothermal Alteration and Rare Earth Element Mineralisation in The French Creek Granite*. University of Canterbury.
- Mubarok, M. Z., Muhammad, D., & Fathoni, W. (2016). Studi Kinetika Pelindian Bijih Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Larutan Asam Nitrat. *Metalurgi*, 1, 1–68. www.ejurnalmaterialmetalurgi.com
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., & Darminto. (2012). Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO_3 , dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya*, 2(1), 20–29.
- Nasir, S., Hussein, M. Z., Zainal, Z., Yusof, N. A., Afif, S., Zobir, M., & Alibe, I. M. (2008). *Potential Valorization of By-product Materials from Oil Palm: A review of Alternative and Sustainable Carbon Sources for Carbon-based Nanomaterials Synthesis*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15376/biores.14.1.Nasir>
- Nastiti, P. W. (2019). *Studi Interaksi Berdasarkan Struktur, Ikatan, dan Sifat-Sifat Elektronik Dua Ion Logam Tanah Jarang Yttrium(II) dan Skandium(III) dengan Cairan Ionik Asam Fenoksiasetat Menggunakan Metode Teori Fungsi Kerapatan (DFT)*. Universitas Gadjah Mada.
- Nawab, A., Yang, X., & Honaker, R. (2022). Parametric Study and Speciation Analysis of Rare Earth Precipitation Using Oxalic Acid in a Chloride Solution System. *Minerals Engineering*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107352>
- Nuri, H. L., Jami, A., & Pancoko, M. (2014). Kebutuhan Desain Awal pada Pilot Plant Pengolahan Monasit Menjadi Thorium Oksida (ThO_2). *Eksplorium*, 35(2), 131–141. <https://dx.doi.org/10.17146/eksplorium.2014.35.2.2758>

- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Nachtrieb, N. H. (2001). *Prinsip-Prinsip Kimia Modern (Terjemahan)*. Erlangga.
- Panalytical, B. V. (2009). *X-Ray Fluorescence Spectrometry*.
- Panda, R., Jha, M. K., Hait, J., Kumar, G., Singh, R. J., & Yoo, K. (2016). Extraction of Lanthanum and Neodymium from Leach Liquor Containing Rare Earth Metals (REMs). *Hydrometallurgy*, 165, 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.10.019>
- Panda, R., Kumari, A., Jha, M. K., Hait, J., Kumar, V., Kumar, J. R., & Lee, J. Y. (2014). Leaching of Rare Earth Metals (REMs) from Korean Monazite Concentrate. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 2035–2042. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.028>
- Patnaik, P. (1997). *Handbook of Inorganic Chemicals*. Chemistry Environmental Science.
- Peelman, S., Sun, Z. H. I., Sietsma, J., & Yang, Y. (2015). Leaching of Rare Earth Elements: Review of Past and Present Technologies. In *Rare Earths Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications* (pp. 319–334). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802328-0.00021-8>
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th ed.). Mc. Graw-Hill Book Company.
- Prakash, S. S. (1975). Dimensions of Corporate Social Performance: An Analytical Framework. *California Management Review*, 17(3), 58–65.
- Prameswara, G., Mulyono, P., Prasetya, A., Poernomo, H., & Trisnawati, D. I. (2019). Ekstraksi Logam Tanah Jarang (LTJ) dan Logam Berharga Hasil Fusi Alkali Tailing Zirkon. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan."*
- Prihutami, P. (2020). *Recovery Elemen Tanah Jarang dari Limbah Abu Terbang Batu Bara: Pemungutan Serium dan Itrium Menggunakan Asam Sitrat*. Universitas Gadjah Mada.
- Puji Astuti, I., Widhi Mahatmanti, F., Setyadi, M., & Sudibyo, R. (2021). Leaching Time and HNO₃ Concentration Effect on the Separation of Lanthanum and Neodymium Elements from Neodymium Concentrates. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Purwani, M. V., & Prayitno. (2013). Ekstraksi Konsentrat Neodimium Memakai Tri Oktal Amin. *Ganendra Journal of Nuclear Science and Technology*, 17(1), 17–26. <http://dx.doi.org/10.17146/gnd.2014.17.1.1296>
- Purwani, M. V., & Suyanti. (2005). Pengaruh HNO₃ dan KBrO₃ pada Pembuatan Konsentrat Ce, La dan Nd dari Pasir Monasit. *Prosiding PPI PPNY–BATAN, Yogyakarta*, 194–202.
- Purwani, M. V., & Suyanti. (2018). Leaching Kinetic of Nd, Y, Pr and Sm in Rare Earth Hydroxide (REOH) Use Nitric Acid. *Journal of Physics: Conference Series*, 962(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/962/1/012061>
- Purwani, M. V., Suyanti, & Muhadi, A. W. (2008). *Ekstraksi Konsentrat Neodimium Memakai Asam Di-2-Etil Heksil Fosfat*. 438–439.
- Purwani, M. V., Trinopiawan, K., Poernomo, H., Suyanti, Pusporini, N. D., & Amiliana, R. A. (2019). Separation of Ce, La and Nd in Rare Earth Hydroxide

- (REOH) by Oxidation with Potassium Permanganate and Precipitation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/3/032003>
- Purwanti, T. (2016). *Dekomposisi Fosfat dengan Metode Roasting Alkali untuk Pengambilan Logam Tanah Jarang dari Monasit Bangka*. Universitas Gadjah Mada.
- Pusparini, W. R., & Handini, T. (2017). *Ekstraksi Nd dalam Keasaman Nitrat dengan Penggaram Al(NO₃)₃ Menggunakan Campuran Ekstraktan TOA-TOPO*. 429–435.
- Pusporini, N. D., Suyanti, Amiliana, R. A., & Poernomo, H. (2020). Processing and Refining of Tin Tailing Mining. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012136>
- Puteri, J., Anggraeni, A., Hardianto, A., & Bahti, H. H. (2023). Oksidasi Serium Berdasarkan Agen Pengoksidasi. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 5(3), 409–419. <https://doi.org/10.25026/jsk.v5i3.1722>
- Qi, D. (2018). *Hydrometallurgy of Rare Earths: Separation and Extraction*.
- Radianto, Y. (2017). *Kinetika Pelarutan dan pengendapan Konsentrat LTJ(OH)₃ pada Pemisahan Logam Tanah Jarang (Nd, Sm, Y, dan Pr) dari Hasil Olah Pasir Monasit*. Universitas Gadjah Mada.
- Rahmawati, A. N. (2021). *Pengaruh Kondisi Operasi pada Presipitasi Logam Tanah Jarang (LTJ) dari Limbah Padat Pembakaran Batubara dengan Menggunakan Asam Oksalat*. Universitas Gadjah Mada.
- Rasyid, R. (2011). *Perbandingan X-Ray Fluorescence (XRF) dan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES) untuk Analisis Nikel dan Besi dalam Sampel Converter Slag pada Industri Pertambangan Nikel*. Universitas Islam Indonesia.
- Ristekdikti. (2016). *Rencana Induk Riset Nasional 2015-2045*.
- Roskill. (2016). *Lithium: Global Industry, Markets and Outlook* (13th ed.).
- Sadri, F., Rashchi, F., & Amini, A. (2017). Hydrometallurgical Digestion and Leaching of Iranian Monazite Concentrate Containing Rare Earth Elements Th, Ce, La and Nd. *International Journal of Mineral Processing*, 159, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.12.003>
- Sajidah, H. B. N. (2017). *Proses Sintesis Material Anorganik Menggunakan Prekursor Oksalat dalam Metode Kopresipitasi*.
- Sajima, Handini, T., Suyanti, & Sudaryadi. (2020). Separation the zircon mineral from tailing Tin mining using shaking table. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012127>
- Sajima, & Triyono. (2017). Pelindian Leburan Pasir Zirkon Kalimantan Menggunakan Air Panas Bench Scale. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 11(1). <http://dx.doi.org/10.17146/jfn.2017.11.1.3727>
- Samin, Poernomo, H., Rozana, K., & Suyanti. (2020). The processing and validation of zircon sand concentrate process into zircon opacifier. *AIP Conference Proceedings*, 2296. <https://doi.org/10.1063/5.0031229>
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Mudzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia* (1st ed.). UPI Press.

- Setiawan, H., Petrus, H. T. B. M., & Perdana, I. (2019). Reaction Kinetics Modeling for Lithium and Cobalt Recovery from Spent Lithium-ion Batteries using Acetic Acid. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 26(1), 98–107. <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1713-0>
- Setyadi, M., & Sediawan, W. B. (2017). *Desain Konsep : Pilot Plant Pengolahan REOH Menjadi CeO₂, La₂O₃ dan Konsentrat Na(OH)₃ Kapasitas 25 kg/hari*. Pustaka Pelajar.
- Silva, R. G. da, Morais, C. A. de, Teixeira, L. V., & Oliveira, É. D. de. (2018). Selective Removal of Impurities from Rare Earth Sulphuric Liquor Using Different Reagents. *Minerals Engineering*, 127, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.08.007>
- Silva, R. G., Morais, C. A., & Oliveira, É. D. (2019). Selective Cerium Removal by Thermal Treatment of Mixed Rare Earth Oxalates or Carbonates Obtained from Non-purified Rare Earth Sulphate Liquor. *Minerals Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105865>
- Silva, R. G., Morais, C. A., Teixeira, L. V., & Oliveira, E. D. (2019). Selective Precipitation of High-Quality Rare Earth Oxalates or Carbonates from a Purified Sulfuric Liquor Containing Soluble Impurities. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36(5), 967–977. <http://dx.doi.org/10.1007/s42461-019-0090-6>
- Sofyatin, T., Hendrati, D., & Pratomo, U. (2016). Pemisahan Unsur Tanah Jarang dari Senotim dengan Metode Pengendapan Melalui Destruksi Menggunakan Akua Regia. *Indonesian Chemia Acta*, 6(1), 25–29.
- Statista. (2023). *Distribution of Rare Earth Element Production Worldwide in 2021, by Select Country*.
- Strauss, M. L. (2016). The Recovery of Rare Earth Oxides From Waste Fluorescent of Mines. *Color. Sch. Mines*.
- Sukmara, S., Suyanti, Adi, W. A., & Manaf, A. (2022). Mineral analysis and its extraction process of ilmenite rocks in titanium-rich cumulates from Pandeglang Banten Indonesia. *Journal of Materials Research and Technology*, 17, 3384–3393. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.005>
- Suprpto SJ. (2009). Tinjauan Tentang Unsur Tanah Jarang . *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4(1), 36–45.
- Suryawan, I. (2008, August 28). Pengaruh Tebal Umpan Butiran Bola (NH₄)₂UO₇.(CzH₄₀)_z dan Waktu Kalsinasi Terhadap Densitas U₃O₈. *Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan*.
- Suyanti. (2023). *Pemisahan Lantanum dan Serium dari LTJOH Monasit Menggunakan Asam Encer dengan Metode Pelindian dan Oksidasi*. Universitas Gadjah Mada.
- Suyanti, & Amiliana, R. A. (2020). Extraction of yttrium from nd hydroxide concentrate by using D2EHPA. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012002>
- Suyanti, & Purwani MV. (2016). Kalsinasi Konsentrat Serium Menjadi Serium Oksida. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, 125–132.
- Syafrizal, Hede, A. N. H., Al Hakim, A. Y., & Permatasari, M. I. (2021). Identifikasi Keberadaan Rare Earth Elements Tipe Ion Adsorption pada

- Lempung: Sampel dari Muntok dan Lubuk Besar. *GEOSAPTA*, 7(2).
<http://dx.doi.org/10.20527/jg.v7i2.10897>
- 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*, 40(1), 63.
<https://doi.org/10.17146/eksplorium.2019.40.1.5411>
- Trinopiawan K, & Sumiarti. (2012). Pemisahan Thorium dan Uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan. *Jurnal Eksplorium*, 18(2), 55–62.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.55981/eksplorium.2012.677>
- Trinopiawan, K., Zaki Mubarak, M., Mellawati, J., & Yuli Ani, B. (2016). Pelindian Logam Tanah Jarang dari Terak Timah dengan Asam Klorida Setelah Proses Fusi Alkali. *Eksplorium*, 37(1), 41–50.
<http://dx.doi.org/10.17146/eksplorium.2016.37.1.2719>
- Tunsu, C., Petranikova, M., Gergorić, M., Ekberg, C., & Retegan, T. (2015). Reclaiming Rare Earth Elements from End-of-life Products: A Review of The Perspectives for Urban Mining using Hydrometallurgical Unit Operations. *Hydrometallurgy*, 156, 239–258.
<https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.06.007>
- Vogel. (1979). *Textbook Of Macro And Semimikro Qualitative Inorganic Analysis*. Longman Group Limited.
- Wanta, K. C., Petrus, H. T. B. M., Perdana, I., & Astuti, W. (2017). Uji Validitas Model Shrinking Core terhadap Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat dalam Proses Leaching Nikel Laterit. 11(1), 30–35.
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.23321>
- Warren, E. (1969). *X-Ray Diffraction*. Addison Wesley Publishing Co.
- Winarni, S., Sunengsih, N., & Anugrah, R. I. (2019). Penerapan Desain Fractional Factorial dalam Menentukan Faktor Berpengaruh pada Eksperimen Pelindian Konsentrat Galena (Pbs). *Statistika*, 19(2), 83–92.
<https://doi.org/10.29313/jstat.v19i2.4887>
- Xie, F., Zhang, T. A., Dreisinger, D., & Doyle, F. (2014). A Critical Review on Solvent Extraction of Rare Earths from Aqueous Solutions. *Minerals Engineering*, 56, 10–28. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.10.021>
- Yulandra, A., Trisnawatia, I., Bendiyasa, I. M., Pusparini, W. R., & Petrus, H. T. B. M. (2020). Optimasi Presipitasi Logam Tanah Jarang dari Campuran Konsentrat Logam Tanah Jarang dengan Metode “Response Surface Methodology.” *Metal Indonesia*, 42(1).
<http://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi>
- Zhou, B., Li, Z., & Chen, C. (2017). Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies. *Minerals*, 7(11).
<https://doi.org/10.3390/min7110203>