

**OPTIMASI PROSES PELINDIAN DAN KINETIKA PELINDIAN
LANTANUM, SERIUM, PRASEODIMIUM DAN NEODIMIUM DARI
LOGAM TANAH JARANG HIDROKSIDA MENGGUNAKAN ASAM
ASETAT**

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagian
Persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia**



**Liza Abelia Putri
20106030009**
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

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

PENGESAHAN SKRIPSI/ TUGAS AKHIR



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-811/Un.02/DST/PP.00.9/06/2024

Tugas Akhir dengan judul : OPTIMASI PROSES PELINDIAN DAN KINETIKA PELINDIAN LANTANUM, SERIUM, PRASEODIMIUM DAN NEODIMIUM DARI LOGAM TANAH JARANG HIDROKSIDA MENGGUNAKAN ASAM ASETAT

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : LIZA ABELIA PUTRI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030009
Telah diujikan pada : Jumat, 31 Mei 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 665d56eaaa81e



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

Valid ID: 665e9e788219c



Penguji II
Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 665d53b8e083c



Yogyakarta, 31 Mei 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 665d65b28f854

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Peretujuan 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 : Liza Abelia Putri
NIM : 20106030009
Judul Skripsi : Pelindian Lantanum, Serium, Praseodimium, dan Neodimium dalam Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Olah Monasit Menggunakan Asam Asetat

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 3 Mei 2024
Pembimbing

Karmanto, S.Si., M.Sc
NIP: 19820504 200912 1 005

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



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 : Liza Abelia Putri
NIM : 20106030009
Judul Skripsi : Pelindian Lantanum, Serium, Praseodimium, dan Neodimium dalam Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Olah Monasit Menggunakan Asam Asetat

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.

Yogyakarta, 8 Mei 2024

Pembimbing

Suvanti, S. ST., M. Eng

NIP: 19630615 198402 2 001

NOTA DINAS KONSULTASI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Liza Abelia Putri
NIM : 20106030009
Judul Skripsi. : Optimasi Proses Pelindian dan Kinetika Pelindian Lantanum,
Serium, Praseodimium dan Neodimium dari Logam Tanah Jarang
Hidroksida Menggunakan Asam Asetat

Sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 3 Juni 2024
Konsultan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
NIP. 19900330 201903 1 008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Liza Abelia Putri
Tempat/Tanggal Lahir : Lubuklinggau, 26 Juni 2002
NIM : 20106030009
Jurusan/Program Studi : Kimia
Alamat : Jalan serot, No.26, RT.02/RW.31, Wedomartani,
Ngemplak, Sleman, DI Yogyakarta

Dengan ini menyatakan bahwa pasphoto yang disertakan pada ijazah saya memakai **Kerudung/Jilbab** adalah atas kemauan saya sendiri dan segala konsekuensi/risiko yang dapat timbul di kemudian hari adalah tanggung jawab saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk melengkapi salah satu prasyarat dalam mengikuti Ujian Tugas Akhir pada Fakultas Sains dan Teknologi Sunan Kalijaga Yogyakarta, dan agar yang berkepentingan maklum.

Yogyakarta, 20 Mei 2024

Yang membuat pernyataan,



Liza Abelia Putri
NIM. 20106030009

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

**“Dan bersabarlah kamu sesungguhnya janji Allah adalah benar”
(Q.S. Ar-Ruum: 60)**

**“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan lain)
(Q.S. Al-Insyirah: 6-7)**

**“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu.
Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk
menjadikan dirimu serupa yang kau impikan mungkin tidak akan selalu
berjalan lancar. Tapi, gelombang-gelombang itu yang nanti bisa kau
ceritakan”
(Boy Chandra)**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

**Skripsi ini saya persembahkan untuk:
Diri sendiri, Bapak, Ibu, Kakak, Adik, Semua keluarga
Serta Almamater Program Studi Kimia
UIN Sunan Kalijaga**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan dan karunia-NYA kepada kita, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Proses Pelindian dan Kinetika Pelindian Lantanum, Serium, Praseodimium dan Neodimium Dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Menggunakan Asam Asetat”. Sholawat serta salam tak lupa kita haturkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW agar kelak mendapat syafaatnya, dan Allah sandingkan kita dengan beliau di surga. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana Kimia. Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Karmanto., S.Si., M. Sc., dan Ibu Suyanti S.ST., M.Eng., selaku Pembimbing Skripsi yang telah sabar dan ikhlas dalam memberikan nasihat, bimbingan, masukan, serta dukungan kepada penyusun baik sebelum hingga selesainya penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat
4. Kedua orang tua saya Bapak Muhari S.Pd dan Ibu Rusmiani A.Md, saudara saya Taufik Septiyohari S.P, serta saudari saya Nahda Muzdalifah yang selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang serta motivasi sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Mutik Aulia Audita yang telah menjadi sahabat, teman diskusi yang selalu memberikan semangat dalam menyusun skripsi.
6. Febbyancha Armityas Gracia, Latifah Multi Nafida, Siska Putri Rahmadiningrum, Naufalia Syafa Nurfadhia selaku teman satu kelompok bimbingan yang telah memberikan saran dan bantuannya untuk penyusunan skripsi.
7. Keluarga kimia Hydroxyl Angkatan 2020 yang telah kebersami selama masa perkuliahan
8. Semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan dalam penyusunan skripsi ini. Besar harapan penyusun mendapatkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penyusun juga berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Yogyakarta, 6 Mei 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	viii
NOTA DINAS KONSULTASI.....	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ixi
HALAMAN MOTTO.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	7
C. Rumusan Masalah.....	8
D. Tujuan Penelitian.....	9
E. Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	10
A. Tinjauan Pustaka.....	10
B. Landasan Teori.....	13
1. Monasit.....	13
2. Logam Tanah Jarang (<i>Rare Earth Elements</i>).....	15
3. Pelindian.....	20
4. Pelindian Logam Tanah Jarang dengan Asam Asetat (CH_3COOH).....	23
5. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	25
6. Kinetika Reaksi.....	28
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	36
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Alat-alat Penelitian.....	36
C. Bahan-bahan Penelitian.....	36
D. Cara Kerja Penelitian.....	36
1. Preparasi Sampel Logam Tanah Jarang Hidroksida (LTJOH).....	36
2. Proses Pelindian.....	37
3. Kinetika Pelindian.....	39
E. Teknik Analisis Data.....	40
1. Persentase Efisiensi Pelindian Logam Tanah Jarang Hidroksida.....	40
2. Kinetika Reaksi.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Karakterisasi Komposisi Logam Tanah Jarang Hidroksida.....	42
B. Pelindian Menggunakan Asam Asetat.....	43

1. Pengaruh Konsentrasi Asam Asetat	44
2. Pengaruh Rasio <i>Liquid/solid</i>	49
3. Pengaruh Suhu.....	51
4. Pengaruh Waktu	53
C. Kinetika Pelindian Logam Tanah Jarang Hidroksida Menggunakan Asam Asetat.....	57
1. Penentuan Orde Reaksi Pelindian LTJOH	60
2. Penentuan Konstanta Laju Reaksi Pelindian LTJOH.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP	68
A. Kesimpulan	68
B. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70
DAFTAR LAMPIRAN.....	78



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi komposisi unsur dalam LTJOH.....	43
Tabel 2. 2 Nilai M untuk La, Nd, dan Pr.....	62
Tabel 4. 3 Nilai-nilai R^2 regresi liner unsur La, Nd, dan Pr hasil percobaan pada tiga suhu terhadap tiga orde reaksi yang digunakan.....	65
Tabel 4. 4 Nilai k dari reaksi orde dua pada berbagai suhu	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(1) Elektron tereksitasi keluar (2) Pengisian kekosongan elektron (3) Pelepasan energi (4) Proses analisis data (Sumantry, 2002)	26
Gambar 2.2	Terbentuknya K-alpha dan K-Beta (Sumantry, 2002)	28
Gambar 4.3	Sampel logam tanah jarang hidroksida (LTJOH)	42
Gambar 4.4	Hubungan perubahan konsentrasi terhadap kadar unsur LTJ	45
Gambar 4.5	Hubungan perubahan konsentrasi asam terhadap efisiensi pelindian LTJOH	46
Gambar 4.6	Hubungan perubahan rasio Massa LTJOH/Volume CH ₃ COOH (L/S) terhadap kadar unsur LTJ	49
Gambar 4.7	Hubungan perubahan rasio Massa LTJOH/Volume CH ₃ COOH (L/S) terhadap efisiensi pelindian LTJOH	50
Gambar 4.8	Hubungan perubahan suhu terhadap kadar unsur LTJ	52
Gambar 4.9	Hubungan perubahan suhu terhadap efisiensi pelindian LTJOH.....	52
Gambar 4.10	Hubungan perubahan waktu terhadap kadar unsur LTJ	54
Gambar 4.11	Hubungan perubahan waktu terhadap efisiensi pelindian LTJOH..	55
Gambar 4.12	Korelasi waktu dan konversi pada berbagai variasi suhu unsur La	59
Gambar 4.13	Korelasi waktu dan konversi pada berbagai variasi suhu unsur Pr	59
Gambar 4.14	Korelasi waktu dan konversi pada berbagai variasi suhu unsur Nd	59
Gambar 4.15	Korelasi waktu dan $-\ln(1-x)$ reaksi orde satu unsur La	61
Gambar 4.16	Korelasi waktu dan $-\ln(1-x)$ reaksi orde satu unsur Pr	61
Gambar 4.17	Korelasi waktu dan $-\ln(1-x)$ reaksi orde satu unsur Nd	61
Gambar 4.18	Korelasi antara waktu dan $\ln = M - 3XM (1 - X)$ reaksi orde kedua unsur La	62
Gambar 4.19	Korelasi antara waktu dan $\ln = M - 3XM (1 - X)$ reaksi orde kedua unsur Pr	63
Gambar 4.20	Korelasi antara waktu dan $\ln = M - 3XM (1 - X)$ reaksi orde kedua unsur Nd.....	63
Gambar 4.21	Korelasi antara waktu dan $-\ln(1-X)$ reaksi orde semu unsur La.....	64
Gambar 4.22	Korelasi antara waktu dan $-\ln(1-X)$ reaksi orde semu unsur Pr	64
Gambar 4.23	Korelasi antara waktu dan $-\ln(1-X)$ reaksi orde semu unsur Nd	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	78
Lampiran 2. Pengenceran asam asetat sebagai pelarut	79
Lampiran 3. Perhitungan massa umpan pelarutan	80
Lampiran 4. Perhitungan massa dan efisiensi pelindian unsur dalam filtrat pelindian variasi konsentrasi.....	81
Lampiran 5. Perhitungan massa dan efisiensi pelindian unsur dalam filtrat pelindian variasi massa LTJOH/CH ₃ COOH (S/L)	82
Lampiran 6. Perhitungan massa dan efisiensi pelindian unsur dalam filtrat pelindian variasi suhu	83
Lampiran 7. Perhitungan massa dan efisiensi pelindian unsur dalam filtrat pelindian variasi waktu	84
Lampiran 8. Kinetika Reaksi.....	85

ABSTRAK

Optimasi Proses Pelindian dan Kinetika Pelindian Lantanum, Serium, Praseodimium dan Neodimium Dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Menggunakan Asam Asetat

Oleh:

Liza Abelia Putri

20106030009

Pembimbing:

Karmanto, S.Si., M.Sc. dan Suyanti, S.ST., M.Eng

Pelindian logam tanah jarang (LTJ) termasuk lantanum, serium, praseodimium dan neodimium dari konsentrat logam tanah jarang hidroksida (LTJOH) diperoleh dari pasir monasit menggunakan asam asetat dipelajari. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi asam, rasio massa LTJOH/Volume CH_3COOH , suhu dan waktu terhadap efisiensi pelindian logam tanah jarang hidroksida hasil olah monasit dan melakukan kajian kinetika orde reaksi, dan konstanta laju reaksi (k) pelindian LTJOH hasil olah monasit menggunakan asam asetat.

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh konsentrasi asam asetat 0; 0,1; 0,4; 0,7; 1 M, variasi rasio massa LTJOH/Volume CH_3COOH 1:10, 1:11, 1:12, 1:13, 1:14, variasi suhu 30°C , 50°C , 70°C , dan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75 menit untuk mendapatkan kondisi optimum proses pelindian. Analisis komposisi LTJ yang terlindi dilakukan dengan *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Kinetika reaksi dipelajari pada suhu 30°C , 50°C , 70°C , dan waktu 15, 30, 45, 75 menit.

Hasil penelitian menunjukkan pelindian LTJOH menggunakan asam asetat dapat memisahkan unsur Ce yang tetap berada di fasa padat sebagai residu sedangkan unsur LTJ lain terlindi atau larut sebagai fase cair. Kondisi optimum pelindian LTJOH menggunakan asam asetat diperoleh pada konsentrasi 0,7 M, rasio (L/S) 10, suhu 30°C dan waktu 75 menit. Pada kondisi tersebut diperoleh kadar Ce dalam fase padat (residu) dengan kadar 49% dan efisiensi pelindian Ce = mendekati 0%, Pr = 78,6%, La = 76% dan Nd = 70% pada fase cair. Selain itu, kinetika pelindian lantanum, neodimium, dan praseodimium dipelajari untuk mengetahui nilai konstanta laju reaksi. Nilai tersebut untuk mengetahui seberapa cepat reaksi tersebut berjalan dan juga untuk mengetahui seberapa besar konversi yang dihasilkan. Pelindian lantanum, neodimium, dan praseodimium mengikuti orde kedua. Konstanta laju reaksi suhu 30°C - 70°C untuk unsur La 33.10^{-3} - $77.71^{-3} \text{ menit}^{-1}$ > Pr $0,31.10^{-3}$ - $0,46.10^{-3} \text{ menit}^{-1}$ > Nd $0,24.10^{-3}$ - $0,48.10^{-3} \text{ menit}^{-1}$.

Kata kunci: Pelindian, Asam asetat, LTJOH, dan Kinetika

ABSTRACT

Optimization of the Leaching Process and Leaching Kinetics of Lanthanum, Cerium, Praseodymium and Neodymium from Rare Earth Metal Hydroxides Using Acetic Acid

By:

Liza Abelia Putri

20106030009

Adviser:

Karmanto, S.Si., M.Sc. dan Suyanti, S.ST., M.Eng

Leaching of rare earth metals (REE) including lanthanum, cerium, praseodymium and neodymium from rare earth metal hydroxides (REOH) concentrate obtained from monazite sand using acetic acid was studied. This research aims to study the effect of acid concentration, mass ratio of REOH/Volume of CH₃COOH, temperature and time on the leaching efficiency of monazite leached rare earth metal hydroxide and to study the kinetics of reaction order, and reaction rate constant (k) of monazite leached REOH using acetic acid.

In this study, the effect of acetic acid concentration of 0; 0.1; 0.4; 0.7; 1 M, variation of REOH mass / CH₃COOH volume ratio of 1:10, 1:11, 1:12, 1:13, 1:14, temperature variation of 30 °C, 50 °C, 70 °C, and time variation of 15, 30, 45, 60, 75 minutes to obtain the optimum conditions of the leaching process. Analysis of the leached REE composition was carried out by X-Ray Fluorescence (XRF). Reaction kinetics were studied at temperatures of 30°C, 50°C, 70°C, and times of 15, 30, 45, 75 minutes.

The results showed that REOH leaching using acetic acid can separate Ce elements that remain in the solid phase as residue while other REE elements are leached or dissolved as the liquid phase. The optimum conditions for REOH leaching using acetic acid were obtained at a concentration of 0.7 M, a ratio (L/S) of 10, Under these conditions, the Ce content in the solid phase (residue) was obtained at 49% and the leaching efficiency of Ce = close to 0%, Pr = 78.6%, La = 76% and Nd = 70% in the liquid phase. In addition, the kinetics of lanthanum, neodymium, and praseodymium leaching were studied to determine the value of the reaction rate constant. The value is to determine how fast the reaction runs and also to find out how much conversion is produced. The leaching of lanthanum, neodymium, and praseodymium followed the second order. Reaction rate constant at 30°C-70°C for element La 33.10^{-3} - $77.71^{-3} \text{ menit}^{-1}$ > Pr $0,31.10^{-3}$ - $0,46.10^{-3} \text{ menit}^{-1}$ > Nd $0,24.10^{-3}$ - $0,48.10^{-3} \text{ menit}^{-1}$.

Keywords: Leaching, Acetic acid, REOH, and Kinetics

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan penggunaan sumber energi dan industri yang ramah lingkungan mengakibatkan kebutuhan mineral sebagai bahan baku seperti sel surya kendaraan listrik, dan turbin semakin meningkat (Gielen, 2021; Gielen & M. Lyons, 2022). Logam tanah jarang (LTJ) dianggap unsur yang bernilai tinggi karena keunikan sifat fisik, kimia dan magnetiknya (European Commission, 2014). Logam tanah jarang (*Rare Earth Element*) adalah sekelompok logam yang terdiri dari 17 unsur kimia yang terletak pada tabel periodik. Kelompok ini mencakup 15 unsur lantanida bersama dengan itrium dan skandium sebagaimana ditetapkan oleh *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC). Pengelompokan Skandium dan itrium dalam kategori LTJ didasarkan kecenderungan unsur-unsur tersebut terdeposit di bijih yang sama dengan lantanida dan menunjukkan sifat kimia yang serupa (Balaram, 2019).

Berdasarkan nilai ekonomi, unsur-unsur logam tanah jarang sebagai bahan baku memberikan kemajuan teknologi yang cukup signifikan di berbagai bidang seperti magnet, katalis, metalurgi, baterai, kaca, keramik, pospor, dan lainnya (Roskill, 2021; Mashadi et al., 2023; Madika et al., 2023). Magnet permanen digunakan untuk elektronik, otomotif, AC dan lainnya diproyeksikan meningkat dari 29% menjadi 36% (Roskill, 2021). Banyaknya industri yang membutuhkan LTJ, membuat jumlah permintaan akan LTJ semakin pesat (European Commission, 2014).

Berdasarkan data dari Statista (2023) bahwa permintaan global akan LTJ oksida meningkat dari 208.250 metrik ton pada tahun 2019 menjadi 304.678 metrik ton pada tahun 2025. Peningkatan permintaan yang meningkat mengakibatkan kebutuhan akan LTJ tidak diimbangi dengan ketersediaannya. Hingga saat ini kegiatan produksi, konsumsi dan pengolahan sumber daya LTJ dunia didominasi oleh Cina, Amerika Serikat, Australia dan beberapa negara lainnya. Produksi LTJ oksida global mencapai 300.000 ton pada tahun 2022, produksi tersebut didominasi oleh Tiongkok 70%, Amerika Serikat 14%, dan Australia 4% (USGS, 2023). Menurut proyeksi USGS, dalam kurun waktu 50 tahun mendatang, diperkirakan akan terjadi penurunan yang signifikan pada Cadangan LTJ. Faktor utama yang menyebabkan hal ini adalah meningkatnya permintaan LTJ dari berbagai negara industri maju (Atmawinata et al., 2011). Dengan melihat tingginya permintaan global untuk LTJ setiap tahunnya, namun produksi yang terbatas akan menyebabkan harga yang tinggi, maka terdapat peluang pasar yang menarik bagi Indonesia.

Indonesia memiliki potensi menjadi sumber cadangan mineral yang memiliki nilai ekonomis dan strategis (Aulia et al., 2021; ESDM, 2017). Total potensi simpanan LTJ di Indonesia diperkirakan mencapai 1,5 miliar ton yang tersebar di Pulau Bangka Belitung, Pulau Kalimantan, Kepulauan Riau, Pulau Sulawesi, Pulau Jawa dan Pulau Papua, di mana 7 juta tonnya merupakan tailing atau hasil samping dari penambangan timah di Provinsi Bangka Belitung (Hastiawan et al., 2016; ESDM, 2017). Meskipun terdapat jumlah deposit LTJ cukup signifikan di Indonesia, namun pengolahan LTJ di negara ini masih belum optimal (Febiani et al., 2017). Untuk menghadapi tantangan dalam memenuhi

kebutuhan sumber daya logam tanah jarang, diperlukan penggunaan metode pemisahan baru (Purwani et al., 2019). Selain itu, seiring dengan meningkatnya permintaan LTJ dengan kemurnian yang tinggi dan lonjakan harga yang baru-baru ini terjadi, banyak negara sedang melakukan peninjauan ulang terhadap prospek pertambangan tanah jarang dan mencari peluang baru dalam upaya pemisahan dan peningkatan kemurniannya (European Commission, 2014). Oleh karena itu, tidak mengherankan apabila penelitian dan pengembangan terkait mineral strategis tetap menjadi prioritas utama di Indonesia hingga tahun 2045 (Ristekdikti, 2016).

Secara geologis, sumber utama LTJ tidak ditemukan dalam bentuk unsur bebas di alam, melainkan ditemukan dalam bentuk senyawa kompleks bersama mineral lain seperti senotim, monasit, gadolinit (Arianto et al., 2020). Biasanya juga ditemukan bersama dengan logam-logam seperti tembaga, emas, fosfat, uranium, dan besi (Prameswara et al., 2019). Mineral LTJ yang telah diidentifikasi di Indonesia adalah monasit ((Ce, La, Nd)PO₄) dan senotim (YPO₄), yang keduanya berbentuk fosfat dan merupakan sumber utama logam tanah jarang yang diperoleh dari hasil samping penambangan dan pengolahan timah yang mengandung unsur-unsur bernilai ekonomi tinggi (Gunradi et al., 2019). Menurut Viridhian et al (2014) keberadaan logam tanah jarang dari pasir monasit Indonesia di beberapa tempat seperti di Bangka Belitung, Kepulauan Tujuh, Singkep, Karimun Jawa, Kunder, Sumatera, Pulau Sula Banggai (timur Sulawesi), Kalimantan dan bagian barat Papua. Mineral monasit hasil samping pengolahan timah diketahui mengandung sejumlah unsur logam tanah jarang seperti Cerium (Ce), Lantanum (La), Neodimium (Nd), Praseodimium (Pr), dan Gadolinium (Gd). Berdasarkan penelitian

Pusporini et al (2020) kandungan logam tanah jarang dari pasir monasit dalam bentuk ikatan fosfat pada Pulau Bangka adalah $\text{LaPO}_4 = 15,59\%$, $\text{PrPO}_4 = 3,51\%$, $\text{NdPO}_4 = 12,94\%$, $\text{SmPO}_4 = 2,28\%$, $\text{GdPO}_4 = 2,27\%$, $\text{DyPO}_4 = 1,17\%$ dan $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4 = 13,96\%$, dan $(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2 = 0,59\%$ (Pusporini et al., 2020). Unsur Serium (Ce), Neodimium (Nd), dan Lantanum (La) memiliki berbagai kegunaan. CeO_2 digunakan sebagai bahan untuk sel bahan bakar oksida padat (SOFC), sensor, dan tampilan fosfor. La_2O_3 sebagai bahan dasar untuk cat anti radar, dan Nd_2O_3 sebagai bahan untuk magnet permanen (Pusporini et al., 2020). Namun pemisahan LTJ masih belum banyak dilakukan di Indonesia karena sifat kimia dan fisika dari LTJ ini mempunyai kemiripan satu sama lain (Setyadi & Sediawan, 2017; Indriawati et al., 2020; Yulandra et al., 2020).

Pusat Teknologi Bahan Galian sudah berhasil memisahkan Th dan U serta membuat LTJ OH (LTJ Hidroksida) melalui proses basa. Logam tanah jarang hidroksida (LTJ OH) merupakan produk proses monasit yang mengandung unsur REE yaitu Ce, La, Nd, Pr, Y, Sm dan Gd (Setyadi, 2017). Pada umumnya, pemisahan LTJ dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti metode ekstraksi pelarut dan resin penukar ion. Namun kedua metode ini memiliki beberapa kekurangan yaitu memerlukan banyak pelarut dan kurangnya tingkat selektivitas (Fabiani et al., 2017). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memisahkan LTJ adalah metode pelindian (*leaching*). Pelindian merupakan proses pelarutan logam yang diharapkan dalam konsentrat dengan menggunakan pelarut yang tepat sehingga sebagian zat padat larut dan sebagian zat padat tidak larut dalam bentuk residu (Winarni et al., 2019; Suyanti, 2023). Proses pelindian bisa menggunakan

pelarut atau reagen pelindian basa atau asam. Pelarut basa yang dapat digunakan untuk pelindian adalah NaOH. Namun pelarutan menggunakan metode basa unsur LTJ tersebut justru mengendap dan tidak larut (Fabiani et al., 2017). Sementara itu pelindian dengan menggunakan reagen asam biasanya bahan pelindian banyak menggunakan asam-asam anorganik seperti H_3PO_4 , HCl, $HClO_4$, dan HNO_3 (Ma, et al., 2015). Pada proses pelarutan metode asam, unsur-unsur LTJ yang terkandung akan ikut larut dan sebagian tidak larut (Fabiani et al., 2017). Baru-baru ini proses pelindian menggunakan menggunakan asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl) telah menunjukkan efektivitasnya (Lee et al., 2013; Trinopiawan et al., 2019; Aulia et al., 2021; Suyanti, 2023). Meskipun sangat efektif dalam proses pelindian LTJ, ternyata penggunaan asam nitrat pekat menyebabkan pemakaian bahan kimia yang tinggi (Trinopiawan et al., 2019). Selain itu, penggunaan asam anorganik asam nitrat atau HCl dalam proses pelindian dianggap memiliki beberapa kekurangan yaitu menghasilkan gas yang berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan menghasilkan limbah yang tidak ramah terhadap lingkungan (Behera & Parhi, 2016; Belfqueh et al., 2023). Oleh karena itu diperlukan alternatif pelarut pelindian yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya.

Penggunaan asam organik sebagai reagen pelindian dapat menjadi pengganti asam mineral yang baik karena lebih mudah dan tidak terlalu berbahaya untuk ditangani, menghasilkan emisi gas yang lebih rendah, dan lebih mudah terurai (Belfqueh et al., 2023). Asam asetat (CH_3COOH) sebagai agen pelindian dapat melarutkan seperti unsur Nd, Pr, dan La (Gergoric et al., 2018; Behera & Parhi, 2016; Belfqueh et al., 2023). Studi literatur menunjukkan bahwa konsentrasi asam,

rasio padat-cair, suhu dan waktu mempunyai pengaruh terhadap efisiensi pelindian LTJ dari LTJOH (Trinopiawan et al., 2019; Aulia et al., 2021). Handoyo et al (2019) melakukan penelitian untuk perolehan neodimium dari magnetik coal fly ash. Proses pelindian dilakukan variasi konsentrasi CH_3OOH 0,1 N, 0,5 N, dan 1 N, suhu pelindian sebesar 26°C , 40°C , dan 60°C . Hasil pelindian 15 g magnetic coal fly ash mencapai kondisi optimum pada penggunaan konsentrasi asam asetat 0,5 N dan suhu 60°C dengan persentase pelindian Nd sebesar 72%. Meskipun efisiensi pelindian asam organik CH_3OOH lebih rendah dari asam anorganik seperti asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl), akan tetapi jauh lebih ekonomis dan mudah. Dengan mengoptimalkan kondisi proses, efektivitas CH_3OOH untuk pelindian La, Ce, Pr dan Nd dari LTJOH dapat ditingkatkan.

Mekanisme reaksi pelindian LTJ menggunakan CH_3OOH dapat dioptimalkan apabila diketahui kinetika reaksi yang terjadi. Studi kinetika reaksi dipelajari agar dapat mengendalikan proses yang sedang berlangsung (Thubakgale et al., 2013). Tujuan dari studi kinetika diantaranya untuk menentukan orde reaksi dan konstanta laju reaksi. Menurut Khairat & Herman (2004) data mengenai konstanta laju reaksi dan orde reaksi terhadap pereaksi dapat digunakan dalam perancangan pabrik dan desain reaktor dalam proses produksi seperti spesifikasi alat, bahan yang diperlukan, serta estimasi biaya produksi. Penentuan konstanta laju reaksi terhadap reagen perlu dilakukan untuk merancang reaktor yang sesuai ketika melakukan sintesis senyawa dalam skala industri. Selain itu, model kinetika yang dihasilkan untuk memprediksi laju pelindian yang sejenis dalam larutan pelindian yang sama pada kondisi yang bervariasi tanpa secara terus menerus melakukan

percobaan (Mubarok et al., 2016). Purwani (2018) telah melakukan kinetika pelindian Nd, Y, Pr, dan Sm dari LTJOH menggunakan HNO_3 . Kinetika reaksi mengikuti reaksi orde kedua dengan energi aktivasi dengan energi aktivasi Y sebesar 23,34 kJ /mol diikuti Pr sebesar 20,00 kJ /mol, Sm sebesar 17,94 kJ /mol dan terkecil Nd sebesar 16,39 kJ /mol. Akan tetapi kajian kinetika reaksi pelindian La, Pr, dan Nd dari LTJOH menggunakan CH_3OOH belum pernah dilakukan.

Berdasarkan latar belakang diatas, dalam penelitian ini akan dilakukan pelindian Lantanum (La), Serium (Ce), Praseodimium (Pr) dan Neodimium (Nd) dalam logam tanah jarang hidroksida hasil olah monasit menggunakan pelarut alternatif berupa asam asetat, dan dilakukan pengkajian pengaruh konsentrasi asam asetat, variasi massa LTJOH/ volume CH_3COOH , suhu dan waktu terhadap pelindian LTJOH hasil olah monasit. Studi kinetika pelindian fitiing orde reaksi juga dipelajari untuk mengetahui seberapa banyak Lantanum (La), Praseodimium (Pr) dan Neodimium (Nd) dalam LTJOH larut dalam asam asetat dan mengetahui orde reaksi dan konstata laju reaksi. Penggunaan asam asetat sebagai agen pelindian dan mengkaji kinetika reaksinya diharapkan dapat menjadi metode penelitian yang lebih efisien, ekonomis dan ramah lingkungan. Hal ini tidak hanya akan memberikan kontribusi pada pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan tetapi juga mendukung industri-industri teknologi tinggi yang bergantung pada logam tanah jarang.

B. Batasan Masalah

Untuk membatasi masalah yang akan dibahas agar tidak menyimpang dari maksud dan tujuan, maka batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sampel yang diteliti berupa Logam Tanah Jarang Hidroksida (LTJOH) hasil olah monasit yang diperoleh dari BRIN Pasar Jumat, Jakarta Selatan.
2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelindian.
3. Asam yang digunakan adalah asam asetat (CH_3COOH).
4. Variasi Konsentrasi adalah 0; 0,1; 0,4; 0,7 dan 1 M.
5. Variasi rasio massa LTJOH/ Volume CH_3COOH (S/L) adalah 1:10, 1:11, 1:12, 1:13, dan 1:14
6. Variasi suhu adalah 30°C , 50°C , dan 70°C .
7. Variasi waktu adalah 15, 30, 45, 60 dan 75 menit.
8. Variasi suhu dan waktu untuk kinetika reaksi adalah masing-masing suhu (30°C , 50°C , dan 70°C) dilakukan pelindian dengan variasi waktu 15, 30, 45, dan 75 menit.
9. Analisis komposisi logam tanah jarang hidroksida dilakukan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF).
10. Kondisi optimum yang digunakan adalah kondisi dimana unsur Ce tetap berada di residu sedangkan unsur logam tanah jarang lainnya larut dalam filtrat.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi asam asetat dan rasio massa LTJOH/ Volume CH_3COOH , suhu dan waktu terhadap efisiensi pelindian logam tanah jarang hidroksida hasil olah monasit?

2. Bagaimana kajian kinetika orde reaksi dan konstanta laju reaksi (k) pelindian La, Pr, dan Nd dari LTJOH menggunakan asam asetat?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji pengaruh konsentrasi asam asetat 0; 0,1; 0,4; 0,7 dan 1 M, rasio massa LTJOH/ Volume CH_3COOH (S/L) 1:10, 1:11, 1:12, 1:13, dan 1:14, suhu reaksi 30°C, 50°C, dan 75°C dan waktu reaksi 15, 30, 45, 60 dan 75 menit terhadap efisiensi pelindian La, Ce, Pr, dan Nd dari LTJOH.
2. Melakukan kajian kinetika orde reaksi dan konstanta laju reaksi (k) pelindian La, Pr dan Nd dari LTJOH menggunakan asam asetat.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai alternatif penggunaan asam asetat untuk pelindian yang ramah lingkungan
2. Memberikan informasi terkait kondisi optimum konsentrasi asam asetat, rasio massa LTJOH/Volume CH_3COOH pada proses pelindian dari LTJOH
3. Memberikan informasi mengenai orde kinetika reaksi dan konstanta laju reaksi (k) pelindian LTJOH hasil olah monasit menggunakan asam asetat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pelindian Logam Tanah Jarang Hidroksida (LTJOH) diselidiki melalui beberapa parameter seperti konsentrasi CH_3COOH , dan rasio massa LTJOH/Volume CH_3COOH (S/L). Proses pelindian dapat memisahkan Ce dari Nd, La, Pr dan logam tanah jarang lainnya. Kondisi optimum pelindian LTJOH menggunakan asam asetat diperoleh pada konsentrasi 0,7 M, rasio (L/S) 10, suhu 30°C dan waktu 75 menit. Pada kondisi tersebut diperoleh kadar Ce dalam fase padat (residu) dengan kadar 49% dan efisiensi pelindian Ce = mendekati 0%, Pr = 78,6%, La = 76% dan Nd = 70% pada fase cair.
2. Konstanta laju reaksi sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu proses. Pelindian LTJOH menggunakan asam asetat mengikuti orde dua. Konstanta laju reaksi suhu 30°C - 70°C untuk unsur La 33.10^{-3} - $77.71^{-3} \text{ menit}^{-1}$ > Pr $0,31.10^{-3}$ - $0,46.10^{-3} \text{ menit}^{-1}$ > Nd $0,24.10^{-3}$ - $0,48.10^{-3} \text{ menit}^{-1}$.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan kadar Ce pada fase padat (residu) dan efisiensi La, Nd, dan Pr pada fase cair dapat dilakukan dengan menaikkan waktu pelindian dengan konsentrasi asam, dan rasio L/S yang sudah optimum.

2. Perlu dicoba menggunakan asam organik yang lain yang lebih ramah lingkungan.
3. Perlu penelitian lebih lanjut untuk pemisahan LTJ di dalam filtrat hasil pelindian.
4. Perlu dipelajari dan dikembangkan lagi studi tentang kinetika pelindian LTJ hidroksida orde tiga, orde empat, dan orde lainnya



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H. (1992). *Elektro Kimia dan Kinetika Kimia*. PT Citra Aditya Bakti.
- Amalia, V. (2015). Penentuan Kondisi Optimum Pada Pemisahan Serium (IV) dari Mineral Monasit Melalui Teknik Membran Cair Berpendukung Tabular Membran. *Jurnal Istek*, 9(2).
- 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>
- Astuti, I. P., Mahatmanti, W., Setyadji, M., & Sudiby, 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>
- Astuti, W., Mufakhir, F. R., Setiawan, F. A., Wanta, K. C., & Petrus, H. T. B. M. (2023). Leaching Characteristics of Lanthanum from a Secondary Resource Using Inorganic and Organic Acids: Emphasizing the Citric Acid Kinetics. *Circular Economy and Sustainability*, 3(1), 241–252. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00183-9>
- Atmawinata, A., Yahya, F., Widhianto, S., Irianto, D., Adlir, A., Susilo, Y., Radjid, W., Noviansyah, D., Indarto Sutjiatmo, A., Wuri, S., Prabowo Sutjiatmo, B., & Jakarta, A. (2011). Telaah Pengutan Struktur Industri Pemetaan Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia. In *Kementrian Perindustrian*.
- Aulia, M. A., Kurniawan, C., Setyadji B A, M., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Alamat, *. (2021a). Indonesian Journal of Chemical Science Cerium, Neodimium, and Lanthanum Leaching from Rare Earth Oxides (REO) using Hydrochloric Acid. *J. Chem. Sci*, 10(2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Aulia, M. A., Kurniawan, C., Setyadji B A, M., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Alamat, *. (2021b). Indonesian Journal of Chemical Science Cerium, Neodimium, and Lanthanum Leaching from Rare Earth Oxides (REO) using Hydrochloric Acid. *J. Chem. Sci*, 10(2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Behera, S. S., & Parhi, P. K. (2016). Leaching Kinetics Study of Neodymium from The Scrap Magnet Using Acetic Acid. *Separation and Purification Technology*, 160, 59–66. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2016.01.014>

- Belfqueh, S., Seron, A., Chapron, S., Arrachart, G., & Menad, N. (2023). Evaluating organic acids as alternative leaching reagents for rare earth elements recovery from NdFeB magnets. *Journal of Rare Earths*, 41(4), 621–631. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2022.04.027>
- 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>
- Cao, S., Zhou, C., Pan, J., Liu, C., Tang, M., Ji, W., Hu, T., & Zhang, N. (2018). Study on Influence Factors of Leaching of Rare Earth Elements from Coal Fly Ash. *Energy and Fuels*, 32(7), 8000–8005. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b01316>
- Chang, R. (2003). *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti*. Erlangga.
- Cisilya, T., Lestario, L., & Cahyanti, M. N. (2017). Kinetika Degradasi Serbuk Antosianin Daun Miana (*Coleous scutellarioides* L. Benth) Var Crispa Hasil Mikroenkapsulasi. *Chimica et Natura Acta*, 5(3), 146–152.
- Dimian, A. C., Bildea, C. S., & Kiss, A. A. (2019). Applications in Design and Simulation of Sustainable Chemical Processes. In *Elsevier*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-06856-3>
- Dogra, S. K., & Dogra, S. (1990). *Kimia Fisik dan Soal-soal*. UI Press.
- ESDM. (2017). *Kajian Potensi Mineral Ikutan pada Pertambangan Timah*.
- European Commission. (2014). *Report of the Ad Working Group on Defining Critical Raw Materials*.
- Fabiani, V. A., Pitulima, J., & Nurhadini, D. (n.d.). *Pengaruh Penambahan Natrium Hidroksida Terhadap Komposisi Logam Tanah Jarang Pasir Monazit Pulau Bangka*.
- Febiani, V. A., Pitulima, J., & Nurhadini. (2017). Pengaruh Penambahan Natrium Hidroksida Terhadap Komposisi Logam Tanah Jarang Pasir Monazit Pulau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat Fakultas Teknik*, 43–46.
- Ferdowsi, A., & Yoozbashizadeh, H. (2017). Process Optimization and Kinetics For Leaching of Cerium, Lanthanum and Neodymium Elements From Iron Ore Waste's Apatite By Nitric Acid. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 27(2), 420–428. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60048-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60048-7)

- Gergoric, M., Ravaux, C., Steenari, B. M., Espegren, F., & Retegan, T. (2018). Leaching and Recovery of Rare-Earth Elements from Neodymium Magnet Waste Using Organic Acids. *Metals*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/met8090721>
- Gielen. (2021). *Critical materials for the energy transition*.
- Gielen, D., & M. Lyons. (2022). *Critical materials for the energy transition: Lithium*.
- Gunradi, R., Tampubolon, A., & Pardiarto, B. (2019). Potensi Logam Tanah Jarang Di Indonesia. In *Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi*. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi.
- Gustiana, Bendiyasa, Murti, Muftakhir, & Astuti. (2018). Pelindian Nikel dari Bijih Limonit Low-Grade Pomalaa Menggunakan Pelarut Asam Asetat. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan."*
- Handoyo, H., Made Bendiyasa, I., & Prasetya, A. (2019). Pelindian Neodymium dari Magnetik Coal Fly Ash menggunakan Asam Asetat sebagai Pelarut. In *Agus Prasetya* (Vol. 16, Issue 2).
- Hastiawan, I., Firmansyah, F., Rakhmawaty Eddy, D., & Rostika Noviyanti. (2016). Pemisahan Lanthanum dari Limbah Hasil Pengolahan Timah dengan Menggunakan Metode Pengendapan Bertingkat Hastiawan, I. *Chemica et Natura Acta*, 4(2), 93–96.
- Hoshino, M., Sanematsu, K., & Watanabe, Y. (2016). REE Mineralogy and Resources. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, 49, 129–291. <https://doi.org/10.1016/BS.HPCRE.2016.03.006>
- 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>
- Jamaluddin. (2016). Analisis Kandungan Logam Oksida Menggunakan Metode XRF (X-Ray Fluorescence). *Jurnal Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin*.
- Kashi, E., Habibpour, R., Gorzin, H., & Maleki, A. (2018). Solvent extraction and separation of light rare earth elements (La, Pr and Nd) in the presence of lactic acid as a complexing agent by Cyanex 272 in kerosene and the effect of citric acid, acetic acid and Titriplex III as auxiliary agents. *Journal of Rare Earths*, 36(3), 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2017.09.016>
- Khairat, & Herman, S. (2004). Kinetika Reaksi Hidrolisis Minyak Sawit dengan Katalisator Asam Klorida. *Jurnal Nature Indonesia*, 6(2), 118–121.

- Krishnamurthy, Nagaiyar, & Chairanjib Kumar Gupta. (2016). *Extractive Metallurgy of Rare Earths. Diedit oleh Krishnarpanam Sri. Second Edi.* Taylor & Francis Group, LLC.
- Lee, C. H., Chen, Y. J., Liao, C. H., Popuri, S. R., Tsai, S. L., & Hung, C. E. (2013). Selective leaching process for neodymium recovery from scrap Nd-Fe-B magnet. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 44(13), 5825–5833. <https://doi.org/10.1007/S11661-013-1924-3/METRICS>
- Madika, B., Retna, Pravitasari, & Tasomara, R. (2023). Synthesis of Lithium Lanthanum Titanate Derived from Local Lanthanum Oxalate and Its Electrochemical Impedance Spectroscopic Characterization for Lithium-ion Battery Anode. *AIP Conference Proceedings*.
- Manurung, H., Rosita, W., Anggara, F., Petrus, H. B. T. M., & Bendiyasa, I. M. (2020). Leaching of REY from Non-magnetic Coal Fly Ash with Acetic Acid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 778(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012005>
- 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>
- McLeod, C. L., & Shaulis, B. J. (2018). Rare Earth Elements in Planetary Crusts: Insights from Chemically Evolved Igneous Suites on Earth and the Moon. *Minerals*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/min8100455>
- Mubarok, M. Z., Muhammad, D., & Fathoni, W. (2016). *Studi Kinetika Pelindian Bijih Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Larutan Asam Nitrat. 1*, 1–68. www.ejurnalmaterialmetalurgi.com
- PANalytical, B. V. (2009, November 5). *X-ray Fluorescence Spectrometry*. [Http://Www.Panalytical.Com/Index](http://Www.Panalytical.Com/Index). .
- Prameswara, G., Mulyono, P., Prasetya, A., Poernomo, H., Trisnawati, D. I., Akselerator, D. T., Babarsari, J., Pos, K., & Yogyakarta, Y. (2019). Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Ekstraksi Logam Tanah Jarang (LTJ) dan Logam Berharga Hasil Fusi Alkali Tailing Zirkon. *Jurusan Teknik Kimia*.
- Pravasi, S. D. (2014). Acetic Acid. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 33–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00216-5>

- Prayitno, P. (2007). Kajian Kinetika Kimia Model Matematik Reduksi Kadmium Melalui Laju Reaksi, Konstanta, dan Orde Reaksi dalam Proses Elektrokimia. *GENENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 1(10), 27–34.
- Prihutami, P., Sediawan, W. B., Astuti, W., & Prasetya, A. (2020). Effect of Temperature on Rare Earth Elements Recovery from Coal Fly Ash Using Citric Acid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 742(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/742/1/012040>
- Purwani, M. V., & Poernomo, H. (2015). Kinetika Pelindian Titanium dalam Ilmenit Memakai HCl. *Genendra Journal of Nuclear Science and Technology*, 18(1), 23–34.
- 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, & Husnurrofiq, D. (2015). Optimasi dan Kinetika Dekomposisi Monasit Memakai NaOH. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, 9.
- 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>
- Pusparini, W. R., & Handini, T. (2017). Ekstraksi Nd dalam Keasaman Nitrat Dengan Penggaram Al(NO₃)₃ Menggunakan Campuran Ekstraktan TOA-TOPO. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*.
- 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>
- Qi, D. (2018). Chemical Separation Method. *Hydrometallurgy of Rare Earths*, 671–741. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813920-2.00007-6>
- Ristekdikti. (2016). *Rencana Induk Riset Nasional 2015-2045*.
- Rohmah, N. (2019). *Pemanfaatan Air Limbah Tahu Menurunkan Kadar Kalium Pada Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Dengan Proses Pencucian (Leaching)*. Universitas Lampung.
- Roskill. (2021). *Rare Earths Market Outlook to 2030* (20 th edition).

- Sajima, & Triyono. (2018). Pelindian Leburan Pasir Zirkon Kalimantan Menggunakan Air Panas Batch Scale. *Jurnal Forum Nuklir*, 11(1).
- Seredin, & Dai. (2010). *Geology of Ore Deposits*. Pleiades Publishing, Ltd.
- Setyadji, M., & Sediawan, W. B. (2017). *Desain Konsep Pilot Plant Pengolahan Reoh Mn\enjadi CeO₂, La₂O₃ Dan Konsentrat Nd(OH)₃ Kapasitas 25 Kg/Hari*. Pustaka Pelajar.
- Siahaan, P. (2000). Analisis Data Kinetika dengan Mathcad: Reaksi Dekomposisi Etilen Oksida Asumsi Orde-1, Orde-2, dan Orde-3. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 3(3), 197–202.
- Statista. (2023, October 30). *Rare earth oxide demand worldwide from 2017 to 2025*. Statista Research Department.
- 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. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 14(2), 111–125. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol14.no2.2018.395>
- Sumantry, T. (2002). Aplikasi XRF untuk Identifikasi Lempung Pada Kegiatan Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN. ISSN 1410- 6086*.
- Suryadi, B., & Tjarsono, I. (2015). Kebijakan Cina Membatasi Ekspor Mineral Logam Tanah Jarang (LTJ/Rare Earth) Ke Amerika Serikat Tahun 2012. *Jom FISIP*, 2. <http://insideclimatenews.org/news/2011042>
- Suryandari, A. S., & Wibowo, A. A. (2019). *Kinetika reaksi kimia berbasis spreadsheet*. Polinema Press.
- Suyanti. (2023). *Pemisahan Lantanum dan Serium dari LTJOH Monasit Menggunakan Asam Encer dengan Metode Pelindian dan Oksidasi*. Universitas Gajah Mada.
- Suyono. (2017). Kajian Potensi Mineral Ikutan Pada Pertambangan Timah. In *Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral*. Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral .
- Syukri, S. (1999). *Kimia Dasar 2*. ITB.
- Thubakgale, C. K., Mbaya, R. K. K., & Kabongo, K. (2013). A Study of Atmospheric Acid Leaching of A South African Nickel Laterite. *Minerals Engineering*, 54, 79–81. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.04.006>
- 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., 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.
- Trinopiawan, K., Zaki Mubarak, M., Mellawati, J., Yuli Ani, B., & Prapatan, M. (2016). Pelindian Logam Tanah Jarang dari Terak Timah dengan Asam Klorida Setelah Proses Fusi Alkali. *Eksplorium*, 37(1), 41–50.
- Upadhyay, S. K. (2006). *Chemical Kintics and Reaction Dynamics. In Chemical Kinetics and Reaction Dynamics*. Springer.
- Virdhian, S., Eva, D., & Balai, A. (2014). Karakterisasi Mineral Tanah Jarang Ikutan Timah dan Potensi Pengembangan Industri Berbasis Unsur Tanah Jarang. *Metal Indonesia*, 36(2), 61–69. <http://dx.doi.org/10.32423/jmi.2014.v36.61-69>
- Walawalkar, M., Nichol, C. K., & Azimi, G. (2016). Process Investigation of the Acid Leaching of Rare Earth Elements from Phosphogypsum Using HCl, HNO₃, and H₂SO₄. *Hydrometallurgy*, 166, 195–204.
<https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.06.008>
- Wang, L., Liao, C., Yang, Y., Xu, H., Xiao, Y., & Yan, C. (2017). Effects of Organic Acids on the Leaching Process of Ion-Adsorption Type Rare Earth Ore. *Journal of Rare Earths*, 35(12), 1233–1238.
<https://doi.org/10.1016/J.JRE.2017.07.001>
- Wanta, K., B M Petrus, H. T., Perdana, I., Widi Astuti, dan, Penelitian Teknologi Material, B., Ilmu Pengetahuan Indonesia Jalan Ir Sutami Km, L., Bintang, T., & Selatan, L. (2017). *Uji Validitas Model Shrinking Core terhadap Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat dalam Proses Leaching Nikel Laterit*. 11(1), 30–35.
- Winarni, S., Sunengsih, N., & Anugrah, R. I. (2019a). Penerapan Desain Fractional Factorial dalam Menentukan Faktor Berpengaruh pada Eksperimen Pelindian Konsentrat Galena (Pbs). *Statistika*, 19(2), 83–92.
- Winarni, S., Sunengsih, N., & Anugrah, R. I. (2019b). Penerapan Desain Fractional Factorial dalam Menentukan Faktor Berpengaruh pada Eksperimen Pelindian Konsentrat Galena (Pbs). *Statistika*, 19(2), 83–92.
- Yulandra, A., Trisnawatia, I., Made Bendiyasa, I., Rachmi Pusparini, W., Tri, H., & Petrus, B. M. (2020). Optimasi Presipitasi Logam Tanah Jarang dari Logam Tanah Jarang dari Campuran Konsentrat Logam Tanah Jarang dengan Metode “Response Surface.” *Jurnal Metal*, 42(1).
<https://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi>

Zglinicki, K., Szamałek, K., & Wołkowicz, S. (2021). Critical Minerals from Post-Processing Tailing. A Case Study from Bangka Island, Indonesia. *Minerals*, *11*(4). <https://doi.org/10.3390/min11040352>

