

**PENGARUH VARIASI pH DAN KONSENTRASI KALIUM  
PERMANGANAT ( $\text{KMnO}_4$ ) TERHADAP EFEKTIVITAS  
PEMISAHAN SERIUM (Ce) DARI KONSENTRAT LOGAM  
TANAH JARANG HASIL OLAH MONASIT**

**Skripsi**

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



**Naiya Yuan Arlita**

**22106030031**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA  
2026**



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-207/Un.02/DST/PP.00.9/01/2026

Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh Variasi pH dan Konsentrasi Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) terhadap Efektivitas Pemisahan Serum (Ce) dari Konsentrat Logam Tanah Jarang Hasil Olah Monasit

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NAIYA YUAN ARLITA  
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030031  
Telah diujikan pada : Senin, 19 Januari 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang  
Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc  
SIGNED

Valid ID: 6979a1e91a6bb



Penguji I  
Moch. Setyadi  
SIGNED

Valid ID: 6979a55693a0c



Penguji II  
Khamidinal, S.Si., M.Si  
SIGNED

Valid ID: 69770c8c4a15e



Yogyakarta, 19 Januari 2026  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Prof. Dr. Dra. Hj. Khairul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 697aa54a4925



## **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 : Naiya Yuan Arlita

NIM : 22106030031

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi pH dan Konsentrasi Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) terhadap Efektivitas Pemisahan Serium (Ce) dari Konsentrat Logam Tanah Jarang Hasil Olah Monasit

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



**Didik Krisdayanto, S.Si., M.Sc**  
NIP.198111112011011007

Yogyakarta, 8 Januari 2026  
Pembimbing II



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR-E, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

**Ir. Moch. Setyadji, M.T**  
NIP. 195909281984021002

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Naiya Yuan Arlita  
NIM : 22106030031  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi pH dan Konsentrasi Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) terhadap Efektivitas Pemisahan Serium (Ce) dari Konsentrat Logam Tanah Jarang Hasil Olah Monasit”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 9 Januari 2026



Naiya Yuan Arlita

NIM. 22106030031

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN MOTTO

***“Hard work, consistency, and a willingness to learn are the  
fundamental foundation of growth.”***



## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri.

Serta almamater Program Studi Kimia

UIN Sunan Kalijaga



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Rabbul ‘alamin yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta kekuatan kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi pH dan Konsentrasi Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) terhadap Efektivitas Pemisahan Serium (Ce) dari Konsentrat Logam Tanah Jarang Hasil Olah Monasit” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Kimia. Penyusunan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik berkat izin dan pertolongan-Nya, serta dukungan dari berbagai pihak yang senantiasa memberikan motivasi dan arahan.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai kendala dan keterbatasan. Namun, berkat dorongan, semangat, serta ide-ide konstruktif dari berbagai pihak, tahap demi tahap penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc., selaku Pembimbing I, atas bimbingan, arahan ilmiah, dan masukan yang sangat berarti dalam proses penelitian dan penulisan skripsi ini. Beliau juga memberikan dukungan moral, motivasi, serta ketenangan yang sangat membantu penulis ketika menghadapi kendala maupun tekanan akademik.
4. Ir. Moch. Setyadji, M.T., selaku Pembimbing II, atas bimbingan, saran, dan koreksi yang membangun. Beliau tidak hanya memberikan arahan akademik, semangat, serta pendampingan yang menenangkan di saat penulis mengalami tekanan selama proses penelitian. Perhatian dan support beliau menjadi salah satu faktor penting yang membantu penulis tetap fokus dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Secara khusus, skripsi ini dipersembahkan untuk Bapak, Ibu, Adik dan seluruh keluarga, yang tanpa henti memeluk penulis

dengan doa, kasih, dan kepercayaan. Keyakinan yang mereka berikan menjadi sumber kekuatan utama bagi penulis untuk meraih gelar sarjana.

6. Anggota Barudak Bandung *Well*, Fathir, Mahesa, Musyafa, serta Iqbal, yang selalu menemani dan memberi semangat, baik saat belajar di kampus maupun berbagi momen di berbagai kedai kopi Yogyakarta. Tanpa mereka, Yogyakarta hanyalah kota tanpa kenangan.
7. Teman-teman seperjuangan saya; Aryas, Ikhul, Cindy, dan Elvira yang menemani penulis dari ‘Naiya tidak tahu apa-apa’ sampai dengan titik ini. Tanpa kalian, kehidupan akademik penulis mungkin hanya tentang kuliah yang rampung, tanpa ikut serta berkompetisi ataupun punya diskusi yang menenangkan.
8. Terakhir, untuk sahabat lama yang sudah seperti kakak sedarah; Raihani, Dimas, Rifat, Kevin, Zulfan, Agung, dan Imam. Meski berjauhan, kasih sayang dan dukungan kalian selalu memeluk di awal tahun ajaran SMP sampai penulis meraih gelar sarjana.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan, baik dari segi substansi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam pengembangan ilmu kimia dan teknologi pengolahan logam tanah jarang, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR ISI

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| HALAMAN JUDUL .....                                    | i   |
| PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR .....                   | ii  |
| SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR .....            | iii |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....                | iv  |
| HALAMAN MOTTO .....                                    | v   |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                              | vi  |
| KATA PENGANTAR .....                                   | vii |
| DAFTAR ISI .....                                       | ix  |
| DAFTAR GAMBAR .....                                    | x   |
| DAFTAR TABEL .....                                     | xi  |
| ABSTRAK .....                                          | xii |
| ABSTRACT .....                                         | xv  |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                | 1   |
| A. Latar Belakang .....                                | 1   |
| B. Batasan Masalah .....                               | 4   |
| C. Rumusan Masalah .....                               | 5   |
| D. Tujuan Penelitian .....                             | 5   |
| E. Manfaat Penelitian .....                            | 5   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                          | 7   |
| A. Tinjauan Pustaka .....                              | 7   |
| B. Landasan Teori .....                                | 12  |
| 1. Monasit .....                                       | 12  |
| 2. Logam Tanah Jarang .....                            | 14  |
| 3. Serium .....                                        | 16  |
| 4. Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) .....        | 18  |
| 5. Amonium Hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ..... | 19  |
| 6. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....      | 20  |
| 7. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....                | 23  |
| 8. X-Ray Fluorescence (XRF) .....                      | 25  |
| C. Hipotesis Penelitian .....                          | 26  |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....                    | 31  |
| A. Waktu Penelitian .....                              | 31  |
| B. Alat-alat Penelitian .....                          | 31  |
| C. Bahan-bahan Penelitian .....                        | 31  |
| D. Tahapan Penelitian .....                            | 31  |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Analisis Kadar Serium dalam Konsentrat Logam Tanah Jarang Menggunakan XRF .....                            | 31 |
| 2. Pelarutan Konsentrat Logam Tanah Jarang dengan $\text{HNO}_3$ .....                                        | 32 |
| 3. Pengendapan Tanpa Proses Oksidasi .....                                                                    | 32 |
| 4. Proses Oksidasi $\text{Ce}^{3+}$ menjadi $\text{Ce}^{4+}$ dengan Variasi Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ ..... | 32 |
| 5. Pengendapan $\text{Ce}^{4+}$ .....                                                                         | 33 |
| BAB IV PEMBAHASAN .....                                                                                       | 34 |
| A. Analisis Kadar Serium dalam Konsentrat Logam Tanah Jarang. ....                                            | 34 |
| B. Pembuatan Larutan Umpan 57 g/L.....                                                                        | 37 |
| C. Pemisahan Serium Dengan Metode Pengendapan Tanpa Oksidasi .....                                            | 38 |
| D. Pemisahan Serium Menggunakan Metode Pengendapan dengan Oksidasi .....                                      | 42 |
| E. Perbandingan Nilai <i>Recovery</i> Serium dan Karakteristik Endapan .....                                  | 52 |
| BAB V PENUTUP .....                                                                                           | 63 |
| A. Kesimpulan.....                                                                                            | 63 |
| B. Saran .....                                                                                                | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                                                           | 66 |
| LAMPIRAN .....                                                                                                | 73 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1. Diagram Pourbaix Serium .....                                     | 17 |
| Gambar 2.2. Diagram Tingkat Energi Rotasi, Vibrasi dan Elektronik .....       | 21 |
| Gambar 2.3. Spektra FTIR REOH, REO dan REO Hasil Proses <i>Leaching</i> ..... | 22 |
| Gambar 2.4. Bagian dan Prinsip Kerja <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....     | 24 |
| Gambar 2.5. Bagian dan Prinsip Kerja XRF .....                                | 25 |
| Gambar 2.6 Pola XRD $\text{CeO}_2$ .....                                      | 29 |
| Gambar 2.7 Pola XRD $\text{Ce}_2\text{O}_3$ .....                             | 30 |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.1 Diagram Pengaruh pH dan Massa Oksidator Terhadap Kadar Serium dalam Sampel .....                   | 44 |
| Gambar 4.2 Diagram Optimasi Massa Oksidator $\text{KMnO}_4$ pada Kondisi pH 2 .....                           | 47 |
| Gambar 4.4 Perbandingan Pola Difraktogram XRD Sampel Non Oksidasi Dan Sampel dengan Oksidator 1,25 Gram ..... | 59 |
| Gambar 4.5 Perbandingan Pola XRD $\text{Ce}_2\text{O}_3$ (a) dan Pola XRD $\text{CeO}_2$ 61                   |    |



STATE ISLAMIC UNIVERSITY

SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1. Komposisi Penyusun Monasit .....                                                                                   | 13 |
| Tabel 2.2 Struktur Kristal $\text{CeO}_2$ .....                                                                               | 29 |
| Tabel 2.3 Struktur Kristal $\text{Ce}_2\text{O}_3$ .....                                                                      | 30 |
| Tabel 4.1 Data Analisis Konsentrat LTJ Menggunakan XRF Spectofotometer .....                                                  | 34 |
| Tabel 4.2 Data Analisis XRF Terhadap Sampel Pemisahan Serium tanpa Proses Oksidasi.....                                       | 39 |
| Tabel 4.3 Data Analisis XRF Terhadap Sampel Pemisahan Serium dengan 1,25 gram $\text{KMnO}_4$ (Kadar Ce, Nd, Mn dan La) ..... | 48 |

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.4 Perbandingan Konsentrasi Unsur Berdasarkan Analisis XRF pada Sampel Hasil Pemisahan Serium dengan Variasi Massa Oksidator $\text{KMnO}_4$ Sebesar 0,5; 0,75; 1; dan 1,5 Gram..... | 51 |
| Tabel 4.5 Perbandingan Nilai <i>Recovery</i> Serium dalam Endapan dengan Perlakuan Oksidasi dan Tanpa Oksidasi .....                                                                        | 52 |
| Tabel 4.6 Analisis FTIR Sampel Endapan dengan Oksidator 1,25 Gram dan Non-Oksidator .....                                                                                                   | 56 |



## ABSTRAK

**Pengaruh Variasi pH dan Konsentrasi Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) terhadap Efektivitas Pemisahan Serium (Ce) dari Konsentrat Logam Tanah Jarang Hasil Olah Monasit**

**Oleh:**

**Naiva Yuan Arlita**

**22106030031**

**Pembimbing:**

**Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc**

**Ir. Moch. Setyadji, M.T**

Serium (Ce) merupakan salah satu logam tanah jarang yang memiliki sifat redoks khas antara  $Ce^{3+}$  dan  $Ce^{4+}$ , sehingga berpotensi dipisahkan secara selektif melalui proses oksidasi dan pengendapan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses oksidasi serium dari konsentrat logam tanah jarang (REOH) serta membandingkan karakteristik endapan serium sebelum dan sesudah perlakuan oksidasi, berdasarkan analisis X-Ray Fluorescence (XRF), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), dan X-Ray Diffraction (XRD).

Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa konsentrat REOH awal mengandung serium sebesar 36,27%, yang menandakan bahwa serium merupakan unsur dominan. Proses oksidasi dilakukan menggunakan kalium permanganat ( $KMnO_4$ ) dengan variasi pH dan massa oksidator. Sampel tanpa perlakuan oksidasi menghasilkan kadar serium sebesar 32,148% dengan recovery 51%. Sebaliknya, sampel dengan perlakuan oksidasi menunjukkan peningkatan signifikan, di mana kondisi optimum diperoleh pada pH 2 dengan penambahan 1,25 g  $KMnO_4$ , menghasilkan kadar serium tertinggi dalam endapan sebesar 70,47%, disertai dengan penurunan kadar unsur pengotor seperti La dan Nd, serta peningkatan recovery serium hingga 94%.

Analisis FTIR menunjukkan bahwa sampel non-oksidasi didominasi oleh pita serapan O–H di sekitar  $3400\text{ cm}^{-1}$ , sedangkan sampel teroksidasi menunjukkan pita serapan khas ikatan Ce–O pada daerah  $500\text{--}600\text{ cm}^{-1}$  dengan intensitas yang lebih kuat. Berdasarkan hasil analisis XRD, sampel tanpa perlakuan oksidasi tidak membentuk satu fase kristal tunggal, melainkan menunjukkan keberadaan dua fase kristal, yaitu fase  $Ce_2O_3$  dan sebagian fase  $CeO_2$ . Hal ini menandakan bahwa pada kondisi tanpa oksidator, serium berada dalam keadaan oksidasi campuran antara Ce(III) dan Ce(IV) akibat oksidasi parsial oleh oksigen terlarut atau udara selama proses pengendapan dan pengeringan. Sebaliknya, hasil analisis XRD pada sampel teroksidasi menunjukkan kemunculan puncak-puncak difraksi utama pada  $2\theta$  sekitar  $28,5^\circ$ ,  $33,1^\circ$ , dan  $47,5^\circ$ , yang masing-masing berkorespondensi dengan bidang kristal (111), (200), dan (220) dari fase  $CeO_2$  dengan sistem kristal kubik (fluorite). Dominasi fase  $CeO_2$  ini mengonfirmasi

bahwa proses oksidasi menggunakan  $\text{KMnO}_4$  berhasil mengonversi serium tereduksi menjadi cerium(IV) oksida yang lebih stabil secara termodinamika dan memiliki struktur kristal yang lebih teratur..

**Kata Kunci:** Serium,  $\text{CeO}_2$ , oksidasi, *recovery*,  $\text{KMnO}_4$ .



## **ABSTRACT**

### **Effect of pH Variation and Potassium Permanganate (KMnO<sub>4</sub>) Concentration on the Effectiveness of Cerium (Ce) Separation from Rare Earth Element Concentrate Derived from Monazite Processing**

**By:**

**Naiya Yuan Arlita**

**22106030031**

**Proceptors:**

**Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc**

**Ir. Moch. Setyadji, M.T**

Cerium (Ce) is one of the rare earth elements that exhibits distinctive redox behavior between Ce<sup>3+</sup> and Ce<sup>4+</sup>, making it suitable for selective separation through oxidation and precipitation processes. This study aims to optimize the oxidation process of cerium from rare earth hydroxide (REOH) concentrates and to compare the characteristics of cerium precipitates before and after oxidation treatment based on X-Ray Fluorescence (XRF), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and X-Ray Diffraction (XRD) analyses.

XRF analysis results indicate that the initial REOH concentrate contains 36.27% cerium, confirming cerium as the dominant element in the raw material. The oxidation process was conducted using potassium permanganate (KMnO<sub>4</sub>) with variations in pH and oxidant dosage. The sample without oxidation treatment produced a cerium content of 32.148% with a recovery of 51%. In contrast, the oxidized samples showed a significant improvement, where the optimum condition was achieved at pH 2 with the addition of 1.25 g KMnO<sub>4</sub>, resulting in the highest cerium content in the precipitate of 70.47%, accompanied by a decrease in impurity elements such as La and Nd and an increase in cerium recovery up to 94%.

FTIR analysis shows that the non-oxidized sample is dominated by O–H stretching bands around 3400 cm<sup>-1</sup>, whereas the oxidized sample exhibits a characteristic Ce–O vibration band in the range of 500–600 cm<sup>-1</sup> with higher intensity. XRD analysis reveals that the sample without oxidation treatment does not form a single crystalline phase but instead consists of two crystalline phases, namely Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and a partial CeO<sub>2</sub> phase. This indicates that, under non-

oxidizing conditions, cerium exists in a mixed oxidation state of Ce(III) and Ce(IV), likely due to partial oxidation by dissolved oxygen or air during the precipitation and drying processes. Conversely, the XRD pattern of the oxidized sample shows prominent diffraction peaks at  $2\theta$  values of approximately  $28.5^\circ$ ,  $33.1^\circ$ , and  $47.5^\circ$ , corresponding to the (111), (200), and (220) crystal planes of  $\text{CeO}_2$  with a cubic (fluorite) crystal structure. The dominance of the  $\text{CeO}_2$  phase confirms that oxidation using  $\text{KMnO}_4$  successfully converts reduced cerium species into thermodynamically more stable cerium(IV).

**Keywords:** Cerium,  $\text{CeO}_2$ , oxidation, recovery,  $\text{KMnO}_4$



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Logam Tanah Jarang (LTJ), atau elemen tanah jarang, mencakup 17 unsur kimia, yaitu skandium (Sc), lantanum (La), serium (Ce), praseodimium (Pr), neodimium (Nd), prometium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), disprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), tulium (Tm), iterbium (Yb), dan lutesium (Lu) (R. Gunradi, 2019). Meskipun disebut sebagai tanah jarang, keberadaan LTJ di alam sebenarnya sangat melimpah, bahkan lebih banyak dibandingkan dengan banyak unsur lainnya dalam kerak bumi.

Melalui buku Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia, yang diterbitkan oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, dijelaskan bahwa Indonesia memiliki potensi sumber daya LTJ yang melimpah, yang melebihi kandungan unsur-unsur lainnya dalam kerak bumi. Tahun 2019, sumber daya LTJ yang berhasil dieksplorasi di Indonesia tercatat mencapai 75.579 ton, yang berasal dari endapan plaser dan lateritik. Beberapa mineral utama seperti timah, emas, bauksit, dan nikel laterit diikuti oleh mineral yang mengandung LTJ, seperti monasit, zirkon, dan xenotim. Penggunaan LTJ sangat luas, tidak hanya dalam aplikasi sederhana seperti bahan lampu dan pelapis kaca, tetapi juga dalam teknologi canggih seperti fosfor, laser, magnet, baterai, serta dalam

aplikasi di masa depan seperti superkonduktor dan penyimpanan hidrogen. Selain itu, LTJ juga digunakan dalam berbagai produk lainnya, seperti pelat pelindung, korek api otomatis, lampu keselamatan di tambang, perhiasan, cat, dan perekat (Rahman, 2022)

Indonesia memiliki potensi yang besar dalam pengelolaan logam tanah jarang, baik dari sumber daya primer seperti mineral monasit dan senotim, maupun sumber daya sekunder yang berasal dari limbah elektronik (e-waste) dan limbah industri (Wang, 2021). Namun, meskipun memiliki potensi besar, produksi LTJ di Indonesia belum mencapai hasil yang optimal, karena sebagian besar LTJ masih diperoleh sebagai produk sampingan dari komoditas utama seperti emas, timah, dan tembaga (Anggi Novriyanisti, 2021). Salah satu tantangan terbesar dalam pengolahan LTJ adalah proses pemisahan yang efisien dan selektif, mengingat banyaknya elemen dalam kelompok LTJ yang memiliki sifat kimia yang sangat mirip. Oleh karena itu, pengembangan metode pemisahan yang lebih efektif menjadi langkah strategis untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya mineral di Indonesia.

Salah satu proses pemisahan LTJ adalah dengan menggunakan metode oksidasi dan pengendapan. Oksidasi merupakan langkah pertama yang penting dalam pemisahan, di mana ion dalam LTJ dioksidasi menggunakan oksidator. Oksidasi ini penting karena perubahan bilangan oksidasi memungkinkan pemisahan lebih mudah dari ion logam tanah jarang lainnya yang memiliki bilangan

oksidasi serupa (Puteri, 2023). Namun, tantangan utama dalam proses oksidasi adalah kontrol dosis oksidator dan pengendalian pH larutan. Dosis oksidator yang tidak tepat atau pH yang tidak sesuai dapat mengarah pada pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan yang akan mengurangi efisiensi pemisahan.

Metode pengendapan bertujuan agar ion yang telah teroksidasi dapat diendapkan sehingga memudahkan proses pemisahan. Pengendapan ini sangat tergantung pada pengaturan pH yang tepat. Peningkatan pH akan memfasilitasi pembentukan endapan, sedangkan pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat pembentukan endapan atau menyebabkan pengendapan ion logam tanah jarang lainnya. Oleh karena itu, pengontrolan pH selama pengendapan sangat krusial untuk memperoleh endapan yang murni dan menghindari kontaminasi dengan logam tanah jarang lainnya. Proses pengendapan ini perlu dioptimalkan agar didapatkan endapan yang memiliki kualitas yang baik.

Meskipun metode oksidasi dan pengendapan memiliki potensi besar untuk memisahkan logam tanah jarang (LTJ), tantangan utama terletak pada pengendalian berbagai parameter kritis, seperti dosis oksidator dan pH larutan selama proses pengendapan. Pengendalian yang tidak tepat terhadap faktor-faktor ini dapat mengurangi efisiensi pemisahan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses oksidasi dan pengendapan dengan fokus pada pengaturan dosis oksidator yang tepat, pengendalian pH yang akurat, serta penyesuaian pH pengendapan.

Dengan demikian, diharapkan proses pemisahan LTJ dapat dilakukan dengan lebih efisien.

## **B. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Konsentrat logam tanah jarang (REOH) yang digunakan merupakan produk pilot plant pengolahan monasit yang berada di Kawasan Sains dan Teknologi (KST) G.A Siwabessy Pasar Jumat Jakarta.
2. Konsentrasi larutan umpan REOH yang digunakan dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 57 g/L berdasarkan perhitungan massa padatan terhadap volume pelarut dan tidak divariasikan.
3. Variasi yang diuji dalam proses oksidasi meliputi pH larutan umpan (pH 1; 1,5; 2; 2,5 dan 3) serta konsentrasi oksidator ( $\text{KMnO}_4$ ) (0,5; 0,75; 1; 1,25 dan 1,5 gram).
4. Pemisahan serum tanpa proses oksidasi dilakukan pada kondisi pH 4 dan digunakan sebagai pembanding terhadap proses pemisahan dengan oksidasi.
5. Parameter proses selain pH larutan umpan dan konsentrasi oksidator, seperti suhu reaksi, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, dan jenis oksidator, dijaga tetap konstan selama penelitian.
6. Analisis karakteristik endapan serum (Ce) hasil pemisahan dari konsentrat logam tanah jarang menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

### **C. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi optimum variasi pH dan konsentrasi oksidator terhadap efisiensi pemisahan serium (Ce) dari konsentrat logam tanah jarang (REOH)?
2. Bagaimana perbandingan karakteristik endapan dengan proses oksidasi dan tanpa oksidasi yang terbentuk pada kondisi optimum menggunakan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD)?

### **D. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengoptimalkan proses oksidasi serium (Ce) dari konsentrat REOH dengan variasi pH dan konsentrasi oksidator ( $\text{KMnO}_4$ ).
2. Membandingkan karakteristik endapan dengan dan tanpa proses oksidasi pada kondisi optimum berdasarkan hasil analisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-ray Fluorescence* (XRF) dan *X-ray Diffraction* (XRD).

### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pemisahan logam tanah jarang melalui optimasi proses oksidasi

dan pengendapan serium (Ce) untuk memperoleh efisiensi pemisahan yang lebih tinggi.

2. Memberikan informasi eksperimental mengenai kondisi optimum pH dan konsentrasi oksidator ( $\text{KMnO}_4$ ) yang efektif dalam proses oksidasi untuk meningkatkan efisiensi pemisahan serium dari konsentrat REOH.
3. Menyediakan data perbandingan karakter endapan serium yang dihasilkan melalui proses oksidasi dan tanpa oksidasi, sebagai dasar pemilihan metode pemisahan yang lebih efisien.



## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi optimum variasi pH dan konsentrasi oksidator terhadap efisiensi pemisahan serum (Ce) dari konsentrat logam tanah jarang (REOH) diperoleh pada pH 2 dengan penambahan 1,25 g kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ). Pada kondisi ini, proses oksidasi berlangsung paling efektif, ditunjukkan oleh peningkatan kadar serum dalam endapan hingga 70,47% dan *recovery* serum mencapai 94%, jauh lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa perlakuan oksidasi yang hanya menghasilkan kadar serum 32,148% dengan *recovery* 51%. Kondisi ini juga diikuti dengan penurunan kadar unsur pengotor seperti La dan Nd, sehingga menunjukkan efisiensi pemisahan serum yang optimal.
2. Perbandingan karakteristik endapan tanpa oksidasi dan dengan oksidasi menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan analisis FTIR, XRF, dan XRD. Analisis FTIR menunjukkan bahwa endapan tanpa oksidasi didominasi oleh pita serapan O–H di sekitar  $3400\text{ cm}^{-1}$ , yang mengindikasikan keberadaan senyawa hidroksida serum, sedangkan endapan teroksidasi menunjukkan pita serapan khas ikatan Ce–O pada daerah  $500\text{--}600\text{ cm}^{-1}$  dengan intensitas lebih kuat, menandakan pembentukan oksida serum. Analisis XRF mengonfirmasi

bahwa perlakuan oksidasi meningkatkan kadar serum secara signifikan sekaligus menurunkan kandungan unsur pengotor. Sementara itu, hasil analisis XRD menunjukkan bahwa endapan tanpa perlakuan oksidasi tidak membentuk satu fase kristal tunggal, melainkan terdiri dari campuran fase cerium oksida tereduksi, yang ditandai dengan keberadaan fase  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  serta sebagian kecil fase  $\text{CeO}_2$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa oksidator, proses oksidasi serum berlangsung tidak sempurna sehingga serum berada dalam keadaan oksidasi campuran antara  $\text{Ce(III)}$  dan  $\text{Ce(IV)}$ . Sebaliknya, endapan hasil oksidasi pada kondisi optimum menunjukkan terbentuknya fase  $\text{CeO}_2$  dengan sistem kristal kubik (fluorite) yang dominan. Perbedaan ini menegaskan bahwa proses oksidasi yang diterapkan berhasil mendorong konversi serum tereduksi menjadi serum(IV) oksida yang lebih stabil secara termodinamika dan memiliki struktur kristal yang lebih teratur.

## **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pengaruh jenis oksidator lain selain  $\text{KMnO}_4$ , seperti  $\text{H}_2\text{O}_2$  atau  $\text{NaOCl}$ , guna membandingkan efektivitas dan selektivitas proses oksidasi serum.

2. Perlu dilakukan optimasi lanjutan terhadap parameter proses lainnya, seperti waktu reaksi dan suhu, untuk meningkatkan efisiensi pemisahan serum secara lebih maksimal.
3. Analisis karakterisasi tambahan, seperti SEM-EDS atau XPS, disarankan untuk memperoleh informasi lebih mendalam mengenai morfologi permukaan dan keadaan oksidasi serum pada endapan hasil oksidasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alfawwazi, A. F., Setyadji, M., & Jumaeri. (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), 81-90.
- Anggi Novriyanisti, R. P. (2021). Separation of Elements in Bangka Monazite. *Eksplorium*, 42(1), 69-76.
- Baechele. (2018). *Potential Nitrogen Losses in Relation to Spatially Distinct Soil Management History and Biochar Addition*, 47(1), 9-62.
- Bagtash, M., Yamini, Y., Tahmasebi, E., Zolgharnein, J., & Dalirnasab, Z. (2016). Magnetite nanoparticles coated with tannic acid as a viable sorbent for solid-phase extraction of  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$ . *Microchimica Acta*, 183(1), 449-456.
- Balaram. (2021). *Rare Earth Elements: Sources and Applications*. UK: IWA Publishers.
- Balaram, V. (2023). Potential Future Alternative Resources for Rare Earth Elements: Opportunities and Challenges. *Minerals*, 425(13), 2-22.
- Bekheet, M., Grünbacher, M., Schlicker, L., Gili, A., Doran, A., Epping, J., . . . Penner, S. (2019). On the structural stability of crystalline ceria phases in undoped and acceptor-doped ceria materials under in situ reduction conditions. *CrystEngComm*, 21(145).
- Bentouhami, E., Bouet, G. M., Meullemestre, J., Vierling, F., & Khan, M. A. (2004). antara unsur-unsur tersebut,  $\text{Ce}^{3+}$  memiliki nilai  $\log \beta$  untuk spesies  $\text{Ce}(\text{OH})_2^{2+}$  sebesar -6,87, yang relatif kurang negatif dibandingkan  $\log \beta$  pembentukan  $\text{Nd}(\text{OH})_2^{2+}$  (-6,19) dan  $\text{Pr}(\text{OH})_2^{2+}$  (-7,50). Nilai ini menunjukkan bahwa  $\text{Ce}^{3+}$  memiliki kecenderungan hidrolis. *CHIMIE*, 7, 537-545.
- Berthomieu, C. (2009). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Photosynth*(101), 157-170.
- Bishop, R. S. (1999). *Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

- Bumajdad, A., Eastoe, J., & Mathew, A. (2009). Cerium oxide nanoparticles prepared in self-assembled systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 56-66.
- C Jose, J. A. (2017). *Instrumental Techniques for the Characterization of Nanoparticles in Thermal and Rheological Measurement Techniques for Nanomaterials*. New York: Elsevier Science.
- Corkhill, C., Bailey, D. J., Tocino, F., Stennett, M., Miller, J., Provis, J., . . . Hyatt, N. (2016). Role of Microstructure and Surface Defects on the Dissolution Kinetics of CeO<sub>2</sub>, a UO<sub>2</sub> Fuel Analogue. *Applied Materials and Interfaces*, 8, 10562-10571.
- Dash, S. (2009). Oxidation by Permanganate: Synthetic and Mechanistic Aspect. *Tetrahedron*(65), 707-739.
- Dey. (2020). Cerium Catalysts Applications in Carbon Monoxide Oxidation. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 6-24.
- Dorhout, J. M., Anderson, A. S., Batista, E., Carlson, R. K., Currier, R. P., Martinez, R. K., . . . Lovato, K. N. (2020). NO<sub>x</sub> speciation from copper dissolution in nitric acid/water solutions using FTIR spectroscopy. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 372, 111334.
- Dunlea, A. G., Murray, R. W., Tada, R., Alvarez-Zarikian, C. A., Anderson, C. H., Gilli, A., . . . Murayama, M. (2020). Intercomparison of XRF Core Scanning Results From Seven Labs and Approaches to Practical Calibration. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*.
- Effendi Syulastri, M. A. (2020). Penggunaan Desain Placket Burman untuk Seleksi Parameter Pemisahan Logam Tanah Jarang Kelompok Sedang dari Logam Tanah Jarang Kelompok Lainnya dengan Metode Pengendapan. *Al-Kimiya*, 7(1), 1-6.
- Farahmandjou, M., Zarinkamar, M., & Firoozabadi, T. (2016). Synthesis of Cerium Oxide (CeO<sub>2</sub>) nanoparticles using Simple CO-Precipitation Method. *RESEARCH*, 62, 496-499.
- Fatimah, N. F. (2017). Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi. *Journal Cis-Trans (JC-T)*, 1(1).

- Ferraro, J. R. (2014). *Practical Fourier Transform Infrared Spectroscopy : Industrial and Laboratory*. Saint Louis: Elsevier Science.
- Filho, W. L. (2023). Understanding Rare Earth Elements as Critical Raw Materials. *Sustainability*, 15(3), 3-18.
- Gad, S. C. (2005). *Encyclopedia of Toxicology (Second Edition)*. USA: Elsevier Inc.
- Gautam, K., & Ullas, U. (2023). Effect of Stirring Speed on The Morphology of Nanosilica by Sol-Gel Method. *Materialstoday : Proceedings*, 74(4), 713-717.
- Gehlhaus, M. O. (2009). *Toxicological Review of Cerium Oxide and Cerium Compounds*. Washington D.C: US Environmental Protection Agency.
- Gehlhaus, M. O. (2009). *Toxicological Review of Cerium Oxide and Cerium Compounds*. Washington D.C: US Environmental Protection Agency.
- Golloch. (2022). *Rare Earth Elements: Analytics 2nd ed*. Berlin: De Gryuter.
- Goode, J. R. (2018). Early Separation of Cerium from Mixed Rare Earths: A Review of Methods and Preliminary Economic Analysis. Dalam *The Minerals, Metals & Materials Series*. Canada.
- Griffith, P. (1986). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. New York: Wiley.
- Gupta, C. K., & Krishnamurthy, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC PRESS.
- J. McNeice, R. K. (2019). Oxidative Precipitation of Cerium in Acidic Chloride Solutions: Part II-Oxidation in a Mixed REE System. *Hydrometallurgy*, 184, 140-150.
- J. McNeice, R. K. (2020). Oxidative Precipitation of Cerium in Acidic Chloride Solutions: Part II-Oxidation in Mixed REE System. *Hydrometallurgy*, 194.
- Jamaluddin. (2016). *Fisika Material (X-Ray Diffractions) C-RD*. Kendari.

- Jamaludin, A. (2020). Identifikasi Kerusakan Thermo Gravimetry Analysys di Hotcell 108 IRM. *BATAN*(25), 19-28.
- Jetkins, R. (1999). *X-Ray Fluorescence Spectrometry*. Wiley.
- Jha, A. R. (2014). *Rare Earth Materials: Properties and Applications*. USA: CRC Press: Boca Raton.
- Jordan, R. B. (2025). The Lanthanide Contraction: What is Abnormal and Why? *Inorg Chem*, 5(64), 2207-2216.
- Juliana Puteri, A. A. (2023). Oxidation of Cerium Based on Oxidizing Agents. *Jurnal Sains dan Kesehatan (J. Sains Kes.)*, 5(3), 409-419.
- Kambongkila, O., Taunaumang, H., & Tumimomor, F. (2024). Analisis Struktur Film Tipis Disperse Orange-3 Hasil FTIR. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 5(1), 45-50.
- Kuemmerle, E., & Heger, G. (1999). The Structures of  $\text{C-Ce}_2\text{O}_3+\delta$ ,  $\text{Ce}_7\text{O}_{12}$ , and  $\text{Ce}_{11}\text{O}_{20}$ . *Journal of Solid State Chemistry*, 147, 485-500.
- Lai, T.-Y., Chen, G.-C., & Hsiao, Y.-J. (2023). Micro-electromechanical System Gas Sensors Based on  $\text{CeO}_2$  Nanoparticles. *Sensors and Materials*, 35(3), 1141-1148.
- Laszakovits, J. R. (2022). Permanganate Oxidation of Organic Contaminants and Model Compounds. *Environmental Science and Technology*(56), 4728-4748.
- Lisa Virgiyanti, N. S. (2024). Identifikasi Potensi dan Karakterisasi Kandungan Mineral dan Unsur Penyusun pada Pasir di Kelurahan Sei Gohong. *Journal of Social Science Research*, 4(6), 1123-1132.
- Majors, R., & Walmington. (2013). *Sample Preparation Fundamentals for Chromatography*. Canada: Agilent Rechnologies, Inc.
- MB, S. &. (2017). Uji Ftir Bioplastik Dari Limbah Ampas Sagu Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. *Jurnal Dinamika*, 8(2), 1-13.
- Moldoveanu, G., & Papangelakis, V. (2025). Separation of cerium from solution by oxidative precipitation with hydrogen peroxide: The reaction mechanism. *Hydrometallurgy*, 231.
- Montel. (2018). Electron-microprobe dating of monazite: the story. *Chemical Geology*, 484(1), 4-15.

- Nadaroglu, H., Onem, H., & Gungor, A. A. (2016). Green synthesis of Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs and determination of its antioxidant activity. *IET Nanobiotechnology*, 4(11), 411-419.
- Nurherawati, F. (2020). Penggunaan Amonium Hidroksida pada Pencelupan Benang Wol dengan Zat Warna Reaktif. *SAINTEKS : Jurnal Sains dan Teknik*, 2(1), 9-18.
- Padillah, F., Maulana, A., & Yani, S. (2021). nalysis of Rare Earth Element Enrichment in Manganese Deposits In The Palluda Area, Barru Regency, South Sulawesi Province. *Journal of Technology Process*, 1(1), 8-9.
- Purwani, M. V., Trinopiawan, K., Poernomo, H., Suyanti, Pusporini, N. D., & Amiliana, R. A. (2018). Separation of Ce, La and Nd in rare earth hydroxide (REOH) by oxidation with potassium permanganate and precipitation. *SENTEN*(1198), 1-14.
- Purwani, M., & Suyanti. (2016). Pembuatan dan Prediksi Bentuk Senyawa Konsentrat Cerium dari Monasit. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*.
- Puteri, J. (2023). Oxidation of Cerium Based on Oxidizing Agents. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 5(3), 409-417.
- R. Gunradi, d. (2019). *Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia*. Bandung: PSDMBP ESDM.
- Rahman. (2022). Perencanaan Pemurnian Logam Tanah Jarang dari Tanah Terkontaminasi dengan Metode Resin in Leach . *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral* .
- Rahmanillah, K. I., Pratomo, U., Fauzia, R. P., & Bahti, H. H. (2023). Studi Pendahuluan Pemisahan Cerium dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Olah Monasit dengan Metode Pengendapan. *Kimia Padjajaran*, 2(1), 29-34.
- Riyanto , & Nas, S. W. (2016). Validation of Analytical Methods for Determination of Methamphetamine Using Fourier Transform Infrared(FTIR) Spectroscopy. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 11(05), 51-59.
- Rosika. (2007). Pengujian Kemampuan XRF untuk Analisis Komposisi Unsur Paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni. *URANIA*, 42(11), 29-34.

- S, P. (1975). *Advance Chemistry of Rare Earth Elements*. New Delhi: S. Chand. Co.
- Sastrohamidjojo, H. (2001). *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty Yogyakarta.
- Schulz, B. (2021). Monazite Microstructures and Their Interpretation in Petrochronology. *Frontiers in Earth Science*, 9(1), 1-22.
- Setianingsish, T. (2020). *Spektroskopi Inframerah untuk Karakteristik Material Anorganik*. Malang: UB Pres.
- Sobolev, B. P., & Sulyanova, E. A. (2023). Lanthanide Contraction in LnF<sub>3</sub> (Ln = Ce-Lu) and Its Chemical and Structural Consequences: Part 2: Specialized Empirical System of R<sup>3+</sup> (R = Y, La, and 14 Ln) and F<sup>1-</sup> Ionic Radii for RF<sub>3</sub> Series. *Int. J. Mol. Sci*, 24(23), 17080.
- Sole, K. (2008). Solvent Extraction in The Hydrometallurgical Processing and Purification of Metals. Dalam *Solvent Extraction and Liquid Membranes*. U.S: Taylor & Francis Group.
- Sonar, P., Sanjeevagol, S., Manjanna, J., Patake, V., & Nitin, S. (2022). Electrochemical behavior of cerium (III) hydroxide thinfilm electrode in aqueous and non-aqueous electrolyte for supercapacitor applications. *J Mater Sci: Mater Electron*.
- Sumari, Prakasa, Y. F., Muhammad, R., & Baharintasari, D. R. (2020). Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *FULLERENE; Journal of Chemistry*, 5(2), 58-62.
- Suyanti, P. &. (2016). Pembuatan dan Prediksi Bentuk Senyawa Konsentrat Cerium dari Monasit. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*, 4(4), 193-200.
- Syamsudin, F. I. (2023). Kajian Pustaka Aplikasi Nanopartikel Melalui Metode Sol-Gel Sebagai Fotoanoda pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Fisika*, 8(2), 9-16.
- Thomas, R. (2008). *Practical Guide to ICP-MS: A Tutorial for Beginners (2nd Edition)*. Boca Raton: Taylor and Francis Group, LLC.
- Tostevin, R. (2021). *Cerium Anomalies and Paleoredox*. New York: Cambridge University Press.

- Uo, M. (2015). Applications of X-Ray Fluorescence Analysis (XRF) to Dental and Medical Specimens. *Japanese Dental Science Review*, 51, 2-9.
- Vashistha, I., & Rohilla, S. (2020). Structural characterization and rietveld refinement of CeO<sub>2</sub>/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites prepared via coprecipitation method., 872.
- Wang, d. (2016). Solubility of Nanocrystalline Cerium Dioxide: Experimental Data and Thermodynamic Modeling. *The Journal of Physical Chemistry*, 120.
- Wang, d. (2021). Formation of Disinfection by Products During Sodium Hypochlorite Cleaning of Fouled Membranes From Membrane Bioreactors. *Front. Environ. Sci. Eng*, 15(5), 102.
- Wanta, K. C., Putra, F. D., Susanti, R. F., Gemilar, G. P., Astuti, W., Virdhian, S., & Petrus, H. M. (2019). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) dalam Proses Presipitasi Hidroksida Selektif Ion Logam dari Larutan Ekstrak Spent Catalyst. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 94-105.
- Wycoff, R. (1963). *Cystal Structures I*.
- Zeng, C.-X., Guan, Q.-J., & Zhang, Z.-Y. (2022). Kinetics of nitric acid leaching of low-grade rare earth elements from phosphogypsum. *Journal of Central South University*, 29, 1869-1880.
- Zhao, d. (2020). Recovery of Rare Earth Element Cerium from Spent Automotive Exhaust Catalysts Using a Novel Method. *Waste Biomass Valorization* , 11(9), 4967-4976.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA