

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU DALAM PROSES  
SMELTING PASIR MONASIT MENGGUNAKAN *ELECTRIC  
ARC FURNACE* TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN  
*GRADE ThO<sub>2</sub>***

**AZRIAL SYAH REZA**  
NRP. 02511840000010

Dosen Pembimbing  
**Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**  
NIP. 199102172015041002  
**Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.**  
NIP. 196809302000031001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU DALAM PROSES  
SMELTING PASIR MONASIT MENGGUNAKAN *ELECTRIC  
ARC FURNACE* TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN  
*GRADE ThO<sub>2</sub>***

**AZRIAL SYAH REZA**  
NRP. 02511840000010

Dosen Pembimbing  
**Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**  
NIP. 199102172015041002  
**Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.**  
NIP. 196809302000031001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF TIME VARIATIONS IN  
SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND USING  
ELECTRIC ARC FURNACE ON COMPOUND  
COMPOSITION AND ThO<sub>2</sub> GRADE**

**AZRIAL SYAH REZA**  
NRP. 02511840000010

Advisor  
**Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**  
NIP. 199102172015041002  
**Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.**  
NIP. 196809302000031001

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU DALAM PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT MENGGUNAKAN *ELECTRIC ARC FURNACE* TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE ThO<sub>2</sub>*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **AZRIAL SYAH REZA**  
NRP. 02511840000010

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Fakhreza Abdul, S.T., M.T.
2. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.
3. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
4. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

Pembimbing

Ko-Pembimbing

Penguji

Penguji



**SURABAYA**  
Juli 2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF TIME VARIATIONS IN SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND USING ELECTRIC ARC FURNACE ON COMPOUND COMPOSITION AND ThO<sub>2</sub> GRADE

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **AZRIAL SYAH REZA**  
NRP. 0251184000010

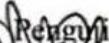
Approved by Final Project Examiner Team :

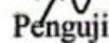
1. Fakhreza Abdul, S.T., M.T.
2. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.
3. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
4. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.



  
Advisor

  
Co-Advisor

  
Penguji

  
Penguji

**SURABAYA**  
July 2022

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Azrial Syah Reza/02511840000010  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Fakhreza Abdul S.T., M.T./ 199102172015041002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU DALAM PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT MENGGUNAKAN *ELECTRIC ARC FURNACE* TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO<sub>2</sub>” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

(Fakhreza Abdul, S.T, M.T.)  
NIP. 199102172015041002

Surabaya, 4 Juli 2022

Mahasiswa

(Azrial Syah Reza)  
NRP. 02511840000010

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Azrial Syah Reza/0251184000010  
Departement : Teknik Material dan Metalurgi  
Advisor/NIP : Fakhreza Abdul, S.T, M.T./ 199102172015041002

Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF THE EFFECT OF TIME VARIATIONS IN SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND USING ELECTRIC ARC FURNACE ON COMPOUND COMPOSITION AND ThO<sub>2</sub> GRADE ” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Acknowledged  
Advisor

Surabaya, 4 Juli 2022

Student

(Fakhreza Abdul, S.T, M.T.)  
NIP. Fakhreza Abdul, S.T, M.T.

(Azrial Syah Reza)  
NRP. 0251184000010

*(This page is intentionally blank)*

# ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU DALAM PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT MENGGUNAKAN *ELECTRIC ARC FURNACE* TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE*

Nama Mahasiswa / NRP : Azrial Syah Reza/0251184000010  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Fakhreza Abdul, S.T, M.T.

## Abstrak

Sejak 2012, total 430 pembangkit listrik dengan energi nuklir komersial dengan output 372.000 MW telah beroperasi, berkontribusi sekitar 13,5% terhadap permintaan listrik global. Reaktor pada PLTN pada umumnya menggunakan bahan bakar uranium-235. Penggunaan torium dibandingkan dengan uranium pada energi nuklir memiliki beberapa kelebihan. Torium yang tersebar di Indonesia terdapat pada mineral monasit dalam bentuk pasir, dengan cadangan 189.323 ton dengan kandungan  $\text{ThO}_2$  mencapai 12 %. Agar torium dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir, kemurniannya harus mencapai sekitar 87,42%. Salah satu cara untuk melakukan ekstraksi torium adalah dengan peleburan atau *smelting*. *Smelting* dapat dilakukan menggunakan *Electric Arc Furnace* (EAF). Pada *smelting* menggunakan *Electric Arc Furnace* (EAF), waktu *smelting* dapat memengaruhi produk hasil *smelting*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh waktu *smelting* pasir monasit menggunakan EAF terhadap komposisi senyawa dan *grade*  $\text{ThO}_2$ . *Smelting* dilakukan pada temperatur 1850°C dengan kuat arus 70 *ampere* dan tegangan 40 *volt* serta variasi waktu *smelting* yang digunakan yaitu 180, 240, 287, 300, dan 360 detik. Bahan yang digunakan terdiri atas pasir monasit dari Bangka Belitung sebagai mineral utama,  $\text{CaCO}_3$  sebagai aditif, serbuk karbon sebagai reduktor,  $\text{SiO}_2$  sebagai flux. Karakterisasi menggunakan XRD dan XRF dilakukan untuk menganalisis secara kuantitatif dan kualitatif senyawa yang terbentuk setelah *smelting*. Pada akhirnya akan dihitung komposisi senyawa dan *grade*  $\text{ThO}_2$ , serta pengaruh waktu *smelting* terhadapnya. Hasil XRD menunjukkan beberapa senyawa yang terbentuk setelah proses *smelting* dilakukan yaitu perovskite ( $\text{CaTiO}_3$ ), calcium-orthosilicate ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ), ferrous-pseudobrookite ( $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ ), dan fayalite ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ). *Grade*  $\text{ThO}_2$  yang tertinggi didapatkan pada variasi waktu 287 s dan 180 s sebesar 0,44%. Namun untuk *recovery*  $\text{ThO}_2$  terbesar ada pada variasi 300 s sebesar 96,42%.

**Kata Kunci:** *monasit, ThO<sub>2</sub>, waktu smelting*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF TIME VARIATIONS IN SMELTING PROCESS OF  
MONAZITE SAND USING ELECTRIC ARC FURNACE ON COMPOUND COMPOSITION  
AND ThO<sub>2</sub> GRADE**

**Student Name / NRP** : Azrial Syah Reza/0251184000010  
**Departement** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Advisor** : Fakhreza Abdul, S.T, M.T.

**Abstract**

Since 2012, 430 commercially powered power plants with an output of 372,000 MW have been in operation, contributing about 13.5% of global electricity demand. The reactor at the nuclear power plant generally uses uranium-235 as fuel. The use of thorium compared to uranium in nuclear energy has several advantages. Thorium which is spread in Indonesia is found in monazite minerals in the form of sand, with reserves of 189,323 tons with ThO<sub>2</sub> content reaching 12%. For thorium to be used as a nuclear fuel, its purity must be about 87.42%. One way to extract thorium is by smelting. Smelting can be done using an Electric Arc Furnace (EAF). The time of smelting can affect the product that smelted. The purpose of this study was to analyze the effect of the melting time of monazite sand using EAF on the composition and grade of ThO<sub>2</sub>. The smelting is carried out at a temperature of 1850°C with a strong current of 70 amperes and a voltage of 40 volts and the variation of the melting time used is 287 seconds. The materials used consist of monazite sand from Bangka Belitung as the main mineral, CaCO<sub>3</sub> as additive, carbon powder as reducing agent, SiO<sub>2</sub> as flux. Characterization using XRD and XRF was carried out to analyze quantitatively and qualitatively the compounds formed after smelting. In the end, the compound composition and grade of ThO<sub>2</sub> will be calculated, as well as the effect of melting time on them. XRD results showed that several compounds formed after the smelting process were carried out, namely perovskite (CaTiO<sub>3</sub>), calcium-orthosilicate (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), ilmenite (FeTiO<sub>3</sub>), ferrous-pseudobrookite (FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), and fayalite (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). The highest ThO<sub>2</sub> grade was obtained at a time variation of 287 s and 180 s of 0.44%. However, the largest ThO<sub>2</sub> recovery was in the 300 s variation of 96.42%.

**Keywords:** *monazite, smelting time, ThO<sub>2</sub>*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas berkat rahmat Allah SWT., penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Waktu Dalam Proses *Smelting* Pasir Monasit Menggunakan *Electric Arc Furnace* Terhadap Komposisi Senyawa dan *Grade ThO<sub>2</sub>*” dengan lancar tanpa halangan dan hambatan yang berarti. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. dan Bapak Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan selama keberlangsungan tugas akhir hingga selesai.
2. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D., selaku dosen wali yang memberikan arahan selama masa perkuliahan.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
4. Bapak/Ibu dosen dan tenaga pendidik yang telah membimbing, memberikan ilmu, dan memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
5. Orang tua, keluarga, dan sahabat penulis yang selalu memberikan dukungan dan do'a.

Penulis menyadari bahwa penelitian tugas akhir ini masih jauh dari kata kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk kehidupan manusia ke depannya.

Surabaya, 4 Juli 2022  
Penulis

Azrial Syah Reza  
NRP. 0251184000010

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Abstrak</b> .....  | <b>xiii</b>  |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>xv</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | <b>xvii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | <b>xix</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | <b>xxi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | <b>xxiii</b> |
| <b>1 BAB I PENDAHULUAN</b> .....  | <b>1</b>     |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1            |
| 1.2 Perumusan Masalah .....   | 2            |
| 1.3 Batasan Masalah .....   | 3            |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....   | 3            |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....  | 3            |
| <b>2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....  | <b>5</b>     |
| 2.1 Pasir Monasit .....   | 5            |
| 2.2 Torium .....  | 6            |
| 2.3 <i>Flux</i> SiO <sub>2</sub> .....  | 8            |
| 2.4 Reduktor Karbon .....   | 9            |
| 2.5 <i>Electric Arc Furnace</i> .....   | 10           |
| 2.6 Waktu <i>Smelting Electric Arc Furnace</i> dan Pengaruhnya .....  | 11           |
| 2.7 Diagram Bouduard-Gaussner .....   | 11           |
| 2.8 Termodinamika Reduksi .....   | 12           |
| 2.9 <i>Grade, Recovery</i> , dan Basisitas .....  | 13           |
| 2.10 Penelitian Sebelumnya .....  | 15           |
| 2.10.1 Ekstraksi Monasit .....  | 15           |
| 2.10.2 Penggunaan variasi waktu <i>smelting</i> .....   | 16           |
| <b>3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....  | <b>19</b>    |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian .....   | 19           |
| 3.2 Bahan Penelitian .....  | 21           |
| 3.3 Alat Penelitian .....   | 23           |
| 3.4 Metode Penelitian .....   | 26           |
| 3.4.1 Persiapan Material .....  | 26           |
| 3.4.2 Proses <i>Smelting</i> menggunakan <i>Electric Arc Furnace</i> .....  | 26           |
| 3.5 Pengujian .....   | 27           |
| 3.5.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....  | 27           |
| 3.5.2 Pengujian <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF) .....   | 27           |
| 3.6 Perhitungan .....   | 28           |
| 3.6.1 Perhitungan Neraca Massa dan Energi .....   | 28           |
| 3.6.2 Perhitungan <i>Recovery</i> dan <i>Separation Efficiency</i> .....  | 29           |
| 3.6.3 Perhitungan Basisitas .....   | 29           |
| 3.7 Rancangan Penelitian .....  | 29           |
| 3.8 Jadwal Penelitian .....   | 30           |
| <b>4 BAB IV</b> .....   | <b>31</b>    |
| 4.1 Karakterisasi Pasir Monasit .....   | 31           |
| 4.2 Pengaruh Variasi Waktu <i>Smelting</i> Terhadap Senyawa yang Terbentuk Pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> ..... | 32           |
| 4.3 Pengaruh Variasi Waktu <i>Smelting</i> Terhadap Komposisi Senyawa Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....           | 36           |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.4      | Pengaruh Variasi Waktu <i>Smelting</i> Terhadap <i>Recovery</i> Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....   | 39        |
| 4.5      | Pengaruh Variasi Waktu <i>Smelting</i> Terhadap Nilai <i>Separation Efficiency</i> (S.E.) Senyawa Utama dan Berharga Pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> ..... | 42        |
| <b>5</b> | <b>BAB V</b> .....  | <b>45</b> |
| 5.1      | Kesimpulan .....  | 45        |
| 5.2      | Saran.....  | 45        |
|          | <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....   | <b>47</b> |
|          | <b>LAMPIRAN</b> .....   | <b>51</b> |
|          | <b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....  | <b>89</b> |
|          | <b>BIODATA PENULIS</b> .....  | <b>91</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Pasir Monasit.....   | 5  |
| <b>Gambar 2. 2</b> Diagram ellingham untuk sifat reduksi karbon.....  | 10 |
| <b>Gambar 2. 3</b> Komponen <i>Electric Arc Furnace</i> .....   | 10 |
| <b>Gambar 2. 4</b> Diagram Boudouard-Gaussner.....  | 12 |
| <b>Gambar 2. 5</b> Diagram ellingham berbagai oksida.....   | 13 |
| <b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir penelitian.....   | 20 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Pasir monasit .....  | 21 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Fluks SiO <sub>2</sub> .....   | 21 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Serbuk karbon .....  | 21 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Serbuk CaCO <sub>3</sub> .....   | 22 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Akuades.....   | 22 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Elektroda grafit .....   | 22 |
| <b>Gambar 3. 8</b> Neraca analitik .....  | 23 |
| <b>Gambar 3. 9</b> Ayakan 50 <i>mesh</i> .....  | 23 |
| <b>Gambar 3. 10</b> Termometer <i>Infrared</i> .....  | 23 |
| <b>Gambar 3. 11</b> Oven .....  | 24 |
| <b>Gambar 3. 12</b> Alat tumbuk.....  | 24 |
| <b>Gambar 3. 13</b> <i>Power supply</i> .....   | 24 |
| <b>Gambar 3. 14</b> <i>Crucible</i> .....   | 25 |
| <b>Gambar 3. 15</b> Dimensi <i>crucible</i> .....   | 25 |
| <b>Gambar 3. 16</b> Magnet neodimium .....  | 25 |
| <b>Gambar 3. 17</b> Skema proses <i>smelting</i> .....  | 26 |
| <b>Gambar 3. 18</b> Perangkat alat XRD PAN Analytical.....  | 27 |
| <b>Gambar 3. 19</b> Perangkat alat XRF (Dokumentasi Pribadi, 2022).....   | 28 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Hasil pengujian XRD pasir monasit.....   | 31 |
| <b>Gambar 4. 2</b> Pasir monasit hasil smelting (a) <i>non-magnetic portion</i> (b) <i>magnetic portion</i> ..... | 32 |
| <b>Gambar 4. 3</b> Hasil XRD pasir monasit hasil <i>smelting</i> .....  | 33 |
| <b>Gambar 4. 4</b> <i>Grade Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....        | 37 |
| <b>Gambar 4. 5</b> <i>Grade TiO<sub>2</sub></i> pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....                    | 38 |
| <b>Gambar 4. 6</b> <i>Grade ThO<sub>2</sub></i> pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....                    | 39 |
| <b>Gambar 4. 7</b> <i>Recovery</i> Senyawa utama dan berharga Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....           | 40 |
| <b>Gambar 4. 8</b> Persentase <i>non-magnetic portion</i> pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....          | 41 |
| <b>Gambar 4. 9</b> Basisitas pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....                                       | 42 |
| <b>Gambar 4. 10</b> <i>Separation Efficiency</i> pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....                   | 43 |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Unsur dan oksidanya yang terkandung pada pasir monasit.....  | 6  |
| <b>Tabel 2. 2</b> Cadangan pasir monasit Indonesia .....   | 6  |
| <b>Tabel 2. 3</b> Sifat torium .....   | 7  |
| <b>Tabel 2. 4</b> Mineral yang terkandung torium .....   | 7  |
| <b>Tabel 2. 5</b> Sifat senyawa torium oksida.....   | 8  |
| <b>Tabel 2. 6</b> Sifat silika .....   | 8  |
| <b>Tabel 2. 7</b> Penelitian sebelumnya .....  | 17 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Perbandingan komposisi massa <i>smelting</i> pasir monasi .....  | 28 |
| <b>Tabel 3. 2</b> Parameter <i>power supply</i> dalam proses <i>smelting</i> .....   | 28 |
| <b>Tabel 3. 3</b> Rancangan penelitian <i>smelting</i> pasir monasit dengan variasi waktu <i>smelting</i> .....              | 29 |
| <b>Tabel 3. 4</b> Jadwal penelitian <i>smelting</i> pasir monasit menggunakan EAF dengan variasi waktu <i>smelting</i> ..... | 30 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Komposisi senyawa oksida pasir monasit Bangka dalam persentase.....  | 31 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Fasa dominan pada pasir monasit .....  | 32 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Senyawa yang terbentuk pada pasir monasit hasil <i>smelting</i> .....                                      | 34 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Hasil XRF Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....  | 36 |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ketersediaan sumber energi tak terbarukan seperti minyak bumi, gas alam dan bahan bakar fosil semakin langka seiring dengan perkembangan dari waktu ke waktu. Kebutuhan energi seiring dengan perkembangan teknologi, kemajuan industri, dan peradaban manusia terus meningkat. Banyak upaya yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut, mulai dari pengembangan teknologi sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, panas bumi dan nuklir dengan biaya terjangkau.

Kebutuhan energi di Indonesia masih tergolong rendah, terutama untuk menutupi kebutuhan energi listrik. Indonesia saat ini sedang menghadapi krisis listrik. Tingkat elektrifikasi nasional masih mencapai 64%, namun persentase desa yang menerima listrik masih sekitar 85%. Dua puluh lima persen masyarakat yang menghasilkan listrik menggunakan energi primer masih menggunakan energi bahan bakar. Namun biaya yang dikeluarkan sudah mencapai 70% dari total biaya pembangkitan listrik (Pradnyana, 2016).

Kebutuhan listrik nasional terus tumbuh dan terus bergantung pada energi tak terbarukan sehingga diperlukan transisi untuk mulai menggunakan energi baru terbarukan sebagai sumber energi utama. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, konsumsi listrik per kapita terus menunjukkan tren meningkat. Pada tahun 2010, konsumsi listrik menunjukkan angka 0,7 MWh/kapita dan tahun 2015 sebesar 0,91 MWh/kapita. Bahkan pada tahun 2020 mencapai angka 1,09 MWh/kapita (Subdit. Indikator Statistik Badan Pusat Statistik (BPS), 2020). Berdasarkan data kementerian ESDM, pemerintah menyatakan konsumsi listrik meningkat menjadi 1,109 MWh per kapita pada kuartal ketiga 2021 per September 2021 dan terus meningkat sampai akhir tahun 2021 (Kementerian ESDM RI, 2021). Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) masih mendominasi pembangkit listrik nasional saat ini dengan kapasitas 34,7 GW atau 49,9%, disusul pembangkit listrik berbahan bakar gas (PLTG/GU) yang memenuhi 19,9 GW atau sekitar 28,6%, pembangkit berbasis EBT sebesar 10,3 GW atau sekitar 14,8% serta PLTD sebesar 4,6 GW atau sekitar 6,7% (Kementerian ESDM RI, 2020).

Sejak 2012, total 430 pembangkit listrik dengan energi nuklir komersial dengan output 372.000 MW telah beroperasi, berkontribusi sekitar 13,5% terhadap permintaan listrik global (Dewita et al., 2012).

Reaktor pada PLTN menggunakan bahan bakar uranium-235 berupa pellet uranium dioksida dengan pengayaan 2-5%. Oleh karena itu, diperlukan cadangan uranium-235 yang cukup untuk digunakan sebagai sumber bahan bakar pembangkit listrik tenaga nuklir. Cadangan uranium dunia yang tersisa diperkirakan mencapai 4.444, yang cukup untuk digunakan sebagai bahan bakar utama untuk pembangkit listrik tenaga nuklir, tetapi penggunaan uranium yang terus-menerus menghabiskan cadangan dari waktu ke waktu (Widodo et al., 2019). Penggunaan torium dibandingkan dengan uranium memiliki beberapa kelebihan dalam siklus energi nuklir seperti adanya resistensi proliferasi intrinsik dari siklus bahan bakar torium, sifat termofisika dan stabilitas kimia  $\text{ThO}_2$  yang lebih baik dibanding  $\text{UO}_2$ , dan siklus untuk aktivasi lebih pendek daripada uranium (Humphrey & Khandaker, 2018).

Di bumi ini, torium terdapat dalam beberapa bentuk mineral antara lain, *thorite* ( $\text{ThSiO}_4$ ), *thorianite* ( $\text{ThO}_2$ ), *monazite* [(Ce, La, Nd, Th, U)  $\text{PO}_4$ ], *bastnaesite* [(Ce,La) $\text{CO}_3\text{F}$ ], dan *thorogumite* [ $\text{Th}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4-x}$ ]. Namun, torium lebih banyak diambil pada mineral monasit dan basnaesit, karena kedua mineral ini memiliki kandungan torium yang lebih banyak dan juga mengandung oksida tanah jarang (REO) (René, 2017). Cadangan monasit banyak tersedia di Indonesia. Torium yang tersebar di Indonesia terdapat pada mineral monasit dalam bentuk

pasir, dengan cadangan 189.323 ton dengan kandungan  $\text{ThO}_2$  mencapai 12% (Jonan, I. and Suhendar, 2013). Sebagian besar pasir monasit berasal dari limbah penambangan timah yang tidak terpakai dan hanya dijual dengan harga murah. Salah satu prospek pasir monasit di Indonesia datang dari monasit Bangka, produk sampingan dari pembersihan bijih timah dari PT. Timah. Monasit mengandung 50,97% unsur tanah jarang, 0,298% uranium, 4,147% thorium dan 23,712% fosfat (Ferliana et al., 2017).

Agar torium ini dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir, kemurniannya harus tinggi sekitar 87,42%. Penelitian yang telah dilakukan oleh Trinopirawan perihal pemisahan uranium dan torium menggunakan alumin memberikan *recovery* uranium sebesar 100%, torium sebesar 32,44%, logam tanah jarang 22,4% dan fosfat tidak terdeteksi (Ferliana et al., 2017). Berdasarkan penelitian tersebut, torium sudah dapat diambil namun masih belum didapatkan dengan nilai *recovery* yang tinggi. Upaya lain dilakukan untuk meningkatkan kadar dari sebuah mineral dalam proses *smelting* yaitu dengan menambahkan fluks yang merupakan senyawa atau zat yang ditambahkan dalam proses *smelting* yang berfungsi untuk mengikat pengotor yang terdapat dalam mineral untuk menjadi *slag* sehingga terpisah dari logam yang diinginkan.

Upaya lain yang dilakukan agar grade sebuah mineral meningkat yaitu dengan mencari waktu paling optimal pada proses *smelting* menggunakan *electric arc furnace*. Pada penelitian Supriyatna, pada saat proses *smelting* terjadi perubahan fasa pada setiap variasi waktunya. (Supriyatna et al., 2019). Sihotang pada tahun 2018 melakukan penelitian tentang ekstraksi bijih nikel laterit menggunakan metode *smelting* menggunakan *mini electric arc furnace* dengan reduktor arang tempurung kelapa sawit. Proses *smelting* dilakukan dengan variasi waktu 50, 70, 90, 110, dan 130 menit. Hasil percobaan didapatkan bahwa waktu peleburan optimum untuk memproduksi *nickel pig iron* pada waktu *smelting* 90 menit dimana didapatkan *recovery* Fe sebesar 92,53% dan Ni sebesar 67,21%. Pada menit 50 dan 70, proses reduksi yang terjadi belum maksimal, sedangkan pada menit ke 110 dan 130 menunjukkan penurunan *recovery* besi yang menunjukkan bahwa besi mulai teroksidasi kembali dan bergabung dengan *slag* pada saat peleburan (Sihotang et al., 2018). Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa variasi waktu berpengaruh terhadap perubahan fasa dan juga *recovery*.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wienar, dilakukanlah proses *smelting* dengan variasi *flux*  $\text{SiO}_2$  dengan waktu 3 menit. Nilai *recovery*  $\text{ThO}_2$  tertinggi diperoleh pada variasi penambahan 9%  $\text{SiO}_2$  yaitu sebesar 90,2% dan nilai *recovery*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  terendah juga diperoleh pada penambahan 9%  $\text{SiO}_2$  yaitu sebesar 9,8% dengan nilai *separation efficiency* 41,39 (Wienar, 2022). Namun pada penelitian ini waktu *smelting* yang dipakai hanya sesuai dengan reaksi reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  saja sedangkan masih terdapat reaksi lain pada proses *smelting*nya yang belum dihitung pada neraca energi yang memengaruhi waktu *smelting*.

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan peningkatan *grade* torium dioksida dengan variasi waktu berbeda agar mendapatkan waktu optimum dalam proses *smelting* menggunakan *electric arc furnace*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini.

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap senyawa yang terbentuk pada produk hasil *smelting*.
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap komposisi senyawa utama pada pasir monasit.
3. Bagaimana pengaruh variasi waktu dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap *grade*  $\text{ThO}_2$  pada pasir monasit.

4. Bagaimana pengaruh variasi waktu dalam proses smelting pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap *recovery* senyawa utama pada produk hasil *smelting*.

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Komposisi serbuk karbon, pasir monasit, serbuk  $\text{CaCO}_3$ , dan serbuk  $\text{SiO}_2$  dianggap homogen pada semua variasi.
2. Reaksi yang menyebabkan degradasi elektroda grafit pada saat pembentukan busur listrik diabaikan.
3. Massa serbuk  $\text{SiO}_2$  dianggap sama untuk semua variasi.
4. Kuat arus dan Tegangan pada *electric arc furnace* dianggap sama untuk semua variasi.
5. Posisi elektroda selama proses *smelting* berlangsung dianggap stabil.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh variasi waktu dalam proses smelting pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap senyawa yang terbentuk pada produk hasil *smelting*.
2. Menganalisis pengaruh variasi waktu dalam proses smelting pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap komposisi senyawa utama pada pasir monasit.
3. Menganalisis pengaruh variasi waktu dalam proses smelting pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap *grade*  $\text{ThO}_2$  pada pasir monasit.
4. Menganalisis pengaruh variasi waktu dalam proses smelting pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap *recovery* senyawa utama pada produk hasil *smelting*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi empiris mengenai parameter variasi waktu dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *electric arc furnace* terhadap *grade*  $\text{ThO}_2$  pada pasir monasit sehingga diperoleh parameter proses yang kredibel dan optimal demi kemajuan riset serta teknologi khususnya dalam penelitian pengolahan mineral tanah jarang yang ada di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dan Indonesia.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pasir Monasit

Monasit adalah senyawa fosfat logam tanah jarang yang mengandung cukup torium untuk menjadi radioaktif. Mineral monasit biasanya diperoleh sebagai produk sampingan dari proses penambangan timah. Sifat fisik mineral ini adalah kombinasi dari kekerasan tinggi dan cokelat mengkilap atau coklat oranye(Widodo et al., 2019). Unsur utama yang terkandung dalam monasit antara lain uranium (U) 0,298%, thorium (Th) 4,171%, fosfor pentoksida 23,712% (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), dan sisanya 58,97% total REE oksida. Garam dari unsur U, Th, RE, dan fosfat dapat dibentuk secara kimia dari pengolahan monasit. Proses pemisahan unsur U, Th, RE, dan fosfat dari bijih monasit dapat dilakukan secara bertahap dengan berbagai cara. Proses yang berlaku meliputi proses asam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, proses basa NaOH, proses klorinasi gas klor (Cl<sub>2</sub>), dan proses reduksi temperatur tinggi karbon (C)(Pasymi & Hatta, 2020). Bentuk dari pasir monasit ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



**Gambar 2. 1** Pasir Monasit (Dokumentasi Pribadi, 2022)

Kandungan torium dengan radioaktivitas yang tinggi mengakibatkan monasit bersifat radioaktif. Inilah salah satu alasan mengapa thorium dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif pembangkit listrik tenaga nuklir untuk menggantikan uranium. Secara teknis, monasit sebenarnya terdiri dari tiga senyawa yang berbeda. Namun, perbedaannya tidak terlalu penting, sehingga disebut satu mineral, monasit. Ketiga senyawa tersebut antara lain (Ce, La, Nd, Th, Y) PO<sub>4</sub>, (La, Ce, Nd) PO<sub>4</sub>, dan (Nd, La, Ce) PO<sub>4</sub>. Perbedaan rumus senyawa menunjukkan kandungan unsur-unsur tertentu di dalamnya. Item pertama dalam tanda kurung adalah item dengan persentase tertinggi(Widodo et al., 2019). Kandungan pasir monasit ditunjukkan Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Unsur dan oksidanya yang terkandung pada pasir monasit(Shahr El-Din et al., 2018)

| Senyawa                        | Konsentrasi (%) | Senyawa                        | Konsentrasi (%) |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| F                              | 0,290           | ZrO <sub>2</sub>               | 11,195          |
| MgO                            | 0,453           | Rh                             | 0,048           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,980           | PdO                            | 0,039           |
| SiO <sub>2</sub>               | 5,455           | SnO <sub>2</sub>               | 0,187           |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 10,051          | I                              | 0,053           |
| SO <sub>3</sub>                | 0,119           | La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8,745           |
| Cl                             | 0,078           | CeO <sub>2</sub>               | 15,617          |
| K <sub>2</sub> O               | 0,049           | Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,403           |
| CaO                            | 1,572           | Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,358           |
| TiO <sub>2</sub>               | 4,054           | Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,016           |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,836           | Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,776           |
| MnO                            | 1,000           | HfO <sub>2</sub>               | 0,425           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,134          | WO <sub>3</sub>                | 0,042           |
| ZnO                            | 0,365           | IrO <sub>2</sub>               | 0,036           |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,006           | PbO                            | 0,142           |
| SrO <sub>2</sub>               | 0,006           | ThO <sub>2</sub>               | 5,386           |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1,132           | U                              | 0,289           |

Pasir monasit Indonesia adalah produk sampingan dari pembersihan bijih timah di tambang PT Timah di pulau Bangka dan Belitung. Pasir monasit ini hanya dibuang di sekitar pulau. Selain itu, pasir monasit juga terdapat di Singkep, Rirang, dan Tanah merah (Kalimantan). Cadangan pasir monasit di Indonesia disajikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Cadangan pasir monasit Indonesia(Widodo et al., 2019)

| Wilayah Produksi | Jumlah (ton) | Kandungan (g/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|--------------|-------------------------------|
| Belitung         | 5.262        | 35                            |
| Bangka           | 4.258        | 34                            |
| Singkep          | 1.539        | 17                            |

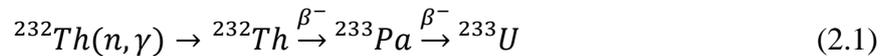
## 2.2 Torium

Torium adalah salah satu logam aktinida yang bersifat radioaktif dan paramagnetik dengan lambing Th dan nomor atom 90. Torium umumnya berwarna putih keperakan dan bertekstur agak lunak. Ketika terkontaminasi oksida, torium akan berubah warna menjadi keabu-abuan dan akhirnya berwarna hitam(Widodo et al., 2019). Sifat torium ditunjukkan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Sifat torium(Widodo et al., 2019)

| Sifat Umum      |            |
|-----------------|------------|
| Nama, simbol    | torium, Th |
| Warna           | keperakan  |
| Nomor atom (Z)  | 90         |
| Kategori unsur  | aktinida   |
| Massa atom (Ar) | 232,0381   |
| Titik leleh     | 1750° C    |
| Titik didih     | 4788° C    |

Torium memiliki isotop sebanyak 25 buah dengan rata-rata kestabilan sangat rendah. Isotop torium dengan kestabilan tinggi adalah Th-232 dengan waktu paruh selama 14,05 milyar tahun(Dewita et al., 2012). Th-232 memiliki kemampuan untuk dikonversi menjadi neutron termal menjadi isotop U-232. Torium diklaim lebih aman daripada uranium karena tidak menghasilkan plutonium-240 hasil reaksi dari uranium-235 dan uranium-238 yang digunakan sebagai senjata nuklir(Wickleder et al., 2018).



Torium dapat ditemukan pada sebagian besar mineral. Namun, torium biasanya bercampur dengan uranium, Lanthanum, niobium, dan tantalum, entah itu dalam bentuk oksida maupun tidak. Monasit menjadi salah satu mineral logam tanah jarang torium-fosfat dengan kadar torium oksida sebesar 12%. Kandungan torium pada masing-masing mineral juga bergantung dengan lokasi. Namun, umumnya memiliki kadar torium sebesar 6-7%. Mineral yang mengandung torium ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4** Mineral yang terkandung torium(Dewita et al., 2012)

| Mineral             | Rumus Kimia  |
|---------------------|--|
| <i>Thorite</i>      | $(\text{Th}, \text{U})\text{SiO}_4$  |
| <i>Thorianite</i>   | $(\text{ThO}_2 + \text{UO}_2)$   |
| <i>Thorogummite</i> | $\text{Th}(\text{ThSiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$  |
| <i>Monazite</i>     | $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$   |
| <i>Brockite</i>     | $(\text{Ca}, \text{Th}, \text{Ce})(\text{PO}_4)\text{H}_2\text{O}$                                   |
| <i>Xenotime</i>     | $(\text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$   |
| <i>Euxenite</i>     | $(\text{Y}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6$ |
| Bijih Besi          | Fe + REE + Th apatit   |

Torium di alam berbentuk sebagai oksida, yaitu  $\text{ThO}_2$  atau disebut *thoria*. Senyawa ini berwarna putih padat, tidak berbau, serta tidak larut dalam air. *Thoria* memiliki titik leleh yang tinggi yaitu sekitar 3300°C(Widodo et al., 2019). Sifat dari  $\text{ThO}_2$  selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.5.

**Tabel 2. 5** Sifat senyawa torium oksida(Balakrishna, 2012)

| Sifat Umum  |                        |
|-------------|------------------------|
| Nama IUPAC  | <i>Thorium dioxide</i> |
| Rumus kimia | ThO <sub>2</sub>       |
| Warna       | Putih                  |
| Massa molar | 264,04 g/mol           |
| Densitas    | 10 g/cm <sup>3</sup>   |
| Titik lebur | 3.300°C                |
| Titik didih | 4.400°C                |

### 2.3 Flux SiO<sub>2</sub>

*Flux* adalah senyawa yang ditambahkan ke dalam mineral selama proses peleburan yang digunakan sebagai pengikat unsur-unsur pengotor atau unsur-unsur yang tidak diinginkan dari mineral utama(Kokal & Ranade, 1985). Salah satu *flux* yang sering digunakan dalam metode pirometalurgi adalah SiO<sub>2</sub>. SiO<sub>2</sub> atau silika merupakan senyawa penyusun dari kerak bumi dengan persentase terbesar, yaitu 60,6%. Silika dapat ditemukan dalam pasir, batuan atau tanah silika, limbah kaca, dan bahan organik seperti abu sekam padi dan abu tebu. Silika biasanya digunakan dalam bentuk bermacam-macam, antara lain gelas, kristal, gel, aerogel, *fumed* silika, dan aerosol. Silika memiliki sifat ketahanan terhadap abrasi yang baik, isolator listrik yang baik, dan stabilitas termal yang tinggi(Dyana & Triwikantoro, 2017). Sifat silika ditunjukkan pada Tabel 2.6.

**Tabel 2. 6** Sifat silika(Woermann et al., 1969)

| Sifat Umum  |  |
|-------------|--|
| Nama IUPAC  | <i>Silicon dioxide</i>   |
| Rumus kimia | SiO <sub>2</sub>   |
| Warna       | Padat transparan (amorf)<br>Putih/kuning keputihan (serbuk atau pasir) |
| Massa molar | 60,08 g/mol  |
| Densitas    | 2,648 g/cm <sup>3</sup> (quartz)<br>2,196 g/cm <sup>3</sup> (amorf)    |
| Titik lebur | 1.713°C  |
| Titik didih | 2.950°C  |

Silika dapat mengikat pengotor menjadi *slag* pada temperatur sekitar 1550°C. Salah satu oksida yang dapat diikat pada temperatur tersebut adalah *titania* (TiO<sub>2</sub>) dengan mengikat Ca dan Ti menjadi *titanite* (CaTiSiO<sub>5</sub>)(Woermann et al., 1969).



Selain *titania*, *magnesia* (MgO) juga merupakan oksida yang dapat diikat oleh silika, tepatnya pada temperatur 1100-1400°C dan membentuk *forsterite* (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)(Brindley & Hayami, 1965).



## 2.4 Reduktor Karbon

Reduktor Karbon Reduktor merupakan suatu agen untuk mereduksi logam dari mineral oksidanya dalam proses pirometalurgi. Dalam proses pirometalurgi dikenal banyak sekali jenis reduktor yang dapat digunakan yang semuanya berbasis karbon sebagai penyusun utama atau disebut material carbonaceous. Material yang biasanya digunakan sebagai reduktor biasanya berbasis karbon. Material carbonaceous dimanfaatkan sebagai reduktor karena meningkatkan distribusi gas dalam proses dengan meningkatkan permeabilitas burden(Sahajwalla et al., 2016).

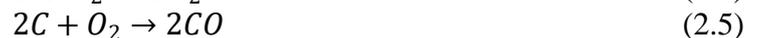
Peran reduktor dalam berbagai reaksi reduksi dalam melalui:

- Gasifikasi reduktor menjadi gas CO yang dapat bereaksi di dalam *furnace*
- Pelarutan karbon dalam logam cair
- Reaksi karbon terlarut dengan *slag* saat logam selama proses pemurnian
- Reaksi reduksi langsung dari karbon padat dengan *slag*

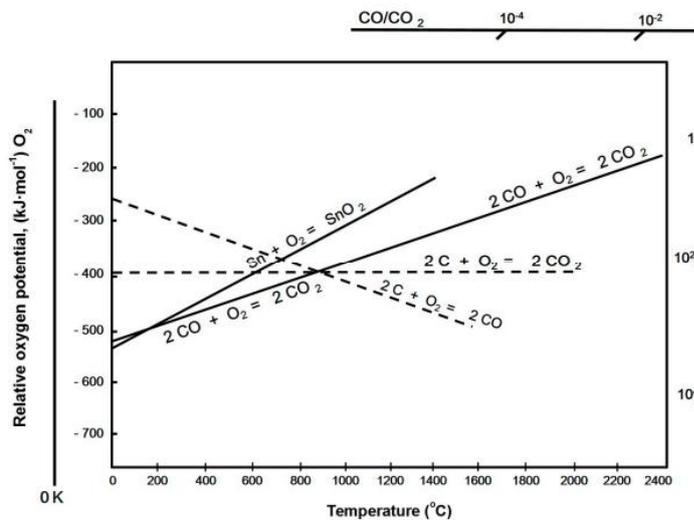
Beberapa jenis reduktor telah digunakan dalam industri pirometalurgi seperti batu bara, kokas, karbon, grafit, dan arang. Mereka dibedakan berdasarkan kadar karbon yang digunakan.

Penggunaan karbon sebagai reduktor, aditif, atau *filler* merupakan elemen penting dalam pengolahan bijih logam dan pembuatan besi dan baja dalam industri metalurgi. Dalam kebanyakan kasus, unsur karbon berasal dari batubara dan turunan karbonnya. Sifat karbon yang dibutuhkan untuk proses yang berbeda di setiap sektor metalurgi sangat bervariasi, kecocokan sifat produk karbon yang tepat untuk setiap proses tertentu telah menjadi hal paling penting di semua sektor industri metalurgi. Sifat tersebut adalah *softening*, *swelling*, *fusion*, dan porositas dalam pembuatan kokas dan arang, reaktivitas atau konsumsi karbon dari reduktor karbon untuk digunakan dalam berbagai proses(Sahajwalla et al., 2016).

Dalam perannya sebagai reduktor pada proses reduksi oksida mineral, karbon memungkinkan untuk mengalami reaksi pada Persamaan 2.4, Persamaan 2.5, dan Persamaan 2.6 sebagai berikut(Sahajwalla et al., 2016):



Pada reaksi pertama (pembentukan CO<sub>2</sub>) hampir tidak ada perubahan entropi, yaitu  $\Delta S^\circ = 0$  dan oleh karena itu  $\Delta G^\circ$  tetap hampir sama dengan kenaikan temperatur dan  $\Delta G^\circ$  tidak tergantung pada temperatur. Pada reaksi kedua (pembentukan CO), terjadi peningkatan entropi ( $\Delta S$  positif) oleh karena itu,  $\Delta G^\circ$  menjadi lebih negatif dengan kenaikan temperatur. Namun, pada reaksi ketiga, terjadi penurunan entropi ( $\Delta S$  negatif) dan oleh karena itu,  $\Delta G^\circ$  menjadi tidak lebih negatif dengan kenaikan temperatur(Sahajwalla et al., 2016). Sifat reduksi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.2.



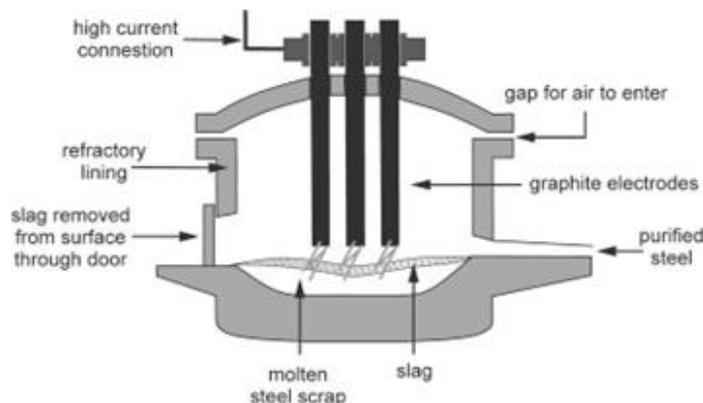
**Gambar 2. 2** Diagram ellingham untuk sifat reduksi karbon(López et al., 2018)

Ketiga kurva terlihat berpotongan pada temperatur 983 K, yang menunjukkan bahwa di atas temperatur ini, reaksi (2.5) paling cocok. Hal ini berarti bahwa karbon dapat mereduksi oksida logam apapun pada temperatur yang sangat tinggi dan mengalami oksidasi menjadi CO.

### 2.5 Electric Arc Furnace

*Electric Arc Furnace* (EAF) merupakan salah satu teknologi modern yang umum dan populer untuk digunakan dalam industri metalurgi. Sumber panas utama dari EAF adalah busur listrik. Busur listrik ini akibat dari loncatan elektron dari katoda yang dapat digerakkan dan anoda permanen, serta dipisahkan dengan penumpukkan gas. Mekanisme transfer panas yang utama pada kondisi ini adalah reaksi radiasi. Perubahan energi listrik menjadi energi panas terjadi melalui arus dalam busur listrik yang terionisasi, dimana temperatur busur listrik dapat mencapai 6.000°C(Khodabandeh et al., 2017).

EAF dapat diklasifikasikan berdasarkan proses transfer panas dari busur, yaitu pemanasan langsung dan pemanasan tidak langsung. Pemanasan tidak langsung terjadi ketika busur listrik terbentuk antara dua elektroda tanpa kontak dengan material *feed* atau dengan kata lain transfer panas terjadi hanya melalui radiasi dan konveksi. Sedangkan pemanasan langsung terjadi ketika busur listrik terbentuk antara dua elektroda dan kontak dengan material *feed*, sehingga transfer panas terjadi melalui konduksi, radiasi, dan konveksi(Grzella et al., 1923). Komponen EAF secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Komponen *Electric Arc Furnace*(Grzella et al., 1923)

## 2.6 Waktu *Smelting Electric Arc Furnace* dan Pengaruhnya

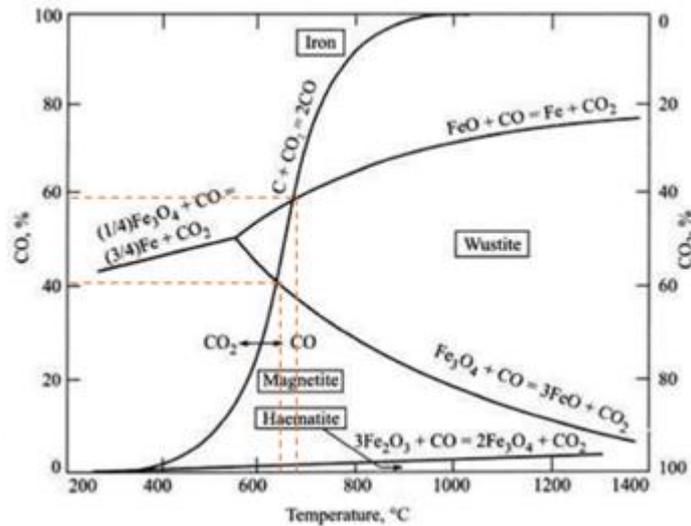
Waktu dalam pelaksanaan proses EAF biasa disebut dengan istilah *tap to tap time* yang dapat diartikan sebagai waktu yang digunakan dalam proses EAF meliputi *charging*, *smelting* dan *tapping*. *Tap to tap* dalam industri pengolahan logam yang menggunakan proses EAF berpengaruh terhadap efisiensi proses yang digunakan. Dalam dunia industri logam, EAF beroperasi sebagai proses peleburan yang dilakukan per *batch* yang menghasilkan baja likuid. Siklus pengoperasian EAF biasa disebut dengan *tap to tap* yang terdiri dari proses pengisian tungku, proses pelelehan, fase *refining* dan penuangan baja cair. Waktu *tap to tap* normalnya dilakukan kurang dari 60 menit untuk EAF modern, sedangkan beberapa operasi tungku kembar hanya membutuhkan waktu sekitar 35-40 menit (Stalhed, 1957).

Proses peleburan merupakan proses inti dari pengoperasian EAF. EAF berkembang menjadi alat peleburan yang efisien dan memiliki desain yang modern untuk memaksimalkan kapasitas proses peleburan. Peleburan dilakukan dengan cara memberikan energi ke dalam tungku dimana energi ini berasal dari energi listrik. Energi listrik disalurkan melalui elektroda grafit yang merupakan kontributor utama dalam proses peleburan. Pada awalnya, tegangan menengah diumpankan sampai elektroda masuk ke dalam material *scrap*. Banyak operasi EAF yang baru saja mengembangkan *heat balances* untuk tungkunya. Keseimbangan ini didasarkan pada total energi masuk dan keluar ke tungku selama siklus *tap to tap* berlangsung. Analisis keseimbangan tersebut menunjukkan bahwa ada variasi kebutuhan energi yang luas dan efisiensi transfer energi di EAF. Waktu selama proses peleburan sampai terjadinya *refining* antara logam dengan pengotornya bisa didefinisikan waktu *holding* peleburan (Pretorius & Oltmann, 2002).

Waktu dapat memengaruhi hasil proses *smelting*. Proses reduksi pada suatu material yang di *smelting* terjadi dengan cukup kompleks sehingga kita harus mengetahui waktu optimal dalam prosesnya. Berdasarkan diagram Ellingham yang akan dibahas pada sub-bab 2.8, temperatur yang dibutuhkan untuk mereduksi berbagai senyawa itu berbeda-beda dan pada kasus *smelting* menggunakan *electric arc furnace*, semakin tinggi temperatur maka waktu yang dibutuhkan juga semakin meningkat. Untuk mendapatkan material yang diinginkan, maka pemilihan waktu yang optimal menjadi sangat penting agar material yang diinginkan dapat meningkat lebih banyak (Supriyatna et al., 2019). Jika waktu *smelting* kurang, maka proses reduksi tidak terjadi secara maksimal, sedangkan jika waktu *smelting* terlalu lama maka senyawa akan teroksidasi kembali dan bergabung dengan slag pada saat peleburan (Sihotang et al., 2018).

## 2.7 Diagram Boudouard-Gaussner

Diagram Boudouard-Gaussner merupakan diagram yang menunjukkan kesetimbangan antara unsur dan oksida besi yaitu besi, hematit, magnetit, wustit, karbon padat, karbon monoksida, dan karbon dioksida dalam proses reduksi langsung besi oleh karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Reaksi Boudouard membutuhkan temperatur tinggi karena merupakan reaksi endotermik. Berdasarkan garis kesetimbangan Boudouard, terdapat 100% gas CO pada temperatur 1000 °C. Untuk mengurai gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dan C, temperatur harus diturunkan sehingga kesetimbangan tidak tercapai. Hal ini akan mengurangi gas CO sebagai reduktor. Pada daerah sebelah kanan garis kesetimbangan, gas CO<sub>2</sub> akan mengalami reaksi boudouard membentuk gas CO. Berdasarkan diagram Boudouard-gaussner, perbandingan gas CO/CO<sub>2</sub> dan temperatur operasi merupakan faktor yang mempengaruhi terbentuknya senyawa (Sarangi & Sarangi, n.d.).



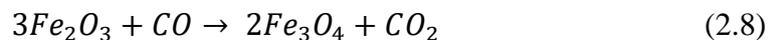
**Gambar 2. 4** Diagram Boudouard-Gaussner(Sarangi & Sarangi, n.d.)

Berdasarkan diagram Boudouard-Gaussner pada Gambar 2.4, terdapat kesetimbangan antara besi oksida dengan CO/CO<sub>2</sub> yaitu sebagai berikut:

1. Garis kesetimbangan Boudouard:



2. Garis kesetimbangan:



3. Garis kesetimbangan:



4. Garis kesetimbangan:

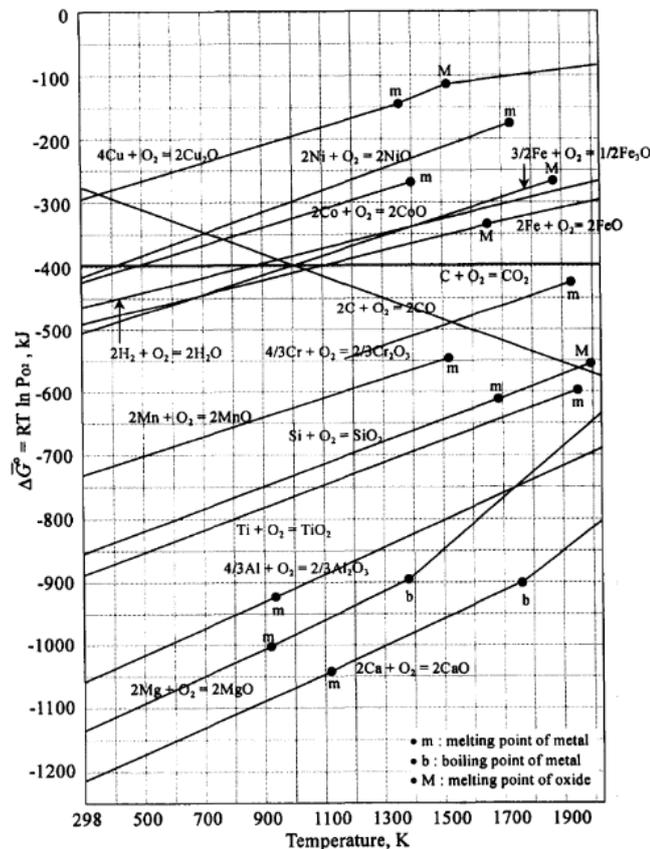


Pada temperatur 700°C senyawa yang stabil dengan perbandingan CO/CO<sub>2</sub> 60:40 adalah wustit (FeO). Di mana magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) akan tereduksi menjadi wustit, sedangkan Fe akan mengalami oksidasi menjadi wustit. Terjadi perpotongan antara garis kesetimbangan FeO/Fe dan garis kesetimbangan boudouard pada temperatur 700°C. Hal tersebut mengindikasikan bahwa 700°C merupakan temperatur minimum untuk mereduksi wustit menjadi Fe. Selain itu, juga terjadi perpotongan antara garis kesetimbangan magnetit/wustit dan garis kesetimbangan boudouard pada temperatur 650°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa 650°C merupakan temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi magnetit menjadi wustit. Kedua temperatur tersebut berada pada tekanan 1 atmosfer. Ketika dibawah temperatur tersebut, karbon monoksida akan terurai menjadi karbon dioksida. Hal ini akan membuat reaksi tidak akan terjadi(Komarudin, 2008).

## 2.8 Termodinamika Reduksi

Diagram Ellingham merupakan diagram yang menunjukkan energi bebas sebuah reaksi yang kemudian diplot pada suatu grafik dengan parameter energi bebas dan temperatur. Pada

diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida dan terletak di bagian paling bawah diagram. Sedangkan logam yang memiliki energi afinitas bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak di bagian paling atas. Nilai  $\Delta G^\circ$  untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam maka logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida yang dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan, ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO (Lee, 1999). Diagram Ellingham untuk beberapa oksida ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Diagram Ellingham berbagai oksida (Lee, 1999)

Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki, namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu (Lee, 1999). Sebagai contoh reduksi dari besi oksida dapat digambarkan dengan skema berikut.

- $T > 570^\circ\text{C}$ :  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$
- $T < 570^\circ\text{C}$ :  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$
- $T < 570^\circ\text{C}$ :  $4\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$

## 2.9 Grade, Recovery, dan Basisitas

Tujuan utama dari proses pengolahan mineral yaitu untuk memisahkan mineral yang berharga dengan mineral pengotor. Terdapat dua cara yang dapat dilakukan untuk mengukur keberhasilan proses pengolahan mineral yaitu dengan mengukur kadar/grade dan pemulihan/recovery (Napier-Munn & Wills, 2005).

Kadar/*grade* adalah persentase kandungan suatu logam atau mineral berharga dalam suatu *ore*. Pada beberapa jenis *ore* dengan kandungan logam yang sangat rendah, kandungan logamnya dinyatakan dalam satuan *part per million* atau ppm. Namun, beberapa logam dijual dalam bentuk oksidanya atau tidak sebagai logam utuh sehingga pada kasus seperti ini logam dinyatakan dalam persentase oksidanya (Napier-Munn & Wills, 2005).

*Recovery* merupakan persentase dari total logam atau mineral yang terkandung dalam bijih yang berhasil diubah ke dalam konsentrat. Dengan kata lain *recovery* merupakan nilai yang menyatakan perbandingan dari mineral hasil produksi yang masuk ke dalam proses pengolahan atau pemurnian dengan jumlah hasil produksi pengolahan. *Recovery* dilambangkan dengan simbol *R* seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan 2.11.

$$R (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100\% \quad (2.11)$$

Nilai dari perhitungan *recovery* dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 2.11 dimana *c* merupakan kadar mineral di dalam produk dan *f* merupakan kadar mineral di dalam feed/umpan. Sedangkan *W<sub>p</sub>* merupakan massa dari produk yang dihasilkan oleh proses pengolahan mineral dan *W<sub>f</sub>* merupakan massa dari *feed*/umpan. Nilai *recovery* menunjukkan kualitas dari suatu proses pengolahan mineral di mana semakin tinggi nilai *recovery*-nya maka dapat dinyatakan proses pengolahan tersebut memiliki efisiensi yang bagus (PINTOWANTORO et al., 2021).

Kadar dan *recovery* adalah ukuran yang paling umum digunakan untuk menjelaskan efisiensi dari proses ekstraksi. Jika ingin mencapai kadar dari produk yang tinggi, maka hasil *tailing* akan lebih banyak dan *recovery* menjadi rendah. Namun jika ingin mencapai nilai *recovery* logam yang tinggi, akan ada lebih banyak *gangue* dalam konsentrat sehingga kadar logam akan menurun (Napier-Munn & Wills, 2005).

Nilai *recovery* suatu proses pengolahan mineral dapat dipengaruhi oleh basisitas *slag*. Basisitas merupakan nilai yang menyatakan perbandingan dari senyawa yang bersifat basa dengan senyawa yang bersifat asam yang terdapat pada *slag* atau produk hasil pengolahan mineral (Sungging Pintowantoro & Abdul, 2020). Terdapat tiga jenis basisitas yang terdapat dalam proses pengolahan mineral, yaitu sebagaimana yang ditunjukkan pada Persamaan 2.12, Persamaan 2.13, dan Persamaan 2.13.

$$B_1 = \frac{CaO}{SiO_2} \quad (2.12)$$

$$B_2 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2} \quad (2.13)$$

$$B_3 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (2.14)$$

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa basisitas *slag* sangat dipengaruhi oleh kandungan senyawa oksida yang terkandung di dalam *slag*. CaO dan MgO merupakan senyawa yang bersifat basa, sedangkan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan senyawa oksida yang bersifat asam. Secara umum Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat bersifat sebagai asam maupun basa. Akan tetapi, ketika kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> di dalam *slag* tidak melebihi 15%, maka Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan bersifat asam. Basisitas tersebut akan menentukan banyak karakteristik *slag*, seperti temperatur likuidus *slag*, viskositas *slag*, karakteristik termodinamika *slag*, dan lain sebagainya (Sungging Pintowantoro & Abdul, 2020).

## 2.10 Penelitian Sebelumnya

### 2.10.1 Ekstraksi Monasit

Trinopiawan, dkk. pada 2011 melakukan pemisahan Uranium dari Thorium dalam larutan hasil pelarutan endapan dengan  $H_2SO_4$  menggunakan metode ekstraksi pelarut campuran dari Alamine-336, kerosin, dan isodekanol. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimal ekstraksi pada pH umpan 1,5 dengan perbandingan O/A = 5 dan waktu ekstraksi 5 menit, dan diperoleh U sebesar 100% tetapi Th ikut terekstrak 32,44%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pada kondisi optimal tersebut, Th dapat terpisah dari U sebesar 67,56% (Trinopiawan et al., 2011).

Selanjutnya, Trinopiawan, dkk. melakukan penelitian lebih lanjut pada tahun 2012. Proses ini dilakukan dengan memisahkan Th dari U pada pasir monasit sehingga dapat ditentukan kondisi optimal menggunakan metode pengendapan dengan reagen  $H_2SO_4$ . Tahap penelitian dimulai dari penggerusan monasit, dekomposisi, pelarutan parsial, pelarutan total, dan pengendapan Th dengan  $H_2SO_4$ . Larutan umpan yang digunakan untuk pengendapan berasal dari pelarutan total dengan dua reagen yaitu  $H_2SO_4$  dan HCl. Hasil optimal *recovery* pengendapan pada larutan umpan sulfat yaitu Th sebesar 96,99% dan U 18,26% dengan konsumsi  $H_2SO_4$  20 ml dan waktu pengendapan 30 menit. Hasil optimal *recovery* pengendapan pada larutan umpan klorida yaitu Th sebesar 98,05% dan U 25,03% dengan konsumsi  $H_2SO_4$  20 ml dan waktu pengendapan 20 menit (Trinopiawan & Sumiarti, 2012).

Teixeira, dkk. pada 2019 melakukan ekstraksi unsur tanah jarang, torium, dan besi dalam melalui proses ekstraksi selektif bijih. Diketahui bahwa bijih monasit yang mengandung tanah jarang dapat diproses secara selektif untuk memisahkan besi dan torium dari unsur tanah jarang untuk proses sulfasi, *roasting* pada  $700^\circ C$ , dan pencucian dengan air di bawah pH terkontrol. Proses ini menghasilkan *recovery* tanah jarang yang tinggi (70-80%), ekstraksi besi rendah, dan torium (<1%) dengan konsumsi asam rendah (0,21-0,34 kg asam untuk 1 kg bijih). Hasil juga menunjukkan bahwa lantanum sulfat terurai dalam proses dua langkah, kemungkinan membentuk  $La_2O_2SO_4$  sebagai senyawa antara, yang tidak dapat diprediksi dari evaluasi termodinamika. Tahap paling penting untuk ekstraksi selektif adalah *roasting*, dimana besi sulfat terurai menjadi oksida besi dan melepaskan gas  $SO_3$ . Dekomposisi besi sulfat dicapai pada  $700^\circ C$ , suatu kondisi di mana tanah jarang mencapai ekstraksi maksimum. Jumlah senyawa tanah jarang yang tidak larut meningkat tajam pada temperatur yang lebih tinggi dari  $750^\circ C$  dan mengurangi jumlah unsur tanah jarang yang dapat *recovery* selama tahap *leaching* yang membuat proses ekstraksi tanah jarang tidak efektif. Temperatur ini lebih rendah dari yang diharapkan untuk dekomposisi sulfat menjadi oksida karena berkaitan dengan pembentukan senyawa fosfat (L. Teixeira et al., 2019).

Udayakumar, dkk. pada 2020 melakukan proses defosforisasi menggunakan temperatur tinggi pada konsentrat pasir monasit Malaysia. Metode tersebut digunakan untuk meningkatkan *recovery* dari thorianite ( $ThO_2$ ). Proses defosforisasi dilakukan dengan temperatur antara  $1350$  hingga  $1450^\circ C$  selama 2 jam pada furnace horizontal lenton dengan laju pemanasan  $10^\circ C$ /menit. Hasil defosforisasi kemudian dilakukan pengujian XRD dan SEM-EDX. Didapatkan bahwa temperatur *roasting* merupakan variabel yang paling menentukan dalam penurunan massa dari monasit. Adapun penurunan massa terbaik terjadi pada temperatur  $1450^\circ C$  dengan wt% loss yaitu 40,79% (Udayakumar et al., 2020).

Wienar pada 2022 melakukan ekstraksi torium melalui *smelting* pasir monasit dengan *flux*  $SiO_2$  dengan menggunakan metode EAF. *Smelting* dilakukan pada temperatur  $1850^\circ C$  selama 5 menit. dengan arus listrik EAF sebesar 60 A dan tegangan sebesar 40 V. Hal ini untuk memenuhi energi yang dibutuhkan sebesar 378705,33 J. Didapatkan *recovery* yang tinggi dari  $ThO_2$ , yaitu sebesar 90,2%. Selain itu, kadar  $ThO_2$  juga mengalami peningkatan, dari yang awalnya memiliki kadar 0,25% menjadi 0,46% (Wienar, 2022).

### 2.10.2 Penggunaan variasi waktu *smelting*

Rehman, dkk. pada tahun 2013 melakukan penelitian mengenai variasi waktu dalam proses ekstraksi logam antimon dari bijih stibnite di dalam *gas-fired furnace*. Variasi waktu yang dilakukan yaitu 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, dan 2 jam. Hasilnya pada variasi waktu *smelting* 2 jam mendapatkan *recovery* dan kemurnian tertinggi yaitu 81,10% dan 98,78% (Waheed-Ur-Rehman et al., 2013).

Pada tahun 2014, Henpristian, dkk. melakukan penelitian tentang pengaruh waktu reduksi terhadap persen Fe metal dan persen Fe-Ni spons dari bijih nikel limonit menggunakan simulator *rotary kiln*. Variasi waktu yang dilakukan yaitu 15, 30, 45, dan 60 menit dengan % batu bara yang dipakai berbeda pula yaitu, 10, 15, dan 20%. Hasilnya %Fe metal paling tinggi cenderung terdapat pada waktu 30 menit dimana penambahan 10% batu bara di waktu tersebut memperoleh 2,97% Fe metal. Pada %Ni, waktu 60 menit merupakan waktu yang paling tinggi %Ni nya yaitu dengan batu bara 10% sebanyak 6,87% (Henpristian et al., 2014).

Pada tahun 2018, Pangestu melakukan penelitian tentang *smelting Direct Reduced Iron* dalam proses pembuatan *pig iron* menggunakan *electric arc furnace*. Pada penelitian ini, Pangestu melakukan variasi pada waktu *holding* dengan variabel tetap arus listrik sebesar 180 A dan tegangan sebesar 16,2 V. Variasi waktu yang digunakan yaitu 2, 4, 6, dan 8 menit. Hasil *recovery* Fe tertinggi didapatkan pada waktu *holding* 6 menit sebanyak 98,780% (PANGESTU, 2018).

Sihotang, dkk. pada tahun 2018 melakukan penelitian tentang ekstraksi bijih nikel laterit menggunakan metode *smelting* menggunakan *mini electric arc furnace* dengan reduktor arang tempurung kelapa sawit. Proses *smelting* dilakukan dengan variasi waktu 50, 70, 90, 110, dan 130 menit. Hasil percobaan didapatkan bahwa waktu peleburan optimum untuk memproduksi *nickel pig iron* pada waktu *smelting* 90 menit dimana didapatkan *recovery* Fe sebesar 92,53% dan Ni sebesar 67,21%. Pada menit 50 dan 70, proses reduksi yang terjadi belum maksimal, sedangkan pada menit ke 110 dan 130 menunjukkan penurunan *recovery* besi yang menunjukkan bahwa besi mulai teroksidasi kembali dan bergabung dengan slag pada saat peleburan (Sihotang et al., 2018).

Supriyatna pada tahun 2019 melakukan penelitian mengenai variasi waktu pada *smelting* titanium terak timah dengan menggunakan *electric arc furnace*. Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi titanium menggunakan *electric arc furnace* dengan variasi waktu proses untuk mereduksi dan melebur terak timah yang digunakan adalah 20, 30, 40, 50, dan 60 menit dengan temperatur peleburan masing-masing variasi sama yaitu 1600 °C. Kadar titanium pada produk logam mengalami peningkatan dari waktu proses 20 sampai 30 menit, lalu kemudian mengalami penurunan untuk waktu proses 40 sampai dengan 60 menit. Peningkatan dan penurunan ini menunjukkan bahwa waktu memengaruhi proses reduksi Ti. Berdasarkan diagram Ellingham, posisi Ti berada di bawah Si, Fe, dan berada di atas Al menurut Upadhyaya dan Dube, 1977 dalam Supriyatna 2019, sehingga berdasarkan posisi tersebut Ti akan tereduksi setelah Fe dan Si tereduksi lebih dahulu. Kemudian setelah Ti, Al yang tereduksi. Karena proses reduksi yang terjadi cukup kompleks maka perlu diketahui waktu optimal. Dalam hal ini waktu optimal proses reduksi dan peleburan Ti agar diperoleh kadar yang tinggi yaitu selama 30 menit dengan kadar Ti yang tinggi dan kadar unsur lainnya serendah mungkin pada produk logam. Keberhasilan proses peleburan ini selain dilihat dari kadar Ti pada produk tetapi juga dilihat dari persen ekstraksi Ti. Berdasarkan hasil percobaan, waktu optimum untuk mendapatkan hasil ekstraksi titanium tertinggi yaitu pada waktu proses 30 menit yang menghasilkan persen ekstraksi titanium sebesar 79,21 % (Supriyatna et al., 2019).

Perbandingan berbagai hasil dari penelitian sebelumnya ditampilkan dengan tabulasi yang terdapat pada Tabel 2.7 sebagai berikut.

**Tabel 2. 7** Penelitian sebelumnya

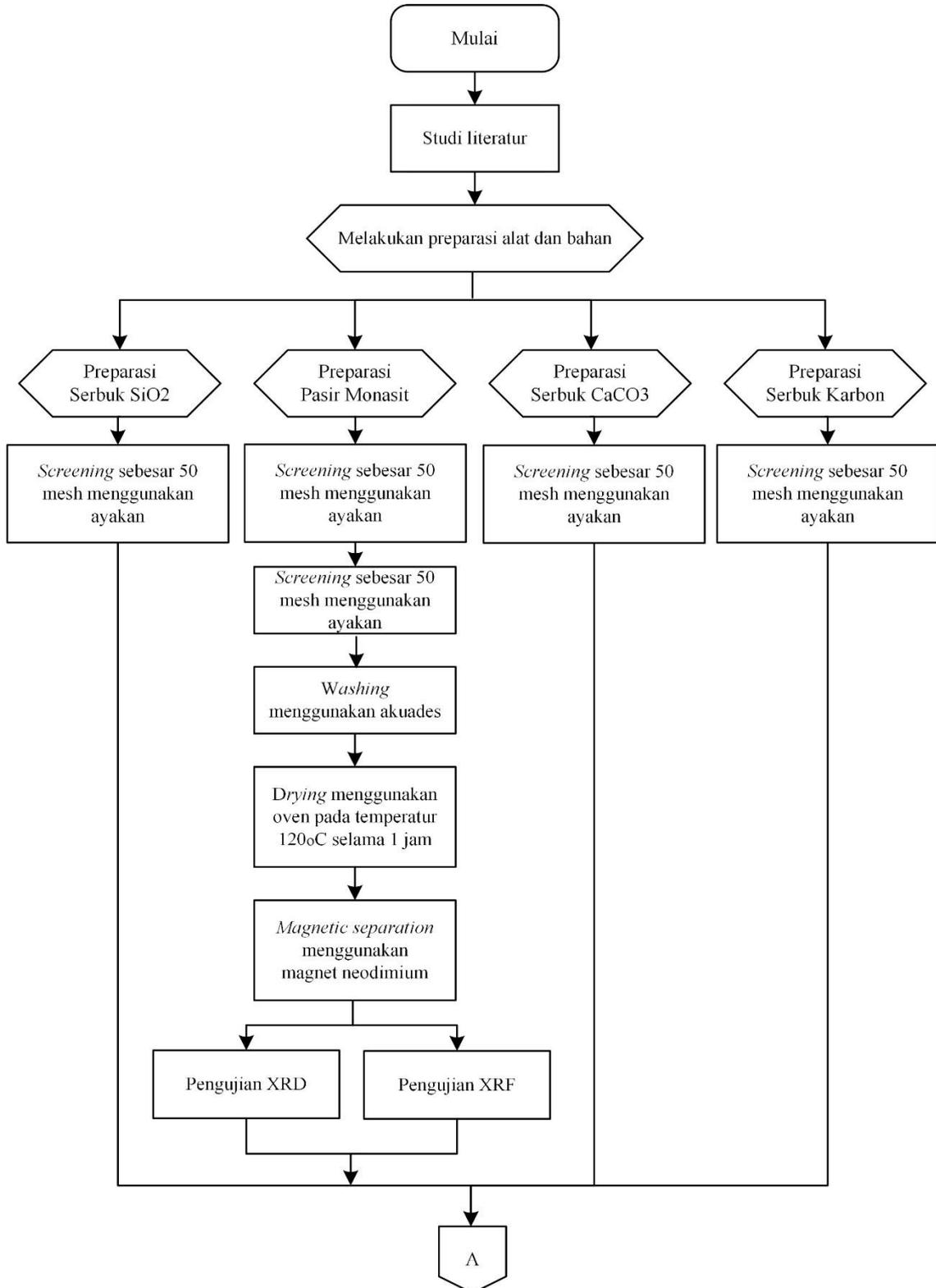
| Metode                                 | Material                         | Variabel                           | Hasil   | Peneliti                 |
|--|----------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|
| Ekstraksi Pelarut                      | Pasir Monasit                    | pH, waktu                          | pH=1,5 O/A=5 Waktu ekstraksi 5 menit<br>Th =32,44%  | Trinopiawan dkk. (2011)  |
| Pengendapan Dengan Larutan             | Pasir Monasit                    | Volume dan waktu                   | <u>Umpan Sulfat:</u><br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 20 ml, waktu 30 menit<br>Th = 96,99%<br><br><u>Umpan klorida:</u><br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 20 ml, waktu 20 menit<br>Th = 98,05% | Trinopiawan dkk. (2012)  |
| Ekstraksi Selektif dan <i>Roasting</i> | Pasir Monasit                    | Temperatur                         | <i>recovery</i> tanah jarang 70-80%, konsumsi asam antara 0,21 dan 0,34 kg asam untuk 1 kg bijih  | Teixeira dkk. (2019)     |
| Defosforasi pasir monasit              | Pasir monasit Malaysia           | Temperatur <i>roasting</i>         | Penurunan massa pasir monasit tertinggi didapat pada temperatur 1450 °C yaitu 40,79%.   | Udayakumar, dkk. (2020)  |
| <i>Smelting</i>                        | Pasir Monasit                    | Massa <i>flux</i> SiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> =9%<br><i>Recovery</i><br>ThO <sub>2</sub> =90,2%<br>Kadar ThO <sub>2</sub> =0,46%   | Wienar (2022)            |
| <i>Smelting</i>                        | Bijih stibnite                   | Waktu                              | t = 2 jam <i>recovery</i> 81,10% dan kemurnian 98,78%.  | Rehman, dkk. (2013)      |
| <i>Smelting</i>                        | Bijih nikel limonit              | Waktu dan % batu bara              | 10 % batu bara, 30 menit, Fe 2,97 %.<br>10 % batu bara, 60 menit, Ni 6,87 %.  | Henpristian, dkk. (2014) |
| <i>Smelting</i>                        | <i>Direct Reduced Iron (DRI)</i> | Waktu <i>holding</i>               | t=6 menit<br><i>Recovery</i> Fe=98,78%<br>Kadar Fe=91,585%  | Pangestu (2018)          |
| <i>Smelting</i>                        | Bijih nikel laterit              | Waktu                              | t = 90 menit<br><i>Recovery</i> Fe = 92,53 %, Ni = 67,21 %  | Sihotang, dkk. (2018)    |
| <i>Smelting</i>                        | Titanium terak timah             | Waktu                              | SiO <sub>2</sub> =9%<br><i>Recovery</i><br>ThO <sub>2</sub> =90,2%<br>Kadar ThO <sub>2</sub> =0,46%   | Supriyatna (2019)        |

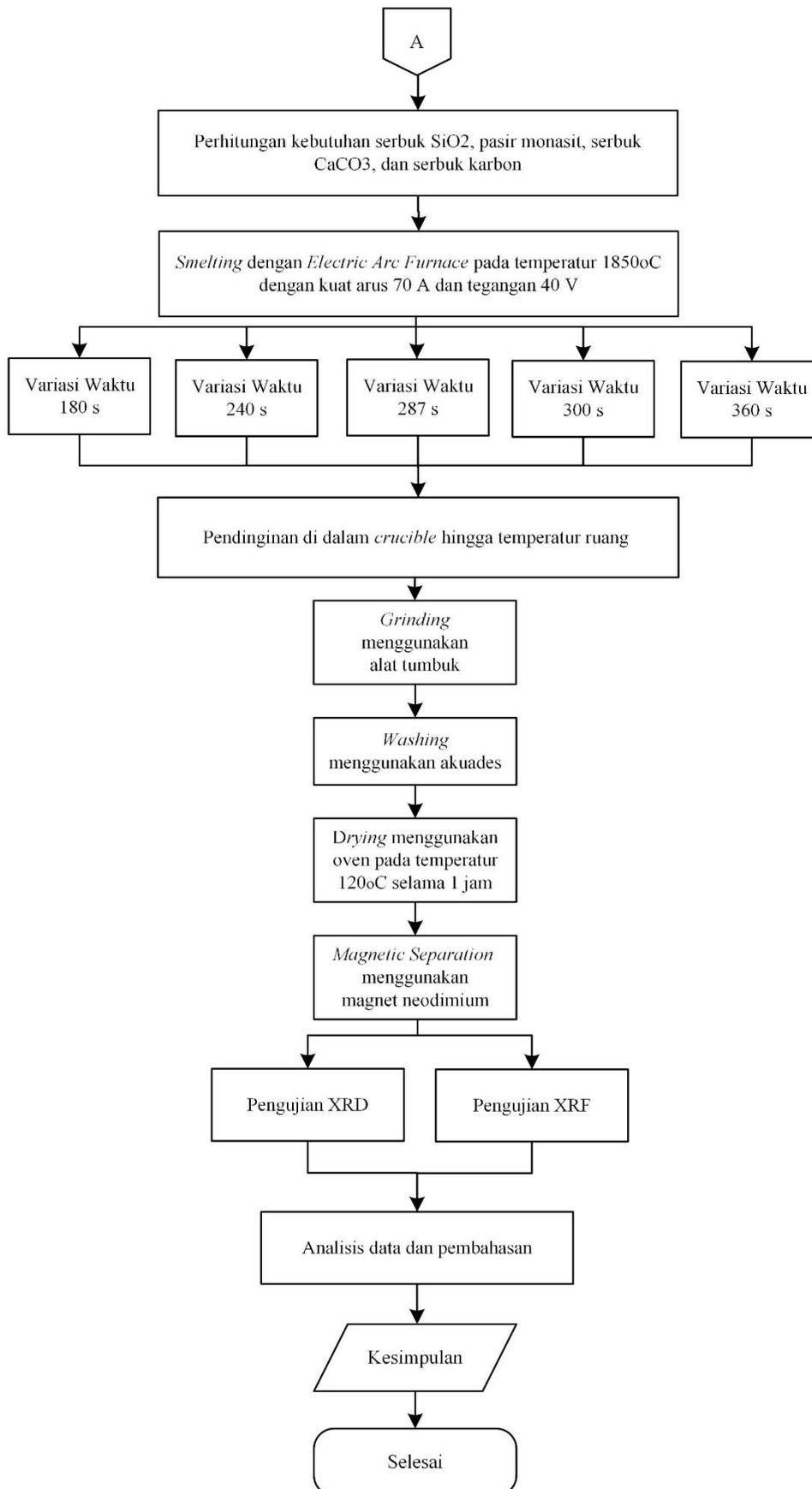
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir proses penelitian ini yang terdapat pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

#### 3.2.1 Pasir Monasit

Pasir monasit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Bangka Belitung, Indonesia. Pasir monasit dipreparasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses *smelting*. Berikut gambar pasir monasit yang terdapat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pasir monasit (Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 3.2.2 Flux SiO<sub>2</sub>

*Flux* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Silika dioksida dengan rumus senyawa SiO<sub>2</sub>, yang memiliki kemurnian hingga 99%. Berikut gambar *flux* SiO<sub>2</sub> yang terdapat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Fluks SiO<sub>2</sub> (Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 3.2.3 Serbuk Karbon

Serbuk karbon digunakan sebagai reduktor. Serbuk karbon yang digunakan merupakan karbon analitik dengan kemurnian 99%. Berikut gambar serbuk karbon yang terdapat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Serbuk karbon (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.2.4 Serbuk $\text{CaCO}_3$

Serbuk  $\text{CaCO}_3$  digunakan untuk menyuplai kebutuhan gas  $\text{CO}_2$  dalam proses *smelting*. Serbuk  $\text{CaCO}_3$  yang digunakan merupakan *analytical grade* yang memiliki kemurnian 99%. Berikut gambar serbuk  $\text{CaCO}_3$  yang terdapat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Serbuk  $\text{CaCO}_3$  (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.2.5 Akuades

Akuades pada penelitian ini digunakan sebagai media pencucian pasir monasit. Berikut gambar akuades yang terdapat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Akuades (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.2.6 Elektroda grafit

Elektroda grafit digunakan sebagai bahan yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dengan kandungan karbon sebesar 99,9%. Berikut gambar elektroda grafit yang terdapat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Elektroda grafit (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.3 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

#### 3.3.1 Neraca Analitik

Neraca analitik yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sesuai neraca massa. Berikut gambar neraca analitik yang terdapat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3. 8** Neraca analitik (Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 3.3.2 Ayakan

Ayakan yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendapatkan ukuran butir bahan baku yang diinginkan dan homogen. Ayakan yang digunakan berukuran *50 mesh*. Berikut gambar ayakan yang terdapat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3. 9** Ayakan *50 mesh* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 3.3.3 Termometer *Infrared*

Termometer *infrared* yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendeteksi temperatur di dalam *electric arc furnace* saat proses *smelting*, sehingga dapat mengontrol temperatur. Berikut gambar thermometer *infrared* yang terdapat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3. 10** Termometer *Infrared* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.3.4 Oven

Oven yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menghilangkan *moisture content* dan mengeringkan pasir monasit setelah proses pencucian. Berikut gambar oven yang terdapat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Oven (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.3.5 Alat Tumbuk

Alat ini berfungsi untuk menghancurkan bahan baku untuk mendapatkan ukuran yang homogen yaitu 50 *mesh*. Berikut gambar alat tumbuk yang terdapat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Alat tumbuk (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.3.6 Power Supply

*Power supply* dalam penelitian ini berfungsi sebagai penyuplai energi listrik sebagai sumber energi utama untuk pada *electric arc furnace*. Berikut gambar *power supply* yang terdapat pada Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 *Power supply* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.3.7 Crucible

*Crucible* digunakan berbahan dasar SiC yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya proses *smelting* pasir monasit dengan *electric arc furnace*. Berikut gambar *crucible* yang terdapat pada Gambar 3.14. dan dimensi dari *crucible* ada pada Gambar 3.15.



### 3.4 Metode Penelitian

Berikut merupakan langkah percobaan yang perlu dilakukan dalam penelitian ini.

#### 3.4.1 Persiapan Material

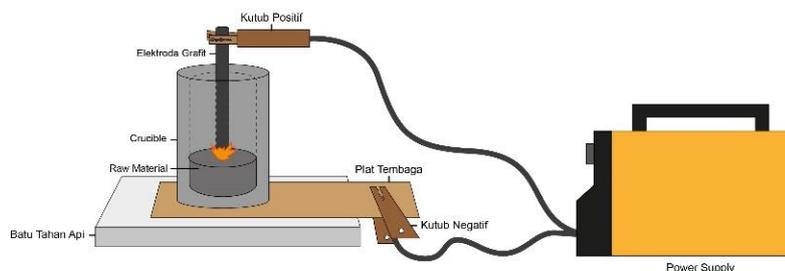
Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan preparasi material sebelum dilanjutkan ke proses *smelting*.

1. Dilakukan proses penghancuran (*grinding*) pasir monasit untuk mendapatkan ukuran yang homogen.
2. Pasir hasil *grinding* dilakukan *screening* melalui proses pengayakan hingga didapatkan ukuran yang homogen yaitu 50 *mesh*.
3. Dilakukan proses pencucian (*washing*) pasir monasit menggunakan media air hingga bersih.
4. Pasir monasit dipisahkan menggunakan metode *magnetic separation* untuk memisahkan kandungan magnetik dan non-magnetik.
5. Dilakukan kembali proses pencucian (*washing*) menggunakan media air hingga bersih.
6. Dilanjutkan dengan proses pengeringan spesimen pasir monasit di dalam oven pada temperatur 120° C selama 1 jam.
7. Sampel yang telah dikeringkan kemudian diuji karakterisasi menggunakan alat XRD dan XRF.
8. Dilakukan proses penimbangan massa pasir monasit, serbuk karbon, CaCO<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub> sesuai perhitungan neraca massa sebelum dilanjutkan ke proses *smelting* menggunakan EAF.

#### 3.4.2 Proses *Smelting* menggunakan *Electric Arc Furnace*

Adapun langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam melakukan proses *smelting* menggunakan EAF yaitu sebagai berikut.

1. Sampel yang telah dipreparasi sebelumnya dilakukan pencampuran antara pasir monasit, serbuk karbon, CaCO<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub> sesuai dengan variasi yang digunakan.
2. Campuran sampel dimasukkan ke dalam *crucible* dan diposisikan merata pada seluruh bagian dasar.
3. Elektroda grafit kemudian dihubungkan dengan *power supply*.
4. *Power supply* dihubungkan ke sumber listrik dan diatur parameter arus menjadi 70 *ampere* dan tegangan pada 40 *volt*. Skema proses *smelting* terdapat pada Gambar 3.17.
5. Proses *smelting* dilakukan dengan variasi waktu selama 287 detik hingga setidaknya mencapai temperatur 1850°C dengan menghubungkan elektroda positif pada material dan elektroda negatif pada palat yang terhubung/di atasnya terdapat *crucible* seperti pada Gambar 3.17.
6. Ulangi Langkah 5 dengan variasi waktu liana yaitu 210, 240, 300, dan 360 detik.



Gambar 3. 17 Skema proses *smelting*

### 3.5 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

#### 3.5.1 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD diperlukan untuk mengetahui senyawa secara kualitatif dan struktur kristalnya pada spesimen uji. Sampel spesimen uji dipreparasi terlebih dahulu dengan cara dihancurkan sebelum dilakukan uji XRD. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi yang tinggi. Interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom dan menghasilkan radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut merupakan sinar X dengan energi yang tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-3}$  - 10 nm, berfrekuensi 1017 - 1020 Hz dan memiliki energi 103 - 106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal suatu senyawa atau unsur.

Dalam pengujian ini digunakan alat XRD yang digunakan adalah XRD PAN Analytical yang ada di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Hasil dari pengujian XRD akan didapatkan sebuah spektrum yang kemudian dianalisis menggunakan bantuan *software HighScore Plus* dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan *software Origin Pro*. Selama proses Analisa berlangsung, data yang diperoleh disesuaikan dengan ICDD-JCPDS *Card* yang diperoleh melalui *database* PDF-Number. Berikut gambar perangkat alat XRD PAN Analytical yang terdapat pada Gambar 3.18.



**Gambar 3. 18** Perangkat alat XRD PAN Analytical (Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 3.5.2 Pengujian *X-ray Fluorescence* (XRF)

Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur dan senyawa oksida pada material hasil penelitian. Prinsip kerja XRF hampir sama dengan XRD akan tetapi perbedaannya adalah fluoresensi yang digunakan untuk analisis. Material yang diuji dihancurkan terlebih dahulu menjadi serbuk, kemudian dimasukkan ke dalam alat pengujian.

Hasil pengujian XRF lebih akurat dibandingkan XRD secara kuantitatif. XRF mampu memberikan data baik dalam bentuk unsur maupun oksida. Analisisnya relatif cepat karena simultan (beberapa elemen atau oksida bisa dianalisis sekaligus dalam sekali running). Hasil analisis XRF memiliki keakuratan yang baik serta membutuhkan sedikit sampel pada tahap preparasinya.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian XRF di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS. Hasil pengujian XRF akan didapatkan berupa daftar senyawa dan unsur yang

terkandung pada material beserta komposisinya, yang kemudian data tersebut dianalisis dengan melakukan pengolahan data terlebih dahulu dengan bantuan *software HighScore Plus* untuk mendapatkan penyajian data yang baik. Berikut gambar alat XRF yang terdapat pada Gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Perangkat alat XRF (Dokumentasi Pribadi, 2022)

### 3.6 Perhitungan

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut.

#### 3.6.1 Perhitungan Neraca Massa dan Energi

Perhitungan neraca massa dan energi merupakan hal paling penting yang menentukan keberhasilan dari *smelting* pasir monasit. Perhitungan dilakukan dengan menghitung massa dari setiap komponen untuk mendapatkan neraca massa berdasarkan perbandingan mol dari reaksi-reaksi yang terjadi. Temperatur *smelting* 1850°C akan didapatkan pada parameter-parameter *power supply* melalui perhitungan neraca energi yang kemudian dijadikan sebagai dasar perkiraan reaksi dan perilaku termal untuk menghitung massa dari semua bahan mulai dari pasir monasit, serbuk karbon,  $\text{CaCO}_3$ , dan  $\text{SiO}_2$ .

Dengan menggunakan reaksi Boudouard sebagai acuan, massa serbuk karbon yang dibutuhkan dapat diperoleh melalui perhitungan kebutuhan gas karbon monoksida (CO) sebagai reduktor untuk proses reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi logam Fe. Energi untuk dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  juga diperhitungkan melalui parameter termodinamika dalam neraca energi. Perbandingan komposisi massa tiap bahan disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perbandingan komposisi massa *smelting* pasir monasit

| $\text{SiO}_2$<br>(gram) | Pasir<br>Monasit<br>(gram) | Serbuk<br>Karbon<br>(gram) | $\text{CaCO}_3$<br>(gram) | Massa<br>Total<br>(gram) |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0,99                     | 10                         | 0,47                       | 0,85                      | 12,31                    |

Adapun parameter proses *smelting* berdasarkan perhitungan neraca energi disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Parameter *power supply* dalam proses *smelting*

| Entalpi<br>Reaksi<br>Total | Efisiensi<br>Power<br>Supply | Energi<br>Input | Arus<br>Output | Tegangan<br>Output | Waktu |
|----------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------|-------|
| 801566,<br>04 J            | 90%                          | 504000 J        |                |                    | 180 s |
|                            |                              | 672000 J        |                |                    | 240 s |
|                            |                              | 803600 J        | 70 A           | 40 V               | 287 s |
|                            |                              | 840000 J        |                |                    | 300 s |
|                            |                              | 1008000 J       |                |                    | 360 s |

### 3.6.2 Perhitungan *Recovery* dan *Separation Efficiency*

*Recovery* merupakan persentase dari total logam atau mineral terkandung dalam bijih yang berhasil diubah ke dalam konsentrat. Perhitungan *recovery* didasarkan pada Persamaan 3.1(Sungging Pintowantoro & Abdul, 2020).

$$Recovery (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan  $W_p$  sebagai massa dari produk,  $W_f$  sebagai massa dari *feed*/umpan,  $c$  sebagai kadar mineral di dalam produk, dan  $f$  sebagai kadar dari mineral di dalam *feed*/umpan(Sungging Pintowantoro & Abdul, 2020).

Untuk membandingkan kualitas produk dengan *grade* dan *recovery* dapat dilakukan melalui perhitungan *separation efficiency* (S.E.) sesuai Persamaan 3.2(Wills & Finch, 2015).

$$S.E. = \frac{100 \cdot c \cdot m \cdot (c-f)}{(m-f) \cdot f} \quad (3.2)$$

dengan  $m$  sebagai persentase logam berharga dalam mineral berharga dan  $C$  sebagai rasio antara massa produk dan massa umpan ( $W_p/W_f$ )(Sungging Pintowantoro & Abdul, 2020).

### 3.6.3 Perhitungan Basisitas

Basisitas merupakan rasio senyawa yang bersifat basa terhadap senyawa yang bersifat asam yang ada pada *slag* atau produk hasil pemurnian yang menentukan banyak karakteristik *slag*, seperti temperatur likuidus *slag*, viskositas *slag*, karakteristik termodinamika *slag*, dan lain sebagainya. Terdapat tiga definisi basisitas *slag*, yaitu  $B_1$ ,  $B_2$ , dan  $B_3$  sesuai dengan senyawa oksida yang cenderung terbentuk pada *slag* atau produk. Perhitungan basisitas dilakukan sesuai Persamaan 3.3, Persamaan 3.4, dan Persamaan 3.5(Sungging Pintowantoro & Abdul, 2020).

$$B_1 = \frac{CaO}{SiO_2} \quad (3.3)$$

$$B_2 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2} \quad (3.4)$$

$$B_3 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (3.5)$$

### 3.7 Rancangan Penelitian

Berikut merupakan rancangan penelitian yang dilakukan dalam proses *smelting* pasir monasit dengan variasi waktu *smelting* yang dimuat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3. 3** Rancangan penelitian *smelting* pasir monasit dengan variasi waktu *smelting*

| Variasi waktu<br><i>smelting</i> | Pengujian |     |
|----------------------------------|-----------|-----|
|                                  | XRD       | XRF |
| 180 detik                        | v         | v   |
| 240 detik                        | v         | v   |
| 287 detik                        | v         | v   |
| 300 detik                        | v         | v   |
| 360 detik                        | v         | v   |

### 3.8 Jadwal Penelitian

Berikut merupakan rencana *timeline* yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini yang dimuat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Jadwal penelitian *smelting* pasir monasit menggunakan EAF dengan variasi waktu *smelting*

| No | Kegiatan                  | Bulan    |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
|----|---------------------------|----------|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|------|---|--|
|    |                           | Februari |   | Maret |   |   |   | April |   |   |   | Mei |   |   |   | Juni |   |   |   | Juli |   |  |
|    |                           | 3        | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 |  |
| 1  | Studi Literatur           |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
| 2  | Bimbingan                 |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
| 3  | Preparasi Alat dan Bahan  |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
| 4  | Pengujian Komposisi Awal  |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
| 5  | Proses <i>Smelting</i>    |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
| 6  | Pengujian Komposisi Akhir |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |
| 7  | Penyusunan Laporan Akhir  |          |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |      |   |  |

**BAB IV**  
**ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Karakterisasi Pasir Monasit**

Bahan yang dipakai pada percobaan kali ini yakni pasir monasit dikarakterisasi terlebih dahulu agar diketahui karakteristik dan komposisinya sebelum dilakukan proses *smelting*.

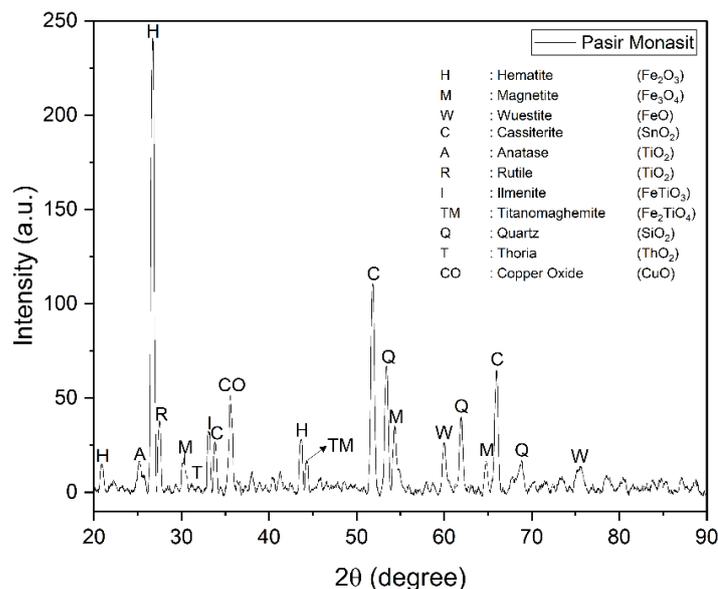
Pertama dilakukan pengujian dengan *X-ray Fluorescent (XRF)* untuk mengetahui komposisi oksida dan unsur yang terkandung di dalam pasir monasit.

**Tabel 4. 1** Komposisi senyawa oksida pasir monasit Bangka dalam persentase

|                                    |                                    |                                    |                        |                                    |                                   |                        |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | <b>SO<sub>3</sub></b>              | <b>CaO</b>             | <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> | <b>MnO</b>             |
| 4,6                                | 1                                  | 8,9                                | 0,2                    | 40,8                               | 0,42                              | 0,828                  |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>  | <b>ZrO<sub>2</sub></b> | <b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> | <b>SnO<sub>2</sub></b>            | <b>HfO<sub>2</sub></b> |
| 13,8                               | 0,02                               | 0,92                               | 14,7                   | 0,42                               | 12,1                              | 0,66                   |
| <b>WO<sub>3</sub></b>              | <b>PbO</b>                         | <b>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>ThO<sub>2</sub></b> | <b>U<sub>3</sub>O<sub>8</sub></b>  |                                   |                        |
| 0,16                               | 0,086                              | 0,04                               | 0,25                   | 0,08                               |                                   |                        |

Tabel 4.1 memuat informasi persentase oksida yang terkandung dalam pasir monasit yang didominasi oleh TiO<sub>2</sub> dengan kadar 40,8%. Disamping itu ZrO<sub>2</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan oksida yang mendominasi juga dengan kadar masing-masing 14,7% dan 13,8%. Data-data tersebut digunakan sebagai acuan perhitungan neraca massa dan kebutuhan bahan dalam proses *smelting*. Diketahui pula kadar ThO<sub>2</sub> sebesar 0,25%. Diharapkan pada percobaan kali ini *grade* ThO<sub>2</sub> meningkat sampai kadar tertentu serta *recoverynya* tinggi.

Selanjutnya dilakukan pengujian XRD dengan mesin XRD PAN Analytical untuk mengetahui senyawa, fasa, dan struktur kristal yang ada pada pasir monasit. Dimana setelah dianalisa dengan *software HighScore*, didapat fasa-fasa yang ada di dalam pasir monasit. Hasil pengujian XRD tersebut dapat diamati melalui Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Hasil pengujian XRD pasir monasit

Berdasarkan *peak* yang diperoleh dari uji XRD, dapat diketahui fasa-fasa apa saja yang terdapat pada pasir monasit. Dengan *peak* tertinggi, diketahui fasa dominan dari pasir monasit adalah oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan struktur rombohedral. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2** Fasa dominan pada pasir monasit

| No | NamaFasa               | Rumus Kimia               | Struktur Kristal    | Reference Code |
|----|------------------------|---------------------------|---------------------|----------------|
| 1  | <i>Hematite</i>        | $\text{Fe}_2\text{O}_3$   | <i>Rhombohedral</i> | 01-073-0603    |
| 2  | <i>Magnetite</i>       | $\text{Fe}_3\text{O}_4$   | <i>Cubic</i>        | 96-900-5842    |
| 3  | <i>Wuestite</i>        | $\text{FeO}$              | <i>Cubic</i>        | 01-079-1969    |
| 4  | <i>Cassiterite</i>     | $\text{SnO}_2$            | <i>Tetragonal</i>   | 01-077-0448    |
| 5  | <i>Anatase</i>         | $\text{TiO}_2$            | <i>Tetragonal</i>   | 96-900-8217    |
| 6  | <i>Rutile</i>          | $\text{TiO}_2$            | <i>Tetragonal</i>   | 00-034-0180    |
| 7  | <i>Ilmenite</i>        | $\text{FeTiO}_3$          | <i>Tetragonal</i>   | 96-901-0916    |
| 8  | <i>Titanomaghemite</i> | $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ | <i>Cubic</i>        | 01-084-1595    |
| 9  | <i>Thoria</i>          | $\text{ThO}_2$            | <i>Cubic</i>        | 00-004-0556    |
| 10 | <i>Copper Oxide</i>    | $\text{CuO}$              | <i>Monoclinic</i>   | 00-001-1117    |

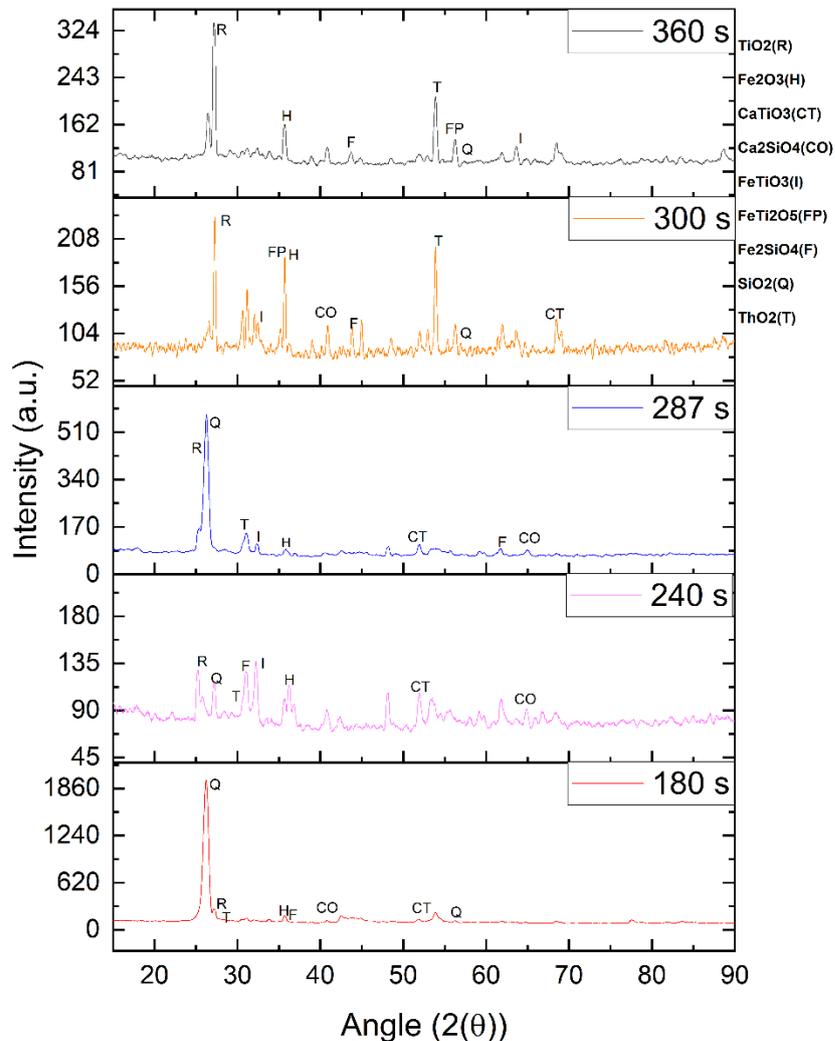
#### 4.2 Pengaruh Variasi Waktu *Smelting* Terhadap Senyawa yang Terbentuk Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Produk hasil *smelting* menggunakan *electric arc furnace* dengan variasi waktu *smelting* selama 180, 240, 287, 300, dan 360 detik dilakukan *magnetic separation* setelah proses *smelting* menjadi dua konten yaitu *magnetic portion* dan *non-magnetic portion*. Gambar pasir monasit hasil *smelting* bisa dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Pasir monasit hasil *smelting* (a) *non-magnetic portion* (b) *magnetic portion*

Identifikasi fasa pada senyawa pasir monasit hasil *smelting non-magnetic portion* dilakukan dengan mesin XRD analytical X'Pert Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Hasil pengujian XRD selanjutnya dianalisa menggunakan bantuan *software HighScore* lalu data yang diperoleh diolah dengan menggunakan *software origin*. Selama proses analisa berlangsung, data yang diperoleh disesuaikan dengan ICDD-JCPDS *Card* yang diperoleh melalui database Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Gambar 4.3 di bawah ini merupakan hasil *plot* senyawa yang terdapat pada hasil XRD.



**Gambar 4.3** Hasil XRD pasir monasit hasil *smelting*

Berdasarkan Gambar 4.3, terdapat beberapa senyawa yang terbentuk setelah proses *smelting* dilakukan yaitu perovskite ( $\text{CaTiO}_3$ ), calcium-orthosilicate ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ), ferrous-pseudobrookite ( $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ ), dan fayalite ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ). *Thorianite* ( $\text{ThO}_2$ ) pada masing-masing variasi waktu juga terlihat walaupun di beberapa variasi tidak memiliki *peak* yang dominan. Senyawa yang terbentuk pada setiap variasi waktu dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

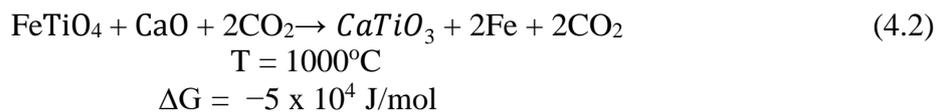
Tabel 4. 3 Senyawa yang terbentuk pada pasir monasit hasil *smelting*

| No | Senyawa yang terbentuk           | Variasi Waktu |       |       |       |       |
|----|----------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|    |                                  | 180 s         | 240 s | 287 s | 300 s | 360 s |
| 1  | CaTiO <sub>3</sub>               | v             | v     | v     | v     | -     |
| 2  | Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> | v             | v     | v     | v     | -     |
| 3  | FeTiO <sub>3</sub>               | -             | v     | v     | v     | v     |
| 4  | FeTi <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -             | -     | -     | v     | v     |
| 5  | Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> | v             | v     | v     | v     | v     |
| 6. | ThO <sub>2</sub>                 | v             | v     | v     | v     | v     |

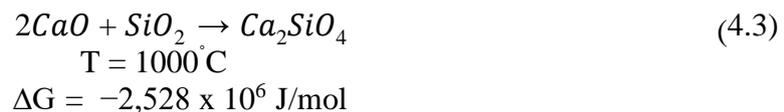
Alasan terbentuknya senyawa *perovskite* (CaTiO<sub>3</sub>) dan *calcium-orthosilicate* (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) akibat adanya senyawa CaO yang terdapat dalam pasir monasit serta penambahan CaCO<sub>3</sub> yang kemudian terdekomposisi pada temperatur antara 600-750°C sesuai dengan reaksi pada Persamaan 4.1(Zhao et al., 2019).



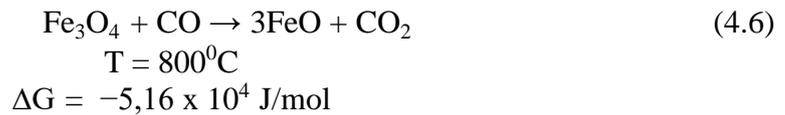
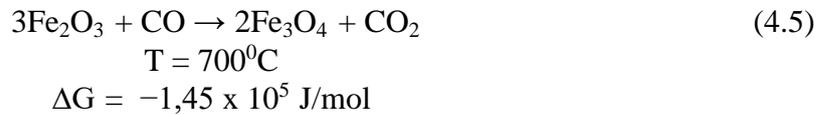
CaO dari hasil dekomposisi CaCO<sub>3</sub> tersebut akan bereaksi dengan senyawa FeTiO<sub>4</sub> yang terdapat pada pasir monasit membentuk CaTiO<sub>3</sub> sesuai dengan reaksi 4.2(Zhao et al., 2019).



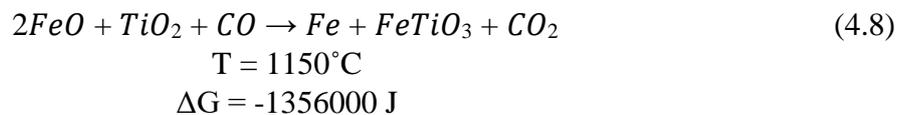
Keberadaan senyawa CaO juga dapat berikatan dengan SiO<sub>2</sub> yang digunakan sebagai *flux* pada percobaan kali ini dengan membentuk *calcium-orthosilicate* (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) karena pada proses *smelting flux* SiO<sub>2</sub> akan berikatan dengan senyawa yang berifat basa seperti CaO(S. Pintowantoro & Abdul, 2020). Reaksi CaO dan SiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada reaksi pada Persamaan 4.3 pada temperatur 1000°C(Sari & Asmi, 2013).



Pada produk hasil *smelting* juga ditemukan senyawa paduan Besi-Titanium dalam bentuk *ilmenite* (FeTiO<sub>3</sub>) dan *ferrous-pseudobrookite* (FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Pembentukan fasa tersebut terjadi dengan beberapa mekanisme reaksi diawali dengan proses reduksi hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sampai menjadi besi murni (Fe) oleh gas CO yang ditulis pada Persamaan 4.5, Persamaan 4.6, dan Persamaan 4.7.(Ekaputra, 2017).

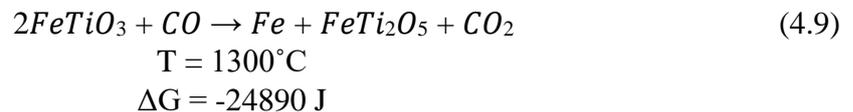


Hasil reduksi hematit pada temperatur tertentu akan berikatan dengan  $TiO_2$  dan mengalami beberapa tahapan transformasi fasa sehingga membentuk senyawa paduan seperti  $FeTiO_3$  dan  $FeTi_2O_5$ . Pembentukan senyawa paduan tersebut terjadi karena laju reduksi oksida besi dari senyawa oksida Fe-Ti sedikit lebih rendah dibandingkan dengan oksida besi alami. Pembentukan senyawa *ilmenite* ( $FeTiO_3$ ) ditunjukkan pada Persamaan 4.8 yang terjadi sekitar temperatur  $1150^{\circ}C$  (Zhao et al., 2019).



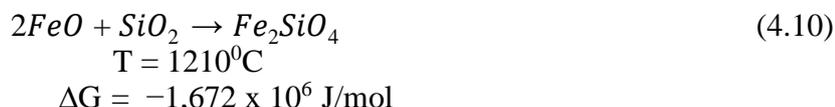
Senyawa *Ilmenite* terdapat pada variasi waktu 240 s, 287 s, dan 300 s, dan 360 s. Hal ini cukup masuk akal dimana semakin tinggi temperatur maka waktu *smelting* yang dibutuhkan harus semakin lama dan  $FeTiO_3$  terbentuk pada variasi yang telah dibutuhkan dikarenakan telah mencapai temperatur yang diperlukan untuk membentuk *ilmenite*.

*Ilmenite* dapat membentuk senyawa  $FeTi_2O_5$  pada temperatur yang lebih tinggi serta jumlah  $TiO_2$  yang lebih banyak dengan bantuan gas CO. Reaksi ini terjadi pada temperatur di atas  $1300^{\circ}C$  (Zhao et al., 2019). Hal ini terlihat pada hasil XRD pasir monasit hasil *smelting* dimana  $FeTi_2O_5$  terbentuk pada variasi waktu yang lebih lama yaitu 300 s dan 360 s. Reaksi terbentuknya  $FeTi_2O_5$  dapat dilihat pada Persamaan 4.9.



Keberadaan *fayalite* ( $Fe_2SiO_4$ ) pada pasir monasit hasil *smelting* dengan variasi waktu *smelting* juga terjadi akibat adanya reduksi hematit yang bereaksi dengan CO. terbentuk akibat reduksi dari hematit yang terkandung dalam pasir monasit mengalami reduksi dengan cara bereaksi dengan karbon monoksida (CO) yang dihasilkan oleh reaksi boudouard menghasilkan magnetit ( $Fe_3O_4$ ), wustit (FeO) dan tereduksi menjadi logam Fe (S. Pintowantoro & Abdul, 2020) (Muzakkii et al., 2021). Reaksi reduksi dari  $Fe_2O_3$  sampai Fe yang terdapat Persamaan 4.4, Persamaan 4.5, Persamaan 4.6, dan Persamaan 4.7.

Wustit (FeO) akan bereaksi dengan SiO<sub>2</sub> dan membentuk Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> sesuai dengan Persamaan 4.10. Hal ini diakibatkan karena nilai basisitas yang rendah akibat penggunaan *flux* SiO<sub>2</sub> yang menyebabkan konsentrat bersifat asam sehingga terbentuk fasa *fayalite* (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) pada temperatur 1210°C (S. Pintowantoro & Abdul, 2020).



Hasil XRD juga menunjukkan terdapat senyawa ThO<sub>2</sub> yang merupakan senyawa berharga dalam proses *smelting* pasir monasit menggunakan metode *electric arc furnace* dengan variasi waktu *smelting* ini yang menunjukkan proses *smelting* ini dapat dikatakan berhasil karena tidak menghilangkan senyawa tersebut.

### 4.3 Pengaruh Variasi Waktu *Smelting* Terhadap Komposisi Senyawa Pasir Monasit Hasil *Smelting*

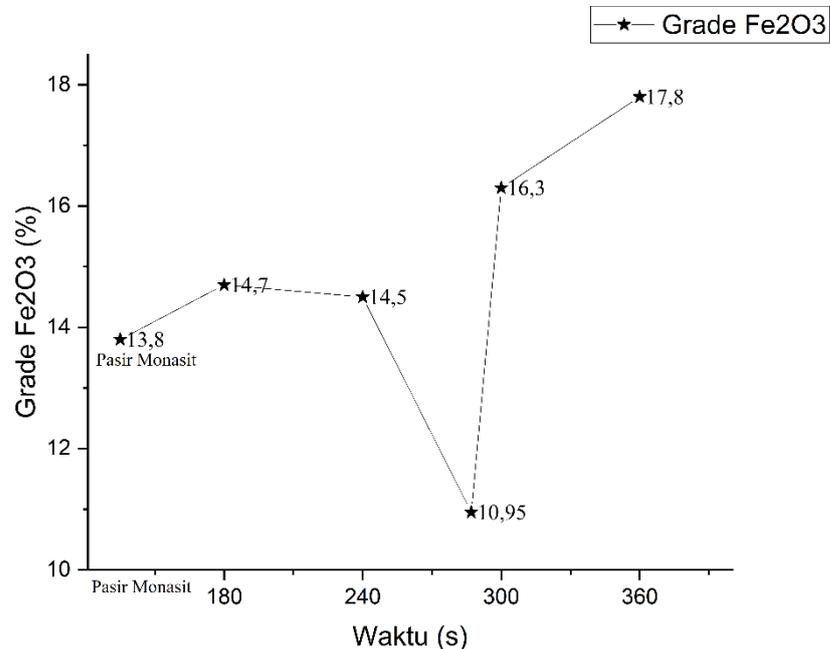
Dalam menentukan jumlah komposisi senyawa yang terdapat dalam pasir monasit hasil *smelting* menggunakan *electric arc furnace* dengan variasi waktu *smelting* selama 180 s, 240 s, 287 s, 300 s, dan 360 s, pasir monasit dilakukan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) di Laboratorium Energi dan Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Produk yang dilakukan pengujian merupakan *non-magnetic portion* dari produk hasil *smelting*. Tabel 4.4 memuat komposisi senyawa penyusun dari pasir monasit beserta dengan produk hasil *smelting* variasi waktu *smelting*. Terlihat terjadi perubahan komposisi senyawa sebelum dan sesudah proses *smelting* dilakukan.

**Tabel 4. 4** Hasil XRF Pasir Monasit Hasil *Smelting*

| No | Variasi       | Kadar (%)        |                                |                  |      |                  |         |
|----|---------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|------------------|---------|
|    |               | ThO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | SiO <sub>2</sub> | Lainnya |
| 1  | Pasir Monasit | 0,25             | 13,8                           | 40,8             | 0,20 | 4,60             | 40,35   |
| 2  | 180 s         | 0,44             | 14,7                           | 38,3             | 6,20 | 8,00             | 32,36   |
| 3  | 240 s         | 0,43             | 14,5                           | 44,25            | 7,92 | 8,75             | 24,15   |
| 4  | 287 s         | 0,44             | 10,95                          | 43,95            | 6,89 | 8,80             | 28,97   |
| 5  | 300 s         | 0,34             | 16,3                           | 34,3             | 6,09 | 11,5             | 31,47   |
| 6  | 360 s         | 0,38             | 17,8                           | 37,6             | 6,22 | 8,45             | 29,55   |

Berdasarkan Tabel 4.4, *smelting* menggunakan metode *electric arc furnace* dengan variasi waktu *smelting* dapat memengaruhi komposisi senyawa pada pasir monasit. Pembahasan kali ini berfokus pada perubahan senyawa utama yang terkandung dalam pasir monasit yaitu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> serta senyawa berharganya yaitu ThO<sub>2</sub>.

Gambar 4.4 menunjukkan perubahan komposisi dari senyawa  $Fe_2O_3$  yang terkandung dalam pasir monasit dengan variasi waktu *smelting* sebelum dan setelah *smelting* dengan variasi waktu 180 s, 240 s, 287 s, 300 s, dan 360 s.



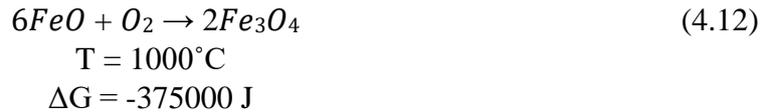
**Gambar 4. 4** Grade  $Fe_2O_3$  pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Hasilnya menunjukkan pola tak tentu pada *grade* nya dimana pada variasi waktu 180 s dan 240 s mengalami sedikit kenaikan dari *grade* pasir monasit semula.  $Fe_2O_3$  yang memiliki sifat magnetik yang lemah dimana setelah dilakukan proses *smelting* akan terjadi proses reduksi menjadi Fe yang bersifat magnetik. Dalam rangkaian penelitian ini dilakukan proses pemisahan material berdasarkan sifat kemagnetannya menggunakan magnet neodimium, sehingga zat yang bersifat magnetik akan terpisah. Hal ini terlihat pada variasi waktu 287 s yang merupakan perhitungan dari neraca energi dimana kadar  $Fe_2O_3$  turun menjadi 10,95 % dimana yang semulanya sebanyak 13,8 %. Proses reduksinya seperti yang sudah tertera pada Persamaan 4.10, Persamaan 4.11, dan Persamaan 4.12.

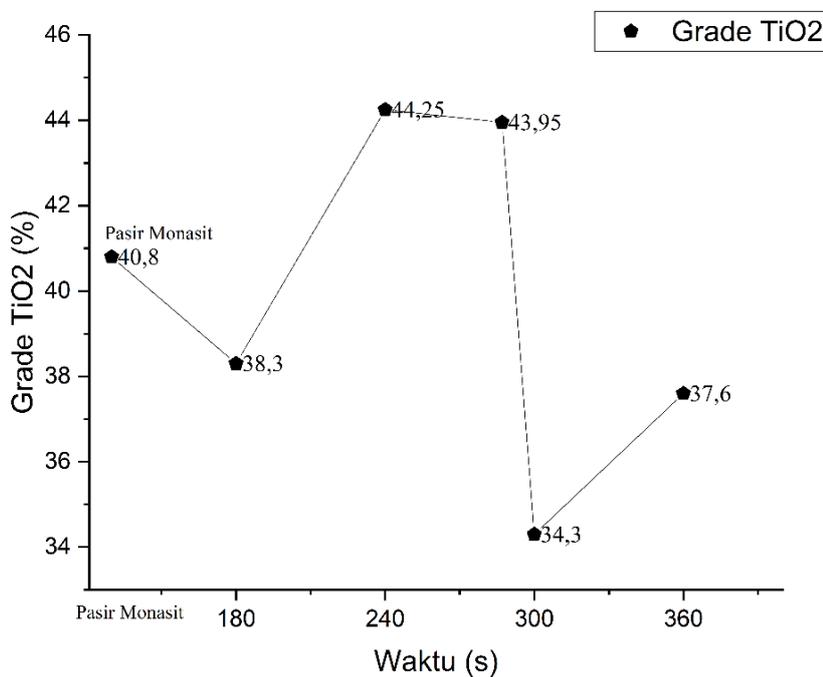
Pada variasi 180 s dan 240 s, *grade*  $Fe_2O_3$  meningkat sedikit masing-masing sebesar 14,7 % dan 14,5 %. Pada Gambar 4.4 terjadi sedikit kenaikan pada *grade*  $Fe_2O_3$  (Henpristian et al., 2014). Hal ini dikarenakan salah satunya ada *grade*  $SnO_2$  dimana pada proses *smelting* terjadi penurunan yang menyebabkan senyawa lain meningkat dimana dalam hal ini  $Fe_2O_3$ .

$Fe_2O_3$  pada variasi 300 s dan 360 s mengalami kenaikan *grade* menjadi 16,3 % dan 17,8 %. Waktu yang semakin lama membuat oksigen ( $O_2$ ) yang dapat menyebabkan besi oksida yang telah tereduksi menjadi logam Fe kembali teroksidasi oleh  $O_2$  sehingga logam Fe menjadi FeO atau  $Fe_3O_4$  dan  $Fe_2O_3$  lagi seperti ditunjukkan pada Persamaan 4.14, Persamaan 4.15, dan Persamaan 4.16 (Henpristian et al., 2014).





TiO<sub>2</sub> menjadi senyawa dengan kadar tertinggi dalam sampel pasir monasit yaitu sebesar 40,8%. Gambar 4.5 menunjukkan kadar TiO<sub>2</sub> yang terdapat dalam pasir monasit dan hasil *smelting* dengan variasi waktu.

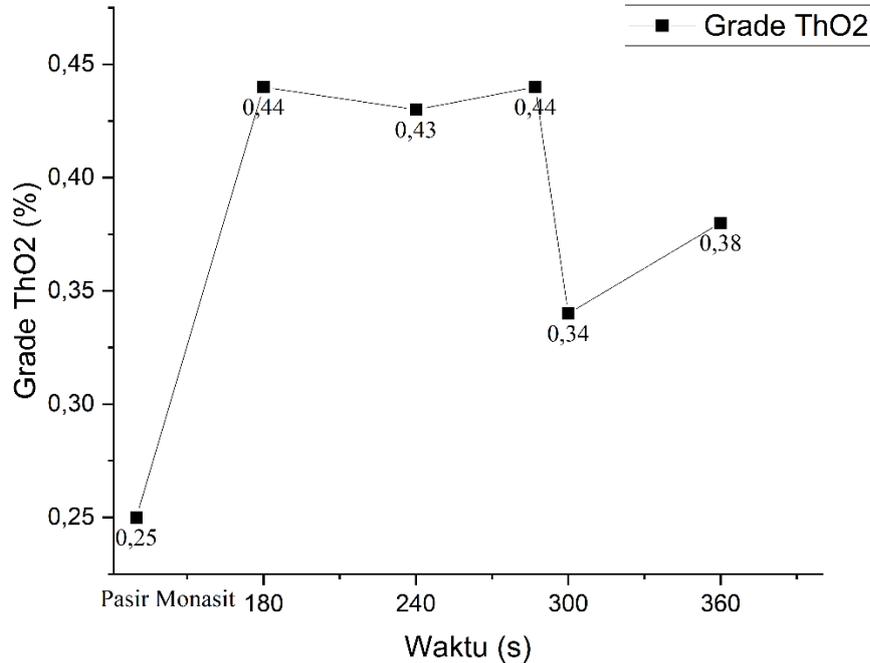


**Gambar 4. 5** Grade TiO<sub>2</sub> pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Kadar TiO<sub>2</sub> dari hasil *smelting* dalam pasir monasit menunjukkan pola turun naik tak tentu(fluktuatif). Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan senyawa berharga yaitu ThO<sub>2</sub> sehingga dilakukan proses pemisahan secara magnetik untuk memisahkan *magnetic portion* dan *non-magnetic portion* pasir monasit hasil *smelting* lalu diambil *non-magnetic portion* untuk diuji komposisinya karena ThO<sub>2</sub> bersifat *non-magnetic*. TiO<sub>2</sub> juga merupakan senyawa yang bersifat *non-magnetic* sehingga reduksi senyawa TiO<sub>2</sub> menjadi logam titanium kurang efektif jika menggunakan metode *smelting* dan pada umumnya menggunakan metode hidrometalurgi(Subagja, 2016). Terlihat pada variasi 180 s, 240s, dan 287 s TiO<sub>2</sub> kadarnya tidak terlalu berubah bahkan meningkat karena merupakan oksida yang susah tereduksi. Namun pada variasi 300 s dan 360 s kadar TiO<sub>2</sub> mengalami penurunan menjadi 34,3% dan 37,6 %. Hal ini disebabkan karena kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meningkat akibat oksidasi sehingga kadar lain yang terkandung di dalam pasir monasit meningkat termasuk TiO<sub>2</sub>.

Pada proses *smelting* pasir monasit, variasi waktu juga memengaruhi *grade* logam berharga yaitu ThO<sub>2</sub> pada pasir monasit hasil *smelting*. Untuk lebih jelasnya *grade* ThO<sub>2</sub> pasir

monasit dan pasir monasit hasil *smelting* dengan variasi waktu *smelting* dapat dilihat pada grafik yang ada pada Gambar 4.6.



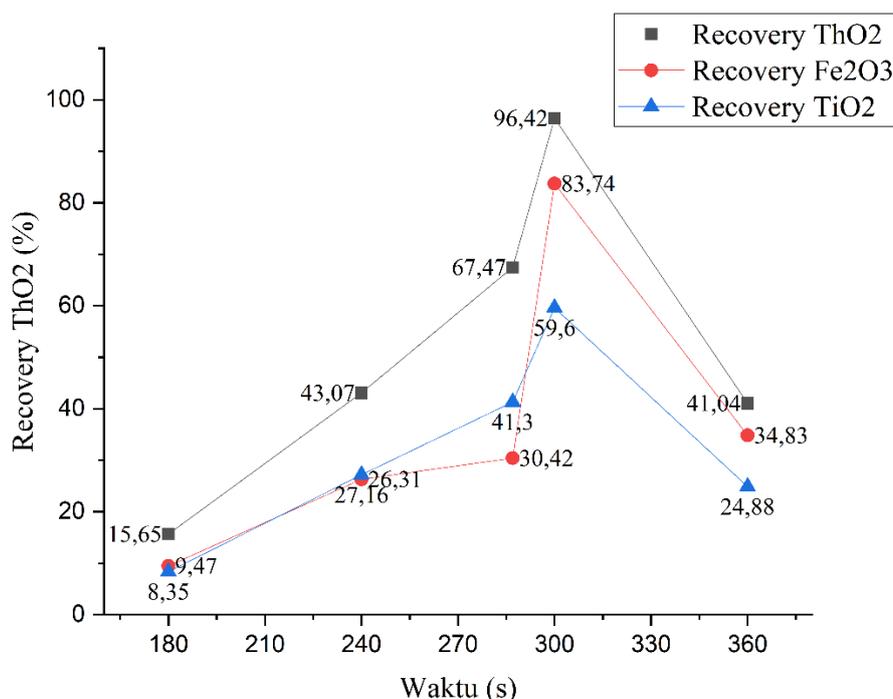
**Gambar 4. 6** *Grade ThO<sub>2</sub> pada Pasir Monasit Hasil Smelting*

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa proses *smelting* dapat meningkatkan *grade* dari ThO<sub>2</sub> dari pasir monasit yang awalnya 0,25% karena *grade* ThO<sub>2</sub> pada setiap variasi meningkat. Pasir monasit hasil *smelting* pada variasi waktu 287 s yang mana merupakan hasil dari perhitungan neraca energi memiliki *grade* paling tinggi yaitu 0,44 % bersa dengan variasi 180 s. Proses *smelting* menunjukkan peningkatan kandungan ThO<sub>2</sub> dalam pasir monasit dikarenakan salah satu senyawa utama yang ada dalam pasir monasit yaitu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan tereduksi menghasilkan logam Fe, dimana logam Fe ini bersifat magnetik. Reaksi dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO sesuai dengan reaksi pada Persamaan 4.5, Persamaan 4.6, dan Persamaan 4.7.(Muzakkii et al., 2021). Logam Fe kemudian dipisahkan menggunakan metode *magnetic separation* sehingga didapatkan pasir monasit hasil *smelting* yang *non-magnetik* dimana Fe merupakan logam magnetik sehingga akan terpisah dari *non-magnetik portion* yang di dalamnya terkandung senyawa ThO<sub>2</sub>.

#### **4.4 Pengaruh Variasi Waktu *Smelting* Terhadap *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting***

Proses *smelting* bertujuan untuk mereduksi senyawa yang terkandung dalam sebuah konsentrat agar mineral yang diinginkan dengan mineral yang tidak diinginkan dapat dipisahkan dengan kata lain untuk meningkatkan atau menurunkan konsentrasi senyawa tertentu yang terkandung dalam sebuah *ore*. Kualitas dari hasil proses reduksi dilakukan dengan cara menghitung nilai *recovery* dari senyawa tertentu setelah proses reduksi berlangsung. Semakin tinggi nilai *recovery*-nya semakin bagus kualitas produk yang dihasilkan oleh suatu proses reduksi(Napier-Munn & Wills, 2005).

Nilai *recovery* didapatkan dari perhitungan dengan membagi hasil perkalian massa dan kadar produk dengan sampel sesuai dengan Persamaan 2.11(L. A. V. Teixeira et al., 2019). Dalam penelitian ini produk yang dihitung nilai *recovery*-nya yaitu pasir monasit hasil *smelting* dengan variasi waktu *smelting* yang berupa *non-magnetic portion* dibandingkan dengan *raw material*-nya berupa pasir monasit. Gambar 4.7 menunjukkan grafik hasil perhitungan nilai *recovery* dari senyawa  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$ .

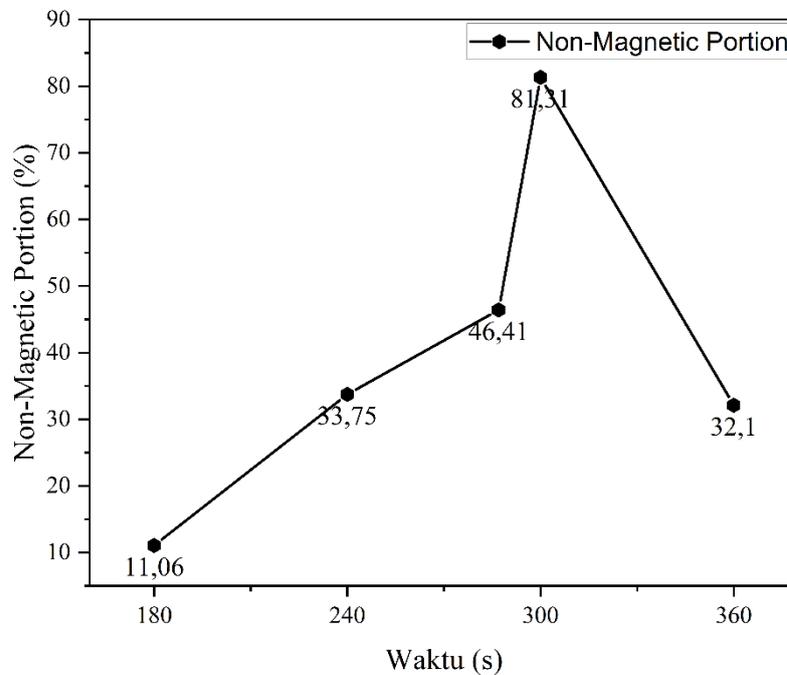


**Gambar 4. 7** *Recovery* Senyawa utama dan berharga Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Berdasarkan hasil perhitungan *recovery* dari masing-masing senyawa menunjukkan tren yang sama pada setiap senyawa. Pada variasi waktu 180 s sampai 300 s mengalami kenaikan *recovery* dimana senyawa berharga dalam pasir monasit yaitu  $\text{ThO}_2$  pada variasi 180 s mempunyai *recovery* sebesar 15,65%. Lalu pada variasi 240 s, 287 s, dan 300 s mengalami kenaikan *recovery* masing-masing sebesar 43,07%, 67,47%, dan 96,42 %. Selanjutnya *recovery*  $\text{ThO}_2$  mengalami penurunan pada variasi 360 s menjadi 41,04 %. Pada penelitian ini  $\text{ThO}_2$  yang merupakan senyawa berharga ditingkatkan *gradenya* sehingga *recovery*-nya meningkat dengan cara mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang merupakan salah satu pengotor terbesar pasir monasit melalui proses *smelting*. Kenaikan lalu penurunan *recovery*  $\text{ThO}_2$  menunjukkan bahwa Fe teroksidasi kembali saat proses *smelting* pasir monasit dan bergabung dengan terak(Sihotang et al., 2018).

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang tereduksi seharusnya memiliki *recovery* yang lebih rendah. Namun *Recovery*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  malah terus meningkat begitupun dengan  $\text{TiO}_2$ . Hal ini disebabkan oleh senyawa baru yang terbentuk pada saat proses *smelting* pasir monasit.  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{FeTiO}_3$ , dan  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  terdeteksi sebagai senyawa  $\text{TiO}_2$  dimana  $\text{TiO}_2$  bereaksi dengan  $\text{CaO}$  hasil dekomposisi  $\text{CaTiO}_3$  dan  $\text{FeO}$  yang tidak tereduksi bereaksi dengan  $\text{TiO}_2$  menjadi  $\text{FeTiO}_3$  lalu menjadi  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ . Senyawa yang terdeteksi sebagai  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yaitu  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{FeTiO}_3$  dan  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ .  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  terbentuk akibat Fe yang bereaksi dengan *flux*  $\text{SiO}_2$  akibat dari basisitas yang rendah(S. Pintowantoro & Abdul, 2020).

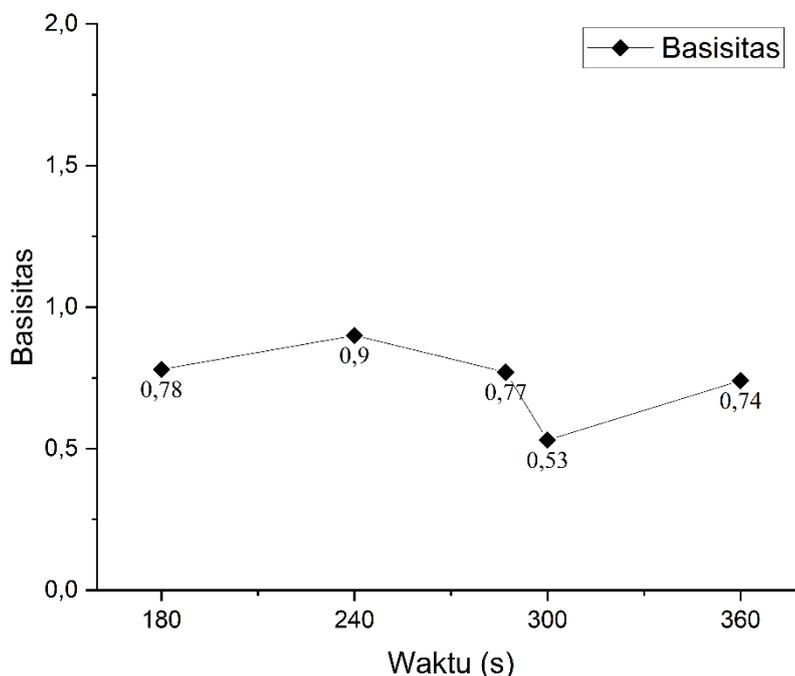
Massa dari pasir monasit hasil *smelting* juga memengaruhi *recovery* dari suatu senyawa. Pasir monasit setelah proses *smelting* memiliki massa yang baru akibat dari massa yang hilang ketika proses *smelting* dan juga pada pemisahan menggunakan magnet. Massa yang dimiliki setiap variasi waktu *smelting* dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.



**Gambar 4. 8** Persentase *non-magnetic portion* pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Terlihat pada Gambar 4.8 trennya sesuai dengan tren dari *recovery* dari ketiga senyawa yaitu  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{TiO}_2$ .

Hasil dari proses *smelting* juga dipengaruhi oleh basisitas. Basisitas merupakan rasio senyawa yang bersifat basa terhadap senyawa yang bersifat asam yang ada pada *slag* atau produk hasil ekstraksi. Pada pasir monasit hasil *smelting* senyawa yang bersifat basa berupa  $\text{CaO}$  dan yang bersifat asam adalah  $\text{SiO}_2$  (S. Pintowantoro & Abdul, 2020). Perbandingan nilai basisitas pada produk dengan variasi waktu *smelting* disajikan pada Gambar 4.9 di bawah ini.



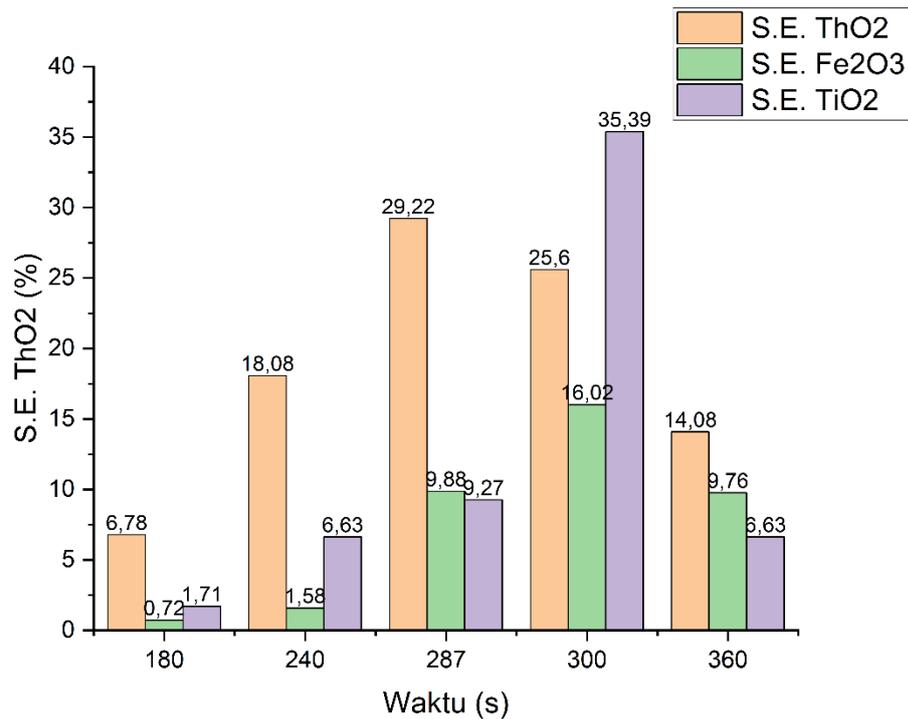
**Gambar 4. 9** Basisitas pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Berdasarkan Gambar 4.9, nilai basisitas pada pasir monasit hasil smelting tidak memiliki tertentu. Hal ini dikarenakan jumlah *flux*  $\text{SiO}_2$  yang dipakai pada setiap variasi sama sehingga tidak mengalami tren tidak teratur. Di sisi lain kadar  $\text{CaO}$  cenderung tetap dan membentuk *slag* dengan fasa likuid sehingga akan menghalangi wustit ( $\text{FeO}$ ) untuk berkontak langsung dengan gas  $\text{CO}$  untuk terjadi reaksi reduksi menjadi  $\text{Fe}$ .  $\text{FeO}$  yang tidak tereduksi akan cenderung bereaksi dengan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  membentuk  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  dan  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$

Nilai dari basisitas pada proses *smelting* pasir monasit kali ini dipengaruhi oleh dua senyawa oksida yaitu  $\text{CaO}$  dan  $\text{SiO}_2$ . Turunnya nilai perbandingan senyawa basa terhadap senyawa asam akan memengaruhi mineral yang akan terbentuk dan berpengaruh terhadap sifat mampu reduksinya. Semakin mendekati nol maka pasir monasit akan lebih susah untuk reduksi, sebaliknya semakin tinggi nilai dari basisitas akan meningkatkan sifat mampu reduksi dari senyawa berbasis besi (S. Pintowantoro & Abdul, 2020). Hal ini lah yang menyebabkan terbentuknya senyawa seperti  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  dan  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ .

#### 4.5 Pengaruh Variasi Waktu *Smelting* Terhadap Nilai *Separation Efficiency* (S.E.) Senyawa Utama dan Berharga Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Untuk membandingkan kualitas antara produk dengan *grade* dan *recovery* dapat dilakukan melalui perhitungan *separation efficiency* (S.E.) sesuai Persamaan 3.2 (Wills & Finch, 2015). Hal ini diperlukan untuk membandingkan variasi mana yang paling baik dalam proses *smelting* pasir monasit menggunakan metode *electric arc furnace*. Gambar 4.10 menunjukkan data dari *separation efficiency* dari senyawa  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  variasi waktu.



**Gambar 4. 10** *Separation Efficiency* pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat terlihat jelas bahwasanya nilai tertinggi dari senyawa ThO<sub>2</sub> didapatkan pada variasi 287 s sebesar 29.22, sedangkan *separation efficiency* senyawa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> tertinggi ada pada variasi yang sama yaitu pada variasi waktu 300 s.

Dalam proses *smelting* dengan variasi waktu berbeda memiliki nilai S.E. yang berbeda-beda, hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi waktu pasir monasit hasil *smelting* pada proses pemisahan senyawa dan hasil dari proses *smelting*. Dalam proses *smelting* pasir monasit ini, senyawa yang diinginkan adalah ThO<sub>2</sub> yang mana masih memiliki kadar yang sangat rendah dan senyawadominan yang terdapat dalam pasir monasit adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> yang mana waktu menentukan dari kualitas separasi. Waktu optimal umumnya tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat sesuai dengan energi yang dibutuhkan agar proses reduksi berjalan dengan semestinya dan tidak sampai mengalami oksidasi kembali(Sihotang et al., 2018)(Henpristian et al., 2014). fungsi dari penambahan SiO<sub>2</sub> dapat meningkatkankadar ThO<sub>2</sub> dan mengurangi kadar senyawa yang lain(Balbeid et al., 2014). Berdasarkan data *grade* yang diperoleh setelah hasil *smelting* dan perhitungan nilai *recovery* serta *separation efficiency*, variasi waktu 287 s yang merupakan waktu dari perhitungan neraca energi merupakan variasi yang paling efektif untuk mendapatkan senyawa ThO<sub>2</sub>, sedangkan variasi 300 s akan lebih efektif Ketika menginginkan TiO<sub>2</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta ThO<sub>2</sub> juga efisien karena selisih dengan variasi 287 s hanya sedikit.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Senyawa yang terbentuk setelah proses *smelting* dilakukan yaitu perovskite ( $\text{CaTiO}_3$ ), *calcium-orthosilicate* ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) pada variasi 180, 240, 287, dan 300 s, ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) pada variasi 240, 287, 300, dan 360 s, *ferrous-pseudobrookite* ( $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ ), pada variasi 300 dan 360 s, dan fayalite ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) pada semua variasi.
2. Pada variasi 180 s dan 240 s, *grade*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  meningkat sedikit masing-masing sebesar 14,7 % dan 14,5 %, pada variasi waktu 287 s yang merupakan perhitungan dari neraca energi kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  turun menjadi 10,95 %, dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada variasi 300 s dan 360 s mengalami kenaikan *grade* menjadi 16,3 % dan 17,8 %.
3. Pada variasi waktu 180 s, 240 s, 287 s, 300 s, dan 360 s, *grade*  $\text{ThO}_2$  meningkat masing-masing sebesar 0,44%, 0,43%, 0,44%, 0,34%, dan 0,38% dari semula sebesar 0,25%.
4. Nilai *recovery*  $\text{ThO}_2$  tertinggi didapatkan pada variasi waktu *smelting* 300 s sebesar 96,42%, sementara nilai *recovery*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  terendah terdapat pada variasi waktu *smelting* 180s sebesar masing-masing 9,47% dan 8,35 %. Berdasarkan perhitungan *separation efficiency* didapatkan variasi 287 s yang merupakan waktu dari perhitungan neraca energi menjadi variasi yang paling efisien disusul dengan variasi 300 s.

### 5.2 Saran

Saran pada penelitian berikutnya untuk yang sejenis ini adalah:

1. Memastikan Sampel telah homogen sebelum dilakukan proses *smelting* menggunakan *electric arc furnace*.
2. Mengoptimalkan desain dan posisi dari *electric arc furnace* agar massa yang hilang saat *smelting* bisa dikurangi.
3. Memerhatikan lagi pada saat penimbangan massa agar massa dari bahan yang dibutuhkan tidak kurang.
4. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode baru untuk menghilangkan pengotor yang tidak dapat tereduksi seperti  $\text{TiO}_2$  pada pasir monasit.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Balakrishna, P. (2012). ThO<sub>2</sub> and (U,Th)O<sub>2</sub> processing-A review. *Natural Science*, 04(11), 943–949. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.431123>
- Balbeid, S., Advisor, S., & Pintowantoro, S. T. (2014). *the Effect of Silica Flux Added for Converting Process of Copper Matte To Blister*.
- Brindley, G. W., & Hayami, R. (1965). Kinetics and mechanism of formation of forsterite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) by solid state reaction of MgO and SiO<sub>2</sub>. *Philos. Mag*, 12(117), 505–514.
- Dewita, E., Barat, J. K., & Prapatan, M. (2012). *Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar*. 232, 45–56.
- Dyana, R. G. L., & Triwikantoro. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi-SiO<sub>2</sub> dengan Pengisi Gel SiO<sub>2</sub> dari Pasir Bancar Tuban. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 6(2337–3520), B14–B19.
- Ekaputra, F. S. (2017). *Studi Pengaruh Variasi Jenis Binder Terhadap Derajat Reduksi Dan Morfologi Briket Pasir Besi Dalam Pembuatan Sponge Iron*. 62.
- Ferliana, R., Wasito, B., & Prassanti, R. (2017). Ekstraksi Dan Stripping Thorium Dari Rafinat Hasil Ekstraksi Uranium Monasit Bangka. *Jurnal Forum Nuklir*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.17146/jfn.2016.10.1.3488>
- Grzella, J., Sturm, P., Krüger, J., Reuter, M. A., Kögler, C., & Probst, T. (1923). Metallurgical Furnaces. In *Nature* (Vol. 112, Issue 2821). <https://doi.org/10.1038/112755a0>
- Henpristian, Y., Antoro, I. D., & Oediyani, S. (2014). Pengaruh Waktu Reduksi Dan Komposisi Pelet Terhadap Persen Fe Metal Dan Persen Ni FeNi Spons Dari Bijih Nikel Limonit Menggunakan Simulator Rotary Kiln. *Majalah Metalurgi*, 29(021), 205–214.
- Humphrey, U. E., & Khandaker, M. U. (2018). Viability of thorium-based nuclear fuel cycle for the next generation nuclear reactor: Issues and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97(January), 259–275. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.019>
- Jonan, I. and Suhendar, R. (2013). Jonan, I. and Suhendar, R. (2013) POTENSI LOGAM TANAH JARANG DI INDONESIA. 1st editio. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. In 2013.
- Kementerian ESDM RI. (2020). 062.Pers/04/SJI/2020.
- Kementerian ESDM RI. (2021). *Publication*.
- Khodabandeh, E., Ghaderi, M., Afzalabadi, A., Rouboa, A., & Salarifard, A. (2017). Parametric study of heat transfer in an electric arc furnace and cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 123, 1190–1200.
- Kokal, H. R., & Ranade, M. G. (1985). *METALLURGICAL USES FLUXES FOR METALLURGY*.
- Komarudin. (2008). *Studi Pengaruh Penambahan Batubara terhadap Intensitas Fe*.
- Lee, H.-G. (1999). *Chemical Thermodynamics for Metals and Materials-Imperial College Press*.
- López, F. A., García-Díaz, I., Largo, O. R., Polonio, F. G., & Llorens, T. (2018). Recovery and purification of tin from tailings from the Penouta Sn-Ta-Nb deposit. *Minerals*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/min8010020>
- Muzakkii, N., Fellicia, D. M., & Abdul, F. (2021). Review Pengaruh Temperatur Tahan Pada Reduksi Langsung Bijih Besi. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.53996>
- Napier-Munn, T., & Wills, B. A. (2005). Wills' Mineral Processing Technology. In *Wills' Mineral Processing Technology* (Issue October). <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4450-1.X5000-0>
- PANGESTU, I. G. (2018). *STUDI PENGARUH VARIASI WAKTU HOLDING PADA*

---

*PROSES PELEBURAN DIRECT REDUCED IRON (DRI) TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN RECOVERY Fe DALAM PROSES PEMBUATAN PIG IRON DENGAN METODE ELECTRIC ARC FURNACE.*

- Pasymi, P., & Hatta, U. B. (2020). *Batubara (jilid 1)* (Issue October 2008).
- Pintowantoro, S., & Abdul, F. (2020). *PENGANTAR PROSES PEMBUATAN BESI Proses Utama dan Alternatifnya*. (A. Express (ed.)). Airlangga Express.
- PINTOWANTORO, S., WIDYARTHA, A. B., SETIYORINI, Y., & ABDUL, F. (2021). SODIUM THIOSULFATE AND NATURAL SULFUR: NOVEL POTENTIAL ADDITIVES FOR SELECTIVE REDUCTION OF LIMONITIC LATERITE ORE. *JOURNAL OF SUSTAINABLE METALLURGY*, 7, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00352-4>
- Pintowantoro, Sungging, & Abdul, F. (2020). *PENGANTAR PROSES PEMBUATAN BESI Proses Utama dan Alternatifnya* (Jilid 1). Airlangga Express.
- Pradnyana, G. (2016). Pemenuhan Kebutuhan Energi dalam rangka Mewujudkan Ketahanan Nasional. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, Dan Entrepreneurship*, 5(2), 67. <https://doi.org/10.30588/jmp.v5i2.165>
- Pretorius, E., & Oltmann, H. (2002). *EAF Fundamentals*.
- René, M. (2017). Nature, Sources, Resources, and Production of Thorium. *Descriptive Inorganic Chemistry Researches of Metal Compounds*, September. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68304>
- Sahajwalla, V., Dubikova, M., & Khanna, R. (2016). *Reductant Characterisation and Selection : Implications for Ferroalloys Processing Reductant Characterisation and Selection : Implications for Ferroalloys Processing*. February, 1–19.
- Sarangi, A., & Sarangi, B. (n.d.). *Alternatives Route to Iron Making*.
- Sari, S. N. P., & Asmi, D. (2013). Fabrikasi dan Karakterisasi Keramik Kalsium Silikat Menggunakan Bahan Komersial Kalsium Oksida dan Silika dengan Reaksi Padatan pada Suhu 1000 °C. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 01(01), 53–57.
- Shahr El-Din, A. M., Borai, E. H., & Abd El-Ghany, M. S. (2018). Selective separation of thorium from rare earth elements liquor during the alkaline processing of Egyptian monazite concentrate. *Main Group Chemistry*, 17(1), 79–88. <https://doi.org/10.3233/MGC-180250>
- Sihotang, I. H., Supriyatna, Y. I., Ismail, I., & Sulistijono. (2018). The effect of smelting time and composition of palm kernel shell charcoal reductant toward extractive Pomalaa nickel laterite ore in mini electric arc furnace. *AIP Conference Proceedings*, 1945. <https://doi.org/10.1063/1.5030245>
- Stalhed, J. L. (1957). Sponge Iron in Electric Arc Furnaces. *Journal of Metals*, FEBRUARY, 246–249.
- Subagja, R. (2016). Ekstraksi Titanium Dari Ilmenit Bangka Melalui Tahap Dekomposisi dengan KOH dan Pelarutan Dengan Asam Sulfat. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 8(November), 1–8. <https://media.neliti.com/media/publications/173967-ID-ekstraksi-titanium-dari-ilmenit-bangka-m.pdf>
- Subdit. Indikator Statistik Badan Pusat Statistik (BPS). (2020). *Konsumsi Listrik per Kapita (MWH/Kapita)*.
- Supriyatna, Y. I., Kambuna, B. N. H., Trinopiawan, K., & Putra, P. A. (2019). Pengaruh variasi waktu dan reduktor pada peleburan titanium dari terak timah menggunakan tungku busur listrik. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(3), 189–199. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no3.2019.1041>
- Teixeira, L. A. V., Silva, R. G., Avelar, A., Majuste, D., & Ciminelli, V. S. T. (2019).
-

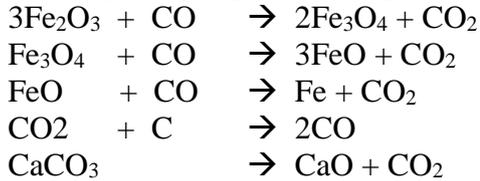
- Selective Extraction of Rare Earth Elements from Monazite Ores with High Iron Content. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 36(1), 235–244. <https://doi.org/10.1007/s42461-018-0035-5>
- Teixeira, L., Silva, R., Avelar, A., Majuste, D., & Ciminelli, V. S. T. (2019). Selective Extraction of Rare Earth Elements from Monazite Ores with High Iron Content. *Mining, Metall. Explor*, 36, 235–244.
- Trinopiawan, K., Prassanti, R., Sumarni, S., & Pudjianto, R. (2011). Pemisahan Uranium dari Thorium pada Monasit dengan Metode Ekstraksi Pelarut Alamine. *Buletin PPBGN Eksplorium*, 32(155), 47–52.
- Trinopiawan, K., & Sumiarti. (2012). Pemisahan Thorium dari Uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan. *Eksplorium*, 33(1), 55–62.
- Udayakumar, S., Rezan, S. A., Noor, A. F. M., Putra, T. A. R., Ibrahim, I., & Baharun, N. (2020). The dephosphorization behaviour of malaysian monazite concentrates. *AIP Conference Proceedings*, 2267(September). <https://doi.org/10.1063/5.0015954>
- Waheed-Ur-Rehman, Riaz, M., & Ishaq, M. (2013). Pilot plant studies on the extraction of antimony metal from lower grade krunj stibnite ore. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 35(3), 726–729.
- Wickleder, M. S., Fourest, B., & Dorhout, P. K. (2018). Thorium in The chemistry of the actinide and transactinide elements 52-160. In *Springers Netherlands* (pp. 52–160). [https://doi.org/10.1016/s1351-4180\(07\)70101-0](https://doi.org/10.1016/s1351-4180(07)70101-0)
- Widodo, S., Suyanti, Purwani, M., Sudibyo, R., Muzakky, & Syarip. (2019). *Dari Pasir Monasit ke Torium : Bahan Baku Bahan Bakar Nuklir dan Radioisotop Medik* (Issue April 2020).
- Wienar, A. (2022). *ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN SiO<sub>2</sub> DALAM PROSES SMELTING PASIR MONASIT MENGGUNAKAN ELECTRIC ARC FURNACE TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN GRADE ThO<sub>2</sub>*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wills, B. A., & Finch, J. A. (2015). Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. In *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*.
- Woermann, E., Brezny, B., & Muan, A. (1969). Phase equilibria in the system MgO-iron oxide-TiO<sub>2</sub> in air. In *Am. J. Sci.* (Vols. 267-A, pp. 463–479).
- Zhao, Y., Sun, T., Zhao, H., Xu, C., & Wu, S. (2019). Effect of MgO and CaCO<sub>3</sub> as additives on the reduction roasting and magnetic separation of beach titanomagnetite concentrate. *ISIJ International*, 59(6), 981–987. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-757>
-

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### 1. Perhitungan neraca massa

Pada proses reduksi, berikut merupakan kesetimbangan persamaan reaksi stoikiometri reduksi senyawa yang terkandung dalam pasir monasit.



Berdasarkan hasil pengujian XRF didapatkan komposisi senyawa utama yang terkandung dalam pasir monasit, yaitu sebagai berikut:

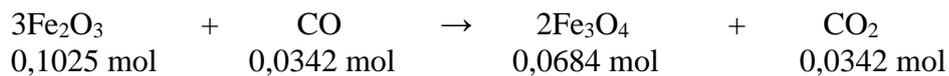
- Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) = 16,5%
- Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) = 36,05%
- Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) = 4,5 %
- Thorium dioksida ( $\text{ThO}_2$ ) = 0,22%

Apabila diasumsikan sampel percobaan sebesar 100 gram pasir monasit maka:

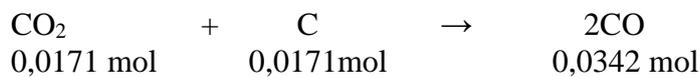
- Mol Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) =  $\frac{\text{massa hematit}}{\text{Mr hematit}} = \frac{16,5 \text{ gram}}{161 \text{ gram/mol}} = 0,1025 \text{ mol}$
- Mol Titanium dioksida =  $\frac{\text{massa TiO}_2}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{36,05 \text{ gram}}{79 \text{ gram/mol}} = 0,4563 \text{ mol}$
- Mol Silika dioksida =  $\frac{\text{massa SiO}_2}{\text{Mr SiO}_2} = \frac{4,5 \text{ gram}}{60 \text{ gram/mol}} = 0,075 \text{ mol}$
- Mol Thorium dioksida =  $\frac{\text{massa ThO}_2}{\text{Mr hematit}} = \frac{16,5 \text{ gram}}{161 \text{ gram/mol}} = 0,00083 \text{ mol}$
- Serbuk karbon yang digunakan memiliki kemurnian 99,99%
- Kalsium karbonat yang digunakan memiliki kemurnian 99,99%

### I. Reaksi Reduksi Hematit

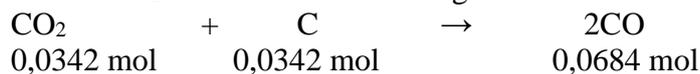
#### a. Reaksi 1



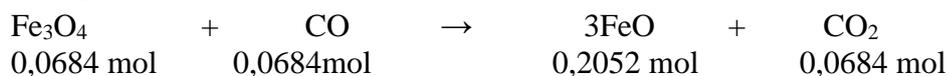
$\text{CO}_2$  hasil dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.



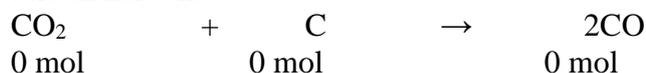
Reaksi  $\text{CO}_2$  hasil dari reaksi 1 dengan serbuk karbon.



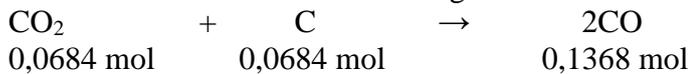
#### b. Reaksi 2



$\text{CO}_2$  hasil reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.



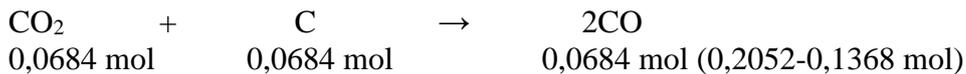
Reaksi CO<sub>2</sub> hasil dari reaksi 2 dengan serbuk karbon.



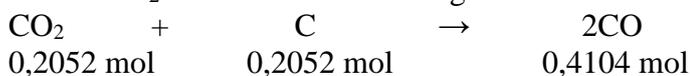
c. Reaksi 3



CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub> yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.



Reaksi CO<sub>2</sub> hasil dari reaksi 2 dengan serbuk karbon.



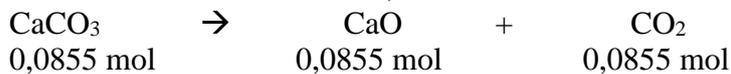
## II. Perhitungan Kebutuhan Serbuk Karbon

Total mol C yang dibutuhkan = 0,0171 + 0,0342 + 0,0684 + 0,0684 + 0,2052 = 0,3933 mol

Massa C yang dibutuhkan = total mol x Ar C  
= 0,3933 mol x 12 gram/mol  
= 4,7196 gram

## III. Perhitungan Kebutuhan CaCO<sub>3</sub>

Total CO<sub>2</sub> yang dibutuhkan = 0,0171 + 0,0684  
= 0,0855 mol



Massa CaCO<sub>3</sub> yang dibutuhkan = total mol x Ar CaCO<sub>3</sub>  
= 0,0855 mol x 100 gr/mol  
= 8,55 gram

Sehingga didapatkan perbandingan sebagai berikut.

Pasir Monasit : Serbuk Karbon : CaCO<sub>3</sub>  
100 : 4,7196 : 8,55

## IV. Perhitungan Kebutuhan Fluks SiO<sub>2</sub>

Mol TiO<sub>2</sub> = mol SiO<sub>2</sub>

Mol TiO<sub>2</sub> = 0,4563 mol

Mol SiO<sub>2</sub> = 0,4563 - 0,075 = 0,3813 mol

Massa fluks SiO<sub>2</sub> yang ditambahkan = mol x Mr SiO<sub>2</sub>  
= 0,3813 x 60 gr/mol  
= 22,878 gram

Maka perbandingan massa yang diperoleh sebesar

Pasir monasit : Fluks SiO<sub>2</sub>  
100 : 22,878

Penambahan fluks SiO<sub>2</sub> optimal = 18,61%

Pada penelitian kali ini digunakan fluks  $\text{SiO}_2$  sebesar 9% atau sebesar 9,99 gr. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wienar pada tahun 2022.

## V. Perhitungan *Mass Balance* Proses *Smelting*

Massa *input* = 12,32 gram

- Pasir monasit = 10 gram
- Flux  $\text{SiO}_2$  = 0,99 gram
- Serbuk Karbon = 0,47 gram
- $\text{CaCO}_3$  = 0,86 gram

Massa *output*

- Variasi 180 s = 8,04 gram
  - *Magnetic portion* = 7,15 gram
  - *Non-magnetic portion* = 0,89 gram
  - *Mass loss* = 4,28 gram
- Variasi 240 s = 7,42 gram
  - *Magnetic portion* = 4,92 gram
  - *Non-magnetic portion* = 2,50 gram
  - *Mass loss* = 4,90 gram
- Variasi 287 s = 8,26 gram
  - *Magnetic portion* = 4,43 gram
  - *Non-magnetic portion* = 3,83 gram
  - *Mass loss* = 4,06 gram
- Variasi 300 s = 8,72 gram
  - *Magnetic portion* = 1,63 gram
  - *Non-magnetic portion* = 7,09 gram
  - *Mass loss* = 3,60 gram
- Variasi 360 s = 8,41 gram
  - *Magnetic portion* = 5,71 gram
  - *Non-magnetic portion* = 2,70 gram
  - *Mass loss* = 3,91 gram

## 2. Perhitungan Neraca Energi (*Heat Balance*)

### a) Data Mol

Berdasarkan data XRF *raw material* dan perhitungan neraca massa, digunakan data mol material sebagai berikut.

| Senyawa                 | Mol    |
|-------------------------|--------|
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0,1025 |
| $\text{TiO}_2$          | 0,4563 |
| $\text{CaO}$            | 0,02   |
| $\text{SiO}_2$          | 0,075  |
| $\text{CaCO}_3$         | 0,2223 |

### b) Data Entalpi Pembentukan Standar ( $\Delta H_f$ )

Berikut merupakan data entalpi pembentukan standar senyawa pada 298 K.

| Senyawa                          | $\Delta H_f^{298}$<br>(kJ/mol) |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | -824,2                         |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>   | -1118                          |
| FeO                              | -272                           |
| Fe                               | 0                              |
| Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> | 39,33                          |
| FeTiO <sub>3</sub>               | 151,71                         |
| TiO <sub>2</sub>                 | -944,7                         |
| CaO                              | -635,09                        |
| SiO <sub>2</sub>                 | -910,86                        |
| CaCO <sub>3</sub>                | -1207,6                        |
| CO <sub>2</sub>                  | -393,509                       |
| CO                               | -110,525                       |
| C                                | 0                              |

c) **Data Heat Content ( $H_T - H_{298}$ )**

Berikut merupakan data *heat content* senyawa dan unsur, yang dihitung dengan persamaan:

$$H_T - H_{298} = aT + bT^2 + cT^{-1} + d$$

| Senyawa                          | a       | b        | c       | d        |
|----------------------------------|---------|----------|---------|----------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 98,658  | 0,03906  | 1491000 | -37888,2 |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>   | 91,896  | 0,01008  | 0       | -36397,2 |
| FeO                              | 48,972  | 0,0042   | 281400  | -15918   |
| Fe                               | 12,768  | 0,015918 | -252000 | -4376,4  |
| Fe                               | 41,034  | 0,0084   | 0       | -2814    |
| Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> | 40,71   | 0,00338  | 977000  | 15715    |
| FeTiO <sub>3</sub>               | 27,87   | 0,00218  | 479000  | 10111    |
| TiO <sub>2</sub>                 | 75,474  | 0,00588  | 1827000 | -28681,8 |
| CaO                              | 49,014  | 0,02268  | 655200  | -17014,2 |
| SiO <sub>2</sub>                 | 166,228 | 0,42782  | 892910  | 47390    |
| SiO <sub>2</sub>                 | 65,277  | 0,0028   | 1846300 | -24310   |
| CaCO <sub>3</sub>                | 104,916 | 0,011004 | 2604000 | -40992   |
| CO <sub>2</sub>                  | 44,394  | 0,00441  | 865200  | -16543,8 |
| CO                               | 28,518  | 0,02058  | 462000  | -8841    |
| C                                | 16,926  | 0,02394  | 856800  | -8131,2  |
| CaTiO <sub>3</sub>               | 127,974 | 0,002856 | 2809800 | -47833,8 |

d) **Perhitungan Entalpi Reaksi**

Entalpi reaksi dihitung berdasarkan data di atas dengan persamaan:

$$\Delta H = \sum H_{\text{produk}} - \sum H_{\text{reaktan}}$$

Dengan temperatur target 1850°C atau 2123 K, didapat:

- i)  $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$   $\Delta H = 11382,73 \text{ J}$
  - ii)  $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$   $\Delta H = -61818,13 \text{ J}$
  - iii)  $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$   $\Delta H = -13810,27 \text{ J}$
  - iv)  $Fe \rightarrow Fe$   $\Delta H = 3615,97 \text{ J}$
  - v)  $2FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2SiO_4$   $\Delta H = 127099,64 \text{ J}$
  - vi)  $FeO + TiO_2 \rightarrow FeTiO_3$   $\Delta H = 79388,18 \text{ J}$
  - vii)  $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$   $\Delta H = 51559,47 \text{ J}$
  - viii)  $CO_2 + C \rightarrow 2CO$   $\Delta H = 49637,30 \text{ J}$
  - ix)  $SiO_2 \rightarrow SiO_2$   $\Delta H = 154864,67 \text{ J}$
  - x)  $CaO + TiO_2 \rightarrow CaTiO_3$   $\Delta H = 326776,83 \text{ J}$
- Total panas reaksi yang dibutuhkan adalah **728696,4 J**

- e) **Perhitungan Energi Input Proses Smelting dan Parameter EAF**  
Spesifikasi *Power Supply* yang digunakan adalah sebagai berikut.

| Spesifikasi     | Nilai |
|-----------------|-------|
| Tegangan output | 40 V  |
| Efisiensi       | 90%   |

Berdasarkan spesifikasi diatas, maka didapatkan energi yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$E_{input} = E_{output}$$

$$E_{input} = E_{reaksi} \times (100\% + (100\% - \text{efisiensi}))$$

$$E_{input} = 728696,4 \text{ J} \times 110\%$$

$$E_{input} = 801566,04 \text{ J}$$

Panas yang dihasilkan dari EAF dengan menggunakan persamaan energi listrik adalah sebagai berikut.

| Arus (A) | Voltase (V) | Waktu (s) | Energi (J) |
|----------|-------------|-----------|------------|
| 70       | 40          | 180       | 596400 J   |
|          |             | 240       | 672000 J   |
|          |             | 287       | 803600 J   |
|          |             | 300       | 840000 J   |
|          |             | 360       | 1008000 J  |

### 3. Perhitungan Recovery

Persentase *recovery* senyawa utama dalam pasir monasit hasil *smelting* didapat dengan cara membandingkan jumlah masing-masing senyawa pada produk dengan senyawa pada *raw material*, dengan persamaan:

$$R (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

#### I. Perhitungan *Recovery* ThO<sub>2</sub>

Data perbandingan *grade* ThO<sub>2</sub> dan massa pasir monasit pada *feed* dan produk disajikan pada tabel berikut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan *recovery*.

| No | Variasi | $W_f$ | $f$  | $W_p$ | $c$  |
|----|---------|-------|------|-------|------|
| 1  | 180 s   | 10    | 0,25 | 0,89  | 0,44 |
| 2  | 240 s   | 10    | 0,25 | 2,50  | 0,43 |
| 3  | 287 s   | 10    | 0,25 | 3,85  | 0,44 |

---

|   |       |    |      |      |      |
|---|-------|----|------|------|------|
| 4 | 300 s | 10 | 0,25 | 7,09 | 0,34 |
| 5 | 360 s | 10 | 0,25 | 2,70 | 0,38 |

---

a) Variasi waktu 180 s

$$R ThO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = \frac{0,89 \cdot 0,44}{10 \cdot 0,25} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = 15,65 \%$$

b) Variasi waktu 240 s

$$R ThO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = \frac{2,50 \cdot 0,43}{10 \cdot 0,25} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = 43,07 \%$$

c) Variasi waktu 287 s

$$R ThO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = \frac{3,85 \cdot 0,44}{10 \cdot 0,25} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = 67,47 \%$$

d) Variasi waktu 300 s

$$R ThO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = \frac{7,09 \cdot 0,34}{10 \cdot 0,25} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = 96,42 \%$$

e) Variasi waktu 360 s

$$R ThO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = \frac{2,70 \cdot 0,38}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R ThO_2 (\%) = 41,04 \%$$

## II. Perhitungan *Recovery* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Data perbandingan *grade* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan massa pasir monasit pada *feed* dan produk disajikan pada tabel berikut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan *recovery*.

| No | Variasi | $W_f$ | $f$  | $W_p$ | $c$   |
|----|---------|-------|------|-------|-------|
| 1  | 180 s   | 10    | 13,8 | 0,89  | 14,70 |
| 2  | 240 s   | 10    | 13,8 | 2,50  | 14,50 |
| 3  | 287 s   | 10    | 13,8 | 3,85  | 10,95 |
| 4  | 300 s   | 10    | 13,8 | 7,09  | 16,30 |
| 5  | 360 s   | 10    | 13,8 | 2,70  | 17,80 |

a) Variasi waktu 180 s

---

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{0,89 \cdot 14,7}{13,8 \cdot 10} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = 9,47 \%$$

b) Variasi Waktu 240 s

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{2,50 \cdot 14,50}{13,8 \cdot 10} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = 26,31 \%$$

c) Variasi Waktu 287 s

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{3,85 \cdot 10,95}{13,8 \cdot 10} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = 30,42 \%$$

d) Variasi Waktu 300 s

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{7,09 \cdot 16,3}{13,8 \cdot 10} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = 83,74 \%$$

e) Variasi Waktu 360 s

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = \frac{2,70 \cdot 17,80}{13,8 \cdot 10} \times 100$$

$$R Fe_2O_3 (\%) = 34,83 \%$$

### III. Perhitungan *Recovery* TiO<sub>2</sub>

Data perbandingan *grade* TiO<sub>2</sub> dan massa pasir monasit pada *feed* dan produk disajikan pada tabel berikut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan *recovery*.

| No | Variasi | $W_f$ | $f$   | $W_p$ | $c$   |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 180 s   | 10    | 40,80 | 0,89  | 38,30 |
| 2  | 240 s   | 10    | 40,80 | 2,50  | 44,25 |
| 3  | 287 s   | 10    | 40,80 | 3,85  | 43,95 |
| 4  | 300 s   | 10    | 40,80 | 7,09  | 34,30 |
| 5  | 360 s   | 10    | 40,80 | 2,70  | 37,60 |

a) Variasi Waktu 180 s

$$R TiO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = \frac{0,89 \cdot 38,30}{40,80 \cdot 10} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = 8,35 \%$$

b) Variasi Waktu 240 s

$$R TiO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = \frac{2,50 \cdot 44,25}{40,80 \cdot 10} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = 27,16 \%$$

c) Variasi Waktu 287 s

$$R TiO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = \frac{3,85 \cdot 43,95}{40,80 \cdot 10} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = 41,30 \%$$

d) Variasi Waktu 300 s

$$R TiO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = \frac{7,09 \cdot 34,3}{40,80 \cdot 10} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = 59,60 \%$$

e) Variasi Waktu 360 s

$$R TiO_2 (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = \frac{2,70 \cdot 37,60}{40,80 \cdot 10} \times 100$$

$$R TiO_2 (\%) = 24,88 \%$$

#### 4. Perhitungan *Separation Efficiency* (S.E.)

Untuk membandingkan kualitas antara produk dengan *grade* dan *recovery* dapat dilakukan melalui perhitungan *separation efficiency* (S.E.).

I. Perhitungan *Separation Efficiency* (S.E.)  $ThO_2$

Data  $ThO_2$  pada tabel berikut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan *separation efficiency*.

| No | Variasi | $W_f$ | $W_p$ | $C$   | $m$   | $c$  | $f$  |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 1  | 180 s   | 10    | 0,89  | 0,089 | 87,88 | 0,44 | 0,25 |
| 2  | 240 s   | 10    | 2,50  | 0,250 | 87,88 | 0,43 | 0,25 |
| 3  | 287 s   | 10    | 3,85  | 0,385 | 87,88 | 0,44 | 0,25 |
| 4  | 300 s   | 10    | 7,09  | 0,709 | 87,88 | 0,34 | 0,25 |
| 5  | 360 s   | 10    | 2,70  | 0,270 | 87,88 | 0,38 | 0,25 |

a) Variasi waktu 180 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 6,78$$

b) Variasi waktu 240 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 18,08$$

c) Variasi waktu 287 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 29,22$$

d) Variasi waktu 300 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 25,6$$

e) Variasi waktu 360 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 14,08$$

## II. Perhitungan *Separation Efficiency* (S.E.) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Data Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada tabel berikut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan *separation efficiency*.

| No | Variasi | Wf | Wp   | C     | m     | c     | f    |
|----|---------|----|------|-------|-------|-------|------|
| 1  | 180 s   | 10 | 0,89 | 0,089 | 69,56 | 14,70 | 13,8 |
| 2  | 240 s   | 10 | 2,50 | 0,250 | 69,56 | 14,50 | 13,8 |
| 3  | 287 s   | 10 | 3,85 | 0,385 | 69,56 | 10,95 | 13,8 |
| 4  | 300 s   | 10 | 7,09 | 0,709 | 69,56 | 16,30 | 13,8 |
| 5  | 360 s   | 10 | 2,70 | 0,270 | 69,56 | 17,80 | 13,8 |

a) Variasi waktu 180 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 0,72$$

b) Variasi Waktu 240

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 1,58$$

c) Variasi Waktu 287 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 9,88$$

d) Variasi Waktu 300 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 16,02$$

e) Variasi Waktu 360 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 9,76$$

### III. Perhitungan *Separation Efficiency* (S.E.) TiO<sub>2</sub>

Data TiO<sub>2</sub> pada tabel berikut untuk digunakan sebagai dasar perhitungan *separation efficiency*.

| No | Variasi | Wf | Wp   | C     | m     | c     | f     |
|----|---------|----|------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 180 s   | 10 | 0,89 | 0,089 | 59,93 | 38,30 | 40,80 |
| 2  | 240 s   | 10 | 2,50 | 0,250 | 59,93 | 44,25 | 40,80 |
| 3  | 287 s   | 10 | 3,85 | 0,385 | 59,93 | 43,95 | 40,80 |
| 4  | 300 s   | 10 | 7,09 | 0,709 | 59,93 | 34,30 | 40,80 |
| 5  | 360 s   | 10 | 2,70 | 0,270 | 59,93 | 37,60 | 40,80 |

a) Variasi Waktu 180 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 1,71$$

b) Variasi Waktu 240 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 6,63$$

c) Variasi Waktu 287 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 9,27$$

d) Variasi Waktu 300 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 35,39$$

e) Variasi Waktu 360 s

$$S.E. = \frac{100 \cdot C \cdot m \cdot (c - f)}{(m - f) \cdot f}$$

$$S.E. = 6,63$$

## 5. Perhitungan Basisitas

Basisitas merupakan rasio senyawa yang bersifat basa terhadap senyawa yang bersifat asam yang ada pada *slag* atau produk hasil pemurnian. Perhitungan basisitas dalam penelitian ini didasarkan pada rasio CaO/SiO<sub>2</sub> pada produk sesuai persamaan:

$$B_1 = \frac{CaO}{SiO_2}$$

| No | Variasi | CaO % | SiO <sub>2</sub> % |
|----|---------|-------|--------------------|
|----|---------|-------|--------------------|

---

|   |       |      |      |
|---|-------|------|------|
| 1 | 180 s | 6,20 | 8,00 |
| 2 | 240 s | 7,92 | 8,75 |
| 3 | 300 s | 6,89 | 8,80 |
| 4 | 287 s | 6,09 | 11,5 |
| 5 | 360 s | 6,22 | 8,45 |

---

a) Variasi Waktu 180 s

$$B = \frac{6,20}{8,00}$$

$$B = 0,78$$

b) Variasi Waktu 240 s

$$B = \frac{7,92}{8,75}$$

$$B = 0,90$$

c) Variasi Waktu 287 s

$$B = \frac{6,89}{8,80}$$

$$B = 0,77$$

d) Variasi Waktu 300 s

$$B = \frac{6,09}{11,5}$$

$$B = 0,53$$

e) Variasi Waktu 360 s

$$B = \frac{6,22}{8,45}$$

$$B = 0,74$$

## 6. Hasil Pengujian XRF

### I. Pasir Monasit

Sample ident: EL-163 (Pasir Monasit) Oksida

Display all

Seq: 1/1 Pos: 1  
Time: 28-okt-2021 12:47:09

| Compound | Conc  | Unit |
|----------|-------|------|
| SiO2     | 4,6   | %    |
| P2O5     | 1     | %    |
| SO3      | 8,9   | %    |
| CaO      | 0,2   | %    |
| TiO2     | 40,8  | %    |
| V2O5     | 0,42  | %    |
| MnO      | 0,828 | %    |
| Fe2O3    | 13,8  | %    |
| As2O3    | 0,02  | %    |
| Y2O3     | 0,920 | %    |
| ZrO2     | 14,7  | %    |
| Nb2O5    | 0,42  | %    |
| SnO2     | 12,1  | %    |
| HfO2     | 0,66  | %    |
| WO3      | 0,16  | %    |
| PbO      | 0,086 | %    |
| Bi2O3    | 0,04  | %    |
| ThO2     | 0,25  | %    |
| U3O8     | 0,08  | %    |

Sample ident: EL-163 (Pasir Monasit) Oksida 2

Display all

Seq: 1/1 Pos: 1  
Time: 28-okt-2021 12:54:13

| Compound | Conc  | Unit |
|----------|-------|------|
| SiO2     | 4,4   | %    |
| P2O5     | 1,3   | %    |
| SO3      | 9,0   | %    |
| CaO      | 0,22  | %    |
| TiO2     | 40,7  | %    |
| V2O5     | 0,43  | %    |
| MnO      | 0,824 | %    |
| Fe2O3    | 13,8  | %    |
| As2O3    | 0,03  | %    |
| Y2O3     | 0,915 | %    |
| ZrO2     | 14,7  | %    |
| Nb2O5    | 0,41  | %    |
| SnO2     | 11,9  | %    |
| HfO2     | 0,66  | %    |
| WO3      | 0,14  | %    |
| PbO      | 0,081 | %    |
| Bi2O3    | 0,04  | %    |
| ThO2     | 0,26  | %    |
| U3O8     | 0,08  | %    |

## II. Variasi Waktu 180 s

## LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Sample ident: EL-219 (Smelting Pasir Monasit Kode 3 Menit) Oksida 2

Seq: 1/1 Pos: 2  
Time: 23-mei-2022 15:27:22

| Compound | Conc | Unit |
|----------|------|------|
| Al2O3    | 0,4  | %    |
| SiO2     | 8,0  | %    |
| P2O5     | 0,5  | %    |
| SO3      | 0,4  | %    |
| CaO      | 6,20 | %    |
| TiO2     | 38,4 | %    |
| V2O5     | 0,49 | %    |
| MnO      | 1,46 | %    |
| Fe2O3    | 14,7 | %    |
| CuO      | 1,13 | %    |
| As2O3    | 0,38 | %    |
| Y2O3     | 1,87 | %    |
| ZrO2     | 16,3 | %    |
| Nb2O5    | 0,47 | %    |
| SnO2     | 8,62 | %    |
| WO3      | 0,22 | %    |
| OsO4     | 0,03 | %    |
| PbO      | 0,03 | %    |
| ThO2     | 0,43 | %    |

Sample ident: EL-219 (Smelting Pasir Monasit Kode 3 Menit) Oksida

Seq: 1/1 Pos: 2  
Time: 23-mei-2022 15:24:43

| Compound | Conc | Unit |
|----------|------|------|
| Al2O3    | 0,5  | %    |
| SiO2     | 8,0  | %    |
| P2O5     | 0,6  | %    |
| SO3      | 0,4  | %    |
| CaO      | 6,19 | %    |
| TiO2     | 38,3 | %    |
| V2O5     | 0,49 | %    |
| MnO      | 1,46 | %    |
| Fe2O3    | 14,7 | %    |
| CuO      | 1,12 | %    |
| As2O3    | 0,38 | %    |
| Y2O3     | 1,86 | %    |
| ZrO2     | 16,3 | %    |
| Nb2O5    | 0,49 | %    |
| SnO2     | 8,49 | %    |
| WO3      | 0,20 | %    |
| OsO4     | 0,03 | %    |
| PbO      | 0,03 | %    |
| ThO2     | 0,45 | %    |

### III. Variasi Waktu 240 s

Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 4m nm) Oksida 2

Seq: 1/1 Pos: 1  
Time: 30-mei-2022 12:15:14

| Compound | Conc  | Unit |
|----------|-------|------|
| SiO2     | 8,7   | %    |
| P2O5     | 0,2   | %    |
| CaO      | 7,94  | %    |
| TiO2     | 44,3  | %    |
| V2O5     | 0,51  | %    |
| MnO      | 1,81  | %    |
| Fe2O3    | 14,5  | %    |
| CuO      | 0,076 | %    |
| Y2O3     | 1,97  | %    |
| ZrO2     | 16,7  | %    |
| Nb2O5    | 0,55  | %    |
| SnO2     | 1,7   | %    |
| HfO2     | 0,38  | %    |
| WO3      | 0,11  | %    |
| Bi2O3    | 0,03  | %    |
| ThO2     | 0,43  | %    |

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 4m nm) Oksida

Seq: 1/1 Pos: 1  
Time: 30-mei-2022 12:10:23

| Compound | Conc  | Unit |
|----------|-------|------|
| SiO2     | 8,8   | %    |
| P2O5     | 0,4   | %    |
| CaO      | 7,89  | %    |
| TiO2     | 44,2  | %    |
| V2O5     | 0,54  | %    |
| MnO      | 1,79  | %    |
| Fe2O3    | 14,5  | %    |
| CuO      | 0,073 | %    |
| Y2O3     | 1,98  | %    |
| ZrO2     | 16,6  | %    |
| Nb2O5    | 0,54  | %    |
| SnO2     | 1,8   | %    |
| HfO2     | 0,38  | %    |
| WO3      | 0,10  | %    |
| Bi2O3    | 0,03  | %    |
| ThO2     | 0,43  | %    |

IV. Variasi Waktu 287 s

Sample ident: EL-208 (Pasir Monasit Hasil Smelting Kode 70A, 287S) Oksida

Seq: 1/1 Pos: 3  
Time: 17-mei-2022 16:00:50

| Compound | Conc  | Unit |
|----------|-------|------|
| Al2O3    | 1     | %    |
| SiO2     | 8,7   | %    |
| CaO      | 6,89  | %    |
| TiO2     | 44,0  | %    |
| V2O5     | 0,48  | %    |
| MnO      | 1,58  | %    |
| Fe2O3    | 11,0  | %    |
| NiO      | 0,02  | %    |
| CuO      | 0,433 | %    |
| As2O3    | 0,096 | %    |
| Y2O3     | 1,89  | %    |
| ZrO2     | 18,9  | %    |
| Nb2O5    | 0,54  | %    |
| SnO2     | 3,9   | %    |
| WO3      | 0,073 | %    |
| OsO4     | 0,07  | %    |
| PbO      | 0,01  | %    |
| ThO2     | 0,45  | %    |

Sample ident: EL-208 (Pasir Monasit Hasil Smelting Kode 70A, 287S) Oksida2

Seq: 1/1 Pos: 3  
Time: 17-mei-2022 16:03:34

| Compound | Conc  | Unit |
|----------|-------|------|
| Al2O3    | 1     | %    |
| SiO2     | 8,9   | %    |
| CaO      | 6,89  | %    |
| TiO2     | 43,9  | %    |
| V2O5     | 0,45  | %    |
| MnO      | 1,59  | %    |
| Fe2O3    | 10,9  | %    |
| NiO      | 0,03  | %    |
| CuO      | 0,444 | %    |
| As2O3    | 0,091 | %    |
| Y2O3     | 1,89  | %    |
| ZrO2     | 18,8  | %    |
| Nb2O5    | 0,54  | %    |
| SnO2     | 3,8   | %    |
| WO3      | 0,083 | %    |
| OsO4     | 0,07  | %    |
| PbO      | 0,02  | %    |
| ThO2     | 0,43  | %    |

## V. Variasi Waktu 300 s

Sample ident: EL-219 (Smelting Pasir Monasit Kode 5 Menit) Oksida 2

Display all Seq.: 1/1 Pos: 3  
Time: 23-mei-2022 15:38:30

| Compound                       | Conc | Unit |
|--------------------------------|------|------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,5  | %    |
| SiO <sub>2</sub>               | 12   | %    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,9  | %    |
| CaO                            | 6,10 | %    |
| TiO <sub>2</sub>               | 34,2 | %    |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,37 | %    |
| MnO                            | 1,17 | %    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,3 | %    |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00 | %    |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1,43 | %    |
| ZrO <sub>2</sub>               | 15,7 | %    |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,41 | %    |
| SnO <sub>2</sub>               | 10,5 | %    |
| HfO <sub>2</sub>               | 0,43 | %    |
| W <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,22 | %    |
| PbO                            | 0,03 | %    |
| ThO <sub>2</sub>               | 0,34 | %    |

Sample ident: EL-219 (Smelting Pasir Monasit Kode 5 Menit) Oksida

Display all Seq.: 1/1 Pos: 3  
Time: 23-mei-2022 15:35:50

| Compound                       | Conc  | Unit |
|--------------------------------|-------|------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,6   | %    |
| SiO <sub>2</sub>               | 11    | %    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,6   | %    |
| CaO                            | 6,08  | %    |
| TiO <sub>2</sub>               | 34,4  | %    |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,36  | %    |
| MnO                            | 1,19  | %    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,3  | %    |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,003 | %    |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1,45  | %    |
| ZrO <sub>2</sub>               | 15,8  | %    |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,39  | %    |
| SnO <sub>2</sub>               | 10,6  | %    |
| HfO <sub>2</sub>               | 0,44  | %    |
| W <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,23  | %    |
| PbO                            | 0,02  | %    |
| ThO <sub>2</sub>               | 0,34  | %    |

## VI. Variasi Waktu 360 s

Sample ident: EL-208 (Pasir Monasit Hasil Smelting Kode 6 menit) Oksida 2

Display all Seq.: 1/1 Pos: 4  
Time: 17-mei-2022 16:15:12

| Compound                       | Conc | Unit |
|--------------------------------|------|------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,8  | %    |
| SiO <sub>2</sub>               | 8,5  | %    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,6  | %    |
| SO <sub>3</sub>                | 0,94 | %    |
| CaO                            | 6,22 | %    |
| TiO <sub>2</sub>               | 37,6 | %    |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,42 | %    |
| MnO                            | 1,46 | %    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,8 | %    |
| CuO                            | 1,22 | %    |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,30 | %    |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1,70 | %    |
| ZrO <sub>2</sub>               | 13,8 | %    |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,43 | %    |
| SnO <sub>2</sub>               | 7,54 | %    |
| W <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,22 | %    |
| OsO <sub>4</sub>               | 0,02 | %    |
| PbO                            | 0,03 | %    |
| ThO <sub>2</sub>               | 0,37 | %    |

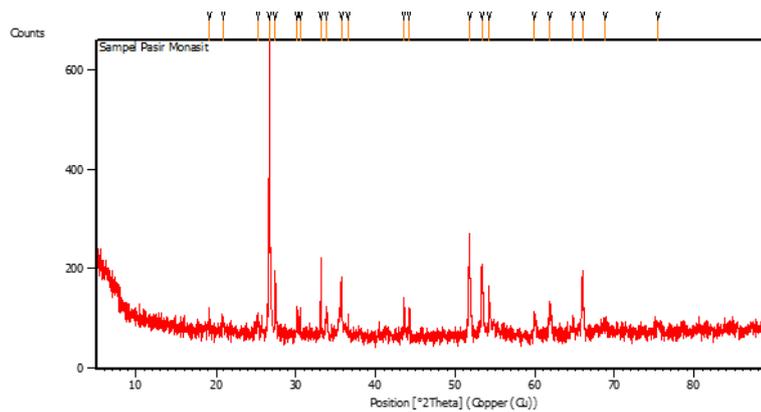
Sample ident: EL-208 (Pasir Monasit Hasil Smelting Kode 6 menit) Oksida

Seq: 171 Pos: 4  
Time: 17-mei-2022 16:12:35

| Compound | Conc | Unit |
|----------|------|------|
| Al2O3    | 0,5  | %    |
| SiO2     | 8,4  | %    |
| P2O5     | 0,9  | %    |
| SO3      | 0,96 | %    |
| CaO      | 6,21 | %    |
| TiO2     | 37,7 | %    |
| V2O5     | 0,40 | %    |
| MnO      | 1,47 | %    |
| Fe2O3    | 17,8 | %    |
| CuO      | 1,20 | %    |
| As2O3    | 0,29 | %    |
| Y2O3     | 1,70 | %    |
| ZrO2     | 13,8 | %    |
| Nb2O5    | 0,44 | %    |
| SnO2     | 7,66 | %    |
| WO3      | 0,23 | %    |
| OsO4     | 0,01 | %    |
| PbO      | 0,05 | %    |
| ThO2     | 0,38 | %    |

## 7. Hasil Pengujian XRD

### I. Pasir Monasit



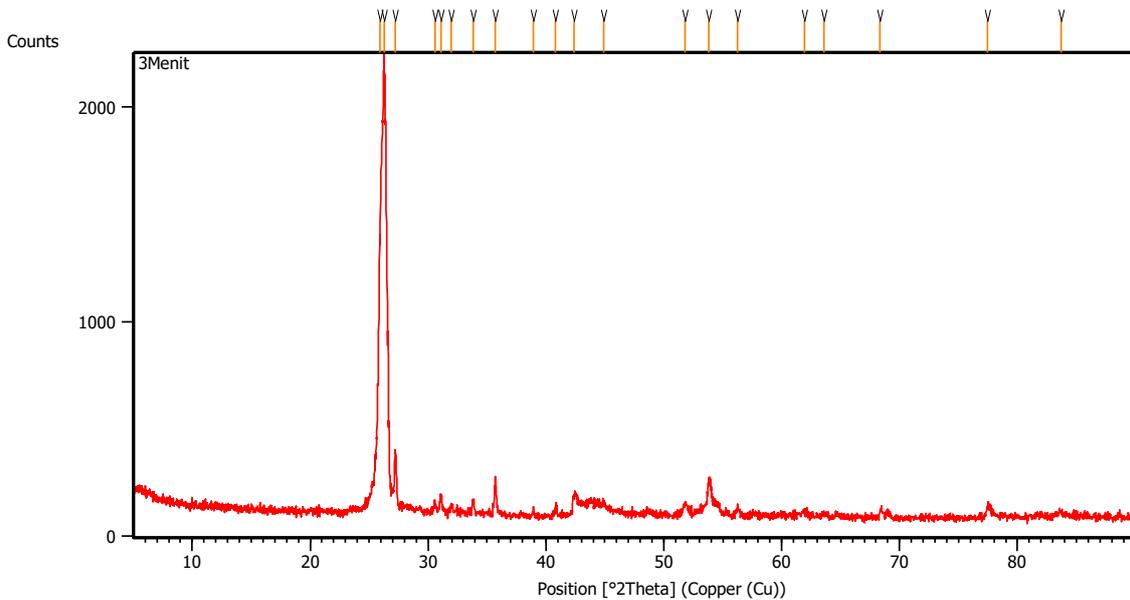
### PEAK LIST:

#### I. Pasir Monasit

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 19.1956      | 18.78        | 0.2676            | 4.62384       | 3.13          |
| 20.8733      | 22.61        | 0.2007            | 4.25584       | 3.77          |
| 25.2676      | 19.95        | 0.2007            | 3.52478       | 3.33          |
| 26.6595      | 599.37       | 0.0669            | 3.34383       | 100.00        |
| 27.4224      | 101.63       | 0.0836            | 3.25252       | 16.96         |
| 30.1726      | 56.29        | 0.0669            | 2.96203       | 9.39          |
| 30.5027      | 49.71        | 0.0502            | 2.93072       | 8.29          |
| 33.0906      | 153.62       | 0.0408            | 2.70495       | 25.63         |
| 33.8074      | 50.26        | 0.1004            | 2.65142       | 8.39          |
| 35.6887      | 117.40       | 0.0836            | 2.51585       | 19.59         |
| 36.4972      | 36.80        | 0.1004            | 2.46195       | 6.14          |
| 43.5775      | 80.32        | 0.0612            | 2.07524       | 13.40         |
| 44.2812      | 58.01        | 0.1004            | 2.04557       | 9.68          |
| 51.8338      | 207.10       | 0.0612            | 1.76243       | 34.55         |

|         |        |        |         |       |
|---------|--------|--------|---------|-------|
| 53.3594 | 140.10 | 0.0836 | 1.71700 | 23.38 |
| 54.2872 | 77.26  | 0.0669 | 1.68983 | 12.89 |
| 59.9395 | 48.92  | 0.1004 | 1.54328 | 8.16  |
| 61.8911 | 63.84  | 0.1338 | 1.49923 | 10.65 |
| 64.8207 | 27.89  | 0.2676 | 1.43837 | 4.65  |
| 65.9327 | 121.01 | 0.0816 | 1.41561 | 20.19 |
| 68.8463 | 15.47  | 0.5353 | 1.36377 | 2.58  |
| 75.4581 | 12.99  | 0.8029 | 1.25985 | 2.17  |

## II. Variasi Waktu 180 s



### Peak List: (Bookmark 3)

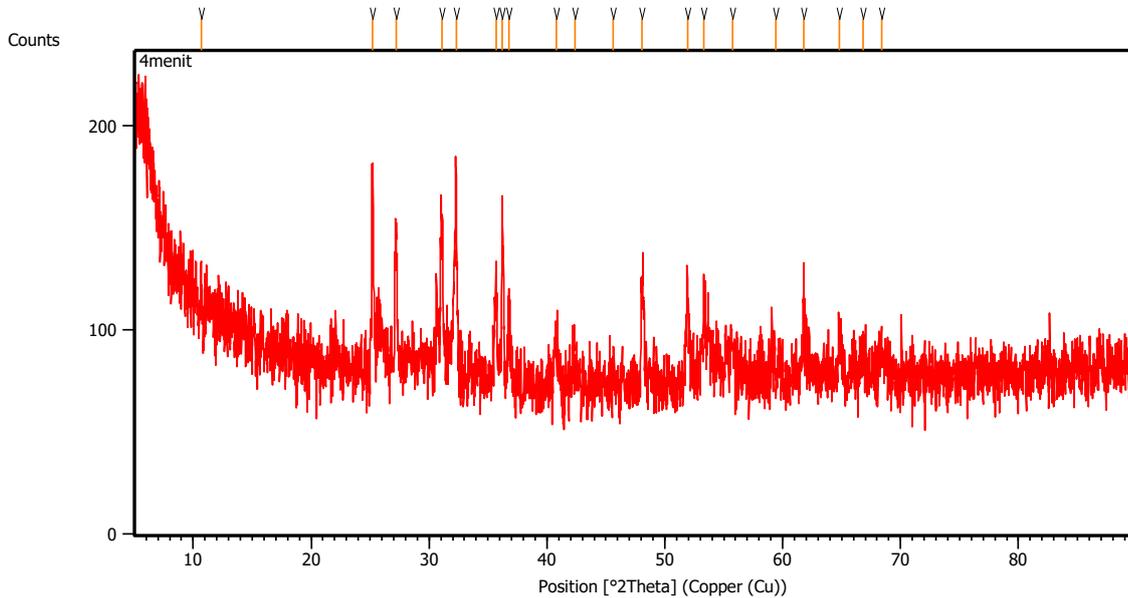
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 25.9458      | 1324.76      | 0.2342            | 3.43417       | 64.56         |
| 26.3055      | 2051.88      | 0.1171            | 3.38802       | 100.00        |
| 27.2046      | 268.62       | 0.0669            | 3.27805       | 13.09         |
| 30.5849      | 55.14        | 0.1004            | 2.92303       | 2.69          |
| 31.0908      | 75.20        | 0.1338            | 2.87661       | 3.66          |
| 31.9528      | 41.48        | 0.1673            | 2.80095       | 2.02          |
| 33.8192      | 51.40        | 0.1338            | 2.65052       | 2.51          |
| 35.6913      | 162.28       | 0.1338            | 2.51567       | 7.91          |
| 38.9183      | 32.12        | 0.1004            | 2.31419       | 1.57          |
| 40.8151      | 44.18        | 0.1673            | 2.21092       | 2.15          |
| 42.4106      | 92.35        | 0.3346            | 2.13136       | 4.50          |
| 44.9038      | 53.72        | 0.2007            | 2.01865       | 2.62          |
| 51.8160      | 49.52        | 0.3346            | 1.76445       | 2.41          |
| 53.8153      | 167.80       | 0.1673            | 1.70352       | 8.18          |
| 56.2768      | 40.08        | 0.2007            | 1.63472       | 1.95          |
| 61.9433      | 24.59        | 0.4015            | 1.49809       | 1.20          |
| 63.6091      | 16.24        | 0.4015            | 1.46281       | 0.79          |
| 68.3523      | 37.33        | 0.1673            | 1.37241       | 1.82          |
| 77.4823      | 53.55        | 0.4015            | 1.23192       | 2.61          |

---

|         |       |        |         |      |
|---------|-------|--------|---------|------|
| 83.6974 | 21.89 | 0.5353 | 1.15554 | 1.07 |
|---------|-------|--------|---------|------|

---

### III. Variasi Waktu 240 s

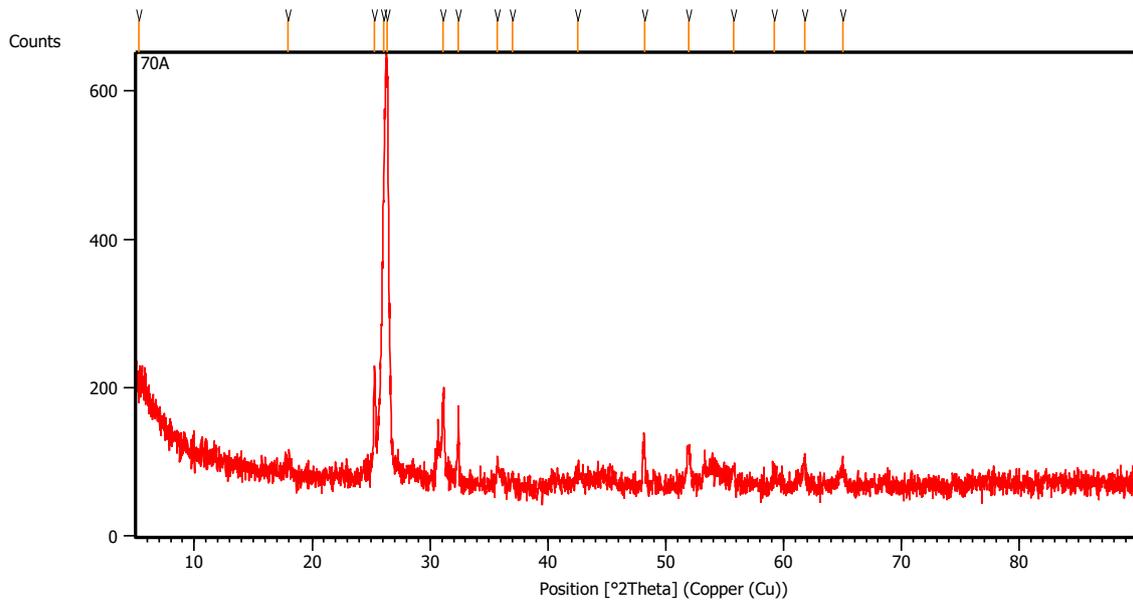


#### Peak List: (Bookmark 3)

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 10.6910      | 17.23        | 0.1673            | 8.27529       | 17.20         |
| 25.1934      | 97.29        | 0.1338            | 3.53499       | 97.15         |
| 27.2046      | 67.03        | 0.1673            | 3.27806       | 66.93         |
| 31.0822      | 70.68        | 0.2007            | 2.87739       | 70.58         |
| 32.2904      | 100.15       | 0.0836            | 2.77243       | 100.00        |
| 35.6949      | 43.05        | 0.2007            | 2.51543       | 42.98         |
| 36.2060      | 87.65        | 0.0669            | 2.48108       | 87.52         |
| 36.7840      | 35.45        | 0.2007            | 2.44341       | 35.40         |
| 40.8319      | 20.75        | 0.4015            | 2.21005       | 20.72         |
| 42.3908      | 11.87        | 0.4015            | 2.13231       | 11.85         |
| 45.6196      | 14.01        | 0.1673            | 1.98863       | 13.99         |
| 48.0294      | 49.70        | 0.1338            | 1.89433       | 49.63         |
| 51.9158      | 52.19        | 0.1338            | 1.76129       | 52.11         |
| 53.3204      | 31.69        | 0.5353            | 1.71816       | 31.64         |
| 55.7359      | 16.46        | 0.8029            | 1.64929       | 16.44         |
| 59.4101      | 8.68         | 0.5353            | 1.55577       | 8.67          |
| 61.7789      | 48.01        | 0.1004            | 1.50168       | 47.94         |
| 64.8336      | 13.56        | 0.3346            | 1.43811       | 13.54         |
| 66.8004      | 13.42        | 0.4015            | 1.40047       | 13.40         |
| 68.3985      | 12.08        | 0.8029            | 1.37160       | 12.07         |

---

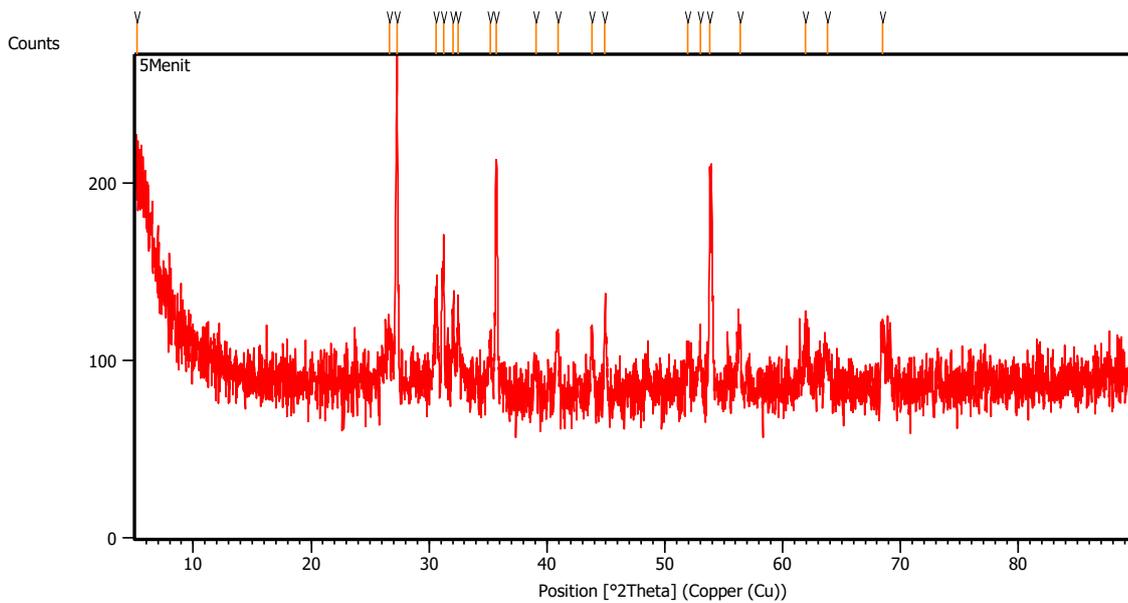
### IV. Variasi Waktu 287 s



**Peak List:** (*Bookmark 3*)

| Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .] | Height [cts] | FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .] | d-spacing [ $\text{\AA}$ ] | Rel. Int. [%] |
|-----------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------|---------------|
| 5.3125                      | 46.22        | 0.8029                           | 16.63521                   | 8.73          |
| 17.9283                     | 14.50        | 0.6691                           | 4.94772                    | 2.74          |
| 25.2806                     | 143.03       | 0.1338                           | 3.52300                    | 27.01         |
| 26.0988                     | 428.20       | 0.1673                           | 3.41438                    | 80.86         |
| 26.3748                     | 529.52       | 0.2007                           | 3.37927                    | 100.00        |
| 31.1160                     | 116.50       | 0.2007                           | 2.87433                    | 22.00         |
| 32.3924                     | 104.30       | 0.0502                           | 2.76393                    | 19.70         |
| 35.7218                     | 31.23        | 0.2007                           | 2.51359                    | 5.90          |
| 37.0096                     | 17.12        | 0.2007                           | 2.42904                    | 3.23          |
| 42.5520                     | 14.11        | 0.5353                           | 2.12461                    | 2.67          |
| 48.1865                     | 58.04        | 0.2007                           | 1.88852                    | 10.96         |
| 51.9411                     | 48.86        | 0.2676                           | 1.76049                    | 9.23          |
| 55.7480                     | 16.45        | 0.2676                           | 1.64896                    | 3.11          |
| 59.1630                     | 18.94        | 0.4015                           | 1.56167                    | 3.58          |
| 61.7662                     | 33.87        | 0.2676                           | 1.50196                    | 6.40          |
| 65.0036                     | 22.63        | 0.5353                           | 1.43477                    | 4.27          |

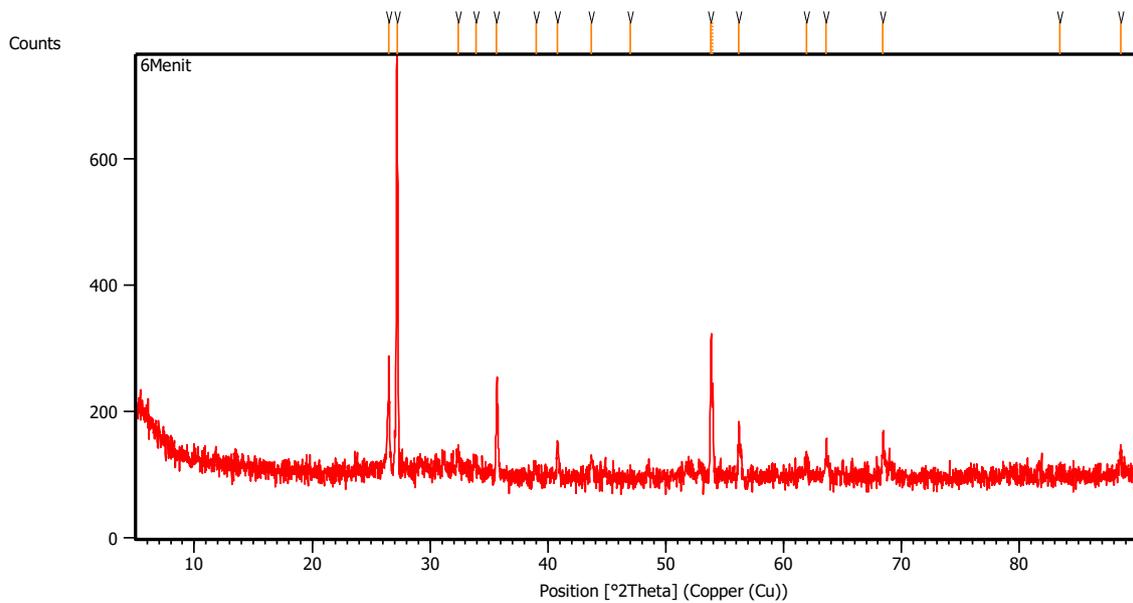
**V. Variasi Waktu 300 s**



**Peak List:** (*Bookmark 3*)

| Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] | Height [cts] | FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] | d-spacing [ $\text{\AA}$ ] | Rel. Int. [%] |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 5.2364                         | 36.44        | 0.5353                              | 16.87679                   | 20.97         |
| 26.6406                        | 27.40        | 0.2007                              | 3.34616                    | 15.77         |
| 27.2677                        | 173.74       | 0.2007                              | 3.27061                    | 100.00        |
| 30.6246                        | 51.81        | 0.1004                              | 2.91933                    | 29.82         |
| 31.2323                        | 67.48        | 0.1004                              | 2.86390                    | 38.84         |
| 32.0426                        | 43.43        | 0.1338                              | 2.79330                    | 25.00         |
| 32.4689                        | 20.72        | 0.5353                              | 2.75760                    | 11.92         |
| 35.1995                        | 32.03        | 0.2007                              | 2.54969                    | 18.43         |
| 35.7186                        | 123.35       | 0.1673                              | 2.51381                    | 71.00         |
| 39.0667                        | 16.09        | 0.4015                              | 2.30574                    | 9.26          |
| 40.9399                        | 33.89        | 0.2342                              | 2.20446                    | 19.50         |
| 43.7850                        | 37.39        | 0.1673                              | 2.06760                    | 21.52         |
| 44.9211                        | 49.28        | 0.1004                              | 2.01791                    | 28.36         |
| 51.9441                        | 20.21        | 0.2676                              | 1.76040                    | 11.63         |
| 52.9829                        | 28.22        | 0.2007                              | 1.72831                    | 16.24         |
| 53.8437                        | 119.67       | 0.1338                              | 1.70269                    | 68.88         |
| 56.4082                        | 31.99        | 0.2342                              | 1.63122                    | 18.41         |
| 61.9639                        | 29.30        | 0.3346                              | 1.49764                    | 16.86         |
| 63.7663                        | 18.38        | 0.4015                              | 1.45959                    | 10.58         |
| 68.4522                        | 36.35        | 0.2007                              | 1.37065                    | 20.92         |

**VI. Variasi Waktu 360 s**



**Peak List:** (*Bookmark 3*)

| Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] | Height [cts] | FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] | d-spacing [ $\text{\AA}$ ] | Rel. Int. [%] |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 26.5042                        | 187.45       | 0.0502                              | 3.36308                    | 28.30         |
| 27.1851                        | 662.33       | 0.0669                              | 3.28037                    | 100.00        |
| 32.3610                        | 26.66        | 0.2007                              | 2.76655                    | 4.02          |
| 33.9028                        | 14.71        | 0.4015                              | 2.64418                    | 2.22          |
| 35.6555                        | 129.62       | 0.1171                              | 2.51811                    | 19.57         |
| 38.9773                        | 16.22        | 0.4015                              | 2.31082                    | 2.45          |
| 40.8189                        | 61.30        | 0.1004                              | 2.21072                    | 9.26          |
| 43.7010                        | 31.35        | 0.2007                              | 2.07138                    | 4.73          |
| 47.0042                        | 23.72        | 0.1171                              | 1.93323                    | 3.58          |
| 53.8342                        | 215.97       | 0.1224                              | 1.70156                    | 32.61         |
| 53.9756                        | 141.82       | 0.0816                              | 1.70166                    | 21.41         |
| 56.2149                        | 94.12        | 0.1020                              | 1.63501                    | 14.21         |
| 61.9408                        | 22.73        | 0.4896                              | 1.49690                    | 3.43          |
| 63.5999                        | 52.17        | 0.1224                              | 1.46179                    | 7.88          |
| 68.4289                        | 70.49        | 0.1224                              | 1.36993                    | 10.64         |
| 83.4167                        | 11.37        | 0.6528                              | 1.15775                    | 1.72          |
| 88.5734                        | 42.12        | 0.1224                              | 1.10319                    | 6.36          |

**8. Data ICSD Reference Pattern**

**I.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$**

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Date: 04/07/2022 Time: 09:18:28

File: 3Merit

User: User

**Name and formula**

Reference code: 01-073-0603  
Mineral name: Hematite, syn  
Compound name: Iron Oxide  
ICSD name: Iron Oxide  
Empirical formula: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Chemical formula: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3c  
Space group number: 167  
a (Å): 5,0342  
b (Å): 5,0342  
c (Å): 13,7483  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,27  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 301,75  
Z: 6,00  
RIR: 0,06

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Inorganic  
Mineral  
Modelled additional pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 022505  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 022505  
Temperature Factor: ATF.

**References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Antipin, M.Y., Tzirelson, V.G., Flugge, M.P., Gerr, R.G., Struchkov, Y.T., Ozerov, R.P., *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **281**, 854, (1985)

1 Of 2

| No. | h | k | l  | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|----|---------|-------------|-------|
| 1   | 0 | 1 | 2  | 3,68171 | 24,154      | 2,6   |
| 2   | 1 | 0 | 4  | 2,69515 | 33,164      | 0,1   |
| 3   | 1 | 1 | 0  | 2,51710 | 35,640      | 100,0 |
| 4   | 1 | 1 | 3  | 2,20622 | 40,871      | 0,1   |
| 5   | 2 | 0 | 2  | 2,07790 | 43,519      | 0,1   |
| 6   | 0 | 2 | 4  | 1,84086 | 49,473      | 0,1   |
| 7   | 2 | 1 | 1  | 1,63612 | 56,174      | 0,1   |
| 8   | 1 | 2 | 2  | 1,60243 | 57,463      | 0,1   |
| 9   | 0 | 1 | 8  | 1,59881 | 57,606      | 0,1   |
| 10  | 3 | 0 | 0  | 1,45325 | 64,018      | 0,1   |
| 11  | 2 | 0 | 8  | 1,34958 | 69,608      | 0,1   |
| 12  | 1 | 0 | 10 | 1,31118 | 71,958      | 0,1   |
| 13  | 1 | 1 | 9  | 1,30591 | 72,294      | 0,1   |
| 14  | 2 | 2 | 0  | 1,25855 | 75,476      | 0,1   |
| 15  | 2 | 2 | 3  | 1,21362 | 78,797      | 0,1   |
| 16  | 1 | 3 | 1  | 1,20453 | 79,509      | 0,1   |
| 17  | 3 | 1 | 2  | 1,19089 | 80,606      | 0,1   |
| 18  | 1 | 3 | 4  | 1,14065 | 84,957      | 0,1   |
| 19  | 3 | 1 | 5  | 1,10688 | 88,201      | 0,1   |

## II. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:40:06 File: 4menit User: User

### Name and formula

Reference code: 00-026-1136  
Compound name: Iron Oxide  
PDF index name: Iron Oxide  
Empirical formula: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>  
Chemical formula: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
Space group: Fd-3m  
Space group number: 227  
a (Å): 8,0903  
b (Å): 8,0903  
c (Å): 8,0903  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,81  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 5,15  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 529,53  
Z: 8,00  
RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient pressure  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Inorganic  
Quality: Blank (B)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Pressure at 250 kbar. Sample Source or Locality: Specimen from Mineville, New York, USA  
Analysis: Electron microprobe analysis: Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 71.08, Ti, Si, Al, Mg, Ca, Mn, Cr, S, V, traces. Magnetic, high pressure form. Additional Patterns: See also 19-029.

### References

Primary reference: Mao et al., *J. Geophys. Res.*, **79**, 1165, (1974)

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta [deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|--------------|-------|
| 1   | 1 | 1 | 1 | 4,67000 | 18,988       | 10,0  |

1 Of 2

Date: 04/07/2022 Time: 09:40:06 File: 4menit User: User

|   |   |   |   |         |        |       |
|---|---|---|---|---------|--------|-------|
| 2 | 2 | 2 | 0 | 2,86000 | 31,249 | 30,0  |
| 3 | 3 | 1 | 1 | 2,43900 | 36,821 | 100,0 |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 2,33500 | 38,525 | 10,0  |
| 5 | 4 | 0 | 0 | 2,02300 | 44,763 | 30,0  |
| 6 | 4 | 2 | 2 | 1,65100 | 55,623 | 20,0  |
| 7 | 5 | 1 | 1 | 1,55700 | 59,304 | 40,0  |
| 8 | 4 | 4 | 0 | 1,43000 | 65,186 | 50,0  |
| 9 | 5 | 3 | 3 | 1,23400 | 77,251 | 10,0  |

## III. FeO

### Name and formula

Reference code: 00-049-1447  
Compound name: Iron Oxide  
PDF index name: Iron Oxide  
Empirical formula: FeO  
Chemical formula: FeO

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
a (Å): 2,5740  
b (Å): 2,5740  
c (Å): 5,1720  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 29,68  
RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature  
Subfiles: Corrosion  
Inorganic  
Quality: Blank (B)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Sample Preparation: FeO was placed in an externally heated diamond anvil cell and heated to 527 C under 96 GPa pressure. Transforms to cubic phase below 45 GPa. Pattern taken at 96 GPa and 527 C. Phase transformation triple point at 66(3) GPa and 1020(50) K.

### References

Primary reference: Fei, Y., Mao, H.-K., *Science*, **266**, 1678, (1994)

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|-------------|-------|
| 1   | 0 | 0 | 2 | 2,59400 | 34,550      | 80,0  |
| 2   | 1 | 0 | 0 | 2,22400 | 40,529      | 50,0  |
| 3   | 1 | 0 | 1 | 2,04300 | 44,301      | 80,0  |
| 4   | 1 | 0 | 2 | 1,68600 | 54,372      | 100,0 |
| 5   | 0 | 0 | 4 | 1,29300 | 73,132      | 35,0  |
| 6   | 1 | 1 | 2 | 1,15300 | 83,839      | 35,0  |

## IV. SnO2

Date: 04/07/2022 Time: 09:24:52

File: 3Menit

User: User

### Name and formula

Reference code: 01-077-0448

Mineral name: Cassiterite, syn  
Compound name: Tin Oxide  
ICSD name: Tin Oxide

Empirical formula: O<sub>2</sub>Sn  
Chemical formula: SnO<sub>2</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal  
Space group: P42/mnm  
Space group number: 136

a (Å): 4,7391  
b (Å): 4,7391  
c (Å): 3,1869  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 6,99  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 71,57  
Z: 2,00

RIR: 9,82

### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Inorganic  
Mineral  
Modelled additional pattern

Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 039174  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 039174  
Temperature Factor: ATF  
Calculated Pattern Original Remarks: REM TEM 470.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Seki, H., Ishizawa, N., Mizutani, N., Kato, M., *Yogyo Kyokaishi (J. Ceram. Assoc. Jpn.)*, **92**, 219, (1984)

1 Of 2

Date: 04/07/2022 Time: 09:24:52

File: 3Menit

User: User

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|-------------|-------|
| 1   | 1 | 1 | 0 | 3,35105 | 26,579      | 100,0 |
| 2   | 1 | 0 | 1 | 2,64456 | 33,869      | 75,8  |
| 3   | 2 | 0 | 0 | 2,36955 | 37,941      | 20,9  |
| 4   | 1 | 1 | 1 | 2,30933 | 38,970      | 3,5   |
| 5   | 2 | 1 | 0 | 2,11939 | 42,625      | 1,2   |
| 6   | 2 | 1 | 1 | 1,76477 | 51,760      | 54,5  |
| 7   | 2 | 2 | 0 | 1,67552 | 54,740      | 12,6  |
| 8   | 0 | 0 | 2 | 1,59345 | 57,818      | 6,1   |
| 9   | 3 | 1 | 0 | 1,49864 | 61,861      | 11,3  |
| 10  | 2 | 2 | 1 | 1,48305 | 62,584      | 0,1   |
| 11  | 1 | 1 | 2 | 1,43904 | 64,727      | 11,4  |
| 12  | 3 | 0 | 1 | 1,41536 | 65,946      | 14,1  |
| 13  | 3 | 1 | 1 | 1,35617 | 69,221      | 0,2   |
| 14  | 2 | 0 | 2 | 1,32228 | 71,261      | 5,5   |
| 15  | 2 | 1 | 2 | 1,27363 | 74,430      | 0,2   |
| 16  | 3 | 2 | 1 | 1,21510 | 78,683      | 8,3   |
| 17  | 4 | 0 | 0 | 1,18478 | 81,108      | 2,6   |
| 18  | 2 | 2 | 2 | 1,15466 | 83,691      | 5,5   |
| 19  | 4 | 1 | 0 | 1,14940 | 84,161      | 0,3   |
| 20  | 3 | 3 | 0 | 1,11702 | 87,197      | 2,5   |
| 21  | 3 | 1 | 2 | 1,09168 | 89,758      | 6,5   |

## V. SiO<sub>2</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:37:18

File: 4menit

User: User

### Name and formula

Reference code: 01-085-0335  
 Mineral name: Quartz low  
 Compound name: Silicon Oxide  
 ICSD name: Silicon Oxide  
 Empirical formula: O<sub>2</sub>Si  
 Chemical formula: SiO<sub>2</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
 Space group: P3221  
 Space group number: 154  
 a (Å): 4,9134  
 b (Å): 4,9134  
 c (Å): 5,4052  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,65  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 113,01  
 Z: 3,00  
 RIR: 0,14

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Mineral  
Modelled additional pattern  
Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 000174  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 000174  
ICSD SG: P3221S IT is: 154 SG short form: P3221. Temperature Factor: ATF. Calculated  
Pattern Original Remarks: REM TEM 293. Test from ICSD: At least one TF implausible.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: le-Page, Y., Donnay, G., *Acta Crystallogr., Sec. B*, **32**, 2456, (1976)

### Peak list

1 Of 3

Date: 04/07/2022 Time: 09:37:18

File: 4menit

User: User

| No. | h | k | l  | d [Å]   | 2Theta [deg] | I [%] |
|-----|---|---|----|---------|--------------|-------|
| 1   | 1 | 0 | 0  | 4,25513 | 20,859       | 25,2  |
| 2   | 0 | 1 | 1  | 3,34342 | 26,640       | 100,0 |
| 3   | 1 | 1 | 0  | 2,45670 | 36,547       | 1,6   |
| 4   | 1 | 0 | 2  | 2,28134 | 39,468       | 1,8   |
| 5   | 1 | 1 | -1 | 2,23653 | 40,292       | 0,9   |
| 6   | 2 | 0 | 0  | 2,12756 | 42,453       | 1,0   |
| 7   | 2 | 0 | 1  | 1,97972 | 45,796       | 0,1   |
| 8   | 1 | 1 | -2 | 1,81788 | 50,141       | 0,1   |
| 9   | 0 | 0 | 3  | 1,80173 | 50,622       | 0,1   |
| 10  | 0 | 2 | 2  | 1,67171 | 54,876       | 0,1   |
| 11  | 1 | 0 | 3  | 1,65913 | 55,327       | 0,1   |
| 12  | 1 | 2 | 0  | 1,60829 | 57,234       | 0,1   |
| 13  | 1 | 2 | -1 | 1,54150 | 59,961       | 0,1   |
| 14  | 1 | 1 | -3 | 1,45288 | 64,036       | 0,1   |
| 15  | 3 | 0 | 0  | 1,41838 | 65,788       | 0,1   |
| 16  | 2 | 1 | -2 | 1,38208 | 67,745       | 0,1   |
| 17  | 0 | 2 | 3  | 1,37494 | 68,145       | 0,1   |
| 18  | 0 | 3 | 1  | 1,37193 | 68,315       | 0,1   |
| 19  | 0 | 1 | 4  | 1,28792 | 73,467       | 0,1   |
| 20  | 0 | 3 | 2  | 1,25592 | 75,662       | 0,1   |
| 21  | 2 | 2 | 0  | 1,22835 | 77,673       | 0,1   |
| 22  | 2 | 1 | -3 | 1,19982 | 79,884       | 0,1   |
| 23  | 2 | 2 | 1  | 1,19781 | 80,045       | 0,1   |
| 24  | 1 | 1 | -4 | 1,18401 | 81,172       | 0,1   |
| 25  | 3 | 1 | 0  | 1,18016 | 81,492       | 0,1   |
| 26  | 1 | 3 | 1  | 1,15300 | 83,839       | 0,1   |
| 27  | 0 | 2 | 4  | 1,14067 | 84,956       | 0,1   |
| 28  | 2 | 2 | -2 | 1,11826 | 87,076       | 0,1   |
| 29  | 0 | 3 | 3  | 1,11447 | 87,447       | 0,1   |

## VI. TiO<sub>2</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:10:37

File: 3Menit

User: User

### Name and formula

Reference code: 01-077-0446  
Mineral name: Rutile, syn  
Compound name: Titanium Oxide  
ICSD name: Titanium Oxide  
Empirical formula: O<sub>2</sub>Ti  
Chemical formula: TiO<sub>2</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal  
Space group: P4<sub>2</sub>/mnm  
Space group number: 136  
a (Å): 4,6325  
b (Å): 4,6325  
c (Å): 2,9912  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,13  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 64,19  
Z: 2,00  
RIR: 3,30

### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Inorganic  
Mineral  
Modelled additional pattern  
Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 039172  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 039172  
Temperature Factor: ATF  
Calculated Pattern Original Remarks: REM TEM 1280.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Seki, H., Ishizawa, N., Mizutani, N., Kato, M., *Yogyo Kyokaiishi (J. Ceram. Assoc. Jpn.)*, **92**, 219, (1984)

1 Of 2

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|-------------|-------|
| 1   | 1 | 1 | 0 | 3,27567 | 27,202      | 100,0 |
| 2   | 1 | 0 | 1 | 2,51288 | 35,702      | 43,3  |
| 3   | 2 | 0 | 0 | 2,31625 | 38,849      | 6,2   |
| 4   | 1 | 1 | 1 | 2,20883 | 40,820      | 16,4  |
| 5   | 2 | 1 | 0 | 2,07172 | 43,655      | 5,9   |
| 6   | 2 | 1 | 1 | 1,70311 | 53,781      | 42,6  |
| 7   | 2 | 2 | 0 | 1,63784 | 56,109      | 11,3  |
| 8   | 0 | 0 | 2 | 1,49560 | 62,001      | 5,8   |
| 9   | 3 | 1 | 0 | 1,46493 | 63,448      | 5,0   |
| 10  | 2 | 2 | 1 | 1,43658 | 64,851      | 0,3   |
| 11  | 3 | 0 | 1 | 1,37212 | 68,305      | 11,7  |
| 12  | 1 | 1 | 2 | 1,36050 | 68,970      | 6,3   |
| 13  | 3 | 1 | 1 | 1,31562 | 71,677      | 0,6   |
| 14  | 3 | 2 | 0 | 1,28482 | 73,674      | 0,2   |
| 15  | 2 | 0 | 2 | 1,25644 | 75,625      | 1,2   |
| 16  | 2 | 1 | 2 | 1,21263 | 78,874      | 0,7   |
| 17  | 3 | 2 | 1 | 1,18053 | 81,461      | 1,8   |
| 18  | 4 | 0 | 0 | 1,15613 | 83,384      | 1,2   |
| 19  | 4 | 1 | 0 | 1,12355 | 86,565      | 0,5   |
| 20  | 2 | 2 | 2 | 1,10442 | 88,449      | 3,1   |
| 21  | 3 | 3 | 0 | 1,09189 | 89,736      | 1,4   |

## VII. FeTiO<sub>3</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:45:02 File: 5Menit User: User

### Name and formula

Reference code: 01-075-1204  
 Mineral name: ilmenite, syn  
 Compound name: Iron Titanium Oxide  
 ICSD name: Iron Titanium Oxide  
 Empirical formula: FeO<sub>3</sub>Ti  
 Chemical formula: FeTiO<sub>3</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral  
 Space group: R-3  
 Space group number: 148  
 a (Å): 5,1080  
 b (Å): 5,1080  
 c (Å): 14,1287  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,74  
 Volume of cell (10<sup>-6</sup> pm<sup>3</sup>): 319,25  
 Z: 6,00  
 RIR: 2,81

### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature  
 Diffraction data collected at non ambient pressure  
 Subfiles: Corrosion  
 Inorganic  
 Mineral  
 Modelled additional pattern  
 Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 030665  
 Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 ICSD Collection Code: 030665  
 Calculated Pattern Original Remarks: REM TEM 673  
 Temperature Factor: ITF  
 Calculated Pattern Original Remarks: REM PRE Mentioned.

### References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)  
 Structure: Wechsler, B.A., Prewitt, C.T., *Am. Mineral.*, **69**, 176, (1984)

1 Of 3

**Peak list**

| No. | h | k | l  | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|----|---------|-------------|-------|
| 1   | 0 | 0 | 3  | 4,70957 | 18,827      | 0,2   |
| 2   | 1 | 0 | 1  | 4,22157 | 21,027      | 0,3   |
| 3   | 0 | 1 | 2  | 3,74924 | 23,712      | 34,5  |
| 4   | 1 | 0 | 4  | 2,76922 | 32,410      | 100,0 |
| 5   | 1 | 1 | 0  | 2,55400 | 35,108      | 67,5  |
| 6   | 0 | 1 | 5  | 2,38136 | 37,746      | 0,1   |
| 7   | 0 | 0 | 6  | 2,35478 | 38,188      | 1,7   |
| 8   | 1 | 1 | -3 | 2,24512 | 40,132      | 22,1  |
| 9   | 0 | 2 | 1  | 2,18521 | 41,281      | 1,2   |
| 10  | 2 | 0 | 2  | 2,11079 | 42,807      | 1,5   |
| 11  | 0 | 2 | 4  | 1,87462 | 48,524      | 32,1  |
| 12  | 1 | 0 | 7  | 1,83628 | 49,605      | 0,5   |
| 13  | 2 | 0 | 5  | 1,74171 | 52,497      | 0,9   |
| 14  | 1 | 1 | -6 | 1,73123 | 52,839      | 41,9  |
| 15  | 1 | 2 | -1 | 1,66040 | 55,281      | 0,6   |
| 16  | 0 | 1 | 8  | 1,64020 | 56,022      | 6,8   |
| 17  | 2 | 1 | -2 | 1,62704 | 56,515      | 2,3   |
| 18  | 0 | 0 | 9  | 1,56986 | 58,771      | 0,1   |
| 19  | 1 | 2 | -4 | 1,51123 | 61,290      | 23,6  |
| 20  | 0 | 2 | 7  | 1,49092 | 62,217      | 0,2   |
| 21  | 3 | 0 | 0  | 1,47455 | 62,986      | 23,2  |
| 22  | 2 | 1 | -5 | 1,43896 | 64,731      | 0,3   |
| 23  | 0 | 3 | 3  | 1,40719 | 66,378      | 0,1   |
| 24  | 2 | 0 | 8  | 1,38011 | 67,855      | 1,8   |
| 25  | 1 | 0 | 10 | 1,34589 | 69,826      | 8,0   |
| 26  | 1 | 1 | -9 | 1,33741 | 70,334      | 1,8   |
| 27  | 1 | 2 | -7 | 1,28759 | 73,489      | 0,2   |
| 28  | 2 | 2 | 0  | 1,27700 | 74,200      | 4,7   |
| 29  | 3 | 0 | 6  | 1,24975 | 76,102      | 1,7   |
| 30  | 2 | 2 | -3 | 1,23250 | 77,363      | 0,9   |
| 31  | 1 | 3 | 1  | 1,22230 | 78,131      | 0,1   |
| 32  | 2 | 1 | -8 | 1,21418 | 78,754      | 2,6   |
| 33  | 3 | 1 | 2  | 1,20891 | 79,172      | 1,3   |
| 34  | 0 | 2 | 10 | 1,19068 | 80,623      | 3,9   |
| 35  | 0 | 0 | 12 | 1,17739 | 81,725      | 0,2   |
| 36  | 1 | 3 | 4  | 1,15898 | 83,309      | 5,4   |
| 37  | 2 | 2 | -6 | 1,12256 | 86,660      | 5,0   |
| 38  | 2 | 0 | 11 | 1,11073 | 87,817      | 0,1   |
| 39  | 4 | 0 | 1  | 1,10254 | 88,639      | 0,1   |
| 40  | 0 | 4 | 2  | 1,09261 | 89,661      | 0,5   |

**VIII. ThO<sub>2</sub>**

Date: 04/07/2022 Time: 09:28:20 File: 3Menit User: User

**Name and formula**

Reference code: 00-004-0556  
 Mineral name: Thorianite, syn  
 Compound name: Thorium Oxide  
 Common name: thoria  
 PDF index name: Thorium Oxide  
 Empirical formula: O<sub>2</sub>Th  
 Chemical formula: ThO<sub>2</sub>

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
 Space group: Fm-3m  
 Space group number: 225  
 a (Å): 5,6000  
 b (Å): 5,6000  
 c (Å): 5,6000  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 90,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 9,99  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 9,70  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 175,62  
 Z: 4,00  
 RIR: -

**Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
 Common Phase  
 Educational pattern  
 Inorganic  
 Mineral  
 NBS pattern  
 Quality: Star (S)

**Comments**

Color: Colorless  
 Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 Color: Colorless  
 Sample Source or Locality: Sample obtained from Lindsay Light and Chemical Company and was stated to be 99.99% pure. Measured density given in *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I 611*  
 Opaque mineral optical data on specimen from India: R<sub>3</sub>R% = 13.4, Disp. = Std. VHN<sub>200</sub> = 1150-1132  
 Temperature of Data Collection: Pattern taken at 26 C  
 Deleted Or Rejected By: Deleted by 42-1462, lower F<sub>01</sub>; Bayliss 1/92.

1 Of 2

Date: 04/07/2022 Time: 09:28:20 File: 3Menit User: User

**References**

Primary reference: Swanson, Tatge., *Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, I, 57, (1953)*  
 Other: *JMA Commission on Ore Microscopy QDF*

**Peak list**

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta [deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|--------------|-------|
| 1   | 1 | 1 | 1 | 3,23400 | 27,559       | 100,0 |
| 2   | 2 | 0 | 0 | 2,80000 | 31,937       | 35,0  |
| 3   | 2 | 2 | 0 | 1,98000 | 45,790       | 58,0  |
| 4   | 3 | 1 | 1 | 1,68900 | 54,267       | 64,0  |
| 5   | 2 | 2 | 2 | 1,61600 | 56,936       | 11,0  |
| 6   | 4 | 0 | 0 | 1,40000 | 66,763       | 8,0   |
| 7   | 3 | 3 | 1 | 1,28400 | 73,729       | 26,0  |
| 8   | 4 | 2 | 0 | 1,25200 | 75,941       | 17,0  |
| 9   | 4 | 2 | 2 | 1,14320 | 84,724       | 20,0  |
| 10  | 5 | 1 | 1 | 1,07790 | 91,226       | 19,0  |
| 11  | 4 | 4 | 0 | 0,99000 | 102,170      | 6,0   |
| 12  | 5 | 3 | 1 | 0,94650 | 108,946      | 18,0  |
| 13  | 6 | 0 | 0 | 0,93330 | 111,248      | 8,0   |
| 14  | 6 | 2 | 0 | 0,88540 | 120,918      | 14,0  |
| 15  | 5 | 3 | 3 | 0,85400 | 128,842      | 9,0   |
| 16  | 6 | 2 | 2 | 0,84410 | 131,726      | 9,0   |

Date: 04/07/2022 Time: 09:30:13

File: 3Menit

User: User

### Name and formula

Reference code: 00-001-1117  
Mineral name: Tenorite  
Compound name: Copper Oxide  
PDF index name: Copper Oxide  
Empirical formula: CuO  
Chemical formula: CuO

### Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic  
Space group: C2/c  
Space group number: 15  
a (Å): 4,6530  
b (Å): 3,4100  
c (Å): 5,1080  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 99,4800  
Gamma (°): 90,0000  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 6,10  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 79,94  
Z: 4,00  
RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Mineral  
Quality: Blank (B)

### Comments

Color: Iron gray to black  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Deleted Or Rejected By: Deleted by NBS  
Color: Iron gray to black  
Optical Data: B=2.63, 2V=70(15)°.

### References

Primary reference: Hanawalt. et al., *Anal. Chem.*, **10**, 475, (1938)  
Unit cell: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*

### Peak list

1 Of 2

Date: 04/07/2022 Time: 09:30:13 File: 3Menit User: User

| No. | h  | k | l | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|----|---|---|---------|-------------|-------|
| 1   | -1 | 1 | 1 | 2,51000 | 35,744      | 100,0 |
| 2   | 1  | 1 | 1 | 2,31000 | 38,958      | 100,0 |
| 3   | -2 | 0 | 2 | 1,85000 | 49,212      | 20,0  |
| 4   | 0  | 2 | 0 | 1,70000 | 53,888      | 8,0   |
| 5   | 2  | 0 | 2 | 1,57000 | 58,765      | 8,0   |
| 6   | -1 | 1 | 3 | 1,50000 | 61,799      | 15,0  |
| 7   | 0  | 2 | 2 | 1,41000 | 66,229      | 20,0  |
| 8   | 2  | 2 | 0 | 1,37000 | 68,425      | 20,0  |
| 9   | 3  | 1 | 1 | 1,30000 | 72,675      | 5,0   |
| 10  | 0  | 0 | 4 | 1,26000 | 75,374      | 10,0  |
| 11  | -3 | 1 | 3 | 1,16000 | 83,219      | 5,0   |
| 12  | -1 | 3 | 1 | 1,09000 | 89,934      | 3,0   |
| 13  | 0  | 2 | 4 | 1,01000 | 99,401      | 3,0   |
| 14  | -1 | 1 | 5 | 0,98000 | 103,630     | 3,0   |
| 15  | 5  | 1 | 0 | 0,89000 | 119,881     | 3,0   |

## X. CaTiO<sub>3</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:31:59 File: 3Menit User: User

### Name and formula

Reference code: 00-040-0043  
 Compound name: Calcium Titanium Oxide  
 PDF index name: Calcium Titanium Oxide  
 Empirical formula: CaO<sub>3</sub>Ti  
 Chemical formula: CaTiO<sub>3</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
 a (Å): 6,9340  
 b (Å): 6,9340  
 c (Å): 7,5070  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 312,58  
 Z: 6,00

RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient pressure  
 Subfiles: Corrosion  
 Inorganic  
 Quality: Blank (B)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 Temperature of Data Collection: Taken at 15.4 GPa at room temperature. Form II.

### References

Primary reference: Xiong, D., Ming, L., Manghnani, M., *Phys. Earth Planet. Inter.*, **43**, 244, (1986)

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|-------------|-------|
| 1   | 1 | 1 | 0 | 3,44000 | 25,879      | 10,0  |
| 2   | 2 | 0 | 0 | 3,00000 | 29,757      | 30,0  |
| 3   | 0 | 0 | 3 | 2,49500 | 35,966      | 10,0  |
| 4   | 1 | 0 | 3 | 2,30300 | 39,081      | 70,0  |
| 5   | 2 | 1 | 1 | 2,17100 | 41,564      | 10,0  |
| 6   | 1 | 1 | 3 | 2,03600 | 44,462      | 100,0 |
| 7   | 3 | 0 | 0 | 1,99100 | 45,522      | 10,0  |
| 8   | 3 | 0 | 2 | 1,76600 | 51,721      | 80,0  |

1 Of 2

T0 3 3 4 T^51300 14^413 30^0  
 8 4 0 3 T^38800 68^880 T0^0  
 Date: 04/07/2022 Time: 09:31:28 File: 3Menit User: User

## XI. $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$

Date: 04/07/2022 Time: 09:32:42

File: 3Menit

User: User

### Name and formula

Reference code: 00-001-1012  
Compound name: Calcium Silicate Oxide  
PDF index name: Calcium Silicate Oxide  
Empirical formula:  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$   
Chemical formula:  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown

RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Inorganic  
Quality: Blank (B)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Deleted Or Rejected By: Delete: Berry Parcel of October 29, 1957.

### References

Primary reference: Hanawalt, et al., *Anal. Chem.*, **10**, 475, (1938)

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta [deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|--------------|-------|
| 1   |   |   |   | 2,77000 | 32,292       | 100,0 |
| 2   |   |   |   | 2,62000 | 34,196       | 40,0  |
| 3   |   |   |   | 2,43000 | 36,963       | 16,0  |
| 4   |   |   |   | 2,28000 | 39,492       | 12,0  |
| 5   |   |   |   | 2,19000 | 41,187       | 50,0  |
| 6   |   |   |   | 2,03000 | 44,600       | 16,0  |
| 7   |   |   |   | 1,98000 | 45,790       | 32,0  |
| 8   |   |   |   | 1,90000 | 47,835       | 16,0  |
| 9   |   |   |   | 1,80000 | 50,674       | 12,0  |
| 10  |   |   |   | 1,70000 | 53,888       | 8,0   |
| 11  |   |   |   | 1,62000 | 56,783       | 16,0  |
| 12  |   |   |   | 1,52000 | 60,899       | 12,0  |
| 13  |   |   |   | 1,49000 | 62,260       | 12,0  |
| 14  |   |   |   | 1,37000 | 68,425       | 8,0   |
| 15  |   |   |   | 1,29000 | 73,330       | 4,0   |
| 16  |   |   |   | 1,25000 | 76,084       | 4,0   |
| 17  |   |   |   | 1,18000 | 81,506       | 4,0   |

1 of 2

Date: 04/07/2022 Time: 09:31:59

File: 3Menit

User: User

|    |   |   |   |         |        |      |
|----|---|---|---|---------|--------|------|
| 9  | 4 | 0 | 2 | 1,39600 | 66,980 | 10,0 |
| 10 | 2 | 2 | 4 | 1,27300 | 74,473 | 30,0 |

## XII. FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:54:40

File: 5 menit

User: User

### Name and formula

Reference code: 01-076-2372  
 Compound name: Iron Titanium Oxide  
 ICSD name: Iron Titanium Oxide  
 Empirical formula: FeO<sub>5</sub>Ti<sub>2</sub>  
 Chemical formula: FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic  
 Space group: Cmcm  
 Space group number: 63  
 a (Å): 3,7560  
 b (Å): 9,8120  
 c (Å): 10,0930  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 90,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,14  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 371,97  
 Z: 4,00  
 RIR: 2,18

### Subfiles and Quality

Subfiles: Corrosion  
 Inorganic  
 Modelled additional pattern  
 Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 037231  
 Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 ICSD Collection Code: 037231  
 Test from ICSD: No R value given  
 Temperature Factor: ITF.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
 Structure: Mueller-Buschbaum, H., Waburg, M., *Monatsh. Chem.*, **114**, 21, (1983)

### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å] | 2Theta[deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|-------|-------------|-------|
|-----|---|---|---|-------|-------------|-------|

1 Of 3

Date: 04/07/2022 Time: 09:32:42

File: 3Menit

User: User

|    |  |  |  |         |        |     |
|----|--|--|--|---------|--------|-----|
| 18 |  |  |  | 1,13000 | 85,950 | 4,0 |
|----|--|--|--|---------|--------|-----|

### XIII. Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>

Date: 04/07/2022 Time: 09:32:42

File: 3Ment

User: User

#### Name and formula

Reference code: 00-001-1012  
 Compound name: Calcium Silicate Oxide  
 PDF index name: Calcium Silicate Oxide  
 Empirical formula: Ca<sub>2</sub>O<sub>4</sub>Si  
 Chemical formula: Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>

#### Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown

RIR: -

#### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
 Subfiles: Inorganic  
 Quality: Blank (B)

#### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 Deleted Or Rejected By: Delete: Berry Parcel of October 29, 1957.

#### References

Primary reference: Hanawalt, et al., *Anal. Chem.*, **10**, 475, (1938)

#### Peak list

| No. | h | k | l | d [Å]   | 2Theta [deg] | I [%] |
|-----|---|---|---|---------|--------------|-------|
| 1   |   |   |   | 2,77000 | 32,292       | 100,0 |
| 2   |   |   |   | 2,62000 | 34,196       | 40,0  |
| 3   |   |   |   | 2,43000 | 36,963       | 16,0  |
| 4   |   |   |   | 2,28000 | 39,492       | 12,0  |
| 5   |   |   |   | 2,19000 | 41,187       | 50,0  |
| 6   |   |   |   | 2,03000 | 44,600       | 16,0  |
| 7   |   |   |   | 1,98000 | 45,790       | 32,0  |
| 8   |   |   |   | 1,90000 | 47,835       | 16,0  |
| 9   |   |   |   | 1,80000 | 50,674       | 12,0  |
| 10  |   |   |   | 1,70000 | 53,888       | 8,0   |
| 11  |   |   |   | 1,62000 | 56,783       | 16,0  |
| 12  |   |   |   | 1,52000 | 60,899       | 12,0  |
| 13  |   |   |   | 1,49000 | 62,260       | 12,0  |
| 14  |   |   |   | 1,37000 | 68,425       | 8,0   |
| 15  |   |   |   | 1,29000 | 73,330       | 4,0   |
| 16  |   |   |   | 1,25000 | 76,084       | 4,0   |
| 17  |   |   |   | 1,18000 | 81,506       | 4,0   |

1 Of 2

Date: 04/07/2022 Time: 09:32:42

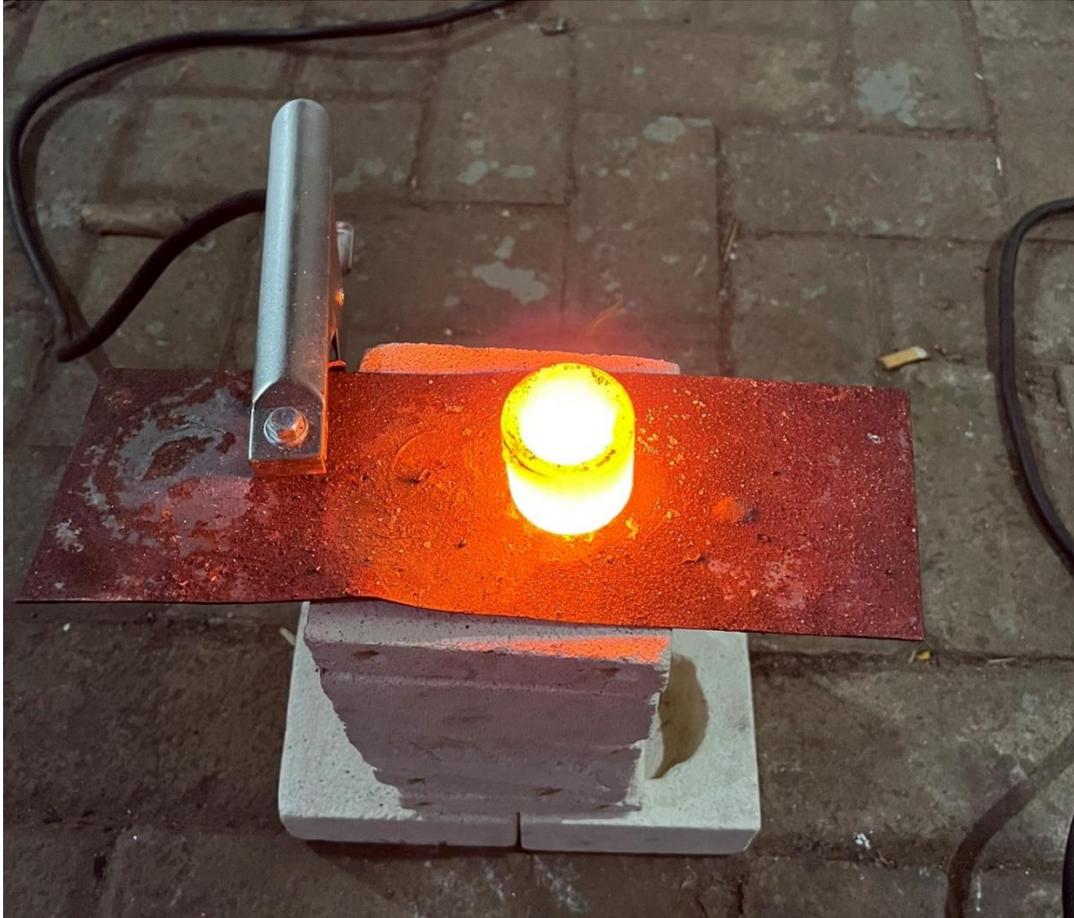
File: 3Ment

User: User

|    |  |  |  |         |        |     |
|----|--|--|--|---------|--------|-----|
| 18 |  |  |  | 1,13000 | 85,950 | 4,0 |
|----|--|--|--|---------|--------|-----|

9. Dokumentasi Penelitian





---

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada akhir buku tugas akhir ini penulis sadar bahwasanya terdapat elemen-elemen yang ikut membantu untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Sebagai memori untuk Mereka yang senantiasa ikut berperan, memberikan dukungan, dan membantu dalam penelitian tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Allah SWT. atas rahmat, berkat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yaitu Mulyadi dan Bahraini Hanim yang senantiasa memberikan dukungan berupa doa, semangat, dan materil, kedua adik penulis Raisya Mulan Aniswa dan Putri Narqis Annazari yang senantiasa memberikan doa dan semangat, Minek dan Nenek yang senantiasa berdoa dan memberikan semangat, serta seluruh keluarga besar penulis.
3. Teman berbagi cerita, batu, keliling Surabaya, ML, di TKP yaitu Wildan, Diaz, Khalis, dan Fatahillah.
4. Keluarga PMKTR yang senantiasa memberikan dukungan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan ilmu dan nasihat selama masa perkuliahan berlangsung.
6. Bapak Fakhreza Abdul dan bapak Sungging Pintowantoro yang telah membimbing dan memberikan ilmu baru untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Keluarga besar MT20 yang selalu ada menemani selama proses perkuliahan ini.
8. Raihan dan Akbar sebagai rekan penelitian tugas akhir yang saling membantu dalam pelaksanaan penelitian.
9. Anggota Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material yang lain, yaitu Fadhlhan, Rachmat, Zafi, Ganang, Edrick, Yulindarika, dan Jojo yang selalu menemani dan memberikan dukungan ketika melaksanakan penelitian tugas akhir di laboratorium.
10. Grader Pengolahan Mineral dan Material dan praktikan penulis yang memberikan pengalaman baru.
11. MT17, MT18, dan MT19 yang banyak memberikan wejangan dan pembelajaran.
12. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan serta memohon maaf apabila terdapat pihak – pihak yang belum dituliskan dalam halaman ini. Semoga kebaikan yang telah diberikan dibalas oleh Allah SWT.. Oleh karena itu, penulis senantiasa berdoa agar diberikan waktu dan kesempatan suatu saat nanti untuk bertemu. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut.

Surabaya, 1 Juli 2022  
Penulis

Azrial Syah Reza

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Azrial Syah Reza. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Mulyadi dan Ibu Bahraini Hanim. Dilahirkan di Karang Baru, Kabupaten Aceh Tamiang, Aceh pada tanggal 13 September 2000, Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 2 Percontohan Karang Baru (2006-2012), SMPN 4 Percontohan Karang Baru (2012-2015), dan SMAN Modal Bangsa Aceh (2015-2018), kemudian melanjutkan studi sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, Surabaya, melalui jalur penerimaan mahasiswa baru SNMPTN pada tahun 2018. Selama menjalani masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik sebagai Grader Pengolahan Mineral dan Material 2021/2022. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi yang berhubungan dengan jurusan yaitu IMAC (ITS *Material Advance* Chapter). Penulis juga turut aktif dalam kegiatan non-akademik sebagai Kabiro Akademik

Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2021 dan Staf Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2019/2020. Sebagai persiapan dan pengalaman dalam bekerja, penulis melaksanakan kerja praktik selama 6 minggu di PT. Rexic Persada Utama Surabaya. Sementara itu, untuk menyelesaikan studi sarjana, penulis melakukan penelitian tugas akhir dalam bidang keprofesian Metalurgi Ekstraksi dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi Waktu Dalam Proses Smelting Pasir Monasit Menggunakan *Electric Arc Furnace* Terhadap Komposisi Senyawa dan *Grade ThO<sub>2</sub>*”. Apabila terdapat hal yang ingin ditanyakan atau didiskusikan, penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [azrialsyahreza25@gmail.com](mailto:azrialsyahreza25@gmail.com), dan profil *linkedin*: [linkedin.com/in/azrialsyahreza/](https://www.linkedin.com/in/azrialsyahreza/).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*