

**TUGAS AKHIR – TL184834**

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

**RAIHAN MAULANA GHUFRAN**  
NRP. 0251184000093

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 TEMPERATUR *ELECTRIC ARC FURNACE* DALAM PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO<sub>2</sub>**

**RAIHAN MAULANA GHUFRAN**  
NRP. 02511840000093

Dosen Pembimbing  
**Fahreza 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 *ELECTRIC ARC FURNACE*  
TEMPERATURE VARIATIONS IN THE MONASITE SAND  
*SMELTING* PROCESS ON COMPOUND COMPOSITION AND  
ThO<sub>2</sub> *GRADE***

**RAIHAN MAULANA GHUFRAN**  
NRP. 0251184000093

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 left blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

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

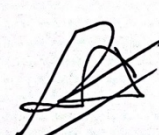
#### TUGAS AKHIR

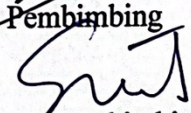
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **RAIHAN MAULANA GHUFRAN**  
NRP. 0251184000093

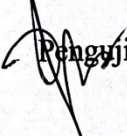
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

  
Pembimbing

  
Ko-Pembimbing

  
Penguji

  
Penguji



**SURABAYA**  
Juli, 2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF *ELECTRIC ARC FURNACE* TEMPERATURE VARIATIONS IN THE MONASITE SAND *SMELTING* PROCESS 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  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **RAIHAN MAULANA GHUFRAN**  
NRP. 0251184000093

Approved by Final Project Examiner Team :

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



**SURABAYA**  
**July, 2022**

*[Signature]*  
Advisor

*[Signature]*  
Co-Advisor

*[Signature]*  
Examiner

*[Signature]*  
Examiner

*(This page is intentionally blank)*



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Raihan Maulana Ghufuran/0251184000093  
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 Temperatur *Electric Arc Furnace* Dalam Proses *Smelting* Pasir Monasit 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.

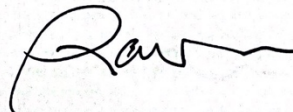
Surabaya, 4 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa



(Raihan Maulana Ghufuran)  
NRP. 0251184000093

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Raihan Maulana Ghufan/0251184000093  
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 ELECTRIC ARC FURNACE TEMPERATURE VARIATIONS IN THE MONASITE SAND SMELTING PROCESS 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.

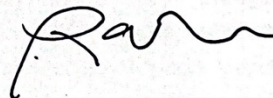
Surabaya, 4<sup>th</sup> July 2022

Acknowledged  
Advisor



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

Student



(Raihan Maulana Ghufan)  
NRP. 0251184000093

*(This page is intentionally blank)*

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

**Nama** : Raihan Maulana Ghufran  
**NRP** : 0251184000093  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.  
**Pembimbing II** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.

**Abstrak**

Pada tahun 2015-2019 penggunaan listrik di Indonesia tumbuh dari angka 117 TWh hingga 168 TWh. Namun, pembangkit listrik masih didominasi dengan penggunaan bahan bakar fosil sebesar 83%. Keterbatasan bahan bakar fosil membuat perlunya dilakukan transisi menuju penggunaan energi terbarukan dimana salah satu opsinya adalah pembangkit listrik tenaga nuklir. Per tahun 2012 tercatat sebanyak 430 PLTN telah beroperasi dengan kapasitas 372.000 MW di seluruh dunia menggunakan uranium-235. Dengan penggunaan terus menerus, cadangan uranium dunia diperkirakan mulai menipis dan torium mulai dipertimbangkan sebagai pengganti bahan bakar PLTN. Namun untuk dapat digunakan sebagai sumber energi, torium harus diekstrak dengan baik dan memiliki kemurnian lebih dari 87%. Proses *smelting* menggunakan *Electric Arc Furnace* merupakan salah satu opsi untuk melakukan ekstraksi torium. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur EAF pada *smelting* pasir monasit terhadap komposisi senyawa dan *grade ThO<sub>2</sub>*. Bahan yang digunakan pada proses *smelting* adalah pasir monasit sebagai mineral utama, serbuk karbon sebagai reduktor, CaCO<sub>3</sub> sebagai aditif, dan SiO<sub>2</sub> sebagai flux. Proses *smelting* dilakukan dengan arus sebesar 70 A, tegangan sebesar 40 V selama 287 detik. Variasi temperatur yang digunakan adalah sebesar 1550°C, 1650°C, 1750°C, 1850°C, dan 1950°C. Setelah dilakukan *smelting*, dilakukan karakterisasi sampel melalui XRD dan XRF untuk menganalisis senyawa yang terbentuk serta komposisi senyawa dan *grade ThO<sub>2</sub>* yang terbentuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa didapatkan nilai kadar ThO<sub>2</sub> tertinggi pada variasi temperatur 1850°C dengan angka sebesar 0,44% dan nilai kadar terkecil berada pada variasi temperatur 1550°C dengan nilai kadar sebesar 0,32%. Sedangkan pada *recovery* senyawa ThO<sub>2</sub> didapatkan nilai tertinggi pada variasi temperatur 1550°C dengan nilai *recovery* sebesar 95,4% dan *recovery* terendah pada variasi temperatur 1950°C dengan nilai *recovery* sebesar 24,3%. Ini terjadi karena nilai perhitungan *recovery* yang didapatkan berbanding lurus dengan massa porsi non magnetik dari produk *smelting*.

**Kata Kunci:** *Temperatur, smelting, EAF, monasit, ThO<sub>2</sub>*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALYSIS ON EFFECT OF VARIATION *ELECTRIC ARC FURNACE*  
TEMPERATURE IN *SMELTING* PROCESS OF MONAZITE SAND ON  
COMPOUND COMPOSITION AND *GRADE* OF ThO<sub>2</sub>**

**Student Name** : Raihan Maulana Ghufan  
**NRP** : 0251184000093  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Supervisor** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.  
**Co-Supervisor** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng.

**Abstract**

In 2015-2019 electricity use in Indonesia grew from 117 TWh to 168 TWh. However, power generation is still dominated by the use of fossil fuels by 83%. The limitations of fossil fuels make it necessary to make a transition to the use of renewable energy where one of the options is nuclear power plants. As of 2012 there were 430 nuclear power plants operating with a capacity of 372,000 MW worldwide using uranium-235. With continuous use, the world's uranium reserves are estimated to be running low and thorium is being considered as a substitute for nuclear fuel. However, to be used as an energy source, thorium must be extracted properly and have a purity of more than 87%. The *smelting* process using an *Electric Arc Furnace* is an option for thorium extraction. This study aims to analyze the effect of EAF temperature variations on monazite sand *smelting* on compound composition and ThO<sub>2</sub> *grade*. The materials used in the *smelting* process are monazite sand as the main mineral, carbon powder as a reducing agent, CaCO<sub>3</sub> as an additive, and SiO<sub>2</sub> as a flux. The *smelting* process is carried out with a current of 70 A, a voltage of 40 V for 287 seconds. The temperature variations used are 1550°C, 1650°C, 1750°C, 1850°C, and 1950°C. After *smelting*, sample characterization was carried out using XRD and XRF to analyze the compounds formed and the composition of the compounds and the *grade* of ThO<sub>2</sub> formed. The results showed that the highest ThO<sub>2</sub> content value was obtained at a temperature variation of 1850°C with a value of 0.44% and the smallest concentration value was at a temperature variation of 1550°C with a concentration value of 0.32%. While the *recovery* of ThO<sub>2</sub> compounds obtained the highest value at a temperature variation of 1550°C with a *recovery* value of 95.4% and the lowest *recovery* at a temperature variation of 1950°C with a *recovery* value of 24.3%. This happens because the calculated *recovery* value obtained is directly proportional to the mass of the non-magnetic portion of the *smelting* product.

**Keyword:** *Temperature, smelting, EAF, monazite, ThO<sub>2</sub>.*

*(This page is intentionally blank)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>APPROVAL SHEET</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Monasit .....	5
2.2 Torium.....	5
2.3 Fluks Silika Dioksida .....	6
2.4 Reduktor Karbon.....	7
2.5 <i>Electric Arc Furnace</i> .....	8
2.6 Waktu Peleburan <i>Electric Arc Furnace</i> .....	9
2.7 Diagram Bouduard – Gaussnerr.....	9
2.8 Termodinamika Reduksi .....	10
2.9 <i>Grade, Recovery</i> , dan Basisitas.....	11
2.10 Temperatur dalam Proses <i>Smelting</i> .....	12
2.11 Penelitian Sebelumnya .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Diagram alir .....	19
3.2 Alat Penelitian.....	20
3.3 Bahan Penelitian .....	24
3.4 Metode Penelitian .....	25
3.4.1 Persiapan Material .....	26
3.4.2 Proses <i>Smelting</i> menggunakan EAF.....	26
3.4.3 Perlakuan Setelah Proses <i>Smelting</i> .....	26
3.5 Pengujian.....	27



3.5.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	27
3.5.2 Pengujian <i>X-ray Fluorescen</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> .....	28
3.6.3 Perhitungan Basisitas .....	29
3.7 Rancangan Penelitian .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian.....	31
4.2 Pengaruh Variasi Temperatur <i>Electric Arc Furnace</i> Terhadap Fasa Pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....	32
4.3 Pengaruh Variasi Temperatur <i>Electric Arc Furnace</i> Terhadap Komposisi Senyawa Pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....	32
4.4 Pengaruh Variasi Temperatur <i>Electric Arc Furnace</i> Terhadap <i>Recovery</i> Senyawa Utama Pada Pasir Monasit Hasil <i>Smelting</i> .....	39
4.5 Pengaruh Variasi Temperatur <i>Electric Arc Furnace</i> Terhadap Nilai <i>Separation Efficiency</i> (S.E.) .....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>49</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>95</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>97</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Pasir monasit .....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Diagram Ellingham proses reduksi karbon .....	8
<b>Gambar 2. 3</b> Skema dari <i>Electric Arc Furnace</i> .....	9
<b>Gambar 2. 4</b> Diagram Bouduard – Gausnerr .....	10
<b>Gambar 2. 5</b> Diagram Ellingham .....	11
<b>Gambar 2. 6</b> Grafik unsur yang tersekstrak dengan variasi pH umpan .....	13
<b>Gambar 2. 7</b> Grafik pengaruh waktu terhadap <i>recovery</i> pengendapan Th umpan larutan klorida.....	13
<b>Gambar 2. 8</b> Pengaruh temperatur terhadap persen terdekomposisi fosfat paada klasifikasi ukuran butir -200.....	14
<b>Gambar 2. 9</b> Hasil analisis torium dalam penentuan dosis optimal koagulan .....	14
<b>Gambar 2. 10</b> Pengaruh variasi <i>flux</i> terhadap <i>recovery</i> Fe pada <i>pig iron</i> hasil peleburan DRI .....	15
<b>Gambar 2. 11</b> Pengaruh arus terhadap <i>recovery</i> Fe pada <i>pig iron</i> .....	15
<b>Gambar 2. 12</b> Pengaruh rasio reduktor terhadap komposisi kimia pada produk logam .....	16
<b>Gambar 2. 13</b> Nilai <i>recovery</i> logam tanah jarang .....	16
<b>Gambar 2. 14</b> Hasil elstraksi besi dari <i>red mud</i> .....	17
<b>Gambar 2. 15</b> Grafik <i>recovery</i> ThO <sub>2</sub> hasil <i>smelting</i> pasir monasit .....	17
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir penelitian.....	20
<b>Gambar 3. 2</b> Neraca analitik .....	21
<b>Gambar 3. 3</b> Ayakan 50 <i>mesh</i> .....	21
<b>Gambar 3. 4</b> <i>Thermometer infrared</i> .....	21
<b>Gambar 3. 5</b> Oven .....	22
<b>Gambar 3. 6</b> Alat tumbuk.....	22
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Power supply</i> .....	22
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Crucible</i> .....	23
<b>Gambar 3. 9</b> Dimensi <i>crucible</i> .....	23
<b>Gambar 3. 10</b> Magnet neodimium .....	23
<b>Gambar 3. 11</b> Pasir monasit .....	24
<b>Gambar 3. 12</b> Fluks SiO <sub>2</sub> .....	24
<b>Gambar 3. 13</b> Serbuk karbon .....	24
<b>Gambar 3. 14</b> Serbuk CaCO <sub>3</sub> .....	25
<b>Gambar 3. 15</b> Aquades.....	25
<b>Gambar 3. 16</b> Elektroda grafit.....	25
<b>Gambar 3. 17</b> Skema proses <i>smelting</i> .....	26
<b>Gambar 3. 18</b> Perangkat alat XRD.....	27
<b>Gambar 3. 19</b> Perangkat alat XRF .....	28
<b>Gambar 4. 1</b> Hasil analisis pengujian XRD pasir monasit.....	31
<b>Gambar 4. 2</b> (a) Porsi magnetik produk hasil <i>smelting</i> , (b) Porsi non magnetik produk hasil <i>smelting</i> .....	32
<b>Gambar 4. 3</b> Hasil analisis XRD <i>smelting</i> pasir monasit.....	33
<b>Gambar 4. 4</b> Kadar Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hasil <i>smelting</i> pasir monasit.....	37
<b>Gambar 4. 5</b> Kadar TiO <sub>2</sub> hasil <i>smelting</i> pasir monasit.....	38
<b>Gambar 4. 6</b> Kadar ThO <sub>2</sub> hasil <i>smelting</i> pasir monasit .....	39
<b>Gambar 4. 7</b> Perbandingan nilai <i>recovery</i> senyawa utama pada hasil <i>smelting</i> pasir monasit dengan variasi temperatur .....	39
<b>Gambar 4. 8</b> Nilai basisitas pada produk hasil <i>smelting</i> .....	40
<b>Gambar 4. 9</b> Perbandingan nilai <i>separation efficiency</i> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , dan ThO <sub>2</sub> .....	41

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Sifat unsur torium .....	6
<b>Tabel 2. 2</b> Sifat senyawa torium dioksida .....	6
<b>Tabel 2. 3</b> Sifat umum silika .....	7
<b>Tabel 2. 4</b> Tabulasi penelitian sebelumnya .....	18
<b>Tabel 3. 1</b> Komposisi massa <i>smelting</i> pasir monasit .....	28
<b>Tabel 3. 2</b> Spesifikasi EAF pada <i>smelting</i> .....	28
<b>Tabel 3. 3</b> Rancangan Penelitian.....	29
<b>Tabel 4. 1</b> Komposisi senyawa oksida pasir monasit .....	31
<b>Tabel 4. 2</b> Senyawa dominan pasir monasit.....	32
<b>Tabel 4. 3</b> Senyawa yang terbentuk pada produk hasil <i>smelting</i> dengan variasi temperatur...35	
<b>Tabel 4. 4</b> Komposisi pasir monasit sebelum dan sesudah dilakukan <i>smelting</i> dengan variasi temperatur .....	36

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan sumber daya alam yang semakin meningkat menjadi salah satu permasalahan penting yang perlu diatasi. Penggunaan energi tak terbarukan dalam jangka waktu panjang tidak menjadi opsi yang begitu baik, oleh karena itu penggunaan energi terbarukan mulai menjadi solusi. Tenaga pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil dengan total penggunaan sebanyak 83% pada tahun 2015-2020. Penggunaan listrik di Indonesia tumbuh cukup pesat dari 221 TWh hingga 283 TWh pada tahun 2015-2019 (Lolla & Yang, 2021). Pada tahun 2019, kapasitas pembangkit listrik nasional mencapai 69.678,85 MW dengan presentase masing-masing pembangkit yang didominasi oleh PLTU sebesar 49,86% diikuti dengan produksi listrik PLTG sebesar 28,6%. Penggunaan pembangkit listrik melalui Energi Baru Terbarukan masih dapat dibilang cukup kecil dengan angka 14,8% dan diikuti oleh PLTD dengan angka 6,7% (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2020).

Keterbatasan energi dan meningkatnya angka kebutuhan penggunaan listrik menuntut solusi penggunaan pembangkit listrik dengan bahan dasar energi yang terbarukan dimana salah satu opsi energi terbarukan adalah nuklir. Per tahun 2012, sebanyak 430 pembangkit listrik tenaga nuklir komersial tercatat beroperasi dengan kapasitas sebesar 372.000 MW dan memiliki angka kontribusi sebesar 13,5% terhadap listrik di dunia (Dewita, 2012). Sedangkan di Indonesia, target operasi PLTN sendiri masih diproyeksikan untuk dimulai pada tahun 2027 dengan estimasi kapasitas PLTN mencapai 4,1 GWe pada tahun 2035 dan sekitar 21 GWe pada tahun 2050. Setiap PLTN dengan kapasitas 1000 Mwe diestimasikan membutuhkan bijih uranium setara dengan 40.000-200.000 ton per tahun (BATAN, 2015). Jenis reaktor yang digunakan masih didominasi dengan penggunaan uranium-235 dalam bentuk pellet uranium dioksida. Oleh karena itu penggunaan uranium-235 secara terus menerus dapat mengakibatkan cadangan uranium dunia mulai menipis dan lama kelamaan dapat habis. Oleh karena itu penggunaan torium sebagai sumber energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Torium (PLTT) menjadi salah satu opsi yang mulai dipertimbangkan sebagai alternatif pengganti uranium dalam penggunaannya sebagai sumber energi pada PLTN (Widodo et al., 2019).

Thorium merupakan salah satu alternatif sumber energi nuklir yang mulai ramai diperbincangkan. *Thorium* memiliki keunggulan yang diklaim aman dan murah serta resiko kemungkinan limbahnya untuk digunakan sebagai senjata nuklir sangat rendah. *Thorium* termasuk unsur yang ketersediaannya cukup banyak di seluruh dunia. Total jumlah sumber daya torium di Indonesia terbilang cukup banyak dengan angka sebesar 130.974 ton (BATAN, 2015). Umumnya thorium tersedia dalam mineral berupa *thorite* ( $\text{ThSiO}_4$ ), *thorianite* ( $\text{ThO}_2$ ) dan monasit ((Ce, La, Th, Nd, Y)  $\text{PO}_4$ ). Cadangan monasit yang berupa pasir monasit sendiri berasal dari hasil samping pencucian bijih timah PT Tambang Timah yang berada di pulau Bangka dan Belitung. Selain melalui pencucian bijih timah, cadangan pasir monasit di Indonesia juga terdapat di Singkep, Rirang, dan Tanah Merah (Widodo et al., 2019).

Agar dapat digunakan sebagai sumber energi listrik,  $\text{ThO}_2$  harus dapat diekstrak dengan baik dari pasir monasit dan memiliki kemurnian lebih dari 87%. Beberapa penelitian menjelaskan bahwa proses pengolahan pasir monasit dapat dilakukan dengan cara *solvent extraction*, *acid leaching*, dan pengendapan (Said et al., 2017). Pada tahun 2018, Aniza dkk. Melakukan penelitian tentang ekstraksi dan pemurnian  $\text{ThO}_2$  dari mineral monasit. Penelitian dilakukan dengan melalui 4 tahapan yaitu digesti, separasi, *solvent extraction*, dan *calcination*. Didapatkan hasil ekstraksi  $\text{ThO}_2$  sebesar  $98.85\% \pm 0.69\%$  (Aniza et al., 2018).

Sedangkan proses *smelting* dilakukan untuk meningkatkan kadar dari  $\text{ThO}_2$  dengan cara memisahkan senyawa oksida pengotor dengan menggunakan agen pengikat atau fluks. Salah

satu fluks yang umum digunakan pada proses *smelting* adalah silika dioksida atau  $\text{SiO}_2$ . Penelitian terkait penggunaan  $\text{SiO}_2$  sebagai flux dalam proses *smelting* pasir monasit pernah dilakukan oleh Wienar pada tahun 2022. Didapatkan hasil ekstraksi berupa *recovery*  $\text{ThO}_2$  sebesar 90,2% dan kadar sebesar 0,46% (Wienar, 2021). Pada penelitian yang dilakukan oleh Valeev pada tahun 2019 terkait ekstraksi besi dari *red mud* didapatkan nilai tertinggi dari tiga variasi temperatur dengan temperatur 1750°C sebagai temperatur tertinggi. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur, nilai optimum ekstraksi besi yang didapatkan semakin tinggi. Ini membuktikan bahwa temperatur berpengaruh terhadap proses reduksi yang dilakukan. Berdasarkan dari hasil kedua penelitian diatas, akan dilakukan penelitian yang baru untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *Electric Arc Furnace* terhadap komposisi senyawa dan *grade*  $\text{ThO}_2$ .

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *Electric Arc Furnace* terhadap senyawa yang terbentuk pada produk hasil *smelting*.
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *Electric Arc Furnace* terhadap komposisi senyawa utama pada pasir monasit.
3. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *Electric Arc Furnace* terhadap *grade*  $\text{ThO}_2$  pada pasir monasit.
4. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dalam proses *smelting* pasir monasit dengan *Electric Arc Furnace* terhadap *recovery* senyawa utama pada produk hasil *smelting*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penulisan tugas akhir ini.

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

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut.

1. Pasir monasit berasal dari Indonesia.
2. Komposisi pasir monasit, serbuk karbon, silika dioksida dan kalsium karbonat dianggap homogen.
3. Serbuk karbon yang digunakan merupakan *chemical grade*.
4. Fluks silika dioksida yang digunakan merupakan *chemical grade*.
5. Kalsium karbonat yang digunakan merupakan *chemical grade*.
6. Sumber energi utama yang digunakan untuk proses *smelting* berasal dari energi listrik.
7. Reaksi yang menyebabkan degradasi elektroda grafit pada saat pembentukan busur listrik diabaikan.
8. Diasumsikan tidak ada *heatloss* dalam proses *smelting* *Electric Arc Furnace*.
9. Kuat arus, tegangan dan waktu dianggap sama dalam semua variasi.

---

### 1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat membantu memberikan kontribusi dalam bidang ekstraksi khususnya pada proses *smelting* pasir monasit dan memberikan informasi terkait dampak variasi temperatur pada proses *smelting* pasir monasit terhadap komposisi senyawa dan *grade* ThO<sub>2</sub>.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Monasit

Monasit merupakan salah satu senyawa fosfat logam tanah jarang (LTJ) yang mengandung 50-70% oksida LTJ. Monasit juga memiliki kandungan Thorium yang cukup tinggi sehingga dapat dikategorikan sebagai mineral bersifat radioaktif. Pasir monasit umumnya dapat ditemukan pada sisa hasil pencucian bijih timah (Widodo et al., 2019). Unsur utama yang terkandung diantaranya adalah 0,298% Uranium (U), 4,171% Torium (Th), 23,712% Fosfor Pentoksida ( $P_2O_5$ ) dan 58,97 % LTJ oksida total. Monasit yang diolah secara kimiawi akan menghasilkan garam unsur U, Th, RE dan fosfat. Proses pemisahan unsur-unsur U, Th, RE dan fosfat dari bijih monasit dapat dilakukan dengan beberapa cara dan metode secara bertahap. Adapun metode yang dapat digunakan meliputi metode asam menggunakan  $H_2SO_4$ , metode basa dengan NaOH, metode kloronisasi menggunakan gas klorin ( $Cl_2$ ) serta metode reduksi temperatur tinggi menggunakan karbon (C). Warnanya bisa coklat, coklat kemerahan, coklat kekuningan, merah muda, kuning, hijau muda atau putih dengan garis-garis putih (Anggraini et al., 2012).

Kandungan torium dengan radioaktivitas yang tinggi mengakibatkan monasit memiliki sifat radioaktif. Hal tersebut merupakan salah satu alasan torium dapat digunakan sebagai alternatif sumber energi pembangkit nuklir menggantikan uranium. Secara teknis, monasit sebenarnya merupakan tiga senyawa yang berbeda. Namun karena perbedaannya yang tidak signifikan, dirujuk menjadi satu mineral yaitu monasit. Ketiga senyawa tersebut diantaranya adalah  $(Ce, La, Nd, Th, Y) PO_4$ ,  $(La, Ce, Nd) PO_4$ ,  $(Nd, La, Ce) PO_4$ . Perbedaan rumus senyawa tersebut menunjukkan kandungan unsur tertentu didalamnya. Unsur yang ditulis pertama kali dalam kurung merupakan unsur dengan persentase terbesar (Widodo et al., 2019). Gambar dari pasir monasit dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Pasir monasit (dokumentasi pribadi, 2022)

### 2.2 Torium

Torium merupakan logam aktinida radioaktif berwarna keperakan terang, paramagnetik, dan agak lunak. Di dalam tabel periodik, torium berada di sebelah kanan aktinium, kiri protaktinium, dan di bawah serium. Torium murni sangat lunak, dan seperti logam pada umumnya, dapat digulung dalam keadaan dingin, ditempa, dan dibentuk. Saat terkontaminasi dengan oksida, perlahan-lahan akan berubah menjadi abu-abu dan akhirnya menjadi hitam (Widodo et al., 2019). Informasi mengenai unsur torium akan disajikan lebih lengkap pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1** Sifat unsur torium (Widodo et al., 2019)

<b>Sifat Torium</b>	
Nama, simbol	Torium, Th
Tampilan	Keperakan
Nomor atom (Z)	90
Golongan, blok	Golongan n/a, blok-f
Periode	Periode 7
Kategori unsur	Aktinida
Massa atom (Ar)	232,0381
Konfigurasi electron	[Rn] 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>
Fasa	Padat
Jari-jari atom	179,8 pm
Titik leleh	1750°C
Titik didih	4788 °c
Bentuk kristal	FCC (<1400 °c)

Salah satu bentuk oksida dari unsur torium adalah senyawa torium dioksida (ThO<sub>2</sub>), torium dioksida juga sering disebut dengan thoria. Senyawa ini biasanya berbentuk padat dan memiliki warna putih, tidak berbau dan tidak mudah larut dalam pelarut air (Chen et al., 2020). Torium oksida memiliki titik leleh sekitar 3300°C yang merupakan nilai tertinggi dibanding oksida lainnya. Terdapat 25 isotop torium dengan isotop yang paling stabil adalah torium-232 dengan paruh waktu 14,05 juta tahun (Belle & Berman, 1984). Sifat sifat senyawa torium dioksida akan dipaparkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2. 2** Sifat senyawa torium dioksida (Dewita, 2012)

<b>Sifat Torium Dioksida</b>	
Rumus kimia	ThO <sub>2</sub>
Nama IUPAC	<i>Thorium dioxide</i>
Warna	Putih
Massa molar	264,04 g/mol
Densitas	10g/cm <sup>3</sup>
Titik leleh	3300°C
Titik didih	4400°C

### 2.3 Fluks Silika Dioksida

Fluks adalah sebuah zat aditif yang ditambahkan untuk bergabung dengan mineral selama proses peleburan bijih dengan pengotor yang ada di logam cair atau aditif lain dalam proses pemurnian logam agar terbentuk terak yang dapat dipisahkan dari logam (Balakrishna, 2012). Saslah satu fluks yang umum digunakan pada proses ekstraksi pirometalurgi adalah silika. Silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) atau silika merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO<sub>2</sub>). Dalam ekstraksi tembaga secara pirometalurgi, biasanya silika berfungsi sebagai fluks. Tujuan ditamhkannya silika yaitu untuk mengikat *slag* dari proses ekstraksi tembaga sehingga memungkinkan untuk mendapatkan *recovery* yang tinggi (Kokal & Ranade, 1985). Sifat umum silika akan ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2. 3** Sifat umum silika (Balbeid, 2014)

<b>Sifat Umum Silika</b>	
Rumus molekul	SiO <sub>2</sub>
Nama IUPAC	Silikon dioksida
Massa molar	60,08 mol <sup>-1</sup>
Tampilan	Kristal transparan
Densitas	2.648 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	1600-1725°C
Titik didih	2230 °C
Kelarutan	0.079 g/L

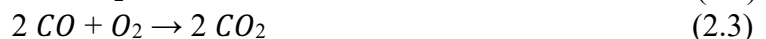
#### 2.4 Reduktor Karbon

Reduktor karbon dibutuhkan dalam proses ekstraksi mineral berbasis pirometalurgi. Reduktor berfungsi untuk mereduksi logam dari mineral oksidanya. Terdapat cukup banyak reduktor berbasis karbon atau dapat disebut material *carbonaceous*. Mereka menunjukkan berbagai macam sifat fisik dan kimia, contohnya adalah batu bara. Penggunaan material *carbonaceous* sebagai reduktor pada proses ekstraksi bertujuan untuk meningkatkan permeabilitas beban sehingga dapat meningkatkan distribusi gas (Fahnur, 2018).

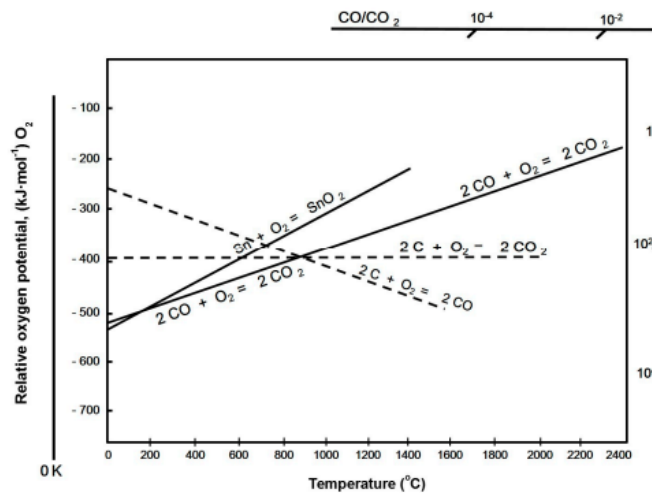
Peran reduktor dalam berbagai reaksi reduksi dapat berupa proses reduksi gas kimia menjadi gas CO reaktif di dalam tungku, melarutkan karbon dalam logam cair, mereaksikan karbon terlarut dengan slag saat logam dalam proses pemurnian dan reduksi langsung dari karbon padat dengan slag. Beberapa jenis reduktor telah digunakan dalam industri metalurgi seperti batubara, kokas, karbon, grafit, dan arang.

Pada industri pengolahan bijih logam dan industri metalurgi, penggunaan karbon merupakan faktor penting dengan pengaplikasiannya sebagai *filler*, reduktor, atau aditif. Tiap karbon memiliki sifat yang berbeda tergantung variasi penggunaannya pada proses di industry metalurgi. Contoh sifat tersebut adalah *softening*, *swelling*, *fusion*, dan porositas dalam pembentukan coke dan coal (Sahajwalla et al., 2004).

Sebagai reduktor pada proses reduksi oksida mineral karbon, berikut adalah Reaksi yang dapat terbentuk:



Pada reaksi pembentukan CO<sub>2</sub> hampir tidak ada perubahan entropi sama sekali, dimana  $\Delta S^\circ = 0$  dan oleh karena itu  $\Delta G^\circ$  tetap hampir sama dan  $\Delta G^\circ$  tidak terpengaruh pada temperatur. Pada reaksi pembentukan CO terjadi peningkatan entropi dimana  $\Delta S$  positif. Oleh karena itu  $\Delta G^\circ$  menjadi semakin negatif seiring dengan naiknya temperatur. Pada reaksi terakhir terjadi penurunan entropi dimana  $\Delta S$  negatif, oleh karena itu terjadi peningkatan pada  $\Delta G^\circ$  menjadi tidak lebih negatif seiring dengan naiknya temperatur (Fahnur, 2018). Diagram Ellingham proses reduksi karbon ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



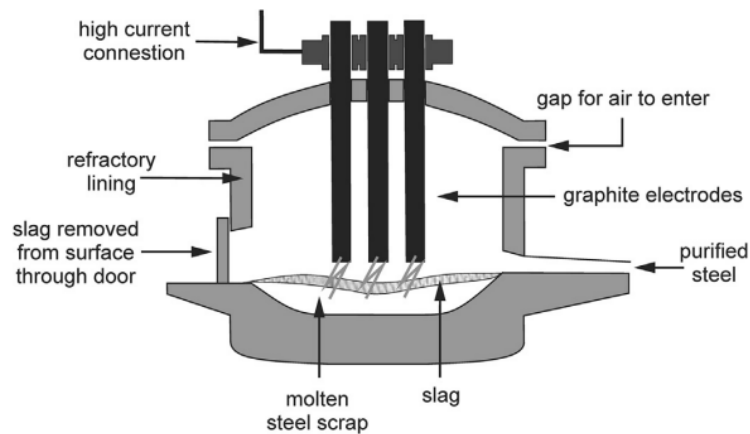
**Gambar 2. 2** Diagram Ellingham proses reduksi karbon (Falcon et al., 2004)

Pada temperatur sekitar 983K, terlihat ketiga kurva berpotongan yang menunjukkan bahwa di atas temperatur tersebut, reaksi (2.3) lah yang paling cocok dimana pada temperatur yang sangat tinggi karbon dapat mereduksi oksida logam dan mengalami oksidasi menjadi CO (Fahnur, 2018).

## 2.5 Electric Arc Furnace

*Electric Arc Furnace* atau sering disebut tanur busur listrik merupakan alat yang digunakan pada proses peleburan atau pembuatan logam dimana mineral dipanaskan dan dicairkan dengan busur listrik yang berasal dari elektroda ke mineral di dalam tanur. Ada dua jenis arus listrik yang dapat digunakan pada proses peleburan yaitu arus bolak balik (*alternating current*) dan arus searah (*direct current*) (López et al., 2018).

Transfer kalor pada *furnace* terjadi dengan menggunakan prinsip radiasi. Ditinjau berdasarkan terjadinya proses dari busur, EAF bisa dikelompokkan sebagai 2 jenis yaitu pemanasan langsung dan pemanasan tidak langsung. Pada proses pemanasan langsung, transfer kalor terjadi menggunakan prosedur konduksi, konveksi dan radiasi. Busur yang terbentuk ditransfer melalui elektroda menuju lelehan material. Proses pemanasan tidak langsung memiliki prosedur transfer kalor yang hanya terjadi melalui konveksi dan radiasi. Proses pemanasan terjadi ketika busur terbentuk diantara elektroda tanpa terjadi kontak dengan material umpan. Panas yang dihasilkan dari EAF muncul karena adanya resistensi ketika adanya aliran arus listrik. Material pengumpan yg dimuatkan pada *furnace* akan berfungsi menjadi *resistor* terhadap arus listrik, *slag* yg terbentuk karena logam yang meleleh juga dapat menjadi *resistor* terhadap arus listrik. Elektroda sedikit diangkat agar hanya menyentuh bagian atas *slag* saja agar dapat terus berlangsung proses transfer kalor. Kalor yang dihasilkan melalui lompatan elektron atau busur api dengan aliran listrik menyebabkan aliran induksi pada lelehan yang menyebabkan lelehan bergerak dan menjadi homogen (Hady, 2015). Skema dari *Electric Arc Furnace* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Skema dari *Electric Arc Furnace* (Hady, 2015)

Fungsi elektroda pada EAF adalah untuk mengalirkan arus busur listrik menuju bahan peleburan. Umumnya karbon atau grafit digunakan sebagai elektroda karena kemampuan tahannya terhadap temperatur yang sangat tinggi. Semakin digunakan, ujung elektroda akan menjadi semakin pendek dikarenakan kontak dengan panas yang terjadi pada daerah tersebut. Elektroda dapat disesuaikan secara otomatis maupun manual agar bersentuhan dengan logam saat proses peleburan berlangsung. Penggantian elektroda diperlukan saat elektroda menjadi pendek agar proses peleburan tetap berlangsung (Gajic et al., 2016).

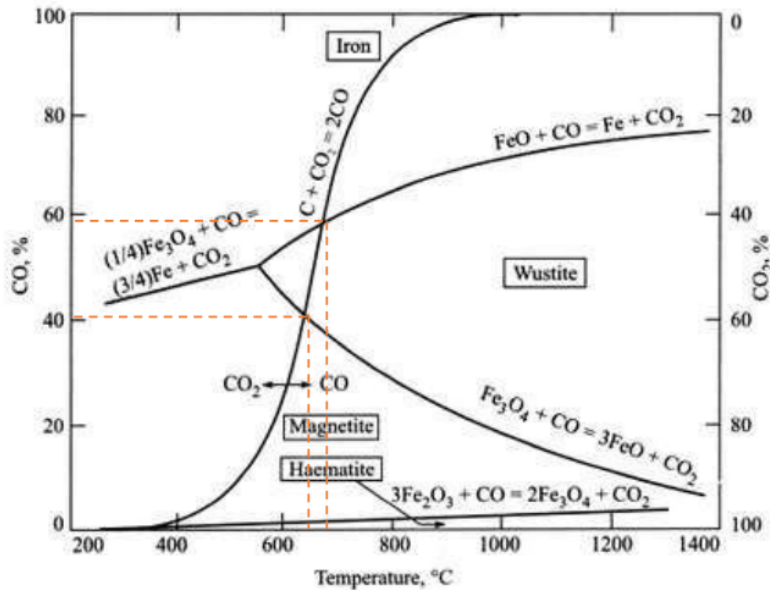
## 2.6 Waktu Peleburan *Electric Arc Furnace*

*Tap to tap time* adalah istilah yang biasanya digunakan dalam proses pada EAF meliputi *charging*, *smelting*, dan *tapping*. *Tap to tap* berpengaruh terhadap efisiensi proses yang dioperasikan. Waktu *tap to tap* normalnya dilakukan kurang dari 60 menit untuk proses EAF modern, sedangkan pada beberapa proses tungku kembar hanya memakan waktu sekitar 35-40 menit (Madias, 2016).

Proses peleburan dilakukan dengan cara mengalirkan energi ke dalam tungku dimana energi ini berasal dari energi listrik. Energi listrik disalurkan melalui elektroda grafit sebagai contributor utama dalam proses peleburan. Awalnya, tegangan diumpankan melalui elektroda ke material *scrap*. Keseimbangan operasi EAF didasarkan pada total energi yang masuk dan keluar tungku selama proses *tap to tap* berlangsung. Waktu antara proses peleburan hingga terjadinya proses refining antara logam dan pengotor dapat disebut sebagai waktu *holding* peleburan (Stalhed, 1957).

## 2.7 Diagram Bouduard – Gaussnerr

Diagram Bouduard – Gaussnerr menggambarkan tentang kesetimbangan antara unsur dan oksida besi yaitu besi, hematit, magnetit, wustit, karbon padat, CO, dan CO<sub>2</sub> pada proses reduksi langsung besi oleh karbon. Dikarenakan reaksi bouduard merupakan reaksi endotermik, reaksi ini berlangsung pada temperatur yang cukup tinggi. Mengacu pada garis kesetimbangan, pada temperatur 1000°C terdapat 100% gas CO. agar gas CO dapat terurai menjadi CO<sub>2</sub> dan C, harus dilakukan penurunan temperatur agar tercapainya ketidaksetimbangan. Hal ini dapat mengurangi gas CO sebagai reduktor. Pada daerah sebelah kanan garis kesetimbangan, gas CO<sub>2</sub> akan mengalami reaksi bouduard menjadi gas CO. Mengacu pada diagram Bouduard – gausnerr, perbandingan gas CO/CO<sub>2</sub> dan temperatur operasi adalah faktor yang memengaruhi terbentuknya senyawa (Pretorius & Oltmann, 2002). Diagram Bouduard – Gaussnerr ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



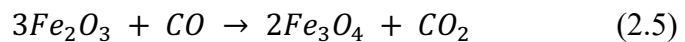
**Gambar 2. 4** Diagram Boudouard – Gausnerr (Pretorius & Oltmann, 2002)

Berdasarkan diagram diatas, kesetimbangan antara besi oksida dengan CO/CO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Reaksi berikut:

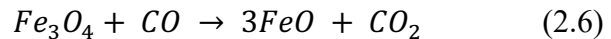
Garis kesetimbangan Boudouard:



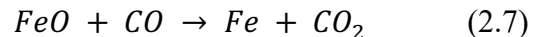
Garis kesetimbangan:



Garis kesetimbangan:



Garis kesetimbangan:

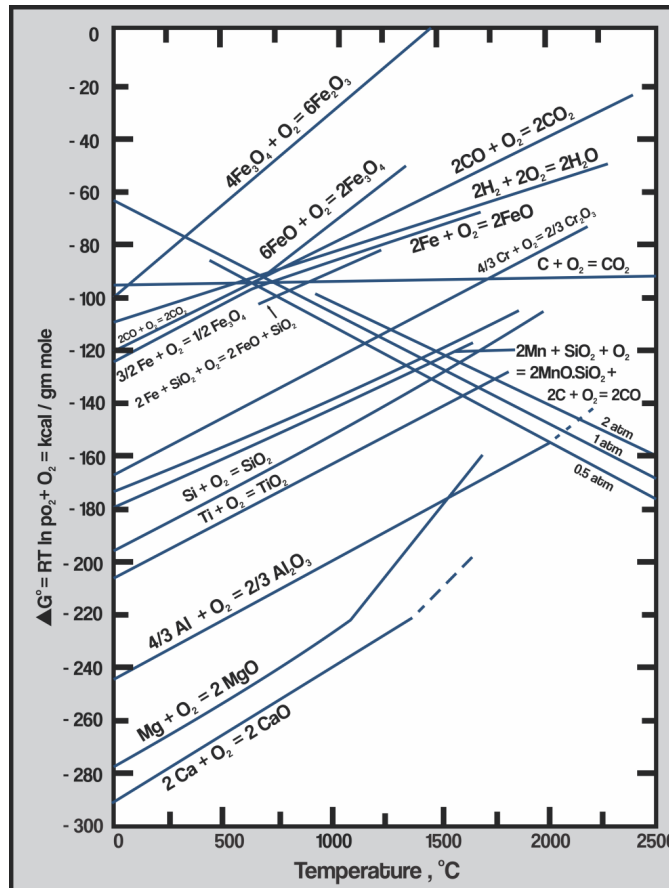


Contohnya adalah pada temperatur 700°C, perbandingan CO/CO<sub>2</sub> adalah 60:40 maka dapat diketahui bahwa senyawa yang paling stabil adalah wustit (FeO). Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) sendiri akan tereduksi menjadi wustit dan Fe akan teroksidasi menjadi wustit pula. Hal yang dapat diambil dari kesetimbangan pada diagram tersebut adalah garis kesetimbangan wustit/Fe dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 700°C menandakan bahwa temperatur minimum untuk mereduksi wustit menjadi Fe adalah 700°C. sedangkan antara garis kesetimbangan magnetit/wustit dan garis kesetimbangan boudouard yang berpotongan pada temperatur 650°C menandakan bahwa temperatur minimum untuk mereduksi magnetit menjadi wustit adalah 650°C dengan catatan temperatur minimum diatas berada pada tekanan 1 atm. Reaksi harus berjalan diatas temperatur minimum (Pretorius & Oltmann, 2002).

## 2.8 Termodinamika Reduksi

Diagram Ellingham adalah sebuah grafik yang menunjukkan parameter energi bebas dari sebuah reaksi dengan temperatur. Bagian bawah diagram Ellingham menunjukkan logam aktif yang memiliki energi bebas paling tinggi (negatif) secara kimia untuk membentuk oksida sedangkan pada bagian atas menunjukkan logam yang memiliki energi bebas paling kecil (positif) untuk membentuk oksida. Pada reaksi oksidasi di diagram Ellingham, nilai  $\Delta G^\circ$  menandakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin stabil suatu logam dalam bentuk oksida maka semakin negatif pula  $\Delta G^\circ$ nya. Perpotongan kurva oksida dengan garis pembentukan CO menandakan temperatur minimum yang dibutuhkan agar dapat terjadinya suatu reaksi (Wijaya, 2018). Diagram Ellingham ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.





Gambar 2. 5 Diagram Ellingham (Pintowantoro & Abdul, 2021)

Berdasarkan energi bebas yang dimiliki, termodinamika dapat digunakan untuk mengetahui apakah reaksi dapat berjalan dengan spontan atau tidak pada temperatur tertentu namun tidak untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reduksi dan reaksi oksidasi yang menunjukkan pada temperatur tertentu reaksi tersebut berlangsung. Contoh reduksi besi oksida dapat digambarkan sebagai berikut.

1. Pada  $T > 570^{\circ}\text{C}$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$
2. Pada  $T < 570^{\circ}\text{C}$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$  karena
3. Pada  $T < 570^{\circ}\text{C}$  terjadi reaksi  $4\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$

## 2.9 Grade, Recovery, dan Basisitas

Terdapat dua cara untuk mengukur keberhasilan proses pemisahan mineral dari sebuah bijih, yaitu dengan menghitung *grade* dan pemulihan *recovery*. *Grade* atau kadar merupakan persentase yang menjelaskan jumlah atau kandungan persentase logam atau mineral berharga dalam suatu ore dan dapat dinyatakan dalam satuan *part per million* atau ppm. Namun beberapa logam dijual dalam bentuk oksidanya atau tidak sebagai logam utuh, sehingga dalam kondisi seperti ini menyatakan persentase oksidanya (Pintowantoro & Abdul, 2021). Sedangkan, *recovery* adalah persentase dari total logam atau mineral yang terkandung dalam bijih yang berhasil diubah ke dalam konsentrat. Contohnya, nilai *recovery* sebesar 70% menyatakan bahwa 70% dari logam yang ada di dalam bijih berhasil diperoleh kembali ke dalam konsentrat, namun 30% lainnya akan terbuang ke dalam *tailing*. *Recovery* dilambangkan dengan simbol *R* dengan persamaan seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2.8).

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{w_p \cdot c}{w_f \cdot f} \times 100\% \quad (2.8)$$

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 (Wills & Finch, 2016).

Nilai *recovery* suatu logam atau mineral juga dapat dipengaruhi oleh basisitas *slag*. Basisitas merupakan rasio senyawa yang bersifat basa terhadap senyawa yang bersifat asam yang ada pada *slag* atau produk hasil pemurnian. Terdapat tiga definisi basisitas *slag*, yaitu  $B_1$ ,  $B_2$ , dan  $B_3$ .

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

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

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

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 (Pintowantoro et al., 2021).

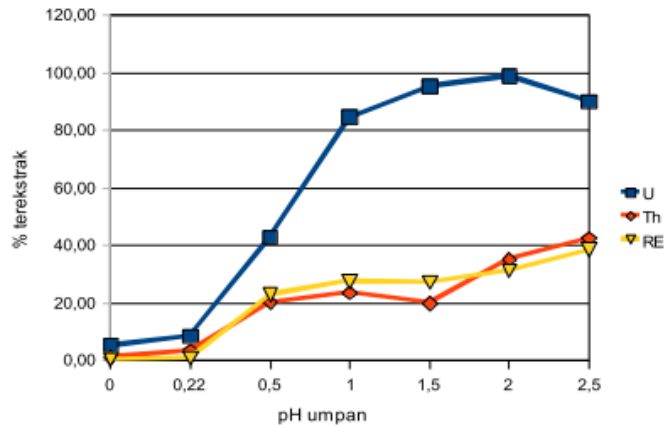
## 2.10 Temperatur dalam Proses *Smelting*

Berbagai nilai telah dilaporkan terkait titik leleh logam tanah jarang dan variasi ini dapat dilacak pada kemurnian logam dan metode yang digunakan untuk penentuan titik leleh. Temperatur dimana logam tanah jarang meleleh bergantung pada kemurniannya. Jika jumlah oksigen, karbon, dan nitrogen yang cukup ada dalam sampel, titik lebur yang terukur cenderung tinggi (Gupta & Khrisnamurty, 2005). Maka temperatur yang diperlukan untuk melakukan proses *smelting* akan cenderung tinggi, peningkatan suhu dan kelembaban dapat mempercepat oksidasi logam tanah jarang (Gschneidner & Daane, 1988). Temperatur memengaruhi laju reaksi pada proses *smelting*, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat pula laju reaksi. Perubahan temperatur memengaruhi kecepatan gerak molekul gas. Semakin tinggi temperaturnya maka semakin cepat pula gerak molekul gas (Suarsa, 2017).

## 2.11 Penelitian Sebelumnya

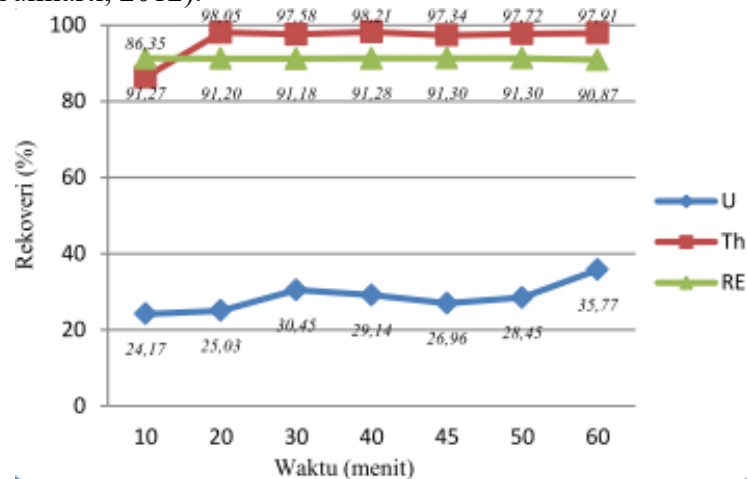
Pada 2011 Trinopiawan dkk. melakukan penelitian tentang pemisahan Uranium dari Thorium dalam larutan hasil pelarutan endapan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> melalui metode ekstraksi pelarut dengan campuran dari *Alamine-336*, kerosin, dan isodekanol. Hasil penelitian menunjukkan pada kondisi optimal, ekstraksi dilakukan pada pH 1,5 dengan perbandingan O/A = 5 dan waktu ekstraksi 5 menit, dan diperoleh U sebesar 100% dengan jumlah Th yang ikut terekstrak 32,44%. Maka dapat disimpulkan dalam kondisi optimal Th dapat terpisah dari U sebesar 67,56% (Trinopiawan et al., 2011).





**Gambar 2. 6** Grafik unsur yang terekstrak dengan variasi pH umpan (Trinopiawan et al., 2011)

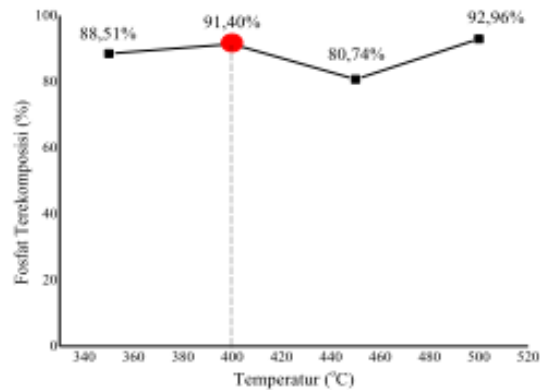
Selanjutnya, pada tahun 2012 dilakukan penelitian lebih lanjut oleh Trinopiawan dan timnya. Proses dilakukan dengan memisahkan Th dari U pada pasir monasit menggunakan metode pengendapan dengan reagen  $H_2SO_4$ . Tahapan proses terdiri dari penggerusan monasit, dekomposisi, pelarutan parsial, pelarutan total, dan pengendapan Th dengan  $H_2SO_4$ . Larutan umpan yang digunakan untuk pengendapan berasal dari dua reagen yang berbeda berbeda, yaitu  $H_2SO_4$  dan HCl. Hasil optimal *recovery* pengendapan pada larutan umpan sulfat yaitu Th sebesar 96,99% dan U 18,26% dengan penggunaan  $H_2SO_4$  20 ml dan waktu pengendapan selama 30 menit. Hasil optimal *recovery* pengendapan pada larutan umpan HCl yaitu Th sebesar 98,05% dan U 25,03% dengan konsumsi  $H_2SO_4$  20 ml dan waktu pengendapan 20 menit (Trinopiawan & Sumiarti, 2012).



**Gambar 2. 7** Grafik pengaruh waktu terhadap *recovery* pengendapan Th umpan larutan klorida (Trinopiawan & Sumiarti, 2012)

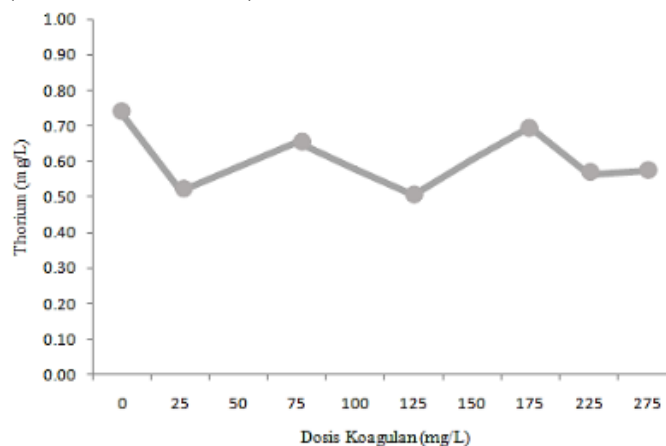
Pada tahun 2014, Supriyatna dkk. Membuat rancangan *Electric Arc Furnace* satu fasa dengan tinggi EAF 22 cm dan diameter sebesar 15 cm dengan kapasitas 5-10 kg. menggunakan rancangan ini, dilakukan proses *smelting* feromangan dengan komposisi sebanyak 6000gr bijih mangan dan 560 gr bijih besi. Proses dilakukan pada temperatur 1739°C dengan arus listrik sebesar 350 A selama 126 menit, temperatur 1646°C dengan arus listrik sebesar 350 A selama 138 menit, dan temperatur 1497°C dengan arus listrik sebesar 350 A selama 222 menit. Hasil uji coba memberikan hasil komposisi feromangan terbaik dengan kandungan  $Mn \geq 70\%$  dan  $Fe = 14-16\%$  (Supriyatna et al., 2019).

Haryono dkk. pada 2015 melakukan penelitian terkait dekomposisi fosfat pasir monasit, sebagai *pre-treatment* sebelum tahapan ekstraksi. *Pre-treatment* dilakukan dengan proses *roasting* dengan menambahkan NaOH padat selama 120 menit. Pelarutan kalsin hasil *roasting* bertujuan untuk melarutkan fosfat dengan aquades pada temperatur 80°C dengan waktu 60 menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa persen dekomposisi fosfat paling baik terjadi pada temperatur 400°C dengan ukuran butir -200. Sedangkan persen kadar LTJ yang didapatkan adalah 65,52%. Semakin kecil ukuran partikel dan semakin tinggi temperatur, fosfat yang terdekomposisi semakin tinggi dan terjadi peningkatan kadar kandungan LTJ (Haryono et al., 2016).



**Gambar 2. 8** Pengaruh temperatur terhadap persen terdekomposisi fosfat paada klasifikasi ukuran butir -200 (Haryono et al., 2016)

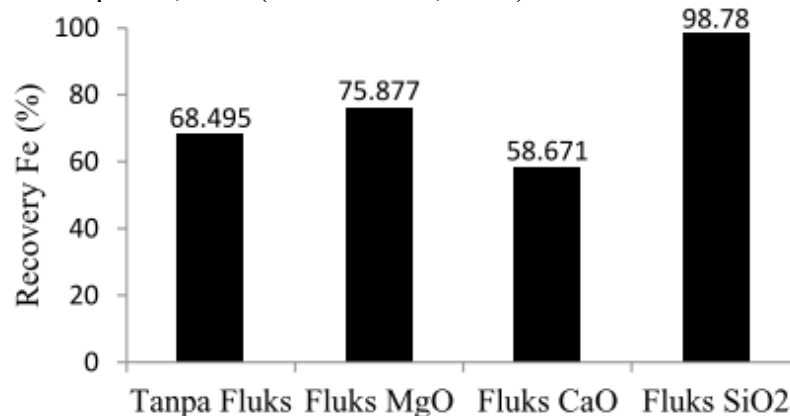
Marisi dkk. pada 2018 melakukan penelitian tentang pemisahan unsur radioaktif dan logam tanah jarang pasir monasit PLUTHO yang mengandung torium dan uranium. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar torium dan radioaktivitas dalam limbah cair menggunakan koagulan ferosulfat. Variasi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah kadar koagulan dan pH. Hasil penelitian menunjukkan pada kondisi optimum, koagulasi pada pH 8,0, dan dosis koagulan  $\text{FeSO}_4$  225 mg/L dapat menurunkan kadar torium sebesar 45,20 % dan menurunkan radioaktivitas sebesar 100 % dari kadar torium dan radioaktivitas awal yaitu 0,73 mg/L dan 1,35 Bq/g (Marisi et al., 2018).



**Gambar 2. 9** Hasil analisis torium dalam penentuan dosis optimal koagulan

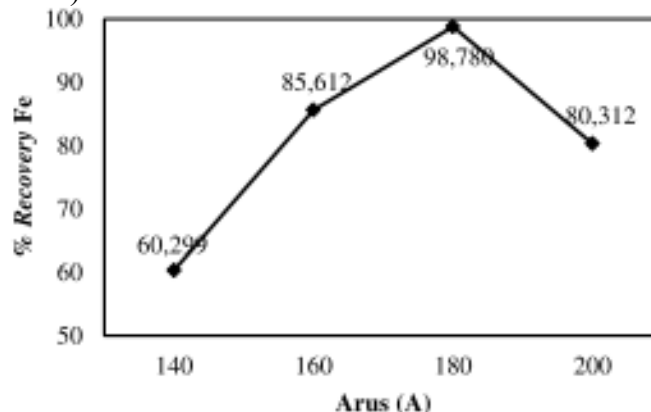
Pada tahun 2018, Purnamawan melakukan penelitian mengenai *smelting* menggunakan metode *Electric Arc Furnace* pada hasil peleburan *direct reduction iron* (DRI). Penelitian ini menggunakan pasir besi sebagai bahan utama kemudian ditambahkan tiga jenis flux yang

berbeda yaitu  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , dan  $\text{MgO}$  yang ditambahkan pada proses *smelting*. Tiga jenis flux ini digunakan sebagai variasi dalam penelitian ini. Hasil dari DRI mendapatkan kandungan Fe total sebesar 75,72%. Kemudian hasil dari DRI dilakukan proses *smelting* menggunakan metode *Electric Arc Furnace* menggunakan arus 180A dan tegangan sebesar 16,2volt selama 6 menit. Proses *smelting* dilakukan dengan penambahan ketiga jenis flux yang berbeda. Produk *smelting* kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan pengujian XRD dan EDX untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan komposisi senyawa yang terbentuk. Berdasarkan hasil peleburan hasil DRI, penggunaan variasi flux  $\text{SiO}_2$  menghasilkan kandungan total dan nilai *recovery* dari logam Fe tertinggi. Kandungan Fe yang didapatkan sebesar 91,585% dan nilai *recovery* dari Fe mencapai 98,78% (Purnamawan, 2018).



**Gambar 2. 10** Pengaruh variasi *flux* terhadap *recovery* Fe pada *pig iron* hasil peleburan DRI

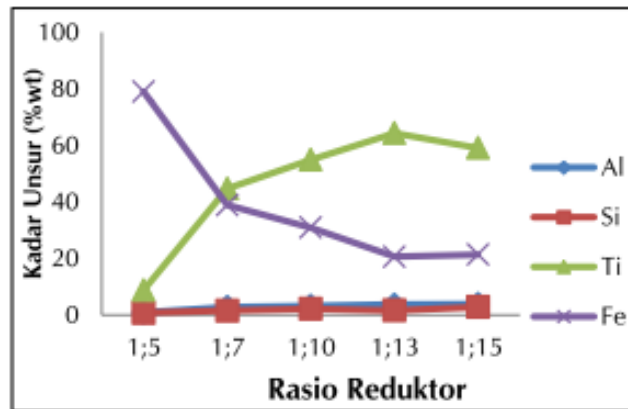
Wijaya pada tahun 2018 melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi arus listrik EAF pada *smelting direct reduced iron* terhadap kandungan Fe total dan *recovery* Fe dalam pembuatan *pig iron*. Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan *direct reduced iron* menggunakan *muffle furnace* hingga temperatur 1350 °C selama 12 jam. Kemudian hasil DRI dilebur menggunakan EAF menggunakan variasi arus listrik sebesar 140 A, 160 A, 180 A, dan 200 A dengan variabel tetap berupa tegangan sebesar 16,2 V, selama 360 detik. *Direct reduced iron* menghasilkan kandungan Fe sebesar 75,7%. Pada peleburan hasil *direct reduced iron* didapatkan kandungan Fe dan *Recovery* Fe terbaik sebesar 91,58% dan 98,78% pada variasi arus 180 A (Wijaya, 2018).



**Gambar 2. 11** Pengaruh arus terhadap *recovery* Fe pada *pig iron*

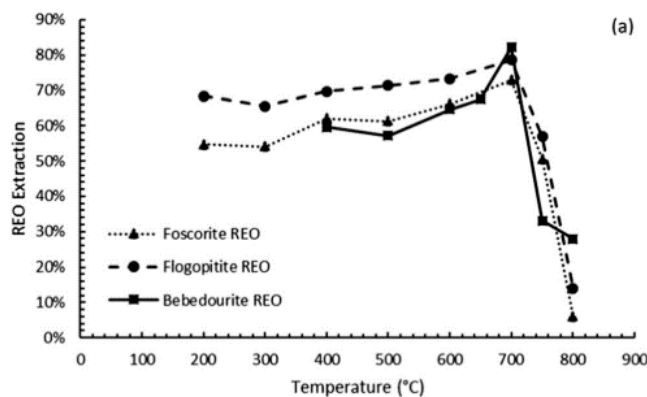
Pada tahun 2019, Supriyatna dkk. Melakukan penelitian tentang pengaruh variasi waktu dan reduktor pada peleburan titanium dari terak timah menggunakan tungku busur listrik. Proses *smelting* titanium dilakukan pada temperatur 1600°C dengan variasi waktu 20, 30,40,

50, dan 60 menit. Terak timah sebanyak 500 g, grafit sebanyak 150 g, dan batu kapur 30 g digunakan dengan ukuran partikel 200 *mesh*. Produk titanium tertinggi diperoleh pada temperatur 1600°C dan waktu *smelting* selama 30 menit yaitu sebesar 23,11%. Waktu optimum tertinggi untuk mendapatkan hasil ekstraksi titanium terbaik sebesar 79,21% juga berada pada waktu 30 menit dengan rasio reduktor 1:15. Peningkatan persen ekstraksi titanium juga disebabkan oleh bertambahnya jumlah grafit yang digunakan (Supriyatna et al., 2019).



**Gambar 2.12** Pengaruh rasio reduktor terhadap komposisi kimia pada produk logam

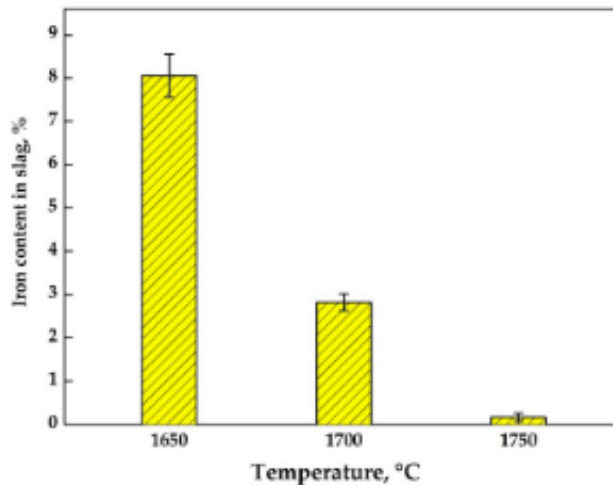
Teixeira dkk. pada 2019 melakukan penelitian tentang ekstraksi unsur tanah jarang, torium, dan besi dalam melalui proses ekstraksi selektif bijih. Bijih monasit yang mengandung tanah jarang diproses secara selektif untuk memisahkan besi dan torium dari unsur tanah jarang untuk dilakukan proses sulfasi, *roasting* pada 700°C, dan pencucian air di bawah pH terkontrol. Dari proses didapatkan hasil *recovery* tanah jarang yang tinggi yaitu 70-80% ekstraksi besi yang rendah, dan torium <1% dengan konsumsi asam rendah (antara 0,21 dan 0,34 kg asam untuk 1 kg bijih). Dekomposisi besi sulfat dicapai pada temperatur 700°C. Jumlah senyawa tanah jarang yang tidak larut meningkat tajam pada temperatur yang lebih tinggi dari 750°C dan mengurangi jumlah unsur tanah jarang yang dapat di *recovery* selama tahap *leaching* sehingga membuat proses ekstraksi tanah jarang tidak efektif (Teixeira et al., 2019).



**Gambar 2.13** Nilai *recovery* logam tanah jarang

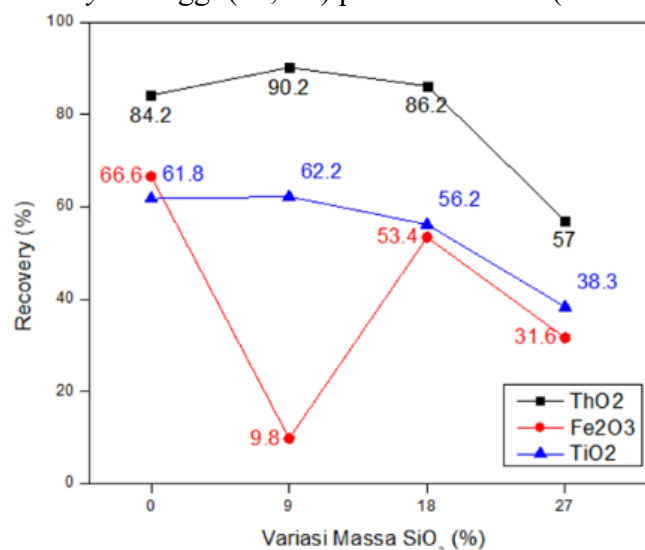
Valeev dkk. Pada tahun 2019 melakukan penelitian terkait peleburan reduktif lumpur merah yang dinetralkan untuk *recovery* pig iron yang diproduksi untuk pengecoran tahan panas. Komposisi kimia pada lumpur merah didominasi oleh Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 36,9%, SiO<sub>2</sub> 8,71%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,8% serta TiO<sub>2</sub> sebesar 3,54%. Proses dilakukan dengan memanaskan gabungan lumpur merah dengan campuran karbon di dalam *furnace* sampai suhu diatas 1300°C lalu suhu 1650-1750°C dicapai. Hasil *smelting* didiamkan dalam *crucible* dan ikut didinginkan bersama dengan

*furnace*. Didapatkan hasil ekstraksi optimum Fe sebesar 98% pada temperatur 1750°C (Valeev et al., 2020).



**Gambar 2. 14** Hasil elstraksi besi dari *red mud*

Pada tahun 2022, Wienar melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan  $\text{SiO}_2$  dalam proses *smelting* pasir monasit terhadap komposisi senyawa dan *grade*  $\text{ThO}_2$ . Proses *smelting* dilakukan pada temperatur 1850°C menggunakan sumber energi listrik dengan kuat arus 60 ampere dan tegangan 40volt selama 3 menit. Sampel utama yang digunakan pada proses *smelting* berupa pasir monasit yang ditambahkan dengan  $\text{CaCO}_3$  sebagai aditif, karbon sebagai reduktor utama dan  $\text{SiO}_2$  sebagai fluks dengan variasi penambahan massa fluks 0%, 9%, 18% dan 27%. Karakterisasi produk *smelting* ini dilakukan dengan pengujian XRD dan XRF. Pada hasil *smelting* didapatkan senyawa *perovskite* ( $\text{CaTiO}_3$ ), *ilmenite* ( $\text{FeTiO}_3$ ), dan *ferrous-pseudobrookite* ( $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ ) dan *fayalite* ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) yang terbentuk pada setiap variasi penambahan  $\text{SiO}_2$  sebesar 0%, 9%,18% dan 27%. Terbentuk pula senyawa calcium-orthosilicate ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) pada variasi 27%. Penambahan fluks menyebabkan senyawa utama seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki kadar terendah (2,77%) dan *recovery* terendah (9,8%) pada variasi 9%, senyawa  $\text{TiO}_2$  memiliki kadar tertinggi (51,8%) dan nilai *recovery* tertinggi (62,2%) ada pada variasi 9%, penambahan fluks  $\text{SiO}_2$  dinilai tidak efektif untuk menghilangkan kadar  $\text{TiO}_2$ . Proses *smelting* meningkatkan kandungan  $\text{ThO}_2$  pada pasir monasit dengan kadar tertinggi (0,46%) dan nilai *recovery* tertinggi (90,2%) pada variasi 9% (Wienar, 2021).



**Gambar 2. 15** Grafik *recovery*  $\text{ThO}_2$  hasil *smelting* pasir monasit

Tabulasi rangkuman dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya tercantum di dalam **Tabel 2.4**.

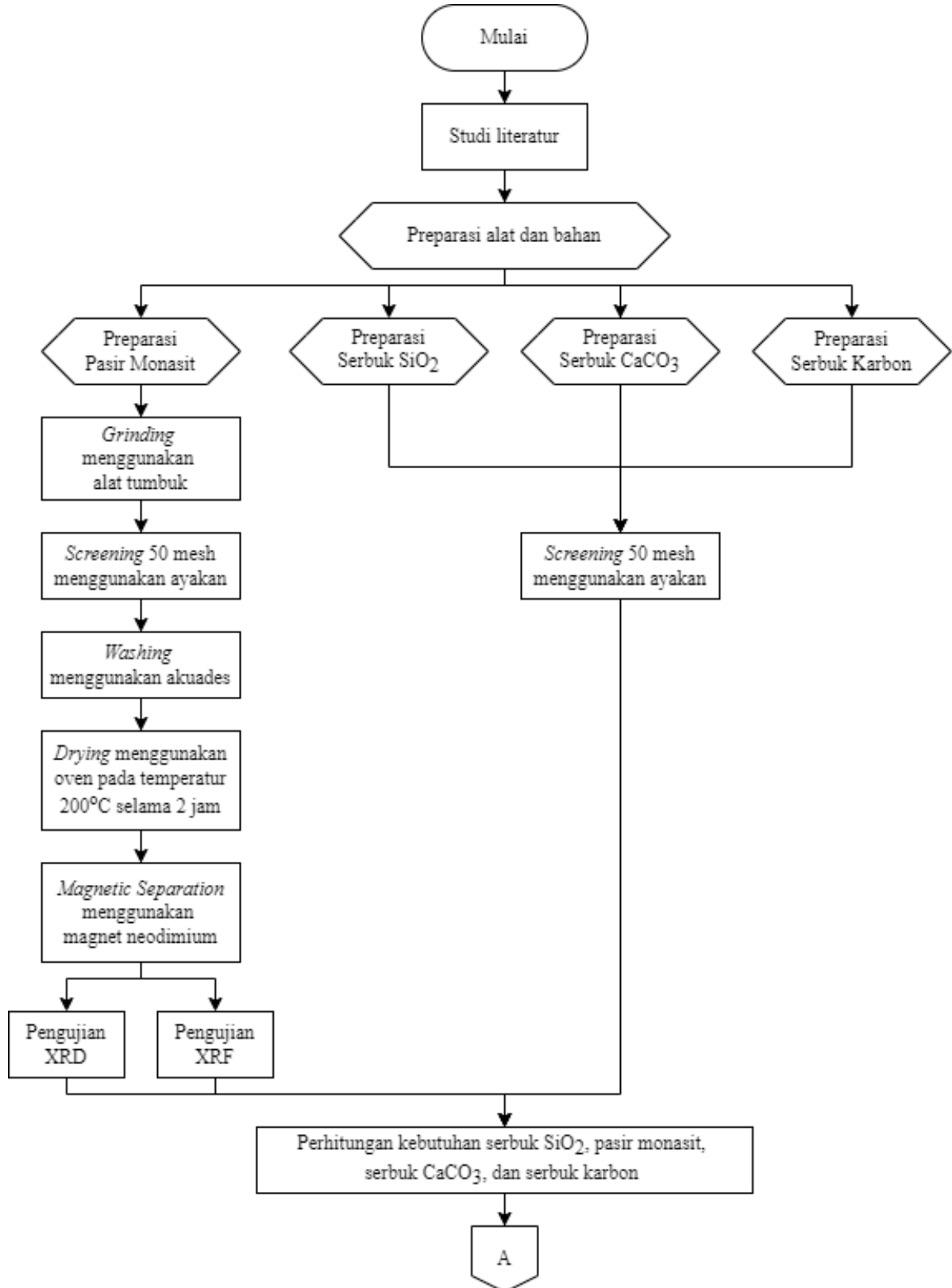
**Tabel 2. 4** Tabulasi penelitian sebelumnya

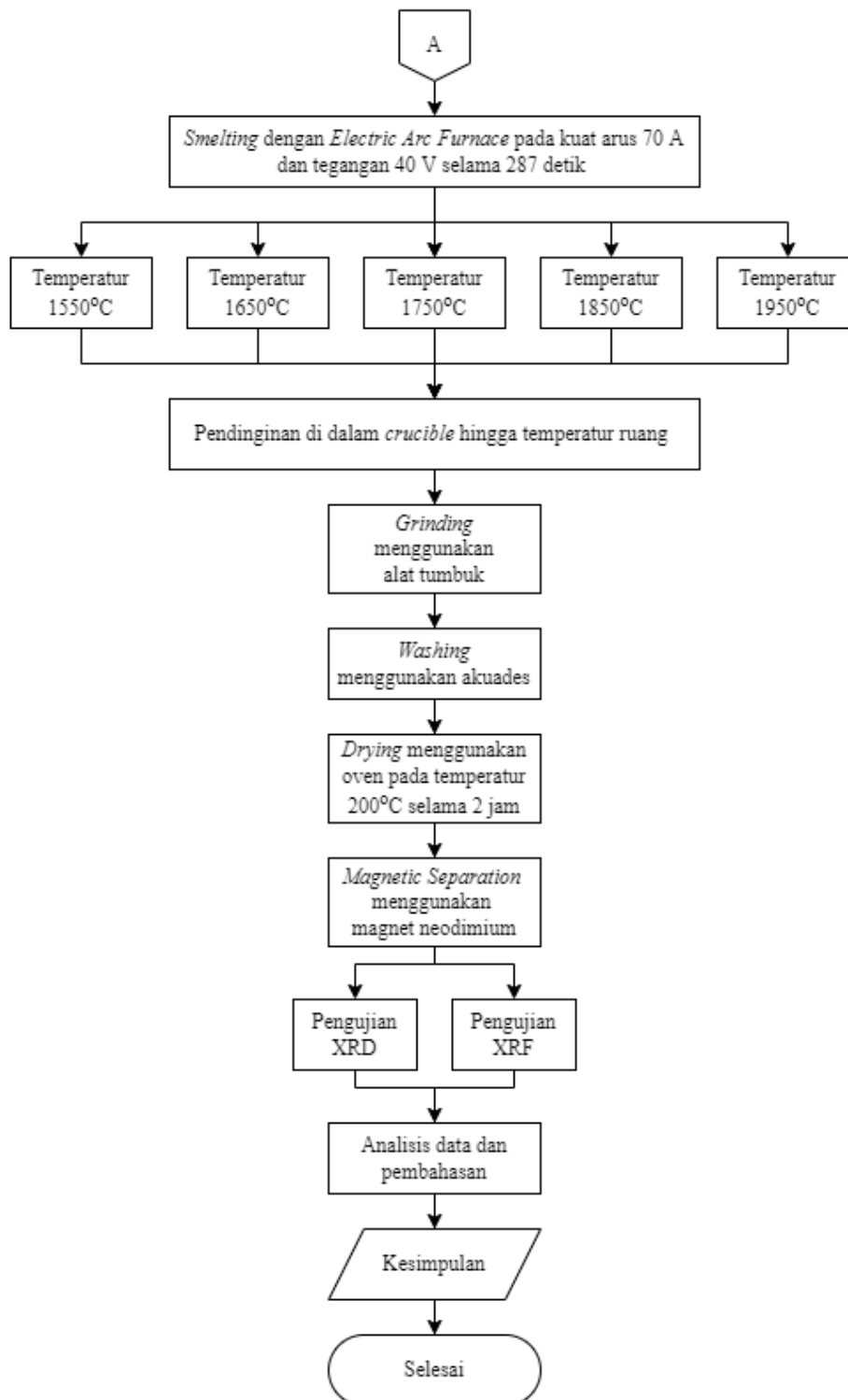
Metode	Material	Variabel	Hasil	Peneliti
Ekstraksi Pelarut	Pasir Monasit	Waktu dan pH	pH=1,5 O/A= 5 Waktu= 5 menit Hasil = Th 32,44 %	Trinopiawan dkk. (2011)
Pengendapan	Pasir Monasit	Waktu dan volume	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> =20 ml Waktu pengendapan= 20 menit Recovery Th= 96,99%	Trinopiawan dkk. (2012)
<i>Roasting</i>	Pasir Monasit	Temperatur dan ukuran butir	T=400°C Ukuran= 200 Recovery LTJ= 65,52%	Haryono dkk. (2015)
Koagulasi	Limbah Pasir Monasit	pH dan kadar koagulan	pH= 8,0 FeSO <sub>4</sub> = 225 mg/L Kadar Th= 54,20%	Marisi dkk. (2018)
Ekstraksi selektif	Pasir Monasit	Temperatur	T= 700-750°C Recovery Th= 70-80%	Teixeira dkk. (2019)
<i>Smelting</i>	Konsentrat mangan dan besi	Temperatur dan waktu	T= 1479, 1646, 1739°C t= 222, 138, 126 menit Kadar terbaik= Fe 80,1%, Mn 10,9 %.	Supriyatna dkk. (2014)
<i>Smelting</i>	<i>Direct Reduced Iron (DRI)</i>	Kuat arus listrik	I= 180 A Kadar Fe= 91,585% Recovery Fe= 98,78%	Wijaya (2018)
<i>Smelting</i>	<i>Direct Reduced Iron (DRI)</i>	Kuat arus listrik	t= 6 menit Kadar Fe= 91,58% Recovery Fe= 98,78%	Pangestu (2018)
<i>Smelting</i>	Titanium	Waktu dan temperatur	t= 30 menit. T= 1600°C Ti= 79,21%	Supriyatna dkk. (2019)
<i>Smelting</i>	<i>Red Mud</i>	Temperatur	T= 1750 Fe= >97%	Valeev dkk. (2019)
<i>Smelting</i>	Pasir monasit	Jumlah SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> = 9% Kadar ThO <sub>2</sub> = 0,46% Recovery ThO <sub>2</sub> = 90.02%	Wienar (2022)

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram alir

Berikut adalah **Gambar 3.1** yang menunjukkan diagram alir penelitian.





**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

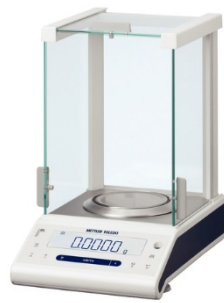
### 3.2 Alat Penelitian

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

1. Neraca analitik

Neraca analitik yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan. Neraca analitik ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.





**Gambar 3. 2** Neraca analitik (dokumentasi pribadi, 2022)

2. Ayakan

Ayakan yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendapatkan ukuran butir bahan baku yang diinginkan. Ayakan yang digunakan berukuran 50 *mesh*. Ayakan dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**



**Gambar 3. 3** Ayakan 50 *mesh* (dokumentasi pribadi, 2022)

3. *Thermometer infrared*

*Thermometer infrared* yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendeteksi temperatur di dalam *Electric Arc Furnace* saat proses *smelting*. *Thermometer infrared* dapat dilihat pada **Gambar 3.4.**



**Gambar 3. 4** *Thermometer infrared* (dokumentasi pribadi, 2022)

4. Oven

Oven yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menghilangkan *moisture content* dan mengeringkan pasir monasit setelah proses pencucian. Oven ditunjukkan pada **Gambar 3.5.**



**Gambar 3. 5** Oven (dokumentasi pribadi, 2022)

5. Alat tumbuk

Alat tumbuk berfungsi untuk menghancurkan bahan baku untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan yaitu 50 mesh. Alat tumbuk dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3. 6** Alat tumbuk (dokumentasi pribadi, 2022)

6. *Power supply*

*Power supply* dalam penelitian ini berfungsi sebagai penyuplai energi listrik sebagai sumber energi untuk menjalankan *Electric Arc Furnace*. *Power supply* dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



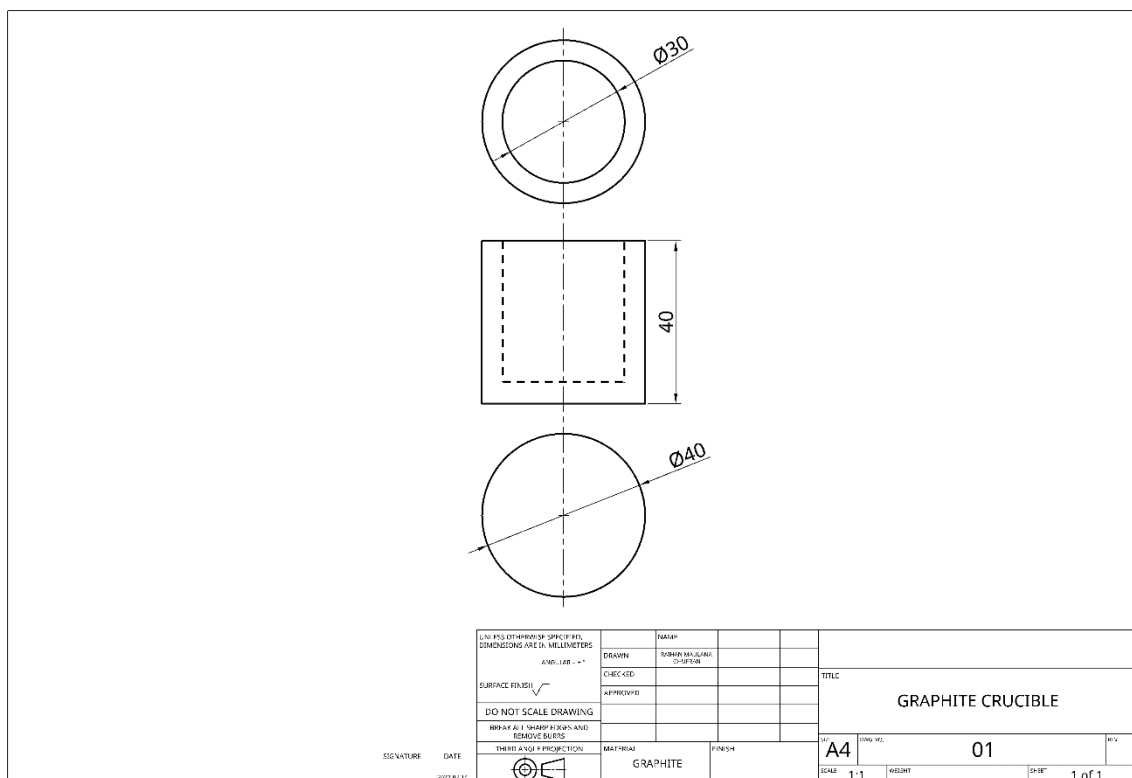
**Gambar 3. 7** *Power supply* (dokumentasi pribadi, 2022)

7. *Crucible*

*Crucible* yang digunakan berbahan dasar SiC berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses *smelting* pasir monasit dengan *Electric Arc Furnace*. *Crucible* dan dimensi *crucible* dapat dilihat pada **Gambar 3.8** dan **Gambar 3.9**.



Gambar 3. 8 *Crucible* (dokumentasi pribadi, 2022)



Gambar 3. 9 Dimensi *crucible*

8. Magnet neodimium

Magnet neodimium pada penelitian ini digunakan dalam proses *magnetic separation* untuk memisahkan konten magnetik dan non-magnetik dalam material dan produk sebelum ataupun sesudah proses *smelting*. Magnet neodimium dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Magnet neodimium (dokumentasi pribadi, 2022)

### 3.3 Bahan Penelitian

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

#### 1. Pasir Monasit

Pasir monasit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Bangka Belitung, Indonesia. Pasir monasit dilakukan preparasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses *smelting*. Pasir monasit dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



**Gambar 3. 11** Pasir monasit (dokumentasi pribadi, 2022)

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

Fluks yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika dioksida *analytical grade* dengan rumus senyawa SiO<sub>2</sub>, yang memiliki kemurnian hingga 99%. Fluks SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



**Gambar 3. 12** Fluks SiO<sub>2</sub> (dokumentasi pribadi, 2022)

#### 3. Serbuk Karbon

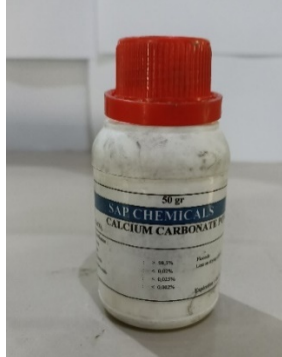
Serbuk Karbon digunakan sebagai reduktor. Serbuk karbon yang digunakan merupakan karbon analitik dengan kemurnian 99%. Serbuk Karbon dapat dilihat pada **Gambar 3.13**.



**Gambar 3. 13** Serbuk karbon (dokumentasi pribadi, 2022)

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%. Serbuk  $\text{CaCO}_3$  dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.



**Gambar 3. 14** Serbuk  $\text{CaCO}_3$  (dokumentasi pribadi, 2022)

5. *Aquades*

*Aquades* pada penelitian ini digunakan sebagai media pencucian pasir monasit dalam menghilangkan pengotor. *Aquades* yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.15**.



**Gambar 3. 15** *Aquades* (dokumentasi pribadi, 2022)

6. Elektroda Grafit

Elektroda grafit digunakan sebagai bahan yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dengan kandungan karbon sebesar 99,9%. Elektroda grafit yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3. 16** Elektroda grafit (dokumentasi pribadi, 2022)

### 3.4 Metode Penelitian

Berikut merupakan langkah percobaan yang perlu dilakukan dalam penelitian ini.

### 3.4.1 Persiapan Material

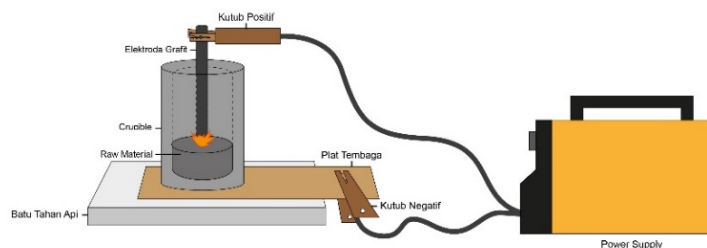
Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan preparasi material sebelum dilanjutkan ke proses *smelting*.

1. Dilakukan proses *grinding* pada pasir monasit untuk mendapatkan ukuran yang homogen.
2. Proses *screening* dilakukan pada pasir hasil *grinding* hingga didapatkan ukuran *50 mesh*.
3. Dilakukan proses pencucian (*washing*) pasir monasit menggunakan media aquades 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 *aquades* hingga bersih.
6. Dilanjutkan dengan proses pengeringan spesimen pasir monasit di dalam oven pada temperatur  $120^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam.
7. Sampel yang telah dikeringkan kemudian diuji karakterisasi menggunakan XRD dan XRF.
8. Dilakukan proses penimbangan massa untuk sampel pasir monasit, serbuk karbon, serbuk  $\text{CaCO}_3$ , dan fluks  $\text{SiO}_2$  sesuai perhitungan neraca massa sebelum dilanjutkan ke proses *smelting* menggunakan EAF.

### 3.4.2 Proses *Smelting* menggunakan EAF

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, serbuk  $\text{CaCO}_3$ , dan fluks  $\text{SiO}_2$ .
2. Campuran sampel dimasukkan ke dalam *crucible* kemudian diposisikan merata di bagian dalam *crucible*.
3. Elektroda grafit kemudian dihubungkan dengan *power supply*.
4. *Power supply* dihubungkan ke sumber dan diatur parameter arus menjadi 70 ampere dan tegangan 40 volt.
5. Proses *smelting* dilakukan selama 287 detik pada beberapa variasi temperatur yaitu  $1550^{\circ}\text{C}$ ,  $1650^{\circ}\text{C}$ ,  $1750^{\circ}\text{C}$ ,  $1850^{\circ}\text{C}$ , dan  $1950^{\circ}\text{C}$  dengan menghubungkan elektroda positif pada material dan elektroda negatif pada *crucible* seperti pada **Gambar 3.17**.



**Gambar 3. 17** Skema proses *smelting*

### 3.4.3 Perlakuan Setelah Proses *Smelting*

Berikut merupakan perlakuan yang diberikan kepada sampel setelah proses *smelting*.

1. Produk hasil *smelting* didinginkan hingga temperatur ruang di dalam *crucible*.
2. Dilakukan proses *grinding* pada produk hasil *smelting*.
3. Selanjutnya dilakukan *magnetic separation* untuk memisahkan magnetik dan non-magnetik *portion*.
4. Produk dicuci dan dikeringkan dalam oven pada temperatur  $120^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam.



5. Dilakukan pengujian XRD dan XRF terhadap produk *smelting* untuk dianalisis hasilnya.

### 3.5 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian kali ini.

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

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif pada spesimen uji. Sampel spesimen uji di preparasi terlebih dahulu dengan cara dihancurkan sebelum dilakukan uji XRD. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi yang tinggi. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. 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 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.18**. 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.



**Gambar 3. 18** Perangkat alat XRD (dokumentasi pribadi, 2022)

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

Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur senyawa oksida pada material hasil penelitian. Prinsip kerjanya hampir sama dengan XRD akan tetapi perbedaannya adalah fluoresensinya yang digunakan untuk analisis. Material yang diuji dihancurkan terlebih dahulu menjadi serbuk, kemudian dimasukkan ke dalam alat pengujian.

Secara kuantitatif hasil pengujian XRF lebih akurat daripada XRD. XRF mampu memberikan data baik dalam bentuk unsur maupun oksida. Analisisnya relatif cepat karena simultan. Beberapa elemen atau oksida juga dapat dianalisis sekaligus dalam sekali running. XRF juga hanya membutuhkan sedikit sampel pada tahap preparasinya.

Dalam penelitian ini pengujian XRF dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.19**. Hasil pengujian XRF yang 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.





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 dilakukan dengan menghitung massa dari setiap komponen untuk mendapatkan neraca massa berdasarkan perbandingan mol dari reaksi-reaksi yang terjadi. Parameter pada *power supply* akan menjadi salah satu dasar 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  $\text{SiO}_2$ .

Reaksi Budouard digunakan sebagai acuan dengan 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 Komposisi massa *smelting* pasir monasit

$\text{SiO}_2$ (gram)	Pasir Monasit (gram)	Serbuk Karbon (gram)	$\text{CaCO}_3$ (gram)	Massa Total (gram)
0,99	10	0,64	2,22	13,85

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

Tabel 3. 2 Spesifikasi EAF pada *smelting*

Energi input	Energi EAF	Kuat Arus	Tegangan	Waktu
801566,04 J	803600	70 A	40 V	287 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) (Wills & Finch, 2016).

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

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 (Wills & Finch, 2016).

Untuk membandingkan kualitas antara produk dengan *grade* dan *recovery* dapat dilakukan melalui perhitungan *separation efficiency* (S.E.) sesuai Persamaan (3.2) (Wills & Finch, 2016).

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

dengan  $m$  sebagai persentase logam berharga dalam mineral berharga dan  $C$  sebagai rasio antara massa produk dan massa umpan ( $W_p/W_f$ ) (Wills & Finch, 2016).

### 3.6.3 Perhitungan Basisitas

Basisitas merupakan rasio senyawa yang bersifat basa terhadap senyawa yang bersifat asam yang ada pada *slag* atau produk hasil permunian. Terdapat tiga definisi basisitas *slag*, yaitu  $B_1$ ,  $B_2$ , dan  $B_3$ . Perhitungan basisitas dilakukan sesuai Persamaan (3.3), (3.4), dan (3.5). Perhitungan basisitas dilakukan sesuai Persamaan (3.3), (3.4), dan (3.5). (Wills & Finch, 2016).

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

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

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

### 3.7 Rancangan Penelitian

Berikut merupakan rancangan penelitian yang dilakukan dalam proses *smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur.

**Tabel 3. 3 Rancangan Penelitian**

Variasi Temperatur (°C)	Pengujian	
	XRD	XRF
1550	v	v
1650	v	v
1750	v	v
1850	v	v
1950	v	v

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

Dilakukan proses karakterisasi pada pasir monasit sebagai bahan dasar yang akan digunakan untuk melakukan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik awal sebelum dilakukannya proses *smelting*.

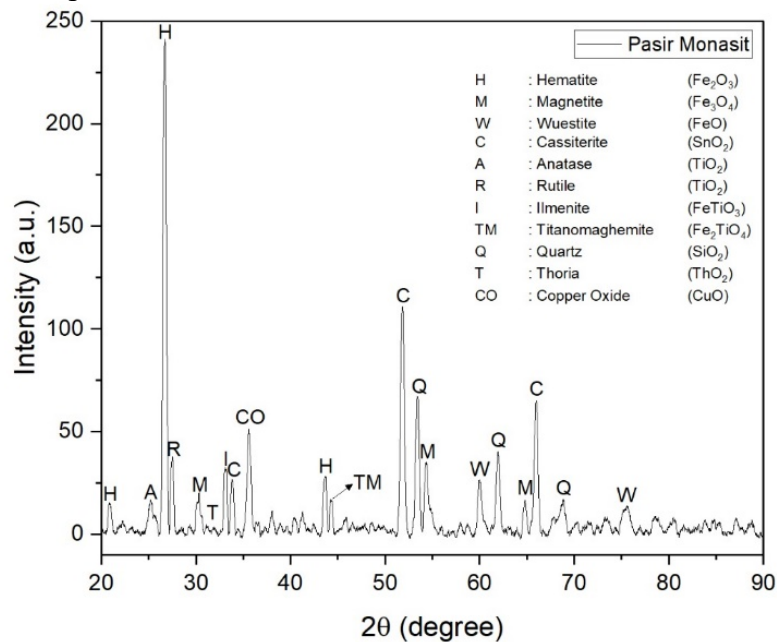
Pengujian dengan metode *X-ray Fluorescence* (XRF) dilakukan kepada sampel pasir monasit yang diambil dari daerah Bangka Belitung, Indonesia. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur serta oksida yang terkandung di dalam sampel. Komposisi oksida pasir monasit ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4. 1** Komposisi senyawa oksida pasir monasit

<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		

Berdasarkan hasil pengujian *X-ray Fluorescence* (XRF), pasir monasit didominasi oleh TiO<sub>2</sub> dengan kadar sebesar 40,8%, ZrO<sub>2</sub> dengan kadar sebesar 14,7%, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 13,8%. Sedangkan ThO<sub>2</sub> sebesar 0,25%.

Selain menggunakan metode pengujian *X-ray Fluorescence* (XRF). Dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* dengan mesin XRD PAN *Analytical* untuk mengetahui fasa, senyawa, dan struktur kristal yang terbentuk pada pasir monasit. Setelah didapatkan hasil pengujian, data dianalisis menggunakan *software Highscore*. Berikut adalah senyawa yang terbentuk pada pasir monasit dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



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

Berdasarkan hasil analisis pengujian XRD pasir monasit, diperoleh *peak-peak* dimana *peak* tertinggi pada pasir monasit berupa *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), disusul oleh *Cassiterite* (SnO<sub>2</sub>),

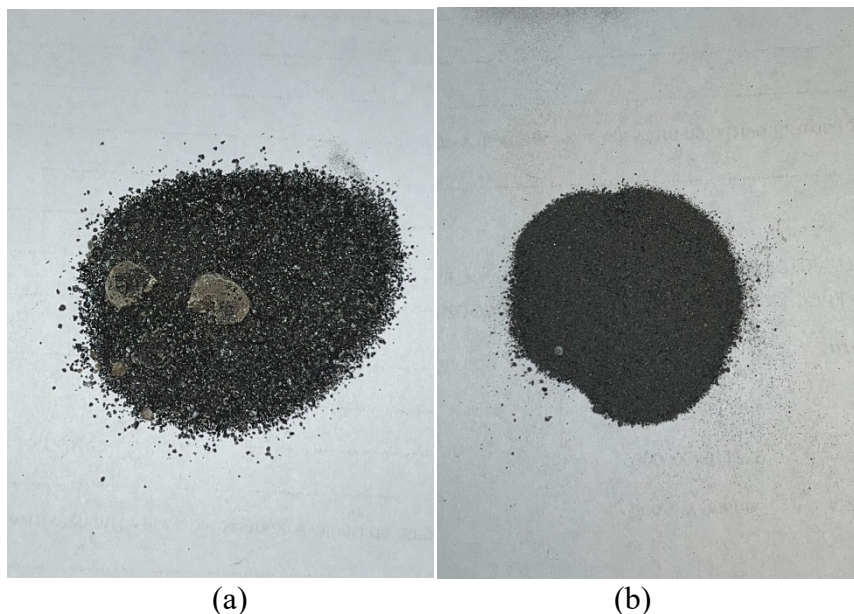
*Quartz* ( $\text{SiO}_2$ ), *Copper oxide* ( $\text{CuO}$ ), *Rutile* ( $\text{TiO}_2$ ), dan *Thoria* ( $\text{ThO}_2$ ). Senyawa dan fasa pada hasil analisis XRD pasir monasit dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Berdasarkan data dari *reference code* yang didapatkan,  $\text{ThO}_2$  memiliki struktur kristal berbentuk kubik dengan *lattice parameter* a,b, dan c yang sama yaitu sebesar 5,721 Å.

**Tabel 4.2** Senyawa dominan pasir monasit

No	Nama Fasa	Rumus Kimia	Struktur Kristal	Reference Code
1	<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rhombohedral	01-073- 0603
2	<i>Quartz</i>	$\text{SiO}_2$	Heksagonal	03-065- 0466
3	<i>Rutile</i>	$\text{TiO}_2$	Tetragonal	00-034- 0180
4	<i>Thorianite</i>	$\text{ThO}_2$	Kubik	00-004- 0556
5	<i>Zirconium oxide</i>	$\text{ZrO}_2$	Kubik	00-003- 0640
6	<i>Cassiterite</i>	$\text{SnO}_2$	Tetragonal	01-077- 0447

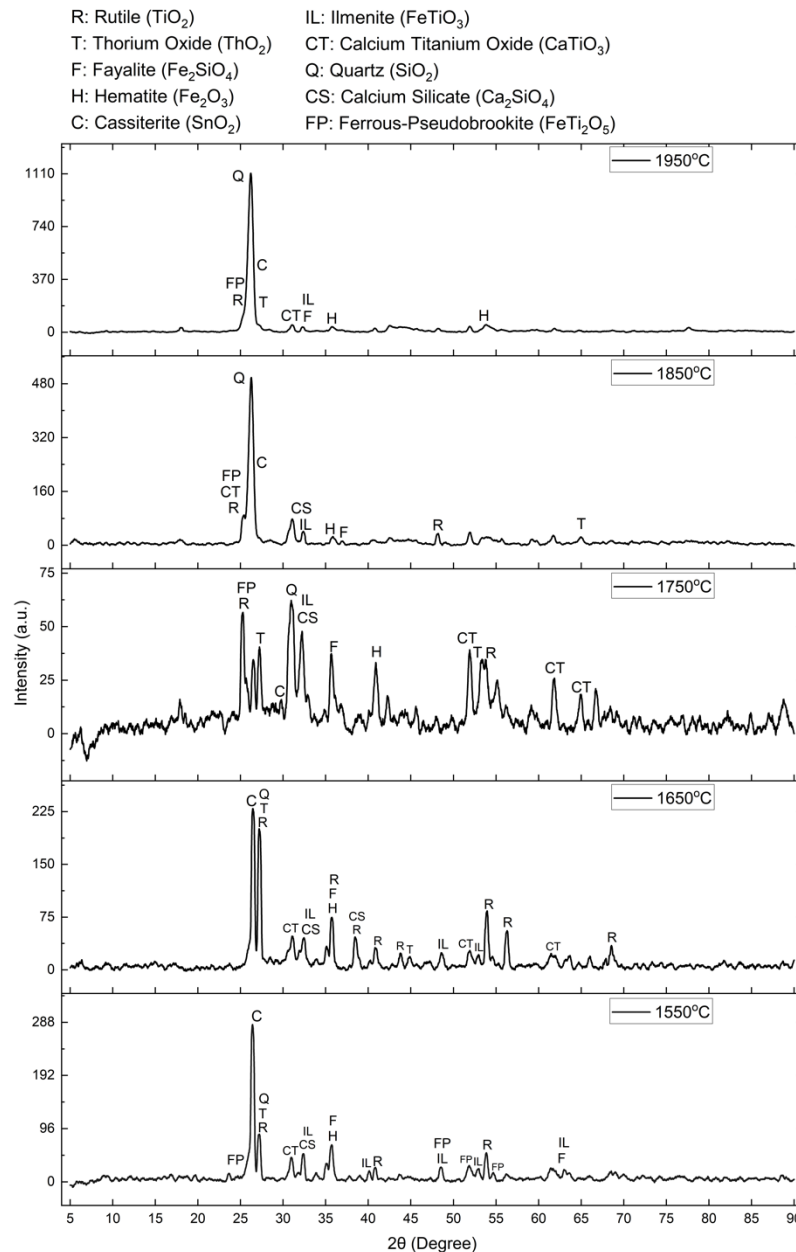
#### 4.2 Pengaruh Variasi Temperatur *Electric Arc Furnace* Terhadap Fasa Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Pada produk hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur sebesar 1550°C, 1650°C, 1750°C, 1850°C, dan 1950°C dilakukan proses *magnetic separation* untuk memisahkan porsi magnetik dan non-magnetik dari pasir monasit hasil *smelting*. Tampak fisik dari pasir monasit hasil *smelting* yang telah diseparsi dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2** (a) Porsi magnetik produk hasil *smelting*, (b) Porsi non magnetik produk hasil *smelting*

Dapat dilihat secara fisik bahwa porsi magnetik produk mengandung bongkahan logam dan butiran kasar yang memantulkan cahaya sedangkan pada porsi non magnetik terlihat seperti pasir halus dan tidak memantulkan cahaya. Pengujian XRD kemudian dilakukan pada porsi non magnetik produk hasil *smelting* karena target senyawa  $\text{ThO}_2$  dominan memiliki sifat non magnetik sehingga akan lebih banyak ditemukan pada porsi non magnetik produk. Berikut adalah hasil analisis data XRD pada produk pasir monasit hasil *smelting* yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.

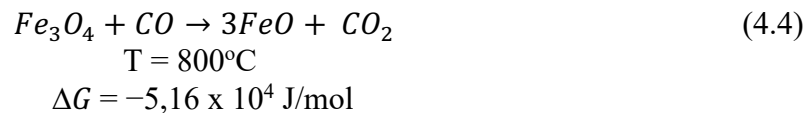
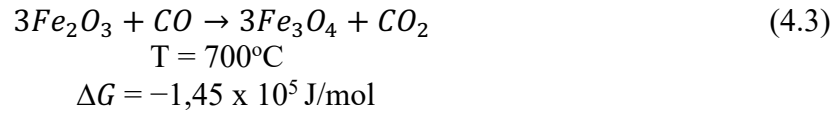


**Gambar 4. 3** Hasil analisis XRD *smelting* pasir monasit

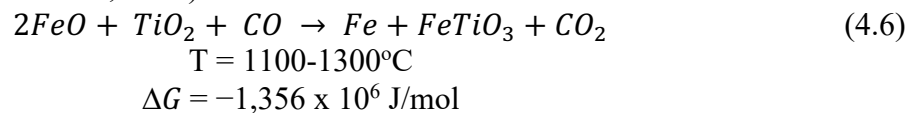
Berdasarkan hasil analisis XRD produk, dapat dilihat bahwa terbentuk beberapa senyawa setelah dilakukannya proses *smelting* yang berupa *fayalite* (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), *ilmenite* (FeTiO<sub>3</sub>), *perovskite* (CaTiO<sub>3</sub>), *ferropseudobrookite* (FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dan *calcium-orthosilicate* (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). di sisi lain, senyawa awal yang terkandung pada pasir monasit masih tetap terbentuk seperti ThO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Serbuk karbon ditambahkan pada proses *smelting* sebagai agen reduktor yang mana nantinya gas CO yang berasal dari serbuk karbon dapat mereduksi *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menjadi besi murni (Fe) (Sarangi & Sarangi, 2011). Besi murni (Fe) akan dapat dipisahkan dari sampel produk karena memiliki sifat magnetik (Collinson, 1968). Berikut adalah proses Reaksi terbentuknya Fe dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Yu et al., 2017).

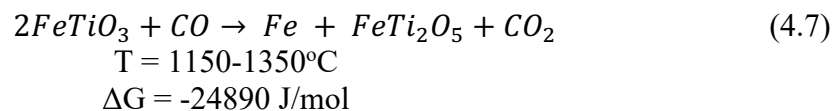




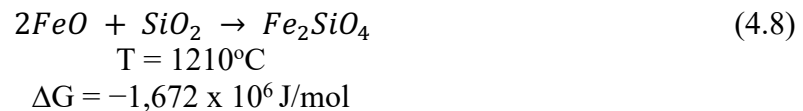
FeO yang terbentuk dapat bereaksi dengan senyawa oksida  $TiO_2$  pada temperatur tertentu dan membentuk senyawa paduan baru yaitu *ilmenite* ( $FeTiO_3$ ). *Ilmenite* sendiri merupakan senyawa kristalin yang cukup stabil pada temperatur likuidus ( $1100-1300^\circ C$ ) sehingga *ilmenite* umum terbentuk pada temperatur tersebut (Purnamawan, 2018). Berikut adalah proses Reaksi pembentukan ilmenit (Liu et al., 2016).



Keberadaan ilmenit ( $FeTiO_3$ ) muncul di setiap jenis variasi *smelting* dengan  $\theta$  dan intensitas yang stabil pada setiap variasi temperatur. Kemudian pada temperatur sekitar  $1150-1350^\circ C$ , ilmenit yang terbentuk akan dapat bereaksi dengan gas CO dan membentuk senyawa  $FeTi_2O_5$  dengan Reaksi kimia seperti berikut (Liu et al., 2016).



Disamping pembentukan ilmenit, senyawa  $SiO_2$  yang terdapat pada proses *smelting* pasir monasit juga berikatan dengan wustit ( $FeO$ ) dari proses reduksi besi dan dapat membentuk senyawa paduan yaitu *fayalite* ( $Fe_2SiO_4$ ) yang terbentuk pada temperatur sekitar  $1210^\circ C$  (Pintowantoro & Abdul, 2021).

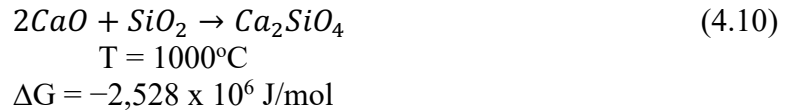


Senyawa CaO yang terdapat pada pasir monasit serta hasil dari penambahan  $CaCO_3$  yang terdekomposisi menjadi CaO pada kisaran temperatur  $700-900^\circ C$  (Royani et al., 2016), dapat membentuk senyawa paduan *perovskite* ( $CaTiO_3$ ) dan *calcium-orthosilicate* ( $Ca_2SiO_4$ ).





CaO produk dari dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  dapat bereaksi dengan senyawa  $\text{SiO}_2$  yang berada pada pasir monasit maupun yang ditambahkan pada proses *smelting* sebagai *flux*. Penambahan  $\text{SiO}_2$  mengikat senyawa CaO yang bersifat basa (Pintowantoro & Abdul, 2021). Reaksi antara CaO dan  $\text{SiO}_2$  terjadi pada temperatur sekitar  $1000^\circ\text{C}$ .



CaO produk dekomposisi hasil  $\text{CaCO}_3$  juga dapat bereaksi dengan senyawa dominan  $\text{TiO}_2$  pada pasir monasit menjadi senyawa paduan  $\text{CaTiO}_3$  (Lei et al., 2017).



Pada hasil *smelting* di tiap variasi temperatur, masih tersisa senyawa  $\text{SiO}_2$ . Hal ini dapat terjadi karena saat reaktan pada suatu proses reaksi habis, reaksi tersebut tidak dapat dilanjutkan (Alabama, 2019). Disamping itu, munculnya senyawa target  $\text{ThO}_2$  menunjukkan bahwa proses *smelting* yang dilakukan dapat dibilang berhasil dengan tidak menghilangkan senyawa target yang diinginkan.

**Tabel 4.3** Senyawa yang terbentuk pada produk hasil *smelting* dengan variasi temperatur

No	Nama Fasa	Rumus Kimia	Struktur Kristal	Reference Code
1	<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rhombohedral	01-073-0603
2	<i>Quartz</i>	$\text{SiO}_2$	Heksagonal	01-083-2473
3	<i>Rutile</i>	$\text{TiO}_2$	Tetragonal	01-076-0321
4	<i>Thoria</i>	$\text{ThO}_2$	Kubik	03-065-0290
5	<i>Calcium-orthosilicate</i>	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	Orthorhombik	00-023-1044
6	<i>Cassiterite</i>	$\text{SnO}_2$	Tetragonal	01-077-0447
7	<i>Perovskite</i>	$\text{CaTiO}_3$	Kubik	00-040-0103
8	<i>Fayalite</i>	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	Kubik	01-074-1021
9	<i>Ilmenite</i>	$\text{FeTiO}_3$	Rhombohedral	01-075-1204
10	<i>Ferrous-pseudobrookite</i>	$\text{FeTi}_2\text{O}_5$	Orthorhombik	01-089-8065

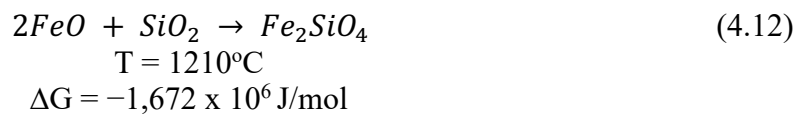
#### 4.3 Pengaruh Variasi Temperatur *Electric Arc Furnace* Terhadap Komposisi Senyawa Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Pada hasil *smelting* pasir monasit, pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah komposisi senyawa yang terkandung pada produk hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur sebesar  $1550^\circ\text{C}$ ,  $1650^\circ\text{C}$ ,  $1750^\circ\text{C}$ ,  $1850^\circ\text{C}$ , dan  $1950^\circ\text{C}$ . Produk hasil *magnetic separation* yang berupa *non-magnetic portion* digunakan sebagai sampel pengujian. Data hasil pengujian menunjukkan komposisi senyawa penyusun dari hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur dan pasir monasit awal sebagai sampel penelitian. Perubahan yang terjadi pada komposisi senyawa pada saat setelah dilakukan proses pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

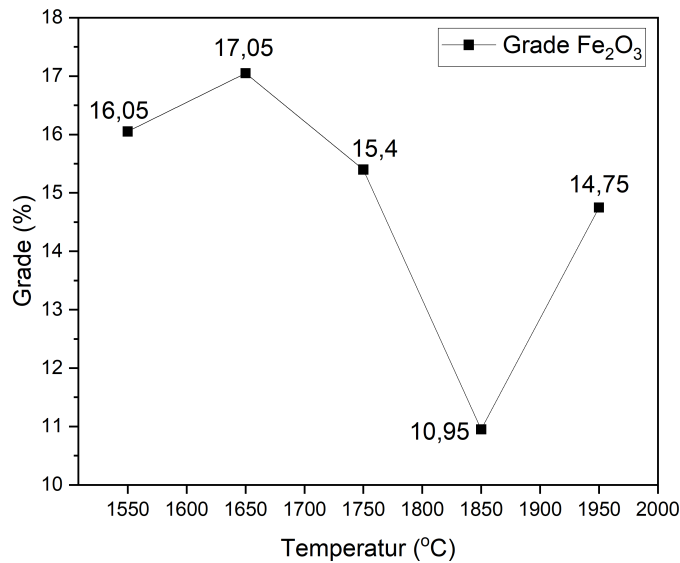
**Tabel 4. 4** Komposisi pasir monasit sebelum dan sesudah dilakukan *smelting* dengan variasi temperatur

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	0,2	4,6	40,32
2	1550°C	0,32	16,05	32,9	5,24	7,3	38,19
3	1650°C	0,36	17,05	36,6	5,78	7,5	32,71
4	1750°C	0,42	15,40	43,1	7,71	8,55	24,82
5	1850°C	0,44	10,95	43,9	6,89	8,8	29,02
6	1950°C	0,43	14,75	41,5	6,84	8,55	27,93

Berdasarkan data yang diperoleh dapat dilihat bahwa pada hasil proses *smelting* pasir monasit menggunakan metode *Electric Arc Furnace*, temperatur memengaruhi kadar dari senyawa utama yang terkandung pada pasir monasit. Untuk meningkatkan kadar senyawa target yaitu ThO<sub>2</sub>, perlu dilakukan proses penurunan kadar senyawa dominan lain pada pasir monasit. Pada variasi temperatur 1550°C terbentuk kadar atau *grade* dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 16,05% kemudian diikuti temperatur 1650°C dengan *grade* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tertinggi sebesar 17,05%, dan didapati penurunan kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terendah pada variasi temperatur 1850°C. Reaksi yang terjadi dikarenakan basisitas juga tentunya mempengaruhi nilai kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimana saat nilai basisitas rendah, Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> akan terbentuk dan menghambat FeO untuk melakukan reaksi reduksi dengan gas CO (Gupta, 2003). Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> terlihat juga pada hasil pengujian XRD dimana Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

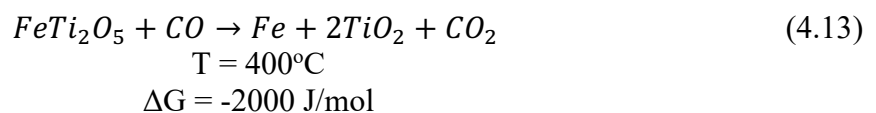


Penambahan kadar ini juga terjadi karena limitasi kemampuan mesin pengujian XRF yang mengidentifikasi *fayalite* (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), dan magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) teridentifikasi sebagai senyawa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dikarenakan klasifikasi XRF yang berbasis elemen, tentu saja hal tersebut menyebabkan kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terdeteksi menjadi lebih besar. Kadar TiO<sub>2</sub> yang bertambah juga menjadi salah satu hal yang dapat menekan angka kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimana pada saat kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berada di titik terendah yaitu 10,95%, kadar TiO<sub>2</sub> berada pada angka tertinggi dari semua variasi yaitu sebesar 43,95%. Data kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi senyawa temperatur dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.

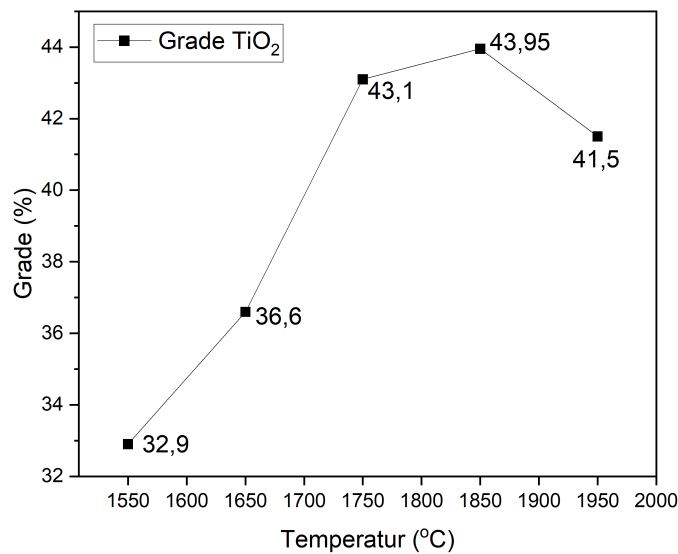


**Gambar 4. 4** Kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil *smelting* pasir monasit

Pada kadar TiO<sub>2</sub> hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur menunjukkan bahwa kadar tertinggi TiO<sub>2</sub> terdapat pada variasi temperatur 1850°C dengan kadar sebesar 43,95% dan diikuti dengan temperatur 1750°C dengan kadar sebesar 43,1%. Sedangkan kadar TiO<sub>2</sub> terendah didapatkan pada variasi temperatur 1550°C dengan nilai kadar sebesar 32,9%. Fluktuitas nilai kadar TiO<sub>2</sub> berbanding terbalik dengan keberadaan kadar SnO<sub>2</sub> dimana pada temperatur 1550°C kadar SnO<sub>2</sub> mengalami kenaikan dari kadarnya pada pasir monasit sebelum dilakukan *smelting* dari 12,1% menjadi 20,8% sedangkan pada variasi temperatur TiO<sub>2</sub> tertinggi yaitu 1850°C, kadar SnO<sub>2</sub> yang didapatkan adalah sebesar 3,8%. Dari data yang didapatkan, dapat dilihat bahwa keberadaan SnO<sub>2</sub> menjadi salah satu senyawa yang menekan kadar dari TiO<sub>2</sub> dimana saat SnO<sub>2</sub> menjadi dominan kadar TiO<sub>2</sub> menjadi minim dan saat keberadaan SnO<sub>2</sub> menjadi minim, kadar SnO<sub>2</sub> menjadi dominan. Diluar pengaruh SnO<sub>2</sub>, FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yang terbentuk pada proses *smelting* tereduksi menjadi TiO<sub>2</sub> pada temperatur sekitar 400°C (Zhao et al., 2019).

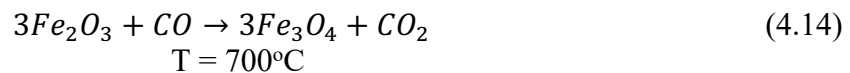


Data nilai kadar TiO<sub>2</sub> hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi tiap temperatur dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.

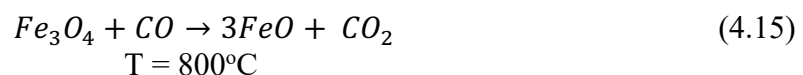


**Gambar 4. 5** Kadar TiO<sub>2</sub> hasil *smelting* pasir monasit

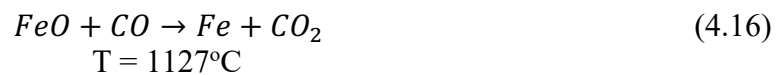
Pada senyawa target ThO<sub>2</sub>, hasil *smelting* mengalami kenaikan dengan tren yang semakin tinggi pada setiap variasi temperatur dengan nilai kadar sebesar 0,32%, 0,36%, 0,42%, 0,44%, dan 0,43% berurutan dengan sesuai dengan variasi temperatur 1550°C, 1650°C, 1750°C, 1850°C, dan 1950°C. Kadar hasil tertinggi terdapat pada variasi temperatur 1850°C dengan kadar sebesar 0,44% dan kadar terendah berada pada variasi temperatur 1550°C dengan kadar sebesar 0,32%. Kenaikan kadar pada ThO<sub>2</sub> dapat terjadi karena pada salah satu senyawa dominan pasir monasit yaitu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bereaksi dengan CO dan tereduksi menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hingga menjadi Fe yang dapat dilihat pada Reaksi (4.14), (4.15), dan (4.16) di bawah ini (Muzakkii et al., 2021):



$$\Delta G = -1,45 \times 10^5 \text{ J/mol}$$

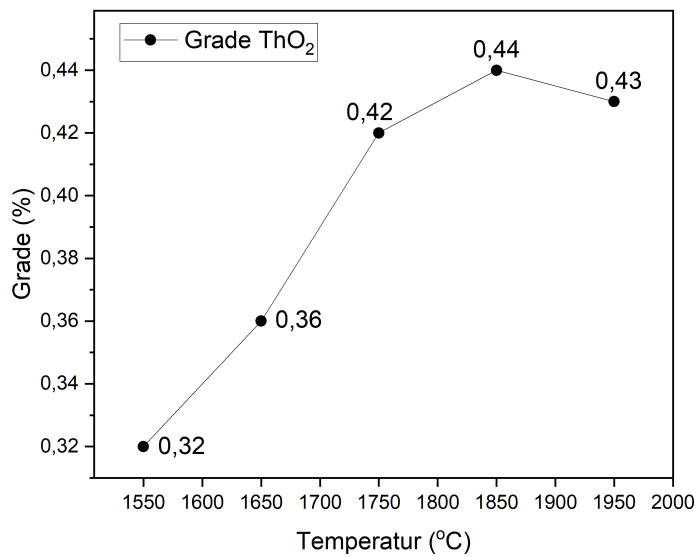


$$\Delta G = -5,16 \times 10^4 \text{ J/mol}$$



$$\Delta G = -1,63 \times 10^3 \text{ J/mol}$$

Logam Fe yang dihasilkan dari proses reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki sifat magnetic (Collinson, 1968) sehingga akan dapat dipisahkan pada saat *magnetic separation*. Hilangnya Fe yang diambil dari *magnetic portion* dalam proses *magnetic separation* lah yang meningkatkan kadar senyawa lain pada hasil *smelting*. Kadar ThO<sub>2</sub> sendiri dapat dikatakan cukup stabil, dan tidak mengalami pengurangan karena temperatur reduksi ThO<sub>2</sub> yang sangat tinggi yaitu pada kisaran temperatur 3376°C-3400°C (P.S. Ghosh et al., 2016). Data nilai kadar ThO<sub>2</sub> hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi tiap temperatur dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.

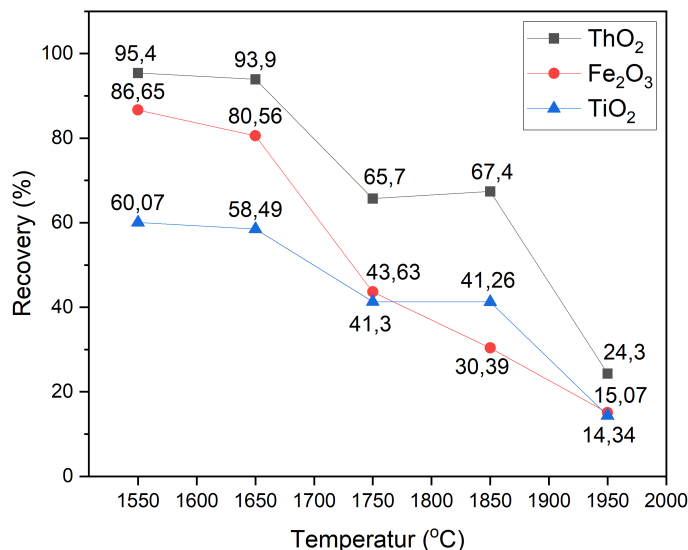


**Gambar 4. 6** Kadar  $\text{ThO}_2$  hasil *smelting* pasir monasit

#### 4.4 Pengaruh Variasi Temperatur *Electric Arc Furnace* Terhadap *Recovery* Senyawa Utama Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Pada penelitian ini, perhitungan *recovery* didapatkan berdasarkan kadar mineral dan massa non-magnetik dari hasil separasi *magnetic*. Hal ini dilakukan karena keberadaan senyawa  $\text{ThO}_2$  yang dominan terdapat pada porsi non magnetik dari hasil *smelting*. Nilai dari *recovery* itu sendiri didapatkan dari hasil kali kadar produk dengan massa produk dibagi dengan kadar sampel dikali dengan massa sampel seperti yang tertera pada Persamaan (2.8) (Wills & Finch, 2016).

Setelah dilakukan proses perhitungan *recovery* berikut adalah hasil pengaruh variasi temperatur terhadap masing masing *recovery* senyawa utama pada hasil *smelting* pasir monasit yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



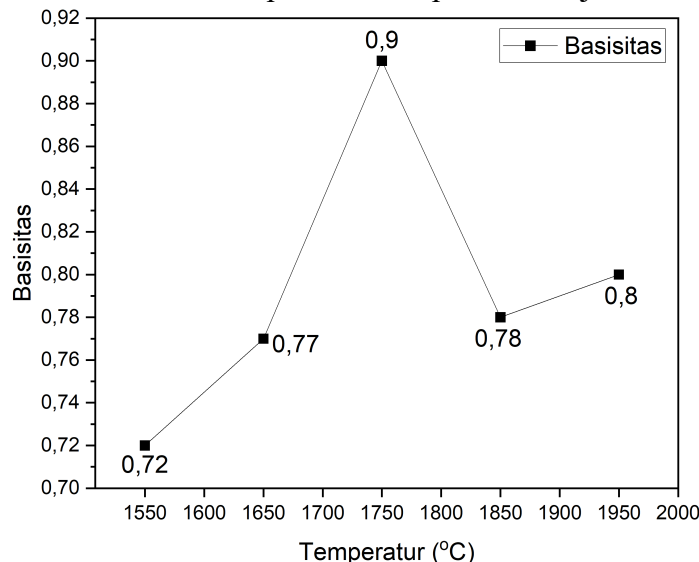
**Gambar 4. 7** Perbandingan nilai *recovery* senyawa utama pada hasil *smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan *recovery* dari tiga senyawa utama yaitu  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  didapatkan bahwa pada ketiga senyawa memiliki tren yang sama pada semua proses

*smelting* di tiap variasi temperatur yaitu seiring meningkatnya temperatur, nilai *recovery* yang dihasilkan juga ikut turun. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *recovery* ThO<sub>2</sub> tertinggi berada pada variasi temperatur 1550°C dengan persentase sebesar 95,4% disusul dengan kadar sebesar 93,9% pada variasi temperatur 1650°C dan turun secara konstan seiring bertambahnya variasi temperatur dari 1550°C sampai ke 1950°C hingga menyentuh titik terendahnya pada variasi temperatur 1950°C dengan nilai *recovery* sebesar 24,3%.

Pada hasil *recovery* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tren yang sama ditunjukkan dengan semakin tingginya temperatur, nilai *recovery* yang didapatkan menjadi semakin turun. Nilai kadar tertinggi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terdapat pada variasi temperatur 1550°C dengan angka 86,65%. Sedangkan pada variasi temperatur 1950°C, nilai kadar yang didapatkan adalah yang paling rendah dari semua variasi yaitu sebesar 15,07%. Nilai *recovery* TiO<sub>2</sub> juga memiliki tren yang sama, dengan nilai kadar paling tinggi terletak pada variasi temperatur 1550°C sebesar 60,07% dan memiliki *recovery* terendah pada variasi temperatur 1950°C dengan nilai kadar sebesar 14,43%. Namun pada penelitian ini nilai Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> yang didapatkan harusnya dapat ditekan menjadi lebih rendah karena keduanya merupakan senyawa pengotor dominan pada pasir monasit. nilai *recovery* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> masih terbilang tinggi karena kadar yang didapatkan dari kedua senyawa juga dapat dibidang tinggi, serta massa porsi non magnetik yang digunakan untuk perhitungan juga mengikuti tren dimana massa non magnetik tertinggi berada pada variasi 1550°C dan semakin rendah seiring naiknya temperatur dengan massa terendahnya berada pada temperatur 1950°C. Hal ini terjadi karena hasil perhitungan nilai *recovery* suatu senyawa berbanding lurus dengan massa produk (Wills & Finch, 2016).

Hal lain yang mempengaruhi hasil dari proses *smelting* adalah nilai basisitas yang terbentuk dalam proses *smelting*. Basisitas sendiri merupakan perbandingan antara senyawa basa dan senyawa asam dalam slag yang terdapat dalam produk hasil pemurnian. Basisitas dapat digunakan untuk menentukan suhu titik leleh rendah, fase, serta viskositas (Nurjaman et al., 2021). Dimana pada penelitian ini SiO<sub>2</sub> berperan sebagai senyawa asam dan CaO berperan sebagai senyawa basa (Pintowantoro & Abdul, 2021). Perhitungan nilai basisitas tertera pada Persamaan (2.12). Nilai basisitas dari tiap variasi temperatur disajikan dalam **Gambar 4.7**.



**Gambar 4. 8** Nilai basisitas pada produk hasil *smelting*

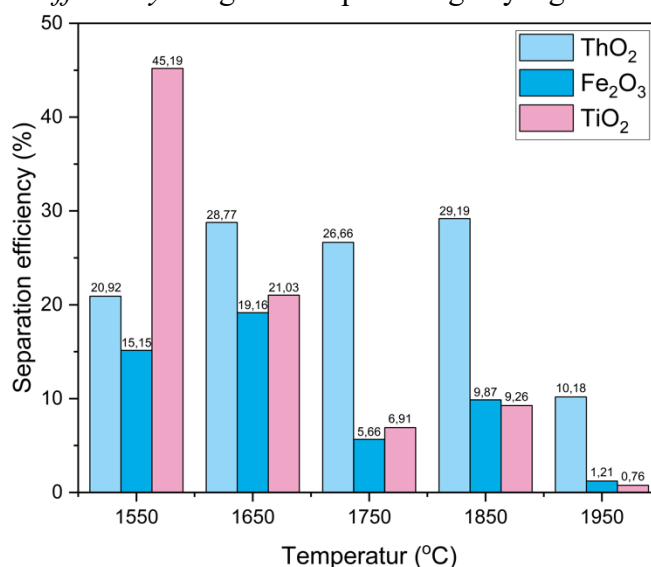
Berdasarkan data perhitungan basisitas yang telah dilakukan, didapatkan data basisitas dengan angka yang relatif sama dikarenakan tidak ada perubahan massa dalam penggunaan *flux* SiO<sub>2</sub>. Pada viskositas, basisitas berpengaruh dimana saat basisitas semakin tinggi, nilai viskositas yang didapatkan juga semakin rendah (Ma et al., 2020). Hal ini berpengaruh kepada

proses *smelting* pasir monasit dimana saat *molten metal* semakin encer, semakin sulit untuk timbulnya busur panah dikarenakan molten metal yang menghalangi interaksi dari elektroda kepada *crucible*. Saat rasio penggunaan  $\text{CaO/SiO}_2$  berada pada nilai basisitas yang rendah, akan terbentuk senyawa *fayalite* yang memiliki reduktibilitas rendah (Nurjaman et al., 2021). Sebaliknya, semakin tinggi nilai basisitas maka akan meningkatkan sifat mampu reduksinya pula (Pintowantoro & Abdul, 2021).

Berdasarkan teori diatas, pada titik tertinggi nilai basisitas yaitu pada variasi temperatur  $1750^\circ\text{C}$  nilai kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mengalami kenaikan dari nilai kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari pasir monasit. hal ini disebabkan oleh naiknya kemampuan reduksi pada reaksi dimana Ketika basisitas semakin tinggi, nilai mampu reduksi semakin tinggi. Pada variasi ini, kadar  $\text{SnO}_2$  yang didapatkan mengalami penurunan yang cukup besar dari 12,1% menjadi 2,5%. Penurunan kadar  $\text{SnO}_2$  inilah yang memicu naiknya kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang didapatkan. Sedangkan pada nilai terendah basisitas pada variasi  $1550^\circ\text{C}$ , didapatkan kenaikan kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari 13,8% menjadi 16%. Hal ini terjadi karena berdasarkan teori yang telah dipaparkan oleh Nurjaman, pada nilai basisitas yang rendah, terbentuk senyawa *fayalite* yang pada proses pengujian oleh XRF terdeteksi sebagai oksida besi yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### 4.5 Pengaruh Variasi Temperatur *Electric Arc Furnace* Terhadap Nilai *Separation Efficiency* (S.E.)

Berdasarkan dari data kadar dan *recovery* yang didapatkan, diperlukan sebuah parameter untuk menentukan variasi yang paling optimal dalam menghasilkan produk *smelting* karena semakin tinggi nilai *separation efficiency* yang didapatkan, semakin optimal pula proses pemisahan mineral yang dilakukan (Wills & Finch, 2016). Oleh karena itu dilakukan perhitungan *separation efficiency* dengan hasil perhitungan yang tertera pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4. 9** Perbandingan nilai *separation efficiency*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{ThO}_2$

Berdasarkan data hasil perhitungan nilai *separation efficiency*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{ThO}_2$  yang tertera pada gambar diatas didapatkan nilai efisiensi tertinggi  $\text{ThO}_2$  sebesar 29,19% pada variasi temperatur  $1850^\circ\text{C}$  dimana pada variasi temperatur tersebut didapatkan kadar  $\text{ThO}_2$  yang paling tinggi yaitu sebesar 0,44% sedangkan nilai *separation efficiency* terendah  $\text{ThO}_2$  berada pada variasi temperatur  $1950^\circ\text{C}$  dengan nilai sebesar 10,18%. Variasi ini memiliki nilai kadar  $\text{ThO}_2$  yang tidak jauh berbeda dengan variasi temperatur  $1850^\circ\text{C}$  yaitu sebesar 0,43%, namun pada variasi ini, nilai porsi non-magnetik yang didapatkan lebih kecil daripada variasi sebelumnya. Hal itulah yang membuat nilai *separation efficiency* pada variasi ini terlampau



kecil. Sedangkan untuk senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nilai *separation efficiency* terendah terdapat pada variasi temperatur  $1950^\circ\text{C}$  dan nilai *separation efficiency* tertinggi berada pada variasi  $1650^\circ\text{C}$  dengan nilai sebesar 19,16%. Untuk senyawa  $\text{TiO}_2$ , didapat nilai terendah pada *separation efficiency* sebesar 0,76 pada variasi temperatur  $1950^\circ\text{C}$  dan nilai *separation efficiency* terbesar pada variasi temperatur  $1550^\circ\text{C}$  dengan angka sebesar 45,19%. Hal ini terjadi karena pada variasi tersebut  $\text{TiO}_2$  memiliki nilai porsi non magnetik terbesar dari semua variasi walaupun kadarnya bukanlah yang paling tinggi. Berdasarkan variasi penelitian yang digunakan, semakin tinggi temperatur dinaikkan, nilai *separation efficiency*  $\text{ThO}_2$  semakin bertambah namun mengalami penurunan pada temperatur paling tinggi dikarenakan porsi non-magnetik yang dimiliki oleh variasi temperatur tertinggi adalah yang paling kecil. Dari data diatas maka dapat diambil kesimpulan bahwa temperatur *smelting* optimal untuk proses pemisahan mineral  $\text{ThO}_2$  berada pada variasi temperatur  $1850^\circ\text{C}$ .

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada proses *smelting* pasir monasit menggunakan *flux*  $\text{SiO}_2$  dengan variasi temperatur sebesar  $1550^\circ\text{C}$ ,  $1650^\circ\text{C}$ ,  $1750^\circ\text{C}$ ,  $1850^\circ\text{C}$ , dan  $1950^\circ\text{C}$  terbentuk senyawa kompleks berupa *fayalite* ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), *ilmenite* ( $\text{FeTiO}_3$ ), *perovskite* ( $\text{CaTiO}_3$ ), *ferropseudobrookite* ( $\text{FeTi}_2\text{O}_5$ ) dan *calcium-orthosilicate* ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ). Kelima senyawa tersebut muncul pada setiap variasi temperatur.
2. Kadar terendah senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  terletak pada variasi temperatur  $1850^\circ\text{C}$  dengan nilai sebesar 10,95% dimana dengan nilai ini, terjadi penurunan kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari kadar awal di pasir monasit sebesar 13,8%. Sedangkan kadar tertinggi dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  terletak pada variasi temperatur  $1650^\circ\text{C}$  sebesar 17,05%. Untuk senyawa  $\text{TiO}_2$  terjadi peningkatan kadar tertinggi pada variasi  $1850^\circ\text{C}$  yaitu sebesar 43,95% dari kadar  $\text{TiO}_2$  awal yaitu sebesar 40,8% dan terjadi penurunan terendah pada variasi temperatur  $1550^\circ\text{C}$  hingga angka 32,9%.
3. *Smelting* pasir monasit dengan variasi temperatur sebesar  $1550^\circ\text{C}$ ,  $1650^\circ\text{C}$ ,  $1750^\circ\text{C}$ ,  $1850^\circ\text{C}$ , dan  $1950^\circ\text{C}$  menunjukkan peningkatan kadar  $\text{ThO}_2$  sebesar 0,32%, 0,36%, 0,42%, 0,44%, dan 0,43% secara berurutan. Ini menunjukkan bahwa proses *smelting* yang dilakukan dapat meningkatkan kadar senyawa target dengan tren semakin tinggi temperaturnya semakin tinggi kadar  $\text{ThO}_2$  dan terjadi penurunan pada temperatur puncak.
4. Nilai *recovery* tertinggi dari senyawa utama dan senyawa target  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{ThO}_2$  berada pada variasi temperatur  $1550^\circ\text{C}$  dengan nilai sebesar 86,85%, 60,07%, dan 95,4% secara berurutan. Sedangkan nilai ketiga senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{ThO}_2$  berada pada variasi temperatur  $1950^\circ\text{C}$  dengan nilai sebesar 15,07%, 10,18%, dan 24,3%. Ini terjadi karena nilai *recovery* yang didapatkan berbanding lurus dengan massa porsi non magnetik dari produk *smelting*.

### 5.2 Saran

Berikut adalah saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya dengan topik terkait:

1. Menjaga ketelitian dan memastikan agar kondisi alat dan bahan yang digunakan tetap homogen.
2. Memastikan proses *smelting* dilakukan dengan kondisi nyala busur yang konstan.
3. Mengembangkan metode pencucian dan pemisahan yang baru sehingga hasil pemisahan antara pengotor dan senyawa yang diinginkan lebih optimal.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Alabama, U. of. (2019). *DETERMINING LIMITING AND EXCESS REAGENTS*.
- Anggraini, M., Sumarni, S, R., & W, S. (2012). PENGENDAPAN UNSUR TANAH JARANG HASIL DIGESTI MONASIT BANGKA MENGGUNAKAN ASAM SULFAT. *Eksplorium*, 33(2), 121–128.
- Aniza, C. N., Bahri, C. Z., Ismail, A. F., Majid, A. A., Ruf, M. I. F. M., & Al-Areqi, W. M. (2018). Extraction and purification of thorium oxide (ThO<sub>2</sub>) from monazite mineral. *Sains Malaysiana*, 47(8), 1873–1882. <https://doi.org/10.17576/jsm-2018-4708-28>
- 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. (2014). *PENGARUH PENAMBAHAN FLUXSILIKA PADA PROSES CONVERTINGPADA TEMBAGA MATTE MENJADI BLISTER*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BATAN, P. K. S. E. N. (2015). *INDONESIA NUCLEAR ENERGY OUTLOOK 2015 Penyediaan Pasokan Uranium Untuk PLTN*. Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). [www.batan.go.id/pksen](http://www.batan.go.id/pksen)
- Belle, J., & Berman, R. M. (1984). *THORIUM DIOXIDE: PROPERTIES AND NUCLEAR APPLICATIONS*. Government Printing Office.
- Chen, A., Ng, Y., Zhang, E., & Tian, M. (Eds.). (2020). Monazite. In *Dictionary of Geotourism* (p. 79). Springer Nature Singapore Pte Ltd. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2538-0\\_1602](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2538-0_1602)
- Collinson, D. W. (1968). Ferrous and Ferric Iron in Red Sediments and Their Magnetic Properties. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 16(5), 531–542. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1968.tb02313.x>
- Dewita, E. (2012). Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 14(1), 45–56.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. (2020). *STATISTIK KETENAGALISTRIKAN 2019* (33rd ed.). Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Fahnur, Y. (2018). *STUDI VARIASI KONSENTRASI ASAM KLOORIDA (HCl) TERHADAP KARAKTERISTIK SILIKA GEL DARI LIMBAH KACA BENING DENGAN METODE KALSINASI*. UIN Alauddin Makassar.
- Falcon, R., du Cann, V., Comins, D., Erasmus, R., den Hoed, P., & Luckos, A. (2004). *THE CHARACTERISATION OF CARBON REDUCTANTS IN THE METALLURGICAL INDUSTRY – A CASE STUDY*. South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Gajic, D., Savic-Gajic, I., Savic, I., Georgieva, O., & Di Gennaro, S. (2016). Modelling of electrical energy consumption in an Electric Arc Furnace using artificial neural networks. *Energy*, 108, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.068>
- Gschneidner, K., & Daane, A. (1988). *PHYSICAL METALLURGY* (Vol. 11).
- Gupta, C. K. (2003). Metal Melting and Recycling. In *Chemical Metallurgy: Principles and Practice*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-00567-8.50011-0>
- Gupta, C. K., & Khrisnamurty, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press.
- Hady, M. K. (2015). *Proses Peleburan Baja dalam Electric Arc Furnace(EAF)*.
- Haryono, D., Nurly, H. F., & Setiyadji, M. (2016). *Proses Roasting Pasir Monasit dari Kepulauan Bangka Belitung dengan NaOH Padat Menggunakan Muffle Furnace*.
- Kokal, H. R., & Ranade, M. G. (1985). *Fluxes for Metallurgy*.
- Lei, X., Xu, B., Yang, B., Xu, B., & Guo, X. (2017). A novel method of synthesis and microstructural investigation of calcium titanate powders. *Journal of Alloys and Compounds*, 690, 916–922. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.08.213>

- Liu, Y., Zhang, J., Liu, Z., & Xing, X. (2016). Phase transformation behavior of titanium during carbothermic reduction of titanomagnetite ironsand. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 23(7), 760–768. <https://doi.org/10.1007/s12613-016-1290-4>
- Lolla, A., & Yang, M. (2021). *Indonesia menentang tren global dengan penggunaan lebih banyak batu bara dalam pembangkitan listrik tenaga hibrida*. EMBER-COAL TO CLEAN ENERGY POLICY. [www.ember-climate.org/global-electricity-review-2021](http://www.ember-climate.org/global-electricity-review-2021)
- 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>
- Ma, J., Li, W., Fu, G., & Zhu, M. (2020). Influence of Basicity on the Viscosity and Crystallization Characteristics of Chromium-containing High-titanium Slag. *ISIJ International*, 60(11), 2408–2415. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-244>
- Madias, J. (2016). Electric Arc Furnace. In P. Cavaliere (Ed.), *Ironmaking and Steelmaking Processes: Greenhouse Emissions, Control, and Reduction* (pp. 267–281). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39529-6>
- Marisi, D. P., Suprihatin, & Ismayana, A. (2018). Penurunan Kadar Torium dan Radioaktivitas dalam Limbah Cair Proses Pengolahan Monasit PLUTHO Menggunakan Koagulan FeSO<sub>4</sub>. *EKSPLORIUM*, 39(1), 39–50. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.1.4276>
- 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>
- Nurjaman, F., Handoko, A. S., Bahfie, F., Astuti, W., & Suharno, B. (2021). Effect of modified basicity in selective reduction process of limonitic nickel ore. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 6476–6490. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.052>
- P.S. Ghosh et al. (2016). *Melting behavior of (Th,U)O<sub>2</sub> and (Th,Pu)O<sub>2</sub> mixed oxides*. 1351–1353. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2016.06.037>
- Pintowantoro, S., & Abdul, F. (2021). *PENGANTAR PROSES PEMBUATAN BESI: Proses Utama dan Alternatifnya*. Airlangga University Press.
- 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(2), 481–494. <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00352-4>
- Pretorius, E., & Oltmann, H. (2002). *EAF Fundamentals: The EAF operating cycle-Charging, melting and refining*.
- Purnamawan, T. S. (2018). *STUDI VARIASI JENIS FLUX PADA PROSES PELEBURAN DIRECT REDUCED IRON (DRI) TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN RECOVERY Fe DALAM PROSES PEMBUATAN PIG IRON DENGAN METODE ELECTRIC ARC FURNACE(EAF)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Royani, A., Sulistiyono, E., & Sufiandi, D. (2016). PENGARUH SUHU KALSINASI PADA PROSES DEKOMPOSISI DOLOMIT. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 18(1), 41–46. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2016.18.1.4186>
- Sahajwalla, v., Dubikova, M., & Khanna, R. (2004). *REDUCTANT CHARACTERISATION AND SELECTION: IMPLICATIONS FOR FERROALLOYS PROCESSING*. South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Said, M. I. N., Anggraini, M., Mubarak, M. Z., & Widana, K. S. (2017). Studi Ekstraksi Bijih Thorit dengan Metode Digesti Asam dan Pemisahan Thorium dari Logam Tanah Jarang dengan Metode Oksidasi-Presipitasi Selektif. *Eksplorium*, 38(2), 109–120.

- <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2017.38.2.3930>
- Sarangi, A., & Sarangi, B. (2011). *Sponge Iron Production in Rotary Kiln*. PHI Learning Private Limited.
- Stalhed, J. L. (1957). Sponge Iron in Electric Arc Furnaces. *JOURNAL OF METAL*, 247–249.
- Suarsa, I. W. (2017). *Teori Tumbukan Pada Laju Reaksi Kimia*.
- Supriyatna, Y. I., Kambuna, B. N. H., Trinopiawan, K., & Putra, P. A. (2019). Pengaruh Variasi Waktu dan Reduktor ada 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, 235–244. <https://doi.org/10.1007/s42461-018-0035-5>
- Trinopiawan, K., Prassanti, R., Sumarni, & Pudjianto, R. (2011). PEMISAHAN URANIUM DARI THORIUM PADA MONASIT DENGAN METODE EKSTRAKSI PELARUT ALAMINE. *Eksplorium*, XXXII(155), 47–52.
- Trinopiawan, K., & Sumiarti. (2012). PEMISAHAN THORIUM DARI URANIUM PADA MONASIT DENGAN METODE PENGENDAPAN. *Eksplorium*, 33(1), 55–62.
- Valeev, D., Zinoveev, D., Kondratiev, A., Lubyanoi, D., & Pankratov, D. (2020). Reductive *smelting* of neutralized red mud for iron *recovery* and produced pig iron for heat-resistant castings. *Metals*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/met10010032>
- Widodo, S., Suyanti, Purwani, M., Sudiby, R., Muzakky, & Syarip. (2019). *Dari Pasir Monasit ke THORIUM: Bahan Baku Bahan Bakar Nuklir dan Radioisotop Medik*. Pustaka Belajar. <https://www.researchgate.net/publication/340493277>
- Wienar, M. A. (2021). *ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN SIO<sub>2</sub> DALAM PROSES SMELTING PASIR MONASIT MENGGUNAKAN ELECTRIC ARC FURNACETERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN GRADE THO<sub>2</sub>*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wijaya, L. (2018). *ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS ELECTRIC ARC FURNACE PADA PROSES PELEBURAN DIRECT REDUCED IRON TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN RECOVERY Fe DALAM PROSES PEMBUATAN PIG IRON*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wills, B. A., & Finch, J. A. (2016). Chapter 1 - Introduction. In B. A. Wills & J. A. Finch (Eds.), *Wills' Mineral Processing Technology (Eighth Edition)* (Eighth Edition, pp. 1–27). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097053-0.00001-7>
- Yu, J., Han, Y., Li, Y., Gao, P., & Li, W. (2017). Mechanism and Kinetics of the Reduction of Hematite to Magnetite with CO–CO<sub>2</sub> in a Micro-Fluidized Bed. *Minerals*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/min7110209>
- 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>

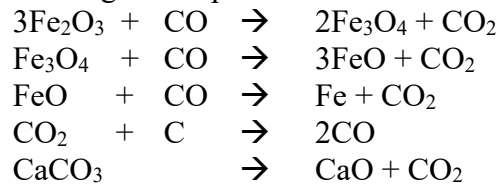
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## 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:

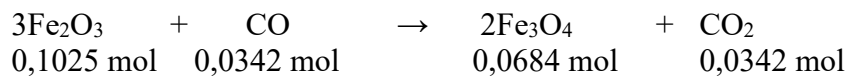
- Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) = 16,5%
- Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) = 36,05%
- Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) = 4,5%
- Thorium dioksida ( $\text{ThO}_2$ ) = 0,22%

Apabila diasumsikan sampel percobaan sebesar 100 gram pasir monasit maka:

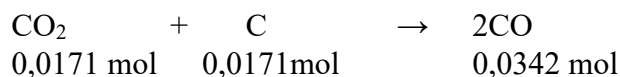
- Mol Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) =  $\frac{\text{massa hematit}}{\text{Mr hematit}} = \frac{16,5 \text{ gram}}{161 \text{ gram/mol}} = 0,1025 \text{ mol}$
- Mol Titanium dioksida =  $\frac{\text{massa TiO}_2}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{36,05 \text{ gram}}{79 \text{ gram/mol}} = 0,4563 \text{ mol}$
- 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

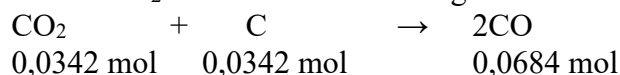
a. Reaksi 1



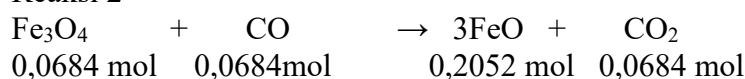
$\text{CO}_2$  hasil dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.



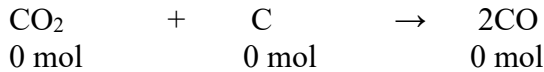
Reaksi  $\text{CO}_2$  hasil dari reaksi 1 dengan serbuk karbon.



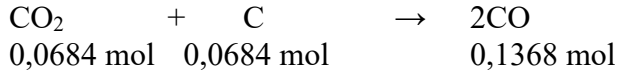
b. Reaksi 2



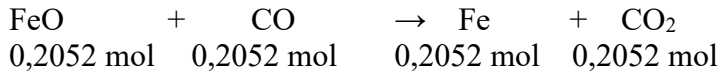
CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub> yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.



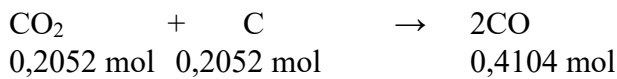
Reaksi CO<sub>2</sub> hasil dari reaksi 2 dengan serbuk karbon.



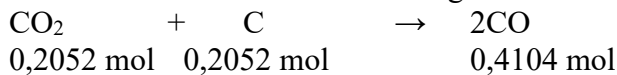
c. Reaksi 3



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.



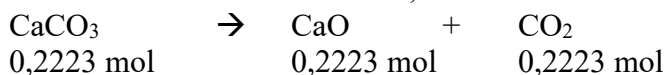
## II. Perhitungan Kebutuhan Serbuk Karbon

Total mol C yang dibutuhkan = 0,0171 + 0,0342 + 0,0684 + 0,2052 + 0,2052 = 0,5301 mol

Massa C yang dibutuhkan = total mol x Ar C  
= 0,5301 mol x 12 gram/mol  
= 6,3612 gram

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

Total CO<sub>2</sub> yang dibutuhkan = 0,0171 + 0,2052  
= 0,2223 mol



Massa CaCO<sub>3</sub> yang dibutuhkan = total mol x Ar CaCO<sub>3</sub>  
= 0,2223 mol x 100gr/mol  
= 22,23 gram

Sehingga didapatkan perbandingan sebagai berikut.

Pasir Monasit : Serbuk Karbon : CaCO<sub>3</sub>  
100 : 6,3612 : 22,23

## 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 kesempatan kali ini menggunakan fluks SiO<sub>2</sub> sebesar 9% atau sebesar 9,99 gr. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wienar pada tahun 2022.

## 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
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1025
TiO <sub>2</sub>	0,4563
CaO	0,02
SiO <sub>2</sub>	0,075
CaCO <sub>3</sub>	0,1537

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

Berikut merupakan data entalpi pembentukan standar senyawa pada 298 K.

Senyawa	$\Delta H_f$ 298 (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 Joule**

Berikut adalah data entalpi reaksi yang dibutuhkan pada setiap variasi temperatur yang digunakan.

Temperatur (°C)	Total panas reaksi (J)
1550	708350,9
1650	714767,3
1750	721549
1850	728696,4
1950	736209,9

e) **Perhitungan Energi *Input* Proses *Smelting***

Spesifikasi *Power Supply* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Spesifikasi	Nilai
Tegangan <i>output</i>	40 V
Efisiensi	90%

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

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

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

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

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

Berikut adalah energi yang dibutuhkan berdasarkan variasi temperatur yang digunakan.

Temperatur	<i>E input</i>
1550°C	779185,99 J
1650°C	786244,03 J
1750°C	793703,9 J
1850°C	801566,04 J
1950°C	809830,89 J

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

Arus (A)	Voltage (V)	Waktu (s)	Energi (J)
70	40	287	803600

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:

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

a) **Perhitungan *recovery* ThO<sub>2</sub>**

Berikut merupakan data dari massa pasir monasit dan *non-magnetic portion* serta kadar dari ThO<sub>2</sub> *input* dan produk.

Variasi	<i>W<sub>p</sub></i>	<i>c</i>	<i>W<sub>f</sub></i>	<i>f</i>
1550°C	7,45	0,32	10	0,25
1650°C	6,52	0,36	10	0,25
1750°C	3,91	0,42	10	0,25
1850°C	3,83	0,44	10	0,25
1950°C	1,41	0,43	10	0,25

i) Variasi temperatur 1550°C

$$Recovery\ temperatur\ 1550^{\circ}C = \frac{7,45 \times 0,32}{10 \times 0,25} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1550^{\circ}C = 95,4\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$Recovery\ temperatur\ 1650^{\circ}C = \frac{6,52 \times 0,36}{10 \times 0,25} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1650^{\circ}C = 93,9\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$Recovery\ temperatur\ 1750^{\circ}C = \frac{3,91 \times 0,42}{10 \times 0,25} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1750^{\circ}C = 65,7\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$Recovery\ temperatur\ 1850^{\circ}C = \frac{3,83 \times 0,44}{10 \times 0,25} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1850^{\circ}C = 67,4\%$$

v) Variasi temperatur 1950°C

$$Recovery\ temperatur\ 1950^{\circ}C = \frac{1,41 \times 0,43}{10 \times 0,25} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1950^{\circ}C = 41,5\%$$

**b) Perhitungan *recovery* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Berikut merupakan data dari massa pasir monasit dan *non-magnetic portion* serta kadar dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *input* dan produk.

Variasi	$W_p$	$c$	$W_f$	$f$
1550°C	7,45	16,05	10	13,8
1650°C	6,52	17,05	10	13,8
1750°C	3,91	15,4	10	13,8
1850°C	3,83	10,95	10	13,8
1950°C	1,41	14,75	10	13,8

i) Variasi temperatur 1550°C

$$Recovery\ temperatur\ 1550^{\circ}C = \frac{7,45 \times 16,05}{10 \times 13,8} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1550^{\circ}C = 86,65\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$Recovery\ temperatur\ 1650^{\circ}C = \frac{6,52 \times 17,05}{10 \times 13,8} \times 100\%$$

$$Recovery\ temperatur\ 1650^{\circ}C = 80,56\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$\text{Recovery temperatur } 1750^{\circ}\text{C} = \frac{3,91 \times 15,4}{10 \times 13,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1750^{\circ}\text{C} = 43,63\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$\text{Recovery temperatur } 1850^{\circ}\text{C} = \frac{3,83 \times 10,95}{10 \times 13,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1850^{\circ}\text{C} = 30,39\%$$

v) Variasi temperatur 1950°C

$$\text{Recovery temperatur } 1950^{\circ}\text{C} = \frac{1,41 \times 14,75}{10 \times 13,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1950^{\circ}\text{C} = 15,07\%$$

**c) Perhitungan *recovery* TiO<sub>2</sub>**

Berikut merupakan data dari massa pasir monasit dan *non-magnetic portion* serta kadar dari TiO<sub>2</sub> *input* dan produk.

Variasi	$W_p$	$c$	$W_f$	$f$
1550°C	7,45	32,9	10	40,8
1650°C	6,52	36,6	10	40,8
1750°C	3,91	43,1	10	40,8
1850°C	3,83	43,95	10	40,8
1950°C	1,41	41,5	10	40,8

i) Variasi temperatur 1550°C

$$\text{Recovery temperatur } 1550^{\circ}\text{C} = \frac{7,45 \times 32,9}{10 \times 40,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1550^{\circ}\text{C} = 60,07\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$\text{Recovery temperatur } 1650^{\circ}\text{C} = \frac{6,52 \times 36,6}{10 \times 40,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1650^{\circ}\text{C} = 58,49\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$\text{Recovery temperatur } 1750^{\circ}\text{C} = \frac{3,91 \times 43,1}{10 \times 40,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1750^{\circ}\text{C} = 41,3\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$\text{Recovery temperatur } 1850^{\circ}\text{C} = \frac{3,83 \times 43,95}{10 \times 40,8} \times 100\%$$

$$\text{Recovery temperatur } 1850^{\circ}\text{C} = 41,26\%$$

v) Variasi temperatur 1950°C

$$\text{Recovery temperatur } 1950^{\circ}\text{C} = \frac{1,41 \times 41,5}{10 \times 40,8} \times 100\%$$



Recovery temperatur 1950°C = 14,34%

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

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

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

##### a) Perhitungan *Separation Efficiency* (S.E.) ThO<sub>2</sub>

Berikut adalah data yang digunakan sebagai dasar perhitungan *separation efficiency* ThO<sub>2</sub>.

Variasi	$W_p$	$W_f$	$c$	$f$	$m$	$C$
1550°C	7,45	10	0,32	0,25	87,88	0,745
1650°C	6,52	10	0,36	0,25	87,88	0,652
1750°C	3,91	10	0,42	0,25	87,88	0,391
1850°C	3,83	10	0,44	0,25	87,88	0,383
1950°C	1,41	10	0,43	0,25	87,88	0,141

i) Variasi temperatur 1550°C

$$S.E. \text{ 1550}^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,745 \times 87,88 \times (0,32 - 0,25)}{(87,88 - 0,25) \times 0,25} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur 1550}^\circ\text{C} = 20,92\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$S.E. \text{ 1650}^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,652 \times 87,88 \times (0,36 - 0,25)}{(87,88 - 0,25) \times 0,25} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur 1650}^\circ\text{C} = 28,77\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$S.E. \text{ 1750}^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,391 \times 87,88 \times (0,42 - 0,25)}{(87,88 - 0,25) \times 0,25} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur 1750}^\circ\text{C} = 26,66\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$S.E. \text{ 1850}^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,383 \times 87,88 \times (0,44 - 0,25)}{(87,88 - 0,25) \times 0,25} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur 1850}^\circ\text{C} = 29,19\%$$

v) Variasi temperatur 1950°C

$$S.E. \text{ 1950}^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,141 \times 87,88 \times (0,43 - 0,25)}{(87,88 - 0,25) \times 0,25} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur 1950}^\circ\text{C} = 10,18\%$$

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

Berikut adalah data yang digunakan sebagai dasar perhitungan *separation efficiency* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Variasi	$W_p$	$W_f$	c	f	m	C
1550°C	7,45	10	16,05	13,8	69,56	0,745
1650°C	6,52	10	17,05	13,8	69,56	0,652
1750°C	3,91	10	15,4	13,8	69,56	0,391
1850°C	3,83	10	10,95	13,8	69,56	0,383
1950°C	1,41	10	14,75	13,8	69,56	0,141

i) Variasi temperatur 1550°C

$$S.E. 1550^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,745 \times 69,56 \times (16,05 - 13,8)}{(69,56 - 13,8) \times 13,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1550^\circ\text{C} = 15,15\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$S.E. 1650^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,652 \times 69,56 \times (17,05 - 13,8)}{(69,56 - 13,8) \times 13,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1650^\circ\text{C} = 19,16\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$S.E. 1750^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,391 \times 69,56 \times (15,4 - 13,8)}{(69,56 - 13,8) \times 13,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1750^\circ\text{C} = 5,66\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$S.E. 1850^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,383 \times 69,56 \times (10,95 - 13,8)}{(69,56 - 13,8) \times 13,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1850^\circ\text{C} = 9,87\%$$

v) Variasi temperatur 1950°C

$$S.E. 1950^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,141 \times 69,56 \times (14,75 - 13,8)}{(69,56 - 13,8) \times 13,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1950^\circ\text{C} = 1,21\%$$

**c) Perhitungan *Separation Efficiency* (S.E.)  $\text{TiO}_2$**

Berikut adalah data yang digunakan sebagai dasar perhitungan *separation efficiency*  $\text{TiO}_2$ .

Variasi	$W_p$	$W_f$	c	f	m	C
1550°C	7,45	10	0,32	40,8	59,93	0,745
1650°C	6,52	10	0,36	40,8	59,93	0,652
1750°C	3,91	10	0,42	40,8	59,93	0,391
1850°C	3,83	10	0,44	40,8	59,93	0,383
1950°C	1,41	10	0,43	40,8	59,93	0,141

i) Variasi temperatur 1550°C

$$S.E. 1550^\circ\text{C} = \frac{100 \times 0,745 \times 59,93 \times (0,32 - 40,8)}{(59,93 - 40,8) \times 40,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1550^\circ\text{C} = 45,19\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$S.E. 1650^{\circ}\text{C} = \frac{100 \times 0,652 \times 59,93 \times (0,36 - 0,25)}{(59,93 - 40,8) \times 40,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1650^{\circ}\text{C} = 21,03\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$S.E. 1750^{\circ}\text{C} = \frac{100 \times 0,391 \times 59,93 \times (0,42 - 0,25)}{(59,93 - 40,8) \times 40,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1750^{\circ}\text{C} = 6,91\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$S.E. 1850^{\circ}\text{C} = \frac{100 \times 0,383 \times 59,93 \times (0,44 - 0,25)}{(59,93 - 40,8) \times 40,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1850^{\circ}\text{C} = 9,26\%$$

v) Variasi temperatur 1950°C

$$S.E. 1950^{\circ}\text{C} = \frac{100 \times 0,141 \times 59,93 \times (0,43 - 0,25)}{(59,93 - 40,8) \times 40,8} \times 100\%$$

$$S.E. \text{ temperatur } 1950^{\circ}\text{C} = 0,76\%$$

## 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:

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

Variasi	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
1550°C	5,24	7,3
1650°C	5,78	7,5
1750°C	7,71	8,55
1850°C	6,89	8,8
1950°C	6,84	8,55

i) Variasi temperatur 1550°C

$$B_1 1550^{\circ}\text{C} = \frac{5,24}{7,3}$$

$$B_1 \text{ temperatur } 1550^{\circ}\text{C} = 0,718\%$$

ii) Variasi temperatur 1650°C

$$B_1 1650^{\circ}\text{C} = \frac{5,78}{7,5}$$

$$B_1 \text{ temperatur } 1650^{\circ}\text{C} = 0,771\%$$

iii) Variasi temperatur 1750°C

$$B_1 1750^{\circ}\text{C} = \frac{7,71}{8,55}$$

$$B_1 \text{ temperatur } 1750^\circ\text{C} = 0,902\%$$

iv) Variasi temperatur 1850°C

$$B_1 \text{ } 1850^\circ\text{C} = \frac{6,89}{8,8}$$

$$B_1 \text{ temperatur } 1850^\circ\text{C} = 0,783\%$$

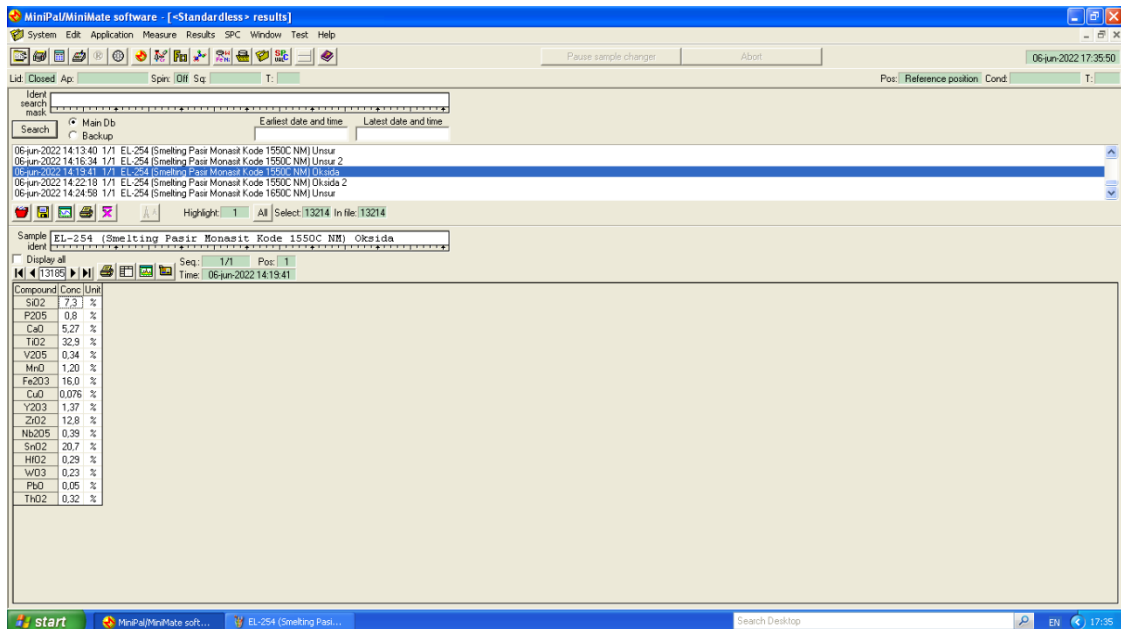
v) Variasi temperatur 1950°C

$$B_1 \text{ } 1950^\circ\text{C} = \frac{6,84}{8,55}$$

$$B_1 \text{ temperatur } 1950^\circ\text{C} = 0,8\%$$

## 6. Hasil Pengujian XRF

### a) Variasi *smelting* dengan temperatur 1550°C



MiniPal/MiniMate software - [-Standardless- results]

System Edit Application Measure Results SPC Window Test Help

Pause sample changer About 06-jun-2022 17:35:50

Lid: Closed Ap: Spir: Diff Sq: T: Pos: Reference position: Cond: T:

Ident search mask: Search Main Db Eallest date and time Latest date and time Backup

06-jun-2022 14:13:40 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Unsur  
 06-jun-2022 14:16:34 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Unsur 2  
 06-jun-2022 14:13:41 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) DiLada  
 06-jun-2022 14:22:18 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) DiLada 2  
 06-jun-2022 14:24:58 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Unsur

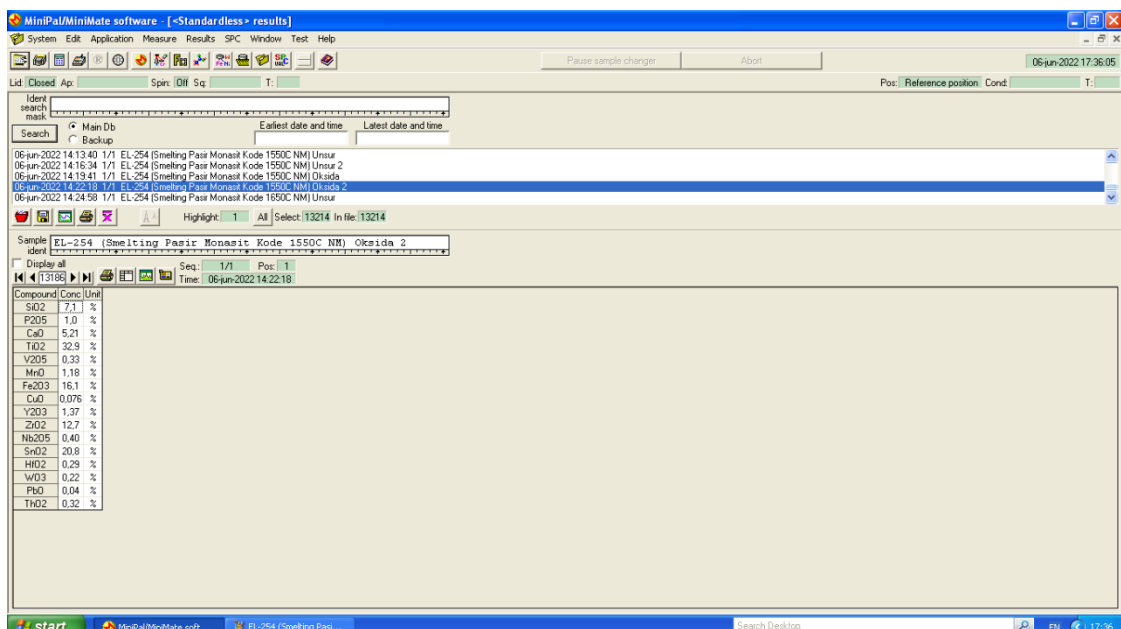
Highlight: 1 All Select: 13214 In file: 13214

Sample: EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Okkeida

ident

Display all Seq: 1/1 Pos: 1  
Time: 06-jun-2022 14:13:41

Compound	Conc	Unit
SiO2	7.3	%
P2O5	0.8	%
CaO	5.27	%
TiO2	32.9	%
V2O5	0.34	%
MnO	1.20	%
Fe2O3	16.0	%
CuO	0.076	%
Y2O3	1.37	%
ZrO2	12.8	%
Nb2O5	0.38	%
SnO2	20.7	%
HfO2	0.29	%
WO3	0.23	%
PbO	0.05	%
ThO2	0.32	%



MiniPal/MiniMate software - [-Standardless- results]

System Edit Application Measure Results SPC Window Test Help

Pause sample changer About 06-jun-2022 17:36:05

Lid: Closed Ap: Spir: Diff Sq: T: Pos: Reference position: Cond: T:

Ident search mask: Search Main Db Eallest date and time Latest date and time Backup

06-jun-2022 14:13:40 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Unsur  
 06-jun-2022 14:16:34 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Unsur 2  
 06-jun-2022 14:13:41 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) DiLada  
 06-jun-2022 14:24:58 1/1 EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Unsur

Highlight: 1 All Select: 13214 In file: 13214

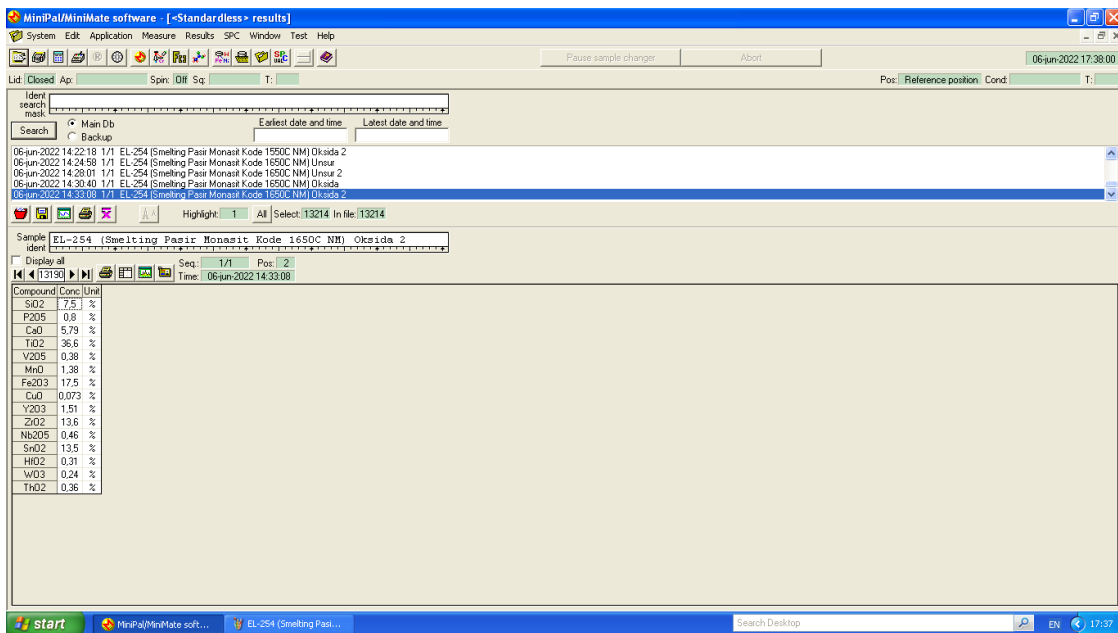
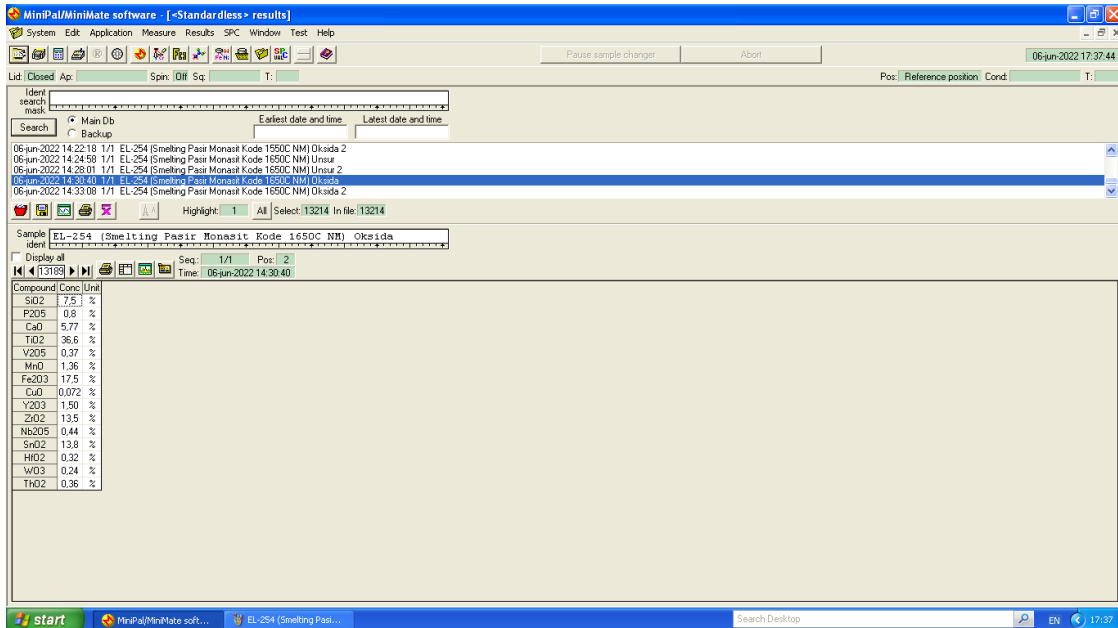
Sample: EL-254 (Smelting Pasir Monasit Kode 1550C NM) Okkeida 2

ident

Display all Seq: 1/1 Pos: 1  
Time: 06-jun-2022 14:22:18

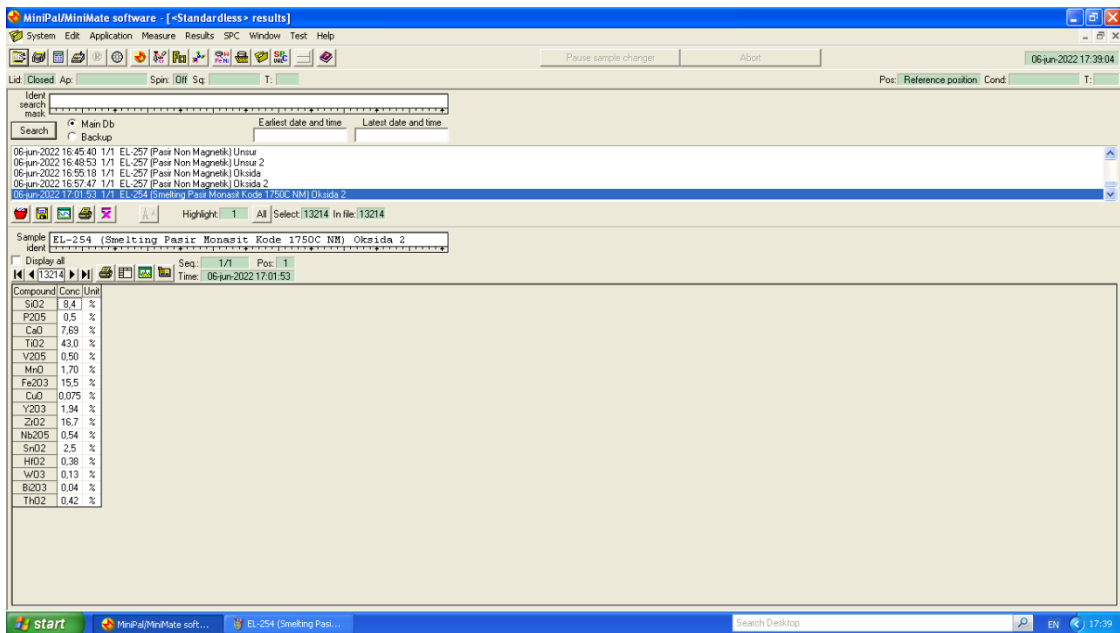
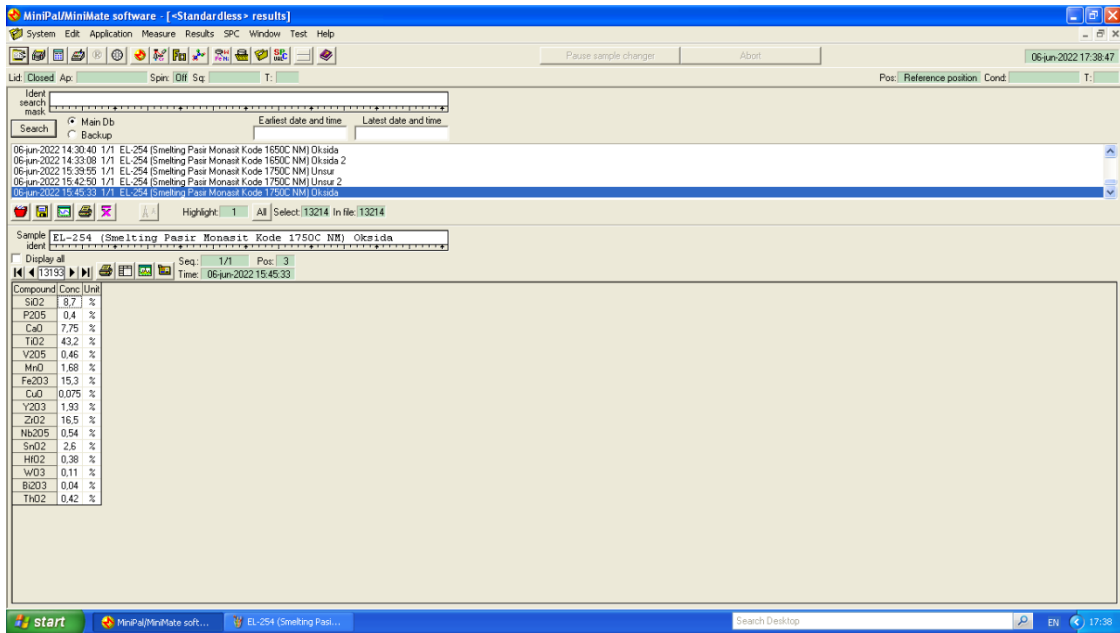
Compound	Conc	Unit
SiO2	7.1	%
P2O5	1.0	%
CaO	5.21	%
TiO2	32.9	%
V2O5	0.33	%
MnO	1.18	%
Fe2O3	16.1	%
CuO	0.076	%
Y2O3	1.37	%
ZrO2	12.7	%
Nb2O5	0.40	%
SnO2	20.8	%
HfO2	0.29	%
WO3	0.22	%
PbO	0.04	%
ThO2	0.32	%

b) Variasi *smelting* dengan temperatur 1650°C

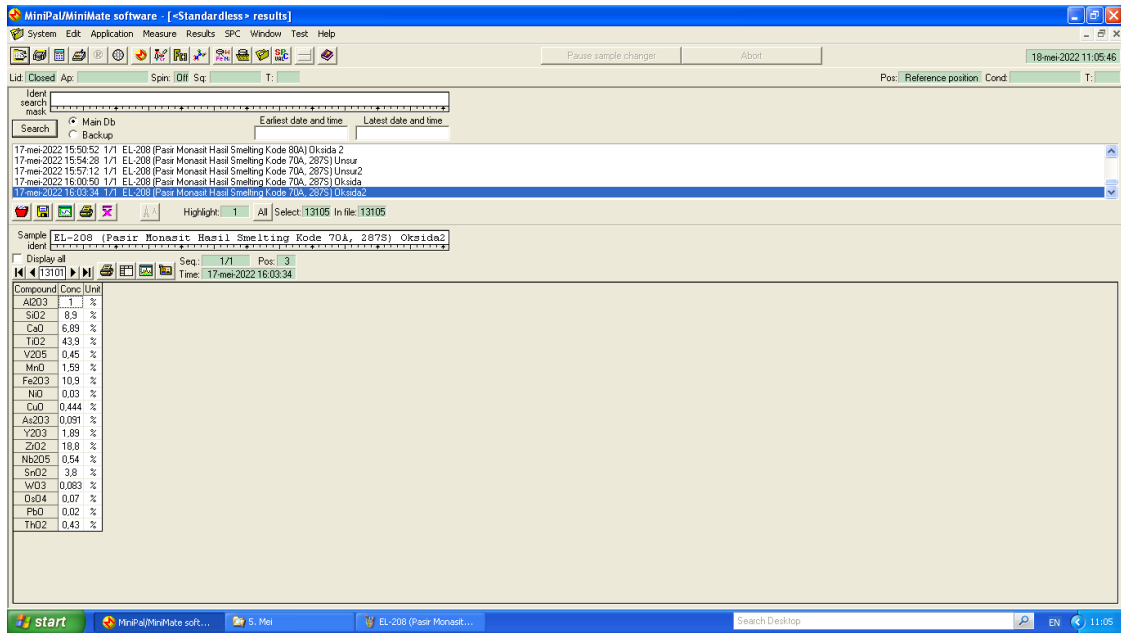
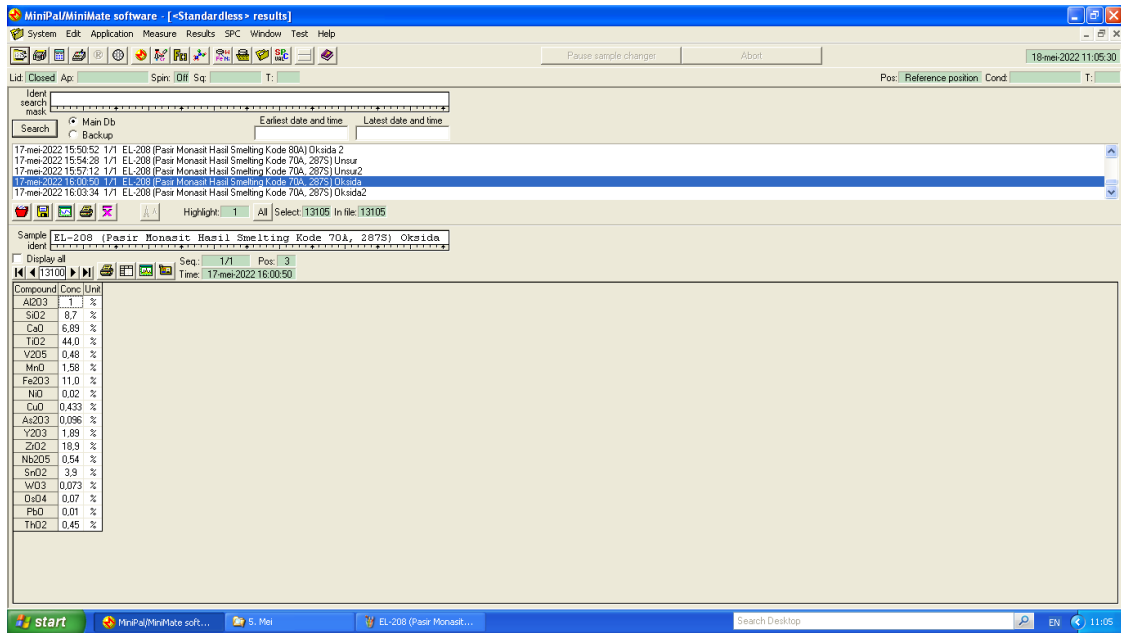


c) Variasi *smelting* dengan temperatur 1750°C

# LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



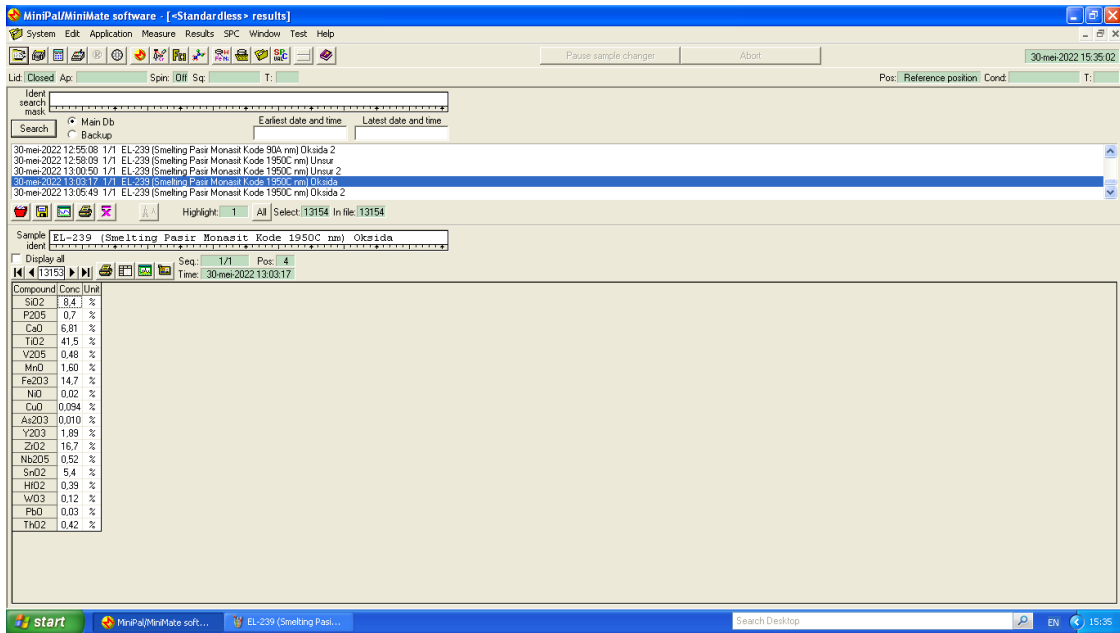
## d) Variasi *smelting* dengan temperatur 1850°C



e) Variasi *smelting* dengan temperatur 1950°C



# LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



MiniPal/MiniMate software [-Standarless> results]

System Edit Application Measure Results SPC Window Test Help

30-mei-2022 15:35:02

Lid: Closed Ap: Spin: Off Sq: T: Pos: Reference position Cond: T:

Ident search mask: Main Db, Backup, Search, Earliest date and time, Latest date and time

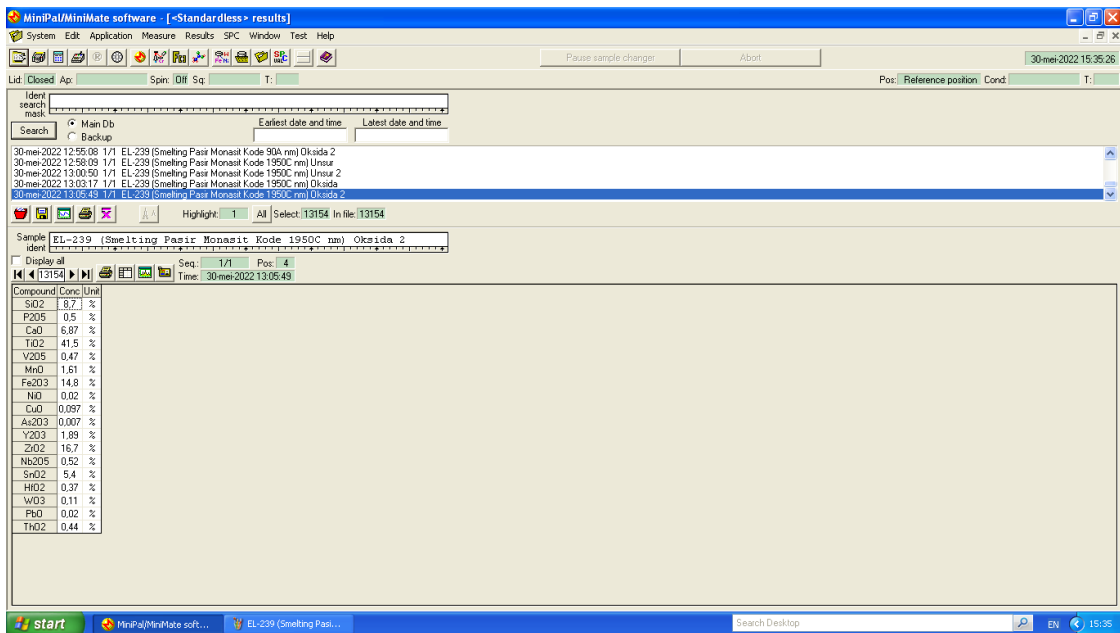
30-mei-2022 12:58:08 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 90A nm) Oksida 2  
30-mei-2022 12:58:09 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Unsur 2  
30-mei-2022 13:00:50 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Unsur 2  
30-mei-2022 13:03:17 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Oksida 2  
30-mei-2022 13:05:49 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Oksida 2

Highlight: 1 All Select: 13154 In file: 13154

Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Oksida 2

Display all Seq: 1/1 Pos: 4 Time: 30-mei-2022 13:03:17

Compound	Conc	Unit
SiO2	8.4	%
P2O5	0.7	%
CaO	6.81	%
TiO2	41.5	%
V2O5	0.48	%
MnO	1.60	%
Fe2O3	14.7	%
NO	0.02	%
CuO	0.094	%
As2O3	0.010	%
Y2O3	1.88	%
ZrO2	16.7	%
Nb2O5	0.52	%
SnO2	5.4	%
HfO2	0.39	%
WdO3	0.12	%
PbO	0.03	%
ThO2	0.42	%



MiniPal/MiniMate software [-Standarless> results]

System Edit Application Measure Results SPC Window Test Help

30-mei-2022 15:35:26

Lid: Closed Ap: Spin: Off Sq: T: Pos: Reference position Cond: T:

Ident search mask: Main Db, Backup, Search, Earliest date and time, Latest date and time

30-mei-2022 12:58:08 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 90A nm) Oksida 2  
30-mei-2022 12:58:09 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Unsur 2  
30-mei-2022 13:00:50 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Unsur 2  
30-mei-2022 13:03:17 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Oksida 2  
30-mei-2022 13:05:49 1/1 EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Oksida 2

Highlight: 1 All Select: 13154 In file: 13154

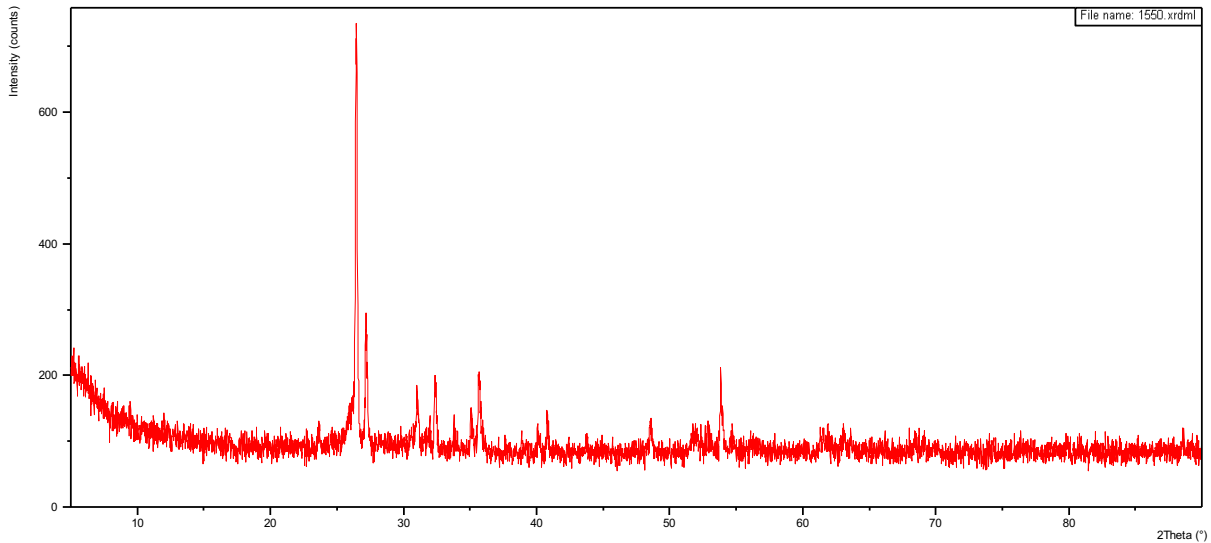
Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 1950C nm) Oksida 2

Display all Seq: 1/1 Pos: 4 Time: 30-mei-2022 13:05:49

Compound	Conc	Unit
SiO2	8.7	%
P2O5	0.5	%
CaO	6.87	%
TiO2	41.5	%
V2O5	0.47	%
MnO	1.61	%
Fe2O3	14.8	%
NO	0.02	%
CuO	0.097	%
As2O3	0.007	%
Y2O3	1.88	%
ZrO2	16.7	%
Nb2O5	0.52	%
SnO2	5.4	%
HfO2	0.37	%
WdO3	0.11	%
PbO	0.02	%
ThO2	0.44	%

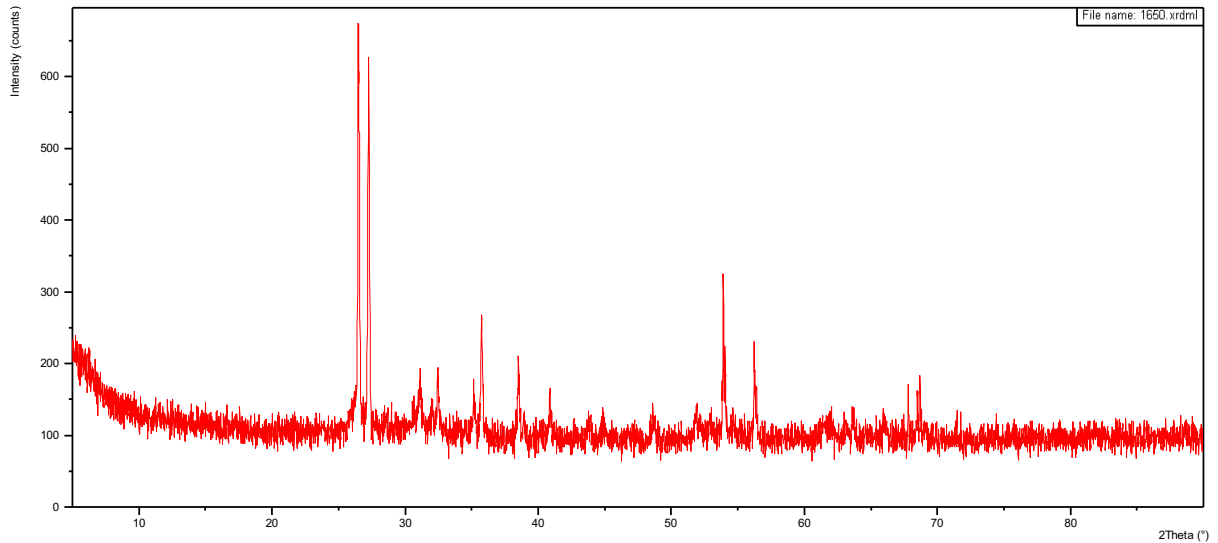
## 7. Hasil Pengujian XRD

### a) Variasi *smelting* dengan temperatur 1550°C



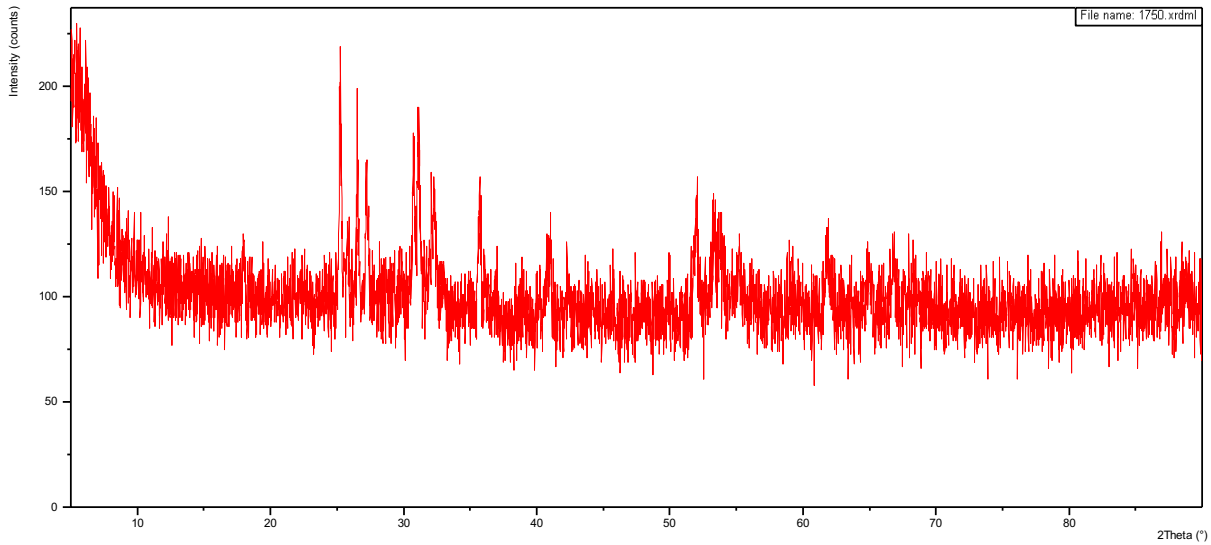
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.6241	28.01	0.2007	3.76615	4.47
26.4449	627.37	0.1338	3.37047	100.00
27.1427	174.82	0.1004	3.28539	27.87
30.9930	77.59	0.2007	2.88546	12.37
32.3155	85.28	0.1004	2.77033	13.59
33.8453	13.12	0.4015	2.64854	2.09
35.0609	58.76	0.1004	2.55944	9.37
35.6349	111.26	0.1673	2.51952	17.73
38.0167	3.63	0.3011	2.36697	0.58
40.1458	21.62	0.2676	2.24622	3.45
40.7625	55.78	0.0502	2.21365	8.89
43.7360	16.00	0.2007	2.06980	2.55
48.5198	43.21	0.1338	1.87632	6.89
51.8082	28.70	0.4015	1.76470	4.57
52.8704	31.69	0.2007	1.73172	5.05
53.8125	115.81	0.0612	1.70220	18.46
54.7593	17.02	0.3346	1.67637	2.71
56.3330	9.82	0.8029	1.63322	1.57
61.3660	21.75	0.6691	1.51079	3.47
63.0823	29.26	0.2007	1.47375	4.66
68.6253	9.18	0.8029	1.36762	1.46
88.5511	11.83	0.2007	1.10432	1.89

**b) Variasi *smelting* dengan temperatur 1650°C**



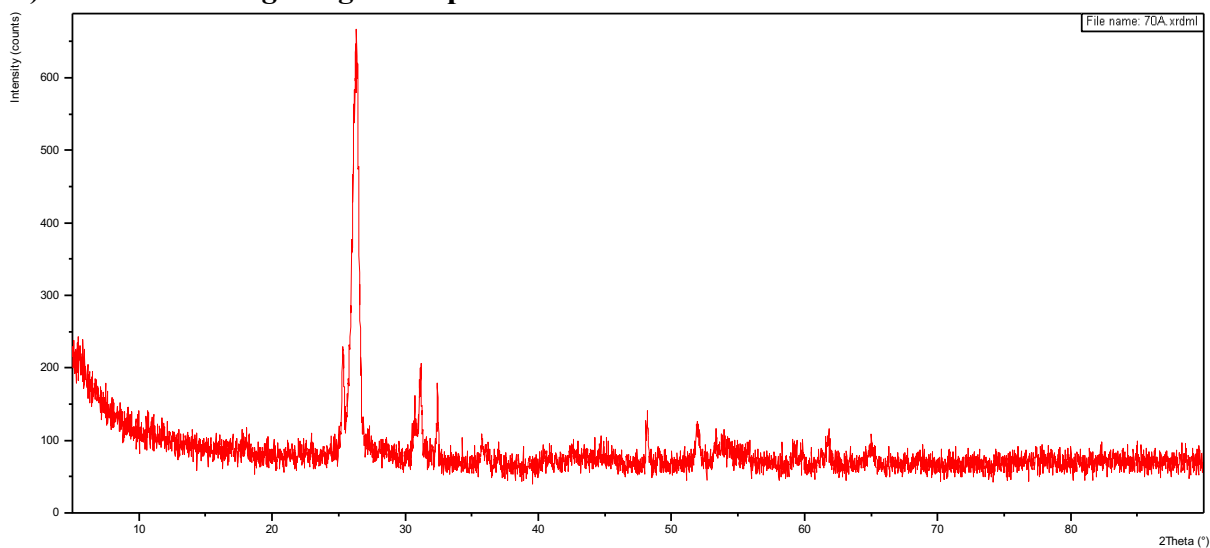
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.4526	561.31	0.0836	3.36951	100.00
27.2287	447.44	0.1338	3.27521	79.71
31.0813	57.33	0.2676	2.87747	10.21
32.4347	82.60	0.1004	2.76043	14.72
35.1482	53.48	0.1338	2.55329	9.53
35.7129	151.45	0.0836	2.51420	26.98
38.4681	86.80	0.1004	2.34023	15.46
40.8462	63.19	0.1338	2.20931	11.26
43.8118	22.56	0.3346	2.06640	4.02
44.8591	15.68	0.4015	2.02055	2.79
48.6702	29.41	0.2676	1.87088	5.24
51.8090	35.20	0.2007	1.76467	6.27
52.8772	29.20	0.2007	1.73151	5.20
53.8682	215.95	0.0612	1.70057	38.47
54.0067	125.81	0.0669	1.69794	22.41
56.2083	124.37	0.0612	1.63519	22.16
61.6664	18.00	0.5353	1.50415	3.21
63.6484	28.55	0.2007	1.46201	5.09
66.0259	22.45	0.3346	1.41501	4.00
67.7711	68.44	0.0816	1.38161	12.19
68.4623	63.82	0.0816	1.36934	11.37
68.6621	75.86	0.0816	1.36584	13.51

c) Variasi *smelting* dengan temperatur 1750°C



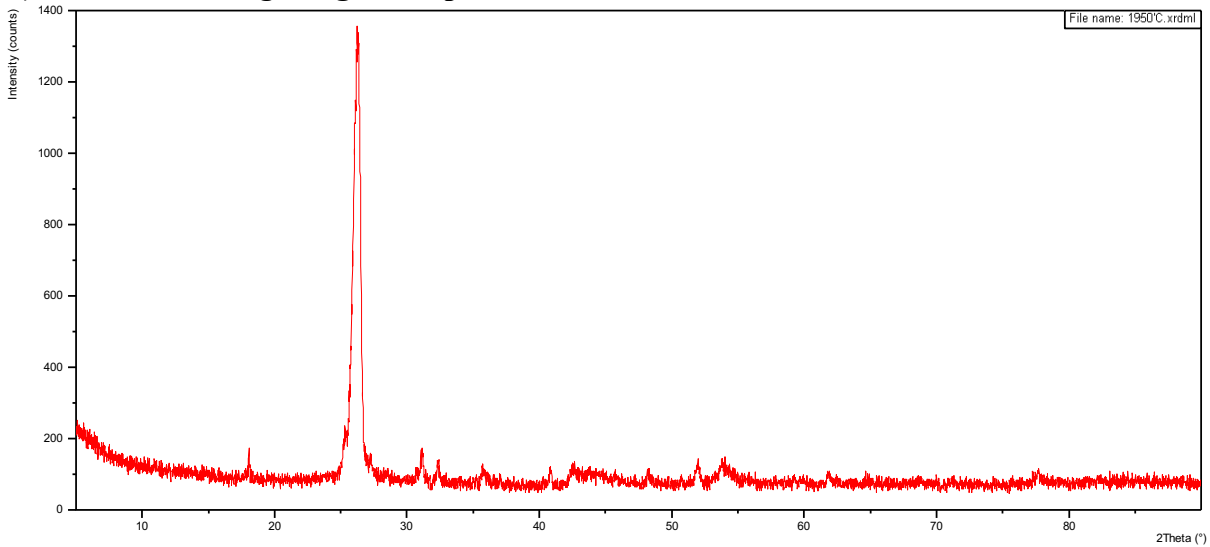
Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
17.9447	27.30	0.1673	4.94323	28.67
25.2225	95.20	0.1171	3.53099	100.00
26.4962	63.94	0.1004	3.36407	67.17
27.1747	55.05	0.1673	3.28160	57.82
30.7197	73.13	0.1338	2.91051	76.81
31.0845	76.66	0.1673	2.87718	80.52
32.3248	42.28	0.2676	2.76956	44.41
35.7286	38.71	0.2676	2.51313	40.66
40.9534	33.32	0.3346	2.20377	34.99
42.2309	18.44	0.2676	2.14002	19.37
51.9240	50.27	0.2676	1.76104	52.80
53.2952	45.16	0.2007	1.71891	47.43
55.1759	26.47	0.4015	1.66470	27.81
57.5277	9.08	0.3011	1.60211	9.53
61.7839	28.15	0.3346	1.50157	29.56
64.9774	16.04	0.4015	1.43528	16.85

d) Variasi *smelting* dengan temperatur 1850°C



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	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

e) Variasi *smelting* dengan temperatur 1950°C



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.0582	83.03	0.0669	4.91242	7.05
25.2649	124.67	0.2007	3.52515	10.58
26.0201	949.88	0.1673	3.42453	80.63
26.3280	1178.07	0.3346	3.38518	100.00
27.2520	57.60	0.1338	3.27247	4.89
31.1507	79.44	0.1673	2.87121	6.74
32.3411	54.24	0.1338	2.76820	4.60
35.6806	37.62	0.2676	2.51640	3.19
40.8241	39.67	0.2007	2.21045	3.37
42.5305	33.59	0.3346	2.12563	2.85
48.1909	29.24	0.2007	1.88836	2.48
51.9187	52.20	0.2676	1.76120	4.43
53.6963	50.04	0.2676	1.70702	4.25
59.2303	17.24	0.2007	1.56006	1.46
61.7363	24.06	0.2007	1.50261	2.04
77.5894	25.88	0.5353	1.23048	2.20

## 8. Data ICSD Reference Pattern

### a) TiO<sub>2</sub>

Date: 02/07/2022 Time: 16:28:29

File: 1650

User: ROG SRTIX

#### Name and formula

Reference code: 01-076-0321  
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): 4,6252  
b (Å): 4,6252  
c (Å): 2,9878  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,15  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 63,92  
Z: 2,00  
RIR: 3,34

#### 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: 033841  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 033841  
Temperature Factor: ATF  
Calculated Pattern Original Remarks: REM TEM 1163.

#### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Sugiyama, K., Takeuchi, Y., *Z. Kristallogr.*, **194**, 305, (1991)



Date: 02/07/2022 Time: 16:28:29

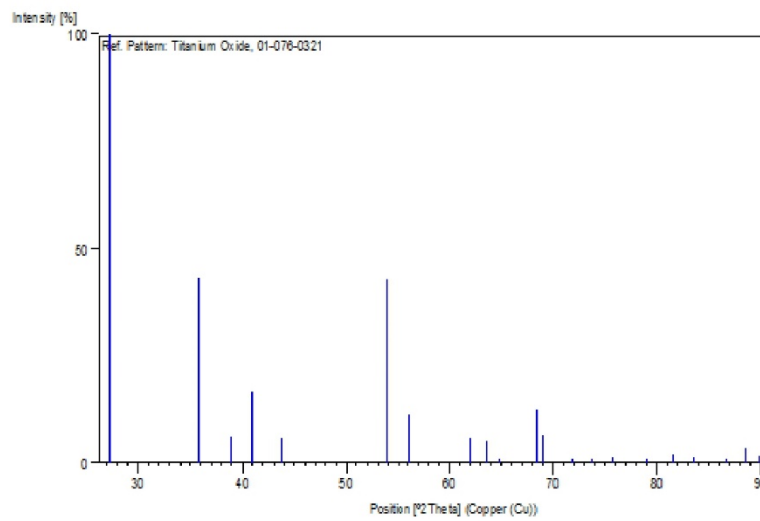
File: 1650

User: ROG SRTIX

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3,27051	27,246	100,0
2	1	0	1	2,50970	35,749	43,3
3	2	0	0	2,31260	38,913	6,1
4	1	1	1	2,20588	40,877	16,5
5	2	1	0	2,06845	43,728	5,9
6	2	1	1	1,70067	53,865	42,9
7	2	2	0	1,63525	56,206	11,4
8	0	0	2	1,49390	62,079	5,9
9	3	1	0	1,46262	63,560	5,2
10	2	2	1	1,43446	64,959	0,3
11	3	0	1	1,37008	68,420	12,3
12	1	1	2	1,35885	69,065	6,5
13	3	1	1	1,31366	71,801	0,6
14	3	2	0	1,28280	73,809	0,2
15	2	0	2	1,25485	75,738	1,3
16	2	1	2	1,21107	78,996	0,7
17	3	2	1	1,17875	81,610	1,9
18	4	0	0	1,15630	83,545	1,3
19	4	1	0	1,12178	86,735	0,5
20	2	2	2	1,10294	88,599	3,3
21	3	3	0	1,09017	89,916	1,6

**Stick Pattern**



## b) SiO<sub>2</sub>

Date: 02/07/2022 Time: 16:35:05

File: 1650

User: ROG SRTIX

### Name and formula

Reference code: 01-083-2473  
Mineral name: Quartz, syn  
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: P3121  
Space group number: 152  
a (Å): 4,8016  
b (Å): 4,8016  
c (Å): 5,3177  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,82  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 106,18  
Z: 3,00  
RIR: 0,54

### Status, subfiles and quality

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

### Comments

ICSD collection code: 200729  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 200729  
Calculated Pattern Original Remarks: REM PRE 2820  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF implausible  
Temperature Factor: ITF.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)  
Structure: Jorgensen, J.D., *J. Appl. Phys.*, **49**, 5473, (1978)

1 Of 3

Date: 02/07/2022 Time: 16:35:05

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Peak list**

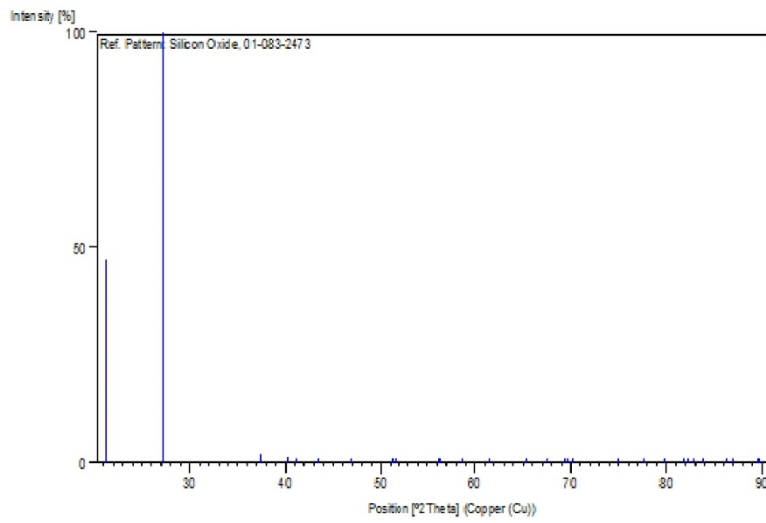
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4,15831	21,351	47,1
2	1	0	1	3,27570	27,202	100,0
3	1	1	0	2,40080	37,429	2,2
4	0	1	2	2,24008	40,226	1,4
5	1	1	1	2,18813	41,224	0,6
6	2	0	0	2,07915	43,491	0,6
7	0	2	1	1,93640	46,881	0,1
8	1	1	2	1,78189	51,226	0,2
9	0	0	3	1,77257	51,515	0,1
10	2	0	2	1,63785	56,109	0,1
11	1	0	3	1,63060	56,381	0,1
12	2	1	0	1,57169	58,696	0,1
13	2	1	1	1,50724	61,470	0,1
14	1	1	3	1,42601	65,392	0,1
15	3	0	0	1,38610	67,522	0,1
16	2	1	2	1,35299	69,407	0,1
17	0	2	3	1,34889	69,649	0,1
18	3	0	1	1,34129	70,101	0,1
19	0	1	4	1,26629	74,935	0,1
20	0	3	2	1,22911	77,616	0,1
21	2	2	0	1,20040	79,838	0,1
22	1	2	3	1,17599	81,843	0,1
23	2	2	1	1,17094	82,272	0,1
24	1	1	4	1,16302	82,955	0,1
25	3	1	0	1,15331	83,811	0,1
26	3	1	1	1,12710	86,225	0,1
27	0	2	4	1,12004	86,903	0,1
28	2	2	2	1,09407	89,509	0,1
29	0	3	3	1,09190	89,735	0,1

**Stick Pattern**

Date: 02/07/2022 Time: 16:35:05

File: 1650

User: ROG SRTIX



3 Of 3

c)  $\text{ThO}_2$

Date: 02/07/2022 Time: 16:22:37

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Name and formula**

Reference code: 03-065-0290  
Mineral name: Thoria, syn  
Compound name: Thorium Oxide  
PDF index name: Thorium Oxide  
Empirical formula:  $\text{O}_2\text{Th}$   
Chemical formula:  $\text{ThO}_2$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225  
a (Å): 5,6950  
b (Å): 5,6950  
c (Å): 5,6950  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 9,49  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 184,71  
Z: 4,00  
RIR: 22,56

**Status, subfiles and quality**

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Mineral  
NIST Pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
N 23223 21558. Temperature of Data Collection: 1380  
Temperature Factor: No TF given for entry, B=1.0 assumed.

**References**

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*  
Structure: K.Clausen, W.Hayes, J.E.Macdonald, P.Schnabel, M.T.Hutchings & J.KKjems, *High Temp. High Pressures*, **15**, 383-3, (1983)

**Peak list**

1 Of 2

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



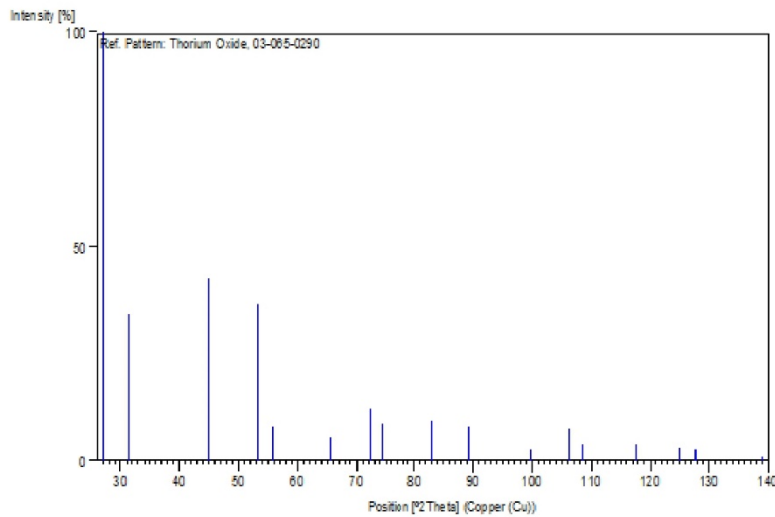
Date: 02/07/2022 Time: 16:22:37

File: 1650

User: ROG SRTIX

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	3,28801	27,098	100,0
2	2	0	0	2,84750	31,390	34,3
3	2	2	0	2,01349	44,986	42,4
4	3	1	1	1,71711	53,308	36,6
5	2	2	2	1,64401	55,880	7,9
6	4	0	0	1,42375	65,508	5,4
7	3	3	1	1,30652	72,255	12,1
8	4	2	0	1,27344	74,443	8,7
9	4	2	2	1,16249	83,001	9,2
10	5	1	1	1,09600	89,309	7,9
11	4	4	0	1,00674	99,839	2,7
12	5	3	1	0,96263	106,299	7,7
13	6	0	0	0,94917	108,496	3,8
14	6	2	0	0,90046	117,620	3,9
15	5	3	3	0,86848	124,986	3,1
16	6	2	2	0,85855	127,586	2,6
17	4	4	4	0,82200	139,141	1,1

**Stick Pattern**



d)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Date: 02/07/2022 Time: 16:25:35

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Name and formula**

Reference code: 01-073-0603  
Mineral name: Hematite, syn  
Compound name: Iron Oxide  
ICSD name: Iron Oxide  
Empirical formula:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
Chemical formula:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

**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)



Date: 02/07/2022 Time: 16:25:35

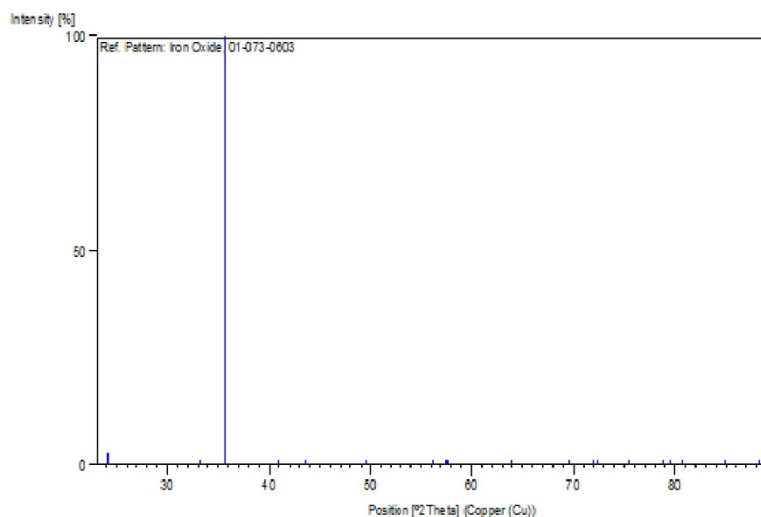
File: 1650

User: ROG SRTIX

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,68171	24,154	2,6
2	1	0	4	2,69915	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

**Stick Pattern**



e)  $\text{FeSiO}_4$

Date: 02/07/2022 Time: 16:37:53

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Name and formula**

Reference code: 01-074-1021  
Mineral name: Fe-Ringwoodite, syn  
Compound name: Iron Silicate  
Common name: Diiron silicate  
ICSD name: Iron Silicate  
Empirical formula:  $\text{Fe}_2\text{O}_4\text{Si}$   
Chemical formula:  $\text{Fe}_2 (\text{SiO}_4)$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fd-3m  
Space group number: 227  
a (Å): 8,3398  
b (Å): 8,3398  
c (Å): 8,3398  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ): 4,67  
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 580,05  
Z: 8,00  
RIR: 3,57

**Status, subfiles and quality**

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature  
Subfiles: ICSD Pattern  
Inorganic  
Mineral  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 041006  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 041006  
Temperature of Data Collection: REM TEM 700 C. This entry was previously CuO, ICSD 026715. Geometrical and Optical Properties, and Crystal Structure of Tenorite. e d a (FD3-MZ). AB2X4.

**References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*  
Structure: Yamanaka, T., *Phys. Chem. Miner.*, **13**, 227, (1986)

Date: 02/07/2022 Time: 16:37:53

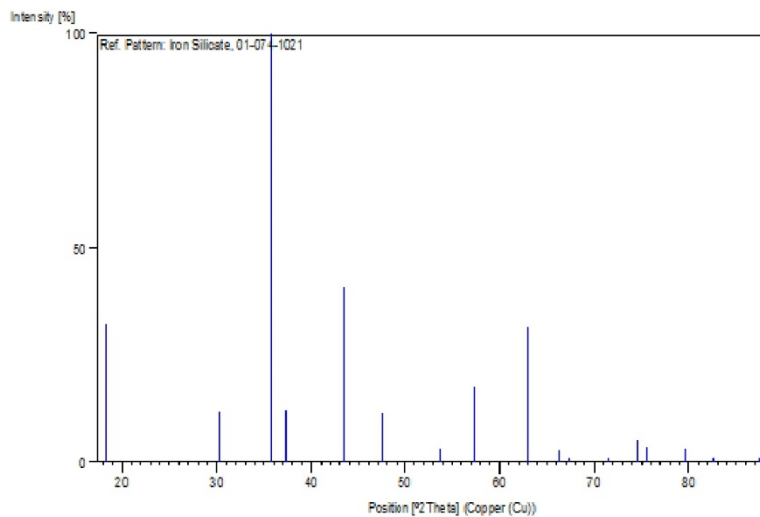
File: 1650

User: ROG SRTIX

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4,81499	18,411	31,8
2	2	2	0	2,94856	30,288	11,6
3	3	1	1	2,51454	35,677	100,0
4	2	2	2	2,40749	37,321	12,0
5	4	0	0	2,08495	43,364	40,6
6	3	3	1	1,91328	47,483	11,2
7	4	2	2	1,70235	53,807	3,0
8	5	1	1	1,60500	57,363	17,6
9	4	4	0	1,47428	62,999	31,2
10	5	3	1	1,40968	66,246	2,7
11	4	4	2	1,38997	67,309	0,1
12	6	2	0	1,31864	71,488	0,9
13	5	3	3	1,27181	74,554	5,1
14	6	2	2	1,25727	75,567	3,4
15	4	4	4	1,20375	79,571	3,0
16	7	1	1	1,16781	82,540	1,0
17	6	4	2	1,11445	87,449	0,7

**Stick Pattern**



f)  $\text{FeTiO}_3$

Date: 02/07/2022 Time: 16:28:54

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Name and formula**

Reference code: 01-075-1204  
 Mineral name: Ilmenite, syn  
 Compound name: Iron Titanium Oxide  
 ICSD name: Iron Titanium Oxide  
 Empirical formula:  $\text{FeO}_3\text{Ti}$   
 Chemical formula:  $\text{FeTiO}_3$

**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

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Date: 02/07/2022 Time: 16:28:54

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Peak list**

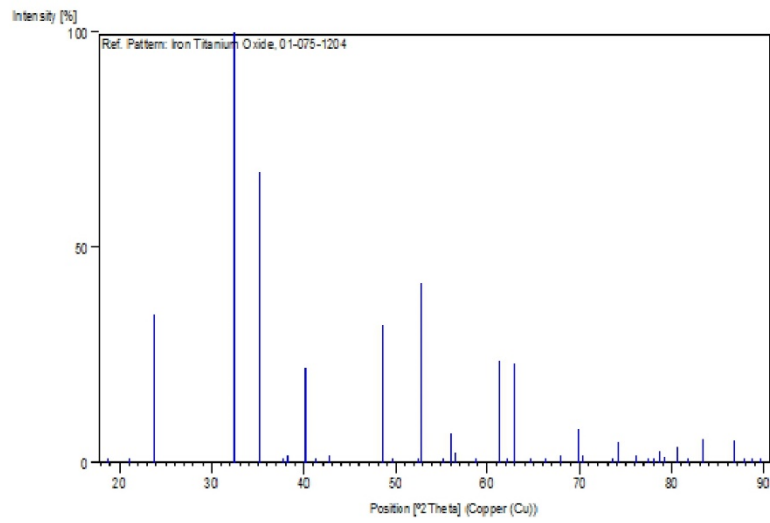
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	3	4,70957	18,827	0,2
2	1	0	1	4,22157	21,027	0,3
3	0	1	2	3,74924	23,712	34,5
4	1	0	4	2,76022	32,410	100,0
5	1	1	0	2,55400	35,108	67,5
6	0	1	5	2,38136	37,746	0,1
7	0	0	6	2,35478	38,188	1,7
8	1	1	-3	2,24512	40,132	22,1
9	0	2	1	2,18521	41,281	1,2
10	2	0	2	2,11079	42,807	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	1,20881	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

**Stick Pattern**

Date: 02/07/2022 Time: 16:28:54

File: 1650

User: ROG SRTIX



3 Of 3

**g) FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

Date: 03/07/2022 Time: 10:30:04

File: 1550

User: ROG SRTIX

**Name and formula**

Reference code: 01-089-8065

Mineral name: Pseudobrookite, ferrous, syn  
Compound name: Iron Titanium Oxide  
Common name: Iron(II) ditanium 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: Bbmm  
Space group number: 63

a (Å): 9,8081  
b (Å): 10,0710  
c (Å): 3,7503  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,15  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 370,44  
Z: 4,00

RIR: 2,23

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Corrosion  
ICSD Pattern  
Inorganic  
Mineral

Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 088379  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 088379. Rietveld profile refinement applied  
Calculated Pattern Original Remarks: REM K Space group Cmc given in paper but coordinates belong  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing. Crystal structure and cation distributions in the Fe Ti<sub>2</sub> O<sub>5</sub> Fe<sub>2</sub> Ti<sub>2</sub> O<sub>5</sub> solid solution series. f3 c2 (BBMM). AB2X5.

**References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*  
Structure: Guo, W.Q., Malus, S., Ryan, D.H., Altounian, Z., *J. Phys.: Condens. Matter*, **11**, 6337,

1 Of 4



Date: 03/07/2022 Time: 10:30:04

File: 1550

User: ROG SRTIX

(1999)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	5,03550	17,599	9,9
2	2	0	0	4,90405	18,074	36,8
3	2	1	0	4,40909	20,123	0,5
4	1	0	1	3,50296	25,406	100,0
5	1	1	1	3,30853	26,927	7,9
6	1	2	1	2,87560	31,076	3,8
7	2	3	0	2,77014	32,290	61,1
8	0	4	0	2,51775	35,630	2,2
9	3	0	1	2,46440	36,428	17,8
10	4	0	0	2,45202	36,619	7,2
11	1	3	1	2,42371	37,062	20,8
12	3	1	1	2,39377	37,543	2,6
13	2	4	0	2,23981	40,231	12,1
14	3	2	1	2,21353	40,730	2,9
15	4	2	0	2,20455	40,903	13,3
16	1	4	1	2,04445	44,268	0,1
17	3	3	1	1,98657	45,630	3,5
18	4	3	0	1,98007	45,788	14,9
19	0	0	2	1,87515	48,509	24,7
20	2	5	0	1,86317	48,842	7,8
21	3	4	1	1,76115	51,874	8,4
22	0	2	2	1,75726	51,998	5,2
23	2	0	2	1,75148	52,182	2,8
24	1	5	1	1,74612	52,354	1,5
25	5	0	1	1,73820	52,611	0,2
26	2	1	2	1,72558	53,026	0,1
27	5	1	1	1,71288	53,450	0,8
28	0	6	0	1,67850	54,635	8,6
29	2	2	2	1,65427	55,504	1,7
30	5	2	1	1,64307	55,915	15,7
31	6	0	0	1,63468	56,228	1,8
32	6	1	0	1,61357	57,030	3,1
33	2	6	0	1,58806	58,032	1,9
34	3	5	1	1,55956	59,197	6,9
35	4	5	0	1,55641	59,329	4,9
36	2	3	2	1,55283	59,480	14,2
37	5	3	1	1,54356	59,873	10,2
38	1	6	1	1,51370	61,179	3,9
39	0	4	2	1,50389	61,622	0,7
40	4	0	2	1,48952	62,282	1,8
41	4	1	2	1,47349	63,037	0,2
42	6	3	0	1,46970	63,218	1,4
43	2	4	2	1,43780	64,789	3,4
44	5	4	1	1,43043	65,164	2,7
45	4	2	2	1,42834	65,272	4,6
46	3	6	1	1,38729	67,457	3,5
47	4	6	0	1,38507	67,579	2,1
48	2	7	0	1,38053	67,832	2,3
49	6	4	0	1,37105	68,365	0,3
50	4	3	2	1,36151	68,911	5,0
51	1	7	1	1,33084	70,733	1,8
52	2	5	2	1,32168	71,298	2,9
53	5	5	1	1,31594	71,657	0,6
54	7	0	1	1,31254	71,871	0,6

2 Of 4

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



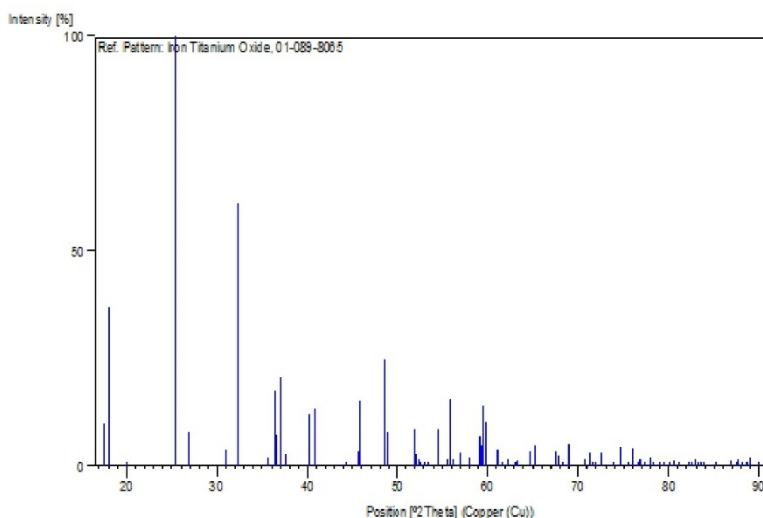
Date: 03/07/2022 Time: 10:30:04

File: 1550

User: ROG SRTIX

55	7	1	1	1,30154	72,575	3,0
56	4	4	2	1,28197	73,865	0,1
57	7	2	1	1,27010	74,672	4,5
58	0	8	0	1,25888	75,453	0,2
59	0	6	2	1,25064	76,038	4,2
60	3	7	1	1,24248	76,628	0,5
61	4	7	0	1,24007	76,804	1,8
62	6	0	2	1,23220	77,385	0,6
63	6	1	2	1,22308	78,071	1,9
64	2	8	0	1,21934	78,357	1,0
65	2	6	2	1,21186	78,934	1,0
66	1	2	3	1,20409	79,544	0,2
67	4	5	2	1,19762	80,061	0,1
68	8	2	0	1,19121	80,580	1,2
69	1	8	1	1,18470	81,114	0,1
70	6	6	0	1,17108	82,260	0,4
71	3	0	3	1,16765	82,554	1,1
72	7	4	1	1,16324	82,936	1,5
73	3	1	3	1,15988	83,230	0,9
74	6	3	2	1,15674	83,506	0,9
75	8	3	0	1,15162	83,962	0,1
76	3	2	3	1,13747	85,251	0,1
77	4	8	0	1,11990	86,917	1,4
78	4	6	2	1,11410	87,484	0,5
79	1	4	3	1,11173	87,718	1,6
80	5	7	1	1,10831	88,058	0,8
81	6	4	2	1,10676	88,213	0,2
82	3	3	3	1,10284	88,609	0,3
83	7	5	1	1,09967	88,932	1,9
84	2	9	0	1,09096	89,833	0,5

**Stick Pattern**



3 Of 4

## h) $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$

Date: 02/07/2022 Time: 16:27:56

File: 1650

User: ROG SRTIX

### Name and formula

Reference code: 00-023-1044  
Compound name: Calcium Silicate  
PDF index name: Calcium Silicate  
Empirical formula:  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$   
Chemical formula:  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic  
Space group: Pcmn  
Space group number: 62  
a (Å): 9,5350  
b (Å): 5,5930  
c (Å): 6,8600  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 365,84

RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Inorganic  
Quality: Star (5)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Deleted Or Rejected By: Deleted by 31-298.

### References

Primary reference: Regourd et al., Tokyo., *Proc. 5th Int. Symp. Chem. Cement, Tokyo*, 44, (1968)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	5,57000	15,898	4,0
2	1	1	0	4,83000	18,354	2,0
3	2	0	0	4,77000	18,587	6,0
4	1	1	1	3,95000	22,491	10,0
5	2	0	1	3,92000	22,665	10,0
6	0	0	2	3,43000	25,956	20,0
7	1	0	2	3,23000	27,594	8,0
8	2	1	1	3,21000	27,769	25,0

1 Of 2

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



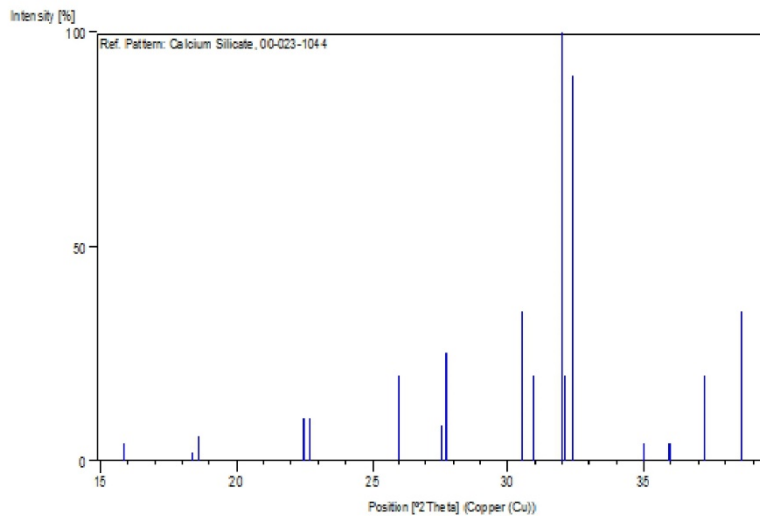
Date: 02/07/2022 Time: 16:27:56

File: 1650

User: ROG SRTIX

9	0	1	2	2,92400	30,549	35,0
10	3	0	1	2,88400	30,983	20,0
11	0	2	0	2,79600	31,984	100,0
12	2	0	2	2,78400	32,125	20,0
13	3	1	0	2,76300	32,376	90,0
14	3	1	1	2,56300	34,981	4,0
15	1	2	1	2,49900	35,907	4,0
16	2	1	2	2,49300	35,996	4,0
17	2	2	0	2,41300	37,233	20,0
18	3	0	2	2,33100	38,593	35,0

**Stick Pattern**



i)  $\text{CaTiO}_3$

Date: 02/07/2022 Time: 16:27:43

File: 1650

User: ROG SRTIX

**Name and formula**

Reference code: 00-040-0103  
 Compound name: Calcium Titanium Oxide  
 PDF index name: Calcium Titanium Oxide  
 Empirical formula:  $\text{Ca}_2\text{O}_6\text{Ti}_2$   
 Chemical formula:  $\text{Ca}_2\text{Ti}_2\text{O}_6$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
 Space group: F  
 a (Å): 9,9530  
 b (Å): 9,9530  
 c (Å): 9,9530  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 90,0000  
 Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 985,97  
 Z: 8,00  
 RIR: -

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Corrosion  
 Inorganic  
 Quality: Calculated (C)

**Comments**

Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970

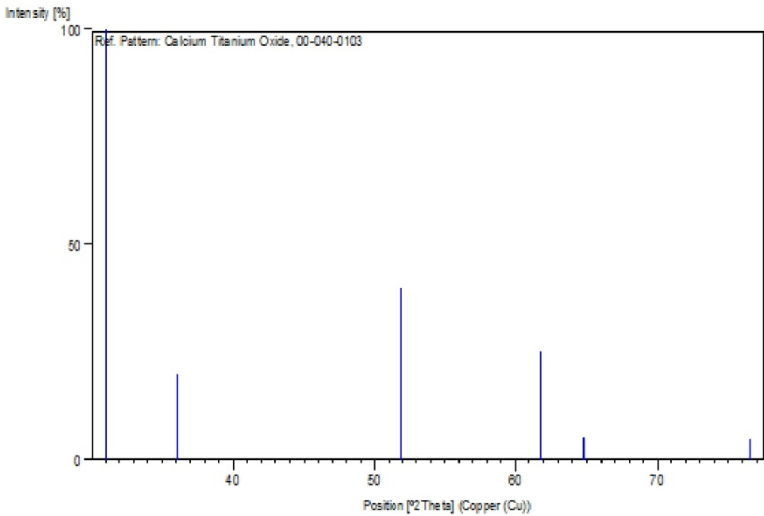
**References**

Primary reference: Ball, C., White, T., *J. Solid State Chem.*, **65**, 148, (1986)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	2	2	2	2,87320	31,102	100,0
2	4	0	0	2,48830	36,066	20,0
3	4	4	0	1,75950	51,927	40,0
4	6	2	2	1,50050	61,776	25,0
5	4	4	4	1,43660	64,850	5,0
6	8	0	0	1,24410	76,510	5,0

**Stick Pattern**



j) SnO<sub>2</sub>

Date: 03/07/2022 Time: 17:26:10

File: 1650

User: HF

**Name and formula**

Reference code: 01-072-1147  
 Mineral name: Cassiterite  
 Compound name: Tin Oxide  
 Common name: tin(IV) 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: P4<sub>2</sub>/mnm  
 Space group number: 136  
 a (Å): 4,7370  
 b (Å): 4,7370  
 c (Å): 3,1850  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 90,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 7,00  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 7,00  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 71,47  
 Z: 2,00  
 RIR: 7,07

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
 Corrosion  
 ICSD Pattern  
 Inorganic  
 Mineral  
 Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 016635  
 Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 ICSD Collection Code: 016635  
 Calculated Pattern Original Remarks: REM REF  
 Test from ICSD: At least one TF missing  
 Additional Patterns: See PDF 01-088-0287 and PDF 00-041-1445  
 Temperature Factor: ITF  
 Sample Source or Locality: Specimen from Cornwall, England, UK  
 Ueber die Verfeinerung der Kristallstrukturbestimmung einiger Vertreter des Rutiltyps: Ti O<sub>2</sub>, Sn O<sub>2</sub>, Ge O<sub>2</sub> und Mg F<sub>2</sub>.  
 Cell from *Trans. Electrochem*  
 Soc.\RG, \BF28\RG 522-529 (1932): 4.73, 3.18. f a (P4<sub>2</sub>/MNM). AX2.



Date: 03/07/2022 Time: 17:26:10

File: 1650

User: HF

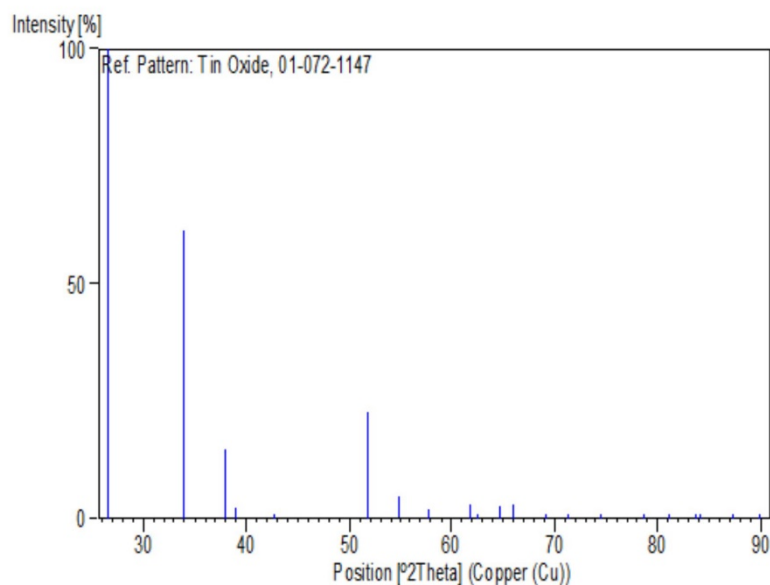
### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*  
Structure: *Baur, W.H., Acta Crystallogr., 9, 515, (1956)*

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	0	3,34956	26,591	100,0
2	1	0	1	2,64311	33,888	61,6
3	2	0	0	2,36850	37,959	14,9
4	1	1	1	2,30812	38,991	2,4
5	2	1	0	2,11845	42,645	0,7
6	2	1	1	1,76390	51,787	22,6
7	2	2	0	1,67478	54,767	4,6
8	0	0	2	1,59250	57,855	1,9
9	3	1	0	1,49797	61,892	2,9
10	2	2	1	1,48234	62,618	0,1
11	1	1	2	1,43823	64,768	2,6
12	3	0	1	1,41469	65,981	3,1
13	3	1	1	1,35553	69,259	0,1
14	2	0	2	1,32155	71,306	0,9
15	2	1	2	1,27294	74,477	0,1
16	3	2	1	1,21453	78,727	0,9
17	4	0	0	1,18425	81,152	0,3
18	2	2	2	1,15406	83,744	0,5
19	4	1	0	1,14889	84,207	0,1
20	3	3	0	1,11652	87,246	0,2
21	3	1	2	1,09111	89,817	0,4

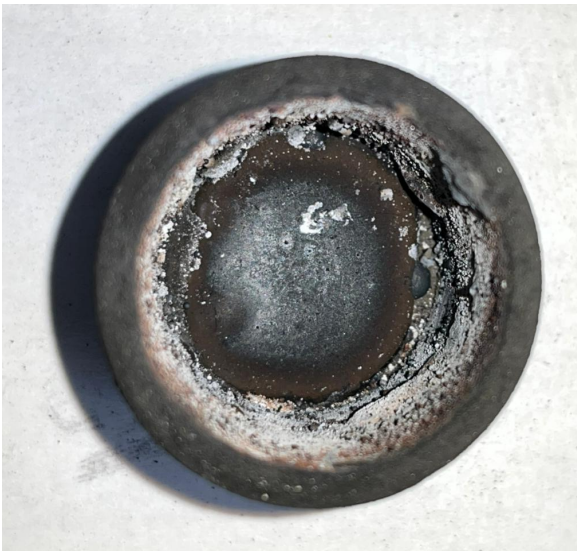
### Stick Pattern



2 Of 3



## 8. Dokumentasi





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses pengerjaan dan penyusunan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak laporan ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu, antara lain:

1. Allah SWT yang atas karunia-Nya penelitian ini dapat dilaksanakan.
2. Bapak, Ibu, Nenek, Dinda, Faith, dan Audy penulis yang selalu memberikan dukungan do'a dan moril kepada penulis.
3. Dindra Fai'mundiarti Purnamabroto yang selalu memberi dukungan dan semangat selama proses perkuliahan.
4. Izzuddin dan Hanif sebagai tempat berkeluh kesah.
5. Akbar dan Azrial yang telah banyak membantu dalam pengerjaan penelitian. Tugas Akhir
6. Akbar, Azrial, Rachmat, Fadhlhan, Zafi, dan semua penghuni Lab. Ekstraksi yang telah menemani proses pengerjaan laporan dari 0 hingga selesai.
7. Pak Abdul dan Pak Sungging sebagai Dosen yang telah membimbing penulis selama proses penelitian dari awal hingga selesai.
8. Bu Dian Mughni Fellicia sebagai Dosen Wali yang telah memberikan masukan perkuliahan dari semester awal hingga akhir.
9. Keluarga MT20 yang telah memberi banyak warna selama masa perkuliahan penulis.
10. MT17, MT18, dan MT19 yang telah banyak memberikan teladan dan bimbingan.

Akhir kata, Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dan memohon maaf apabila terdapat pihak – pihak yang belum dituliskan dalam halaman terima kasih ini. Semoga kebaikan yang telah kalian berikan dibalas oleh Allah SWT. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

Surabaya, 4 Juli 2022  
Penulis

Raihan Maulana Ghufuran

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Raihan Maulana Ghufran lahir di Batam, 25 September 2000 yang merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Heryanto dengan Leyla. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri 017 Bintang Timur (2006-2012), SMPIT Al-Kahfi (2012-2015), dan SMAIT Al-Kahfi (2015-2018), kemudian penulis melanjutkan studi Strata-1 (S1) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS melalui jalur SBMPTN pada tahun 2018. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan akademik sebagai *Grader* Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material. Penulis juga turut aktif dalam kegiatan organisasi sebagai Staf Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2019/2020 dan Kepala Biro Pemetaan Basic Student Resource Development HMMT FTIRS-ITS 2021. Penulis melakukan kerja praktik di PT. Intermesindo Forging Prima pada Divisi Material selama 1 bulan. Untuk menyelesaikan studi S1, penulis melakukan penelitian dalam bidang Metalurgi Ekstraksi dengan judul tugas akhir “Analisis Pengaruh Variasi Temperatur *Electric Arc Furnace* Dalam Proses *Smelting* Pasir Monasit Terhadap Komposisi Senyawa dan *Grade ThO<sub>2</sub>*”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [raihanmaulana2589@gmail.com](mailto:raihanmaulana2589@gmail.com) dan No. HP: [+6287703372922](tel:+6287703372922).