ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS LISTRIK *ELECTRIC ARC FURNACE* PADA PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO_2

KAISAR AKBAR PURWANTO
NRP. 02511840000023

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 KUAT ARUS LISTRIK *ELECTRIC ARC FURNACE* PADA PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO_2

KAISAR AKBAR PURWANTO
NRP. 02511840000023

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

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

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT – TL184834

ANALYSIS ON EFFECT OF VARIATION ELECTRIC ARC FURNACE CURRENT IN SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND ON COMPOUND COMPOSITION AND GRADE OF ThO_2

KAISAR AKBAR PURWANTO
NRP. 02511840000023

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

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

(*This page is intentionally blank*)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS LISTRIK *ELECTRIC ARC FURNACE* PADA PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO_2

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 : **KAISAR AKBAR PURWANTO**
NRP. 02511840000023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

SURABAYA
Juli, 2022

CamScanner

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS ON EFFECT OF VARIATION ELECTRIC ARC FURNACE CURRENT IN SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND ON COMPOUND COMPOSITION AND GRADE OF ThO_2

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 : **KAISAR AKBAR PURWANTO**
NRP. 02511840000023

Approved by Final Project Examiner Team :

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

SURABAYA
July, 2022

CamScanner

(*This page is intentionally blank*)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Kaisar Akbar Purwanto/02511840000023
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing/NIP : Fakhreza Abdul, S.T., M.T./ 199102172015041002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS LISTRIK *ELECTRIC ARC FURNACE* PADA PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO_2" 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, 1 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

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

Mahasiswa

(Kaisar Akbar Purwanto)
NRP. 02511840000023

CamScanner

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Kaisar Akbar Purwanto/02511840000023
Departement : Materials and Metallurgical Engineering FTIRS-ITS
Advisor/NIP : Fakhreza Abdul, S.T., M.T./ 199102172015041002

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS ON EFFECT OF VARIATION ELECTRIC ARC FURNACE CURRENT IN SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND ON COMPOUND COMPOSITION AND GRADE OF ThO_2" 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, 1st July 2022

Acknowledged
Advisor

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

Student

(Kaisar Akbar Purwanto)
NRP.02511840000023

CamScanner

(*This page is intentionally blank*)

ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS LISTRIK *ELECTRIC ARC FURNACE* PADA PROSES *SMELTING* PASIR MONASIT TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN *GRADE* ThO_2

Nama Mahasiswa / NRP : Kaisar Akbar Purwanto/02511840000023
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Indonesia ditargetkan akan mulai beroperasi pada tahun 2027. Indonesia memiliki kandungan torium sebesar 130.974 ton. Bahkan torium memiliki sifat yang lebih baik daripada uranium. Salah satu mineral yang mengandung torium dan terletak di Indonesia adalah pasir monasit di Bangka Belitung. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* (EAF) pada proses *smelting* pasir monasit terhadap senyawa yang terbentuk, komposisi senyawa utama beserta *recovery*, dan *grade* ThO_2. *Smelting* dilakukan pada temperatur 1850^oC selama 287 detik dan tegangan sebesar 40 V. Variasi kuat arus listrik yang digunakan adalah 50 A, 60 A, 70 A, 80 A, dan 90 A. Bahan yang digunakan terdiri atas pasir monasit sebagai material *feed*, $CaCO_3$ sebagai aditif, serbuk karbon sebagai reduktor, SiO_2 sebagai *flux*. Setelah *smelting*, dilakukan karakterisasi melalui pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui senyawa yang terkandung dan *X-Ray Fluorosence* (XRF) untuk mengetahui komposisi senyawa yang terkandung. Melalui analisis hasil pengujian XRD terdapat senyawa baru, yaitu *calcium titanium oxide* ($CaTiO_3$) pada semua variasi, *hatrurite* (Ca_3SiO_5) hanya pada 50 A dan 60 A, dan *fayalite* (Fe_2SiO_4) pada semua variasi, kecuali pada 50 A. Kemudian, melalui analisis hasil pengujian XRF didapatkan Fe_2O_3 dengan *grade* terendah (10,95%) pada 70 A dan *recovery* terendah (10,54%) pada 50 A, serta TiO_2 dengan *grade* terendah (22,95%) dan *recovery* terendah (6,47%) pada 50 A. Sementara itu, ThO_2 dengan *grade* tertinggi (0,45%) dan *recovery* tertinggi (38,29%) didapatkan pada 80 A. Melalui perhitungan *separation efficiency* (S.E.) didapatkan kuat arus listrik yang paling efisien adalah 80 A, dimana S.E. Fe_2O_3, TiO_2, dan ThO_2 berturut-turut sebesar 11,62%, 4,02%, dan 38,19%. Meskipun begitu, pasir monasit hasil *smelting* masih memiliki banyak sekali senyawa pengotor. Oleh karena itu, diperlukan metode ekstraksi ThO_2 lebih lanjut agar lebih optimal, contohnya menggunakan metode hidrometalurgi.

Kata Kunci: *Kuat Arus Listrik, Pasir Monasit, Smelting, ThO_2*

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

ANALYSIS ON EFFECT OF VARIATION ELECTRIC ARC FURNACE CURRENT IN SMELTING PROCESS OF MONAZITE SAND ON COMPOUND COMPOSITION AND GRADE OF ThO_2

Student Name / NRP : Kaisar Akbar Purwanto/02511840000023
Departement : Materials and Metallurgical Engineering FTIRS-ITS
Advisor : Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

Abstract

Indonesia's nuclear power plant (PLTN) is targeted to start operating in 2027. Indonesia contains 130,974 tons of thorium. Even thorium has better properties than uranium. One of the minerals containing thorium and located in Indonesia is monazite sand in Bangka Belitung. The purpose of this study was to analyze the effect of variations in Electric Arc Furnace (EAF) electric current on the monazite sand smelting process on the compounds formed, the composition of the main compounds and their recovery, and the grade of ThO_2. Smelting was carried out at a temperature of 1850^{o}C for 287 seconds and a voltage of 40 V. The variations of the electric current used were 50 A, 60 A, 70 A, 80 A, and 90 A. The materials used consisted of monazite sand as feed material, $CaCO_3$ as additive material. additive, carbon powder as reducing agent, SiO_2 as flux. After smelting, characterization was carried out through X-Ray Diffraction (XRD) testing to determine the compounds contained and X-Ray Fluorosence (XRF) to determine the composition of the compounds contained. Through the analysis of the XRD test results there were new compounds, namely calcium titanium oxide ($CaTiO_3$) in all variations, hatrurite (Ca_3SiO_5) only at 50 A and 60 A, and fayalite (Fe_2SiO_4) in all variations, except at 50 A. Then, through analysis XRF test results obtained Fe_2O_3 with the lowest grade (10.95%) at 70 A and the lowest recovery (10.54%) at 50 A, and TiO_2 with the lowest grade (22.95%) and the lowest recovery (6.47%). at 50 A. Meanwhile, ThO_2 with the highest grade (0.45%) and the highest recovery (38.29%) was found at 80 A. Through the calculation of separation efficiency (S.E.) the most efficient electric current was found to be 80 A, where S.E. Fe_2O_3, TiO_2, and ThO_2 were 11.62%, 4.02%, and 38.19%, respectively. Even so, the smelted monazite sand still contains a lot of impurities. Therefore, further ThO_2 extraction methods are needed to be more optimal, for example using the hydrometallurgical method.

Keywords: ***Current, Monazite Sand, Smelting, ThO_2***

(*This page is intentionally blank*)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas berkat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Alhasil penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir berjudul "Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses *Smelting* Pasir Monasit Terhadap Komposisi Senyawa dan *Grade* ThO_2" dengan lancar tanpa halangan dan hambatan yang berarti. Hal ini tidak luput dari dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

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

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

Surabaya, 29 Juni 2022
Penulis

Kaisar Akbar Purwanto
NRP. 02511840000023

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
KATA PENGANTAR ..... **xvii**
DAFTAR ISI ..... **xix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xxi**
DAFTAR TABEL ..... **xxiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Pasir Monasit 5
2.2 Torium 6
2.3 *Flux* SiO_2 7
2.4 Reduktor Karbon 8
2.5 *Electric Arc Furnace* (EAF) 9
2.6 Penggunaan Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* 10
2.7 Waktu *Smelting Electric Arc Furnace* 10
2.8 Diagram Bouduard-Gaussnerr 11
2.9 Termodinamika Reduksi 12
2.10 *Grade*, *Recovery*, dan Basisitas 14
2.11 Penelitian Sebelumnya 15
2.11.1 Ekstraksi Monasit 15
2.11.2 Penggunaan Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* 17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **23**
3.1 Diagram Alir 23
3.2 Bahan Penelitian 24
3.2.1 Pasir Monasit 24
3.2.2 *Flux* SiO_2 25
3.2.3 Serbuk Karbon 25
3.2.4 Serbuk $CaCO_3$ 26
3.2.5 Akuades 26
3.2.6 Elektroda Grafit 26
3.3 Alat Penelitian 27
3.3.1 Neraca Analitik 27
3.3.2 Ayakan 27
3.3.3 Termometer *Infrared* 27
3.3.4 Oven 28
3.3.5 Alat Tumbuk 28
3.3.6 *Power Supply* 28
3.3.7 *Crucible* 29
3.3.8 Magnet Neodimium 30
3.4 Metode Penelitian 30
3.4.1 Persiapan Material 30
3.4.2 Proses *Smelting* Menggunakan *Electric Arc Furnace* 30

3.4.3 Perlakuan Setelah Proses *Smelting* 31
3.5 Pengujian..... 31
3.5.1 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)..... 31
3.5.2 Pengujian *X-Ray Fluorescene* (XRF) 32
3.6 Perhitungan 33
3.6.1 Perhitungan Neraca Massa dan Energi 33
3.6.2 Perhitungan *Recovery* dan *Separation Efficiency* (S.E.)..... 33
3.6.3 Perhitungan Basisitas..... 34
3.7 Rancangan Penelitian..... 34
3.8 Jadwal Penelitian..... 35
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN..... 36
4.1 Karakterisasi Pasir Monasit 37
4.2 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap Fasa Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting* 39
4.3 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap Komposisi Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*..... 42
4.4 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting* 46
4.5 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap *Separation Efficiency* (S.E.) Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting* 49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 51
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran..... 51
DAFTAR PUSTAKA..... 53
LAMPIRAN..... 57
UCAPAN TERIMA KASIH 93
BIODATA PENULIS..... 95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pasir Monasit.....5
Gambar 2.2 Diagram Ellingham Reduksi Karbon 9
Gambar 2.3 Komponen *Electric Arc Furnace* 10
Gambar 2.4 Diagram Bouduard-Gaussner 12
Gambar 2.5 Diagram Ellingham Berbagai Oksida 13
Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Waktu Ekstraksi Terhadap Persentase Unsur Terekstraksi 15
Gambar 2.7 Grafik Pengaruh Waktu Pengendapan Terhadap *Recovery* U, Th, dan REE.....16
Gambar 2.8 Pengaruh Ukuran Butir *Feed* Terhadap Persentase Kadar Pada Temperatur 400^{o}C 16
Gambar 2.9 Grafik Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Kadar Torium.....17
Gambar 2.10 Grafik Pengaruh Temperatur *Roasting* Terhadap Kadar Th dan Fe 17
Gambar 2.11 Variasi Temperatur *Smelting*.....18
Gambar 2.12 Komposisi Kimia Setiap Variasi Temperatur *Smelting* 18
Gambar 2.13 Komposisi Kimia Setiap Variasi Waktu dan Temperatur *Smelting*.....19
Gambar 2.14 Grafik Pengaruh Kuat Arus Listrik Terhadap *Recovery* Fe 19
Gambar 2.15 Grafik Pengaruh Penambahan *Flux* SiO_2 Terhadap *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit 20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 24
Gambar 3.2 Pasir Monasit 25
Gambar 3.3 *Flux* SiO_2 25
Gambar 3.4 Serbuk Karbon 25
Gambar 3.5 Serbuk $CaCO_3$ 26
Gambar 3.6 Air Akuades 26
Gambar 3.7 Elektroda Grafit 26
Gambar 3.8 Neraca Analitik 27
Gambar 3.9 Ayakan 50 *Mesh* 27
Gambar 3.10 Termometer *Infrared* 27
Gambar 3.11 Oven 28
Gambar 3.12 Alat Tumbuk 28
Gambar 3.13 *Power Supply* 28
Gambar 3.14 *Crucible* 29
Gambar 3.15 Dimensi *Crucible* 29
Gambar 3.16 Magnet Neodimium 30
Gambar 3.17 Skema Proses *Smelting* 31
Gambar 3.18 Perangkat Alat XRD 32
Gambar 3.19 Perangkat Alat XRF 32
Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Pasir Monasit.....38
Gambar 4.2 Pasir Monasit Hasil *Smelting* (a) *Magnetic Portion*, (b) *Non-magnetic Portion*.....39
Gambar 4.3 Fasa Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting* 40
Gambar 4.4 *Grade* Fe_2O_3 Dalam Pasir Monasit Hasil *Smelting*.....43
Gambar 4.5 *Grade* TiO_2 Dalam Pasir Monasit Hasil *Smelting*.....45
Gambar 4.6 *Grade* ThO_2 Dalam Pasir Monasit Hasil *Smelting*.....46
Gambar 4.7 *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting* 47
Gambar 4.8 Basisitas Pasir Monasit Hasil *Smelting*.....48
Gambar 4.9 *Non-magnetic Portion* Pasir Monasit Hasil *Smelting* 49
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan S.E. Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*.....50

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Unsur Beserta Oksida Pada Pasir Monasit 6
Tabel 2.2 Sifat Torium 6
Tabel 2.3 Mineral yang Terkandung Torium 7
Tabel 2.4 Sifat Senyawa Torium Oksida 7
Tabel 2.5 Sifat Silika 8
Tabel 2.6 Penelitian Sebelumnya.....20
Tabel 3.1 Komposisi Massa *Smelting* Pasir Monasit.....33
Tabel 3.2 Spesifikasi EAF Pada *Smelting* 33
Tabel 3.3 Rancangan Penelitian.....34
Tabel 3.4 Jadwal Penelitian 35
Tabel 4.1 Komposisi Oksida Pasir Monasit (%).....37
Tabel 4.2 Fasa Dominan Pasir Monasit 38
Tabel 4.3 Perbandingan Fasa Pada Masir Monasit Hasil *Smelting* 41
Tabel 4.4 Komposisi Senyawa Pasir Monasit Hasil *Smelting* 43

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2020 tercatat kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia mencapai 72.750,72 MW. Dimana sebesar 43.186,53 MW merupakan pembangkit PLN dan 29.564,19 MW merupakan non PLN. Sedangkan pada tahun 2019 kapasitas terpasang pembangkit listrik masih di angka 69.678,85 MW. Hal ini mengindikasikan semakin tingginya pembangunan infrastruktur pemasok kebutuhan listrik Indonesia. Dari 43.186,53 MW, sekitar 40% dipasok oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan, 2021). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa Indonesia dalam memenuhi kebutuhan listriknya masih bertumpu pada PLTU dengan bahan bakar utamanya adalah batu bara yang termasuk bahan bakar fosil.

Energi Baru dan Terbarukan (EBT) merupakan alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik masa depan. Salah satunya adalah bahan bakar nuklir. Penggunaan nuklir sebagai pembangkit listrik sudah dimulai sejak tahun 1955. Hingga pada awal tahun 2016 terdapat sebanyak 441 buah reaktor Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) berhasil didirikan dengan total kapasitas 382,9 GW atau setara 11% total produksi dunia. Selain itu, diperkirakan pada tahun 2031 kapasitas PLTN akan menjadi 150-300 GW (Suhaemi, 2017). Total negara di dunia yang telah menggunakan PLTN sebanyak 33 negara. USA merupakan negara dengan unit PLTN terbanyak di dunia, yaitu 158 buah reaktor riset dan 103 buah reaktor nuklir (Suhariyomo, 2006).

Indonesia memiliki mimpi yang besar untuk membangun PLTN. Menurut studi yang dilakukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), PLTN Indonesia direncanakan akan beroperasi pada tahun 2027. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam dunia nuklir. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki kandungan uranium yang cukup besar di dalam tanah. Uranium merupakan unsur terpenting dalam bahan bakar nuklir. Terdapat tiga isotop uranium di alam, yaitu U-234, U-235, dan U-238. Dimana sekitar 99,3% dari total uranium berbentuk U-238. Hasil studi yang dilakukan oleh Pusat Pengembangan Geologi Nuklir (PPGN) – BATAN menyatakan bahwa Indonesia memiliki cadangan uranium sekitar 70.000 ton U_3O_8 (*yellow cake*). Dari 70.000 ton uranium tersebut terbagi ke dalam 1.608 ton kategori terukur, 6.456 ton kategori terindikasi, 2.648 ton kategori tereka, dan 59.288 ton kategori hipotetik. Namun, ketika dilakukan perhitungan matematis, apabila sebanyak 1.608 ton cadangan uranium terukur digunakan seluruhnya pada PLTN dengan kapasitas 2x1.000 MW, maka hanya dapat bertahan selama 3 tahun. Oleh karena itu, diperlukan diperlukan bahan bakar nuklir alternatif lainnya untuk menjalankan PLTN, salah satunya adalah torium (Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2021).

Torium merupakan logam yang bersifat radioaktif dan memiliki waktu paruh yang sangat panjang, yaitu sekitar 14,05 juta tahun. Salah satu kelebihan dari torium dibanding uranium adalah keberadaannya di alam yang lebih melimpah, yaitu sekitar 6,6-7,4 juta ton di seluruh dunia. Sedangkan Indonesia diperkirakan memiliki cadangan torium sebesar 130.974 ton yang tersebar di beberapa wilayah, seperti Pulau Singkep, Bangka Belitung, Kalimantan Barat, dan Mamuju. Selain itu, efektifitas torium sebagai bahan bakar nuklir mencapai 90% dari total berat daripada uranium yang hanya sebesar 3-5% dari total berat (Mubarok et al., 2017). Torium dapat ditemui pada beberapa mineral, yaitu *thorite* ($ThSiO_4$), *thorianite* (ThO_2), *monazite* [$(Ce,La,Nd,Th,U)PO_4$], *bastnaesite* [$(Ce,La)CO_3F$], dan *thorogummite* [$(ThSiO_4)_{1-x}(OH)_{4-x}$] (René, 2017). Di Indonesia, banyak ditemukan pasir monasit yang merupakan hasil samping dari penambangan timah. Pasir monasit ini memiliki kandungan torium sebesar 2,5-3,6%.

Untuk digunakan sebagai bahan bakar nuklir, torium haruslah memiliki kemurnian sebesar 87,42%. Penelitian yang dilakukan oleh Prassanti dan Pudjianto terkait ekstraksi torium dari monasit bangka dengan metode *Solvent Impregnated Resin* (SIR) menghasilkan *recovery* torium sebesar 81,13% (Prassanti & Pudjianto, 2018). Hal ini dapat dikatakan bahwa proses ekstraksi belum didapatkan *recovery* yang mencukupi. Selain melalui hidrometalurgi, ekstraksi monasit juga dapat dilakukan melalui pirometalurgi. Penelitian yang dilakukan oleh Wienar terkait penambahan *flux* SiO_2 pada *smelting* pasir monasit menggunakan *Electric Arc Furnace* (EAF) berhasil menghasilkan *recovery* torium sebesar 90,2% (Wienar, 2021).

Metode EAF dipilih dalam *smelting* pasir monasit dikarenakan beberapa kelebihannya, yaitu menghasilkan produk dengan kualitas yang tinggi, menghasilkan pengotor yang relative sedikit, dan kemudahan dalam pengendalian kerja. Mekanisme panas pada EAF muncul ketika busur terbentuk di antara dua elektroda tanpa adanya kontak dengan material *feed*. Busur ini terbentuk disebabkan adanya resistensi atau tahanan ketika saat arus listrik mengalir (Sarangi & Sarangi, n.d.). Kuat arus listrik berhubungan dengan jumlah elektron yang mengalir dalam satuan waktu. Lebih lanjut lagi, elektron yang mengalir akan mempengaruhi laju pemanasan (Sagita et al., 2020). Dimana, panas yang dihasilkan ini akan digunakan untuk reduksi oksida-oksida pengotor yang tidak diinginkan. Untuk mendapatkan panas yang optimal untuk reduksi, maka arus listrik yang digunakan dalam EAF harus disesuaikan.

Oleh karena itu, berdasarkan uraian diatas akan dilakukan penelitian tentang variasi arus listrik EAF pada *smelting* pasir monasit untuk meningkatkan komposisi senyawa dan *grade* ThO_2.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini.

1. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap senyawa yang terbentuk pada produk hasil *smelting*.
2. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap komposisi senyawa utama pada pasir monasit.
3. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap *grade* ThO_2 pada pasir monasit.
4. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap *recovery* senyawa utama pada produk hasil *smelting*.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Komposisi serbuk karbon, pasir monasit, serbuk $CaCO_3$, dan serbuk SiO_2 dianggap homogen pada semua variasi.
2. Reaksi yang menyebabkan degradasi elektroda grafit pada saat pembentukan busur listrik diabaikan.
3. Serbuk SiO_2 dianggap sama untuk semua variasi.
4. Tegangan *power suppy* dan waktu *smelting* dianggap sama untuk semua variasi.
5. Posisi elektroda selama proses *smelting* berlangsung dianggap stabil.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap senyawa yang terbentuk pada produk hasil *smelting.*
2. Menganalisis pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap komposisi senyawa utama pada produk hasil *smelting.*

3. Menganalisis pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap *grade* ThO_2 pada pasir monasit.
4. Menganalisis pengaruh variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada *smelting* pasir monasit terhadap *recovery* senyawa utama pada produk hasil *smelting*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi empiris mengenai parameter variasi kuat arus listrik *Electric Arc Furnace* pada smelting pasir monasit terhadap komposisi senyawa dan grade ThO_2 pada pasir monasit. Sehingga diperoleh parameter proses yang optimal demi kemajuan riset serta teknologi khususnya dalam penelitian pengolahan mineral tanah jarang yang ada di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dan Indonesia.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Monasit

Monasit merupakan mineral hasil samping dari pengolahan timah yang memiliki kandungan 0,298% uranium (U), 4,147% torium (Th), 23,712% fosfat (PO_4), dan 58,97% LTJ Oksida (LTJ_2O_3) (Novriyanisti et al., 2021). Kandungan dalam monasit ini memiliki nilai guna yang sangat besar dalam kehidupan manusia. Uranium dan torium digunakan sebagai bahan bakar nuklir, LTJ oksida digunakan sebagai bahan baku dalam industri nuklir, elektronika, dan otomotif. Sedangkan fosfat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk kimia (L.N et al., 2009). Untuk memanfaatkan unsur atau senyawa yang terdapat pada monasit perlu dilakukan proses pemisahan terlebih dahulu. Metode yang biasa dilakukan adalah metode basa dan metode asam dan basa. Metode asam dilakukan menggunakan larutan H_2SO_4(Prassanti, 2012). Sedangkan metode basa dilakukan menggunakan larutan NaOH (Sumarni et al., 2004). Monasit secara fisik berwarna kuning atau oranye kecokelatan dengan kekerasan tinggi, serta berkilau (Widodo et al., 2019). Wujud pasir monasit ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut.

Gambar 2.1 Pasir Monasit (Dokumentasi Pribadi, 2022)

Monasit memiliki tiga senyawa dengan rumus kimia 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 di dalamnya. Unsur yang ditulis pertama kali merupakan unsur dengan persentase terbesar (Widodo et al., 2019). Kandungan pasir monasit ditunjukkan Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kandungan Unsur Beserta Oksida Pada Pasir Monasit (Rodliyah et al., 2015)

Senyawa	Kandungan Unsur (%)	Kandungan Oksida (%)
La	11,34	19,10
Ce	18,27	30,67
Nd	8,64	14,33
Pr	0,54	0,91
Th	6,47	10,00
Lainnya (Si, Zr, Sn, Y, Gd, Dy, U)	-	24,99

2.2 Torium

Torium adalah salah satu logam aktinida yang bersifat radioaktif dan paragmanetik dengan lambing Th dan nomor atom 90. Torium umumnya berwarna putih keperakan dan bertekstur agak lunak. Ketika terkontaminasi oksida, torium akan berubah warna menjadi keabu-abuan dan akhirnya berwarna hitam (Widodo et al., 2019). Sifat torium ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Sifat Torium (Widodo et al., 2019)

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

Torium memiliki isotop sebanyak 25 buah dengan rata-rata kestabilan sangat rendah. Isotop torium dengan kestabilan tinggi adalah Th-232 dengan waktu paruh selama 14,05 milyar tahun (Dewita et al., 2012). Th-232 memili kemampuan untuk dikonversi menjadi neutron termal menjadi isotop U-232. Torium diklaim lebih aman daripada uranium karena tidak menghasilkan plutonium-240 hasil reaksi dari uranium-235 dan uranium-238 yang digunakan sebagai senjata nuklir. Reaksi Th-232 menjadi U-232 ditunjukkan pada Persamaan (2.1) sebagai berikut (Wickleder et al., 2018).

$$^{232}Th(n,\gamma) \rightarrow {}^{232}Th \xrightarrow{\beta^-} {}^{232}Pa \xrightarrow{\beta^-} {}^{232}U \qquad (2.1)$$

Torium dapat ditemukan pada sebagian besar mineral. Namun, torium biasanya bercampur dengan uranium, LTJ, niobium, dan tantalum, entah itu dalam bentuk oksida

maupun tidak. Monasit menjadi salah satu mineral logam tanah jarang torium-fosfat dengan kadar torium oksida sebesar 12%. Kandungan torium pada masing-masing mineral juga bergantung dengan lokasi. Namun, umumnya memiliki kadar torium sebesar 6-7%. Mineral yang mengandung torium ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Mineral Yang Terkandung Torium (Dewita et al., 2012)

Mineral	Rumus Kimia
Thorite	$(Th,U)SiO_4$
Thrianite	$(ThO_2 + UO_2)$
Thorogummite	$Th(ThSiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$
Monazite	$(Ce,La,Y,Th)PO_4$
Brocktite	$(Ca,Th,Ce)(PO_4)H_2O$
Xenotime	$(Y,Th)PO_4$
Euxenite	$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$
Bijih Besi	Fe + REE + Th apatit

Torium di alam berbentuk sebagai oksida, yaitu ThO_2 atau disebut *thoria*. Senyawa ini berwarna putih padat, tidak berbau, serta tidak larut dalam air. *Thoria* memiliki titik leleh yang tinggi yaitu sekitar 3300^{o}C (Widodo et al., 2019). Sifat dari ThO_2 selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Sifat Senyawa Torium Oksida (Balakrishna, 2012)

Sifat Umum	
Nama IUPAC	*Thorium dioxide*
Rumus kimia	ThO_2
Warna	Putih
Massa molar	264,04 g/mol
Densitas	10 g/cm^3
Titik lebur	3.300^{o}C
Titik didih	4.400^{o}C

2.3 *Flux* SiO_2

Flux merupakan senyawa yang ditambahkan ke dalam mineral selama proses *smelting* yang digunakan untuk mengikat unsur-unsur pengotor dari mineral utama (Kokal & Ranade, 1985). Salah satu *flux* yang sering digunakan dalam metode pirometalurgi adalah SiO_2. SiO_2 atau silika merupakan senyawa penyusun dari kerak bumi dengan persentase terbesar, yaitu 60,6%. Silika dapat ditemukan dalam pasir, batuan atau tanah silika, limbah kaca, dan bahan organik seperti abu sekam padi dan abu tebu. Silika biasanya digunakan dalam bentuk bermacam-macam, antara lain gelas, kristal, gel, aerogel, *fumed* silika, dan aerosol. Silika

memiliki sifat ketahanan terhadap abrasi yang baik, isolator listrik yang baik, dan stabilitas termal yang tinggi (Dyana & Triwikantoro, 2017). Sifat silika ditunjukkan pada Tabel 2.5 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Sifat Silika (Dyana & Triwikantoro, 2017)

Sifat Umum	
Nama IUPAC	*Silicon dioxide*
Rumus kimia	SiO_2
Warna	Padat transparan (amorf) Putih/kuning keputihan (serbuk atau pasir)
Massa molar	60,08 g/mol
Densitas	2,648 g/cm^3 (quartz) 2,196 g/cm^3 (amorf)
Titik lebur	1.713^{o}C
Titik didih	2.950^{o}C

Silika dapat mengikat pengotor menjadi *slag* pada temperatur sekitar 1550^{o}C. Salah satu oksida yang dapat diikat pada temperatur tersebut adalah *titania* (TiO_2) dengan mengikat Ca dan Ti menjadi *titanite* ($CaTiSiO_5$) sesuai dengan Persamaan (2.2) sebagai berikut (Woermann et al., 1969).

$$CaO + SiO_2 + TiO_2 \rightarrow CaTiSiO_5 \quad (2.2)$$

Selain *titania*, *magnesia* (MgO) juga merupakan oksida yang dapat diikat oleh silika, tepatnya pada temperatur 1100-1400^{o}C dan membentuk *forsterite* (Mg_2SiO_4) sesuai dengan Persamaan (2.3) sebagai berikut (Brindley & Hayami, 1965).

$$2MgO + SiO_2 \rightarrow Mg_2SiO_4 \quad (2.3)$$

2.4 Reduktor Karbon

Pirometalurgi identik dengan fenomena reduksi dari oksida mineral. Sehingga untuk mereduksi diperlukan agen pereduksi atau reduktor selama proses berlangsung. Reduktor pada umumnya berbasis karbon atau disebut material *carbonaceous*, seperti batu bara, kokas, karbon, grafit, dan arang. Penggunaan material ini sebagai reduktor karena mampu meningkatkan permeabilitas pada *burden*, sehingga mampu meningkatkan distribusi gas yang ada (Sahajwalla et al., 2016).

Peran reduktor dalam berbagai reaksi reduksi dalam melalui:

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

Pemilihan reduktor harus disesuaikan dengan kebutuhan industri, antara lain terkait *softening*, *swelling*, *fusion*, dan porositas dalam pembuatan kokas dan arang, serta reaktivitas atau konsumsi karbon dari reduktor karbon untuk digunakan dalam berbagai proses (Falcon et al., 2004). Dalam perannya sebagai reduktor pada proses reduksi oksidasi, material karbon

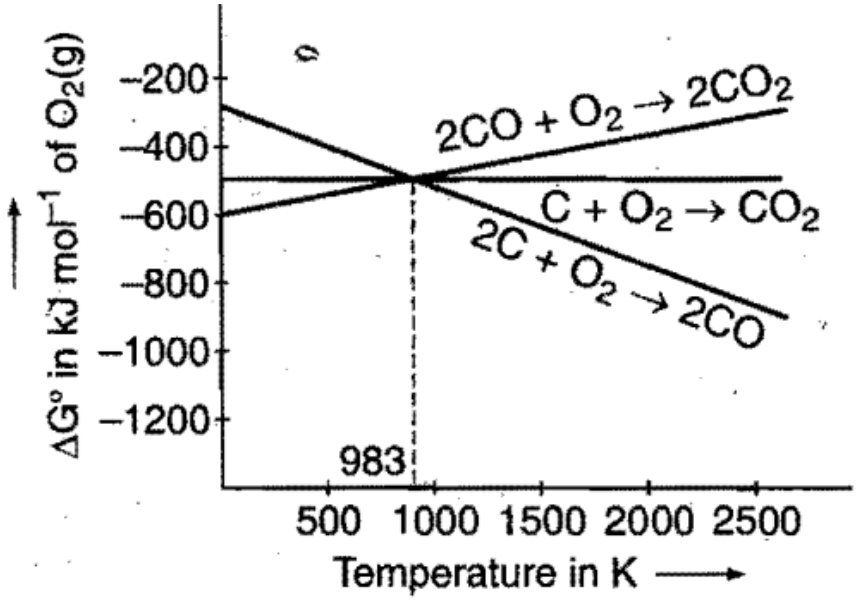
memungkinkan untuk mengalami reaksi seperti pada Persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6) sebagai berikut (Sahajwalla et al., 2016).

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \quad (2.4)$$

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO \quad (2.5)$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 \quad (2.6)$$

Pada reaksi pertama (pembentukan CO_2) hampir tidak ada perubahan entropi, yaitu $\Delta S^o = 0$ dan oleh karena itu ΔG^o tetap hampir sama dengan kenaikan temperatur dan ΔG^o tidak tergantung pada temperatur. Pada reaksi kedua (pembentukan CO), terjadi peningkatan entropi (ΔS positif) oleh karena itu, ΔG^o menjadi lebih negatif dengan kenaikan temperatur. Namun, pada reaksi ketiga, terjadi penurunan entropi (ΔS negatif) dan oleh karena itu, ΔG^o menjadi tidak lebih negatif dengan kenaikan temperatur (Sahajwalla et al., 2016). Sifat reduksi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



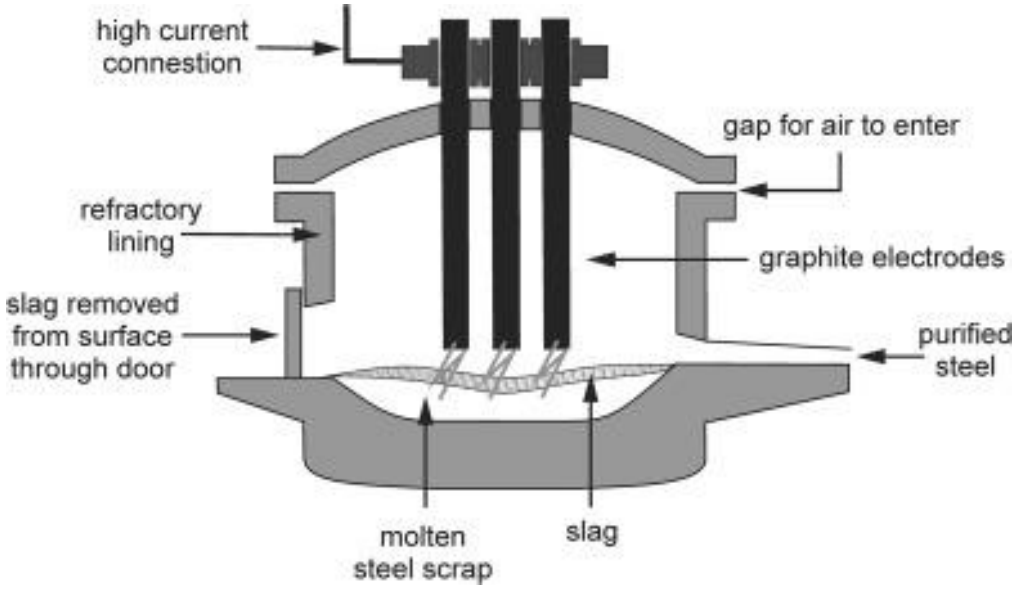
Gambar 2.2 Diagram Ellingham Reduksi Karbon (National Council of Educational Research and Training, 2021)

2.5 *Electric Arc Furnace* (EAF)

Electric Arc Furnace (EAF) merupakan salah satu teknologi modern yang umum dan populer untuk digunakan dalam industri metalurgi. Sumber panas utama dari EAF adalah busur listrik. Busur listrik ini akibat dari loncatan elektron dari katoda yang dapat digerakkan dan anoda permanen, serta dipisahkan dengan penumpukkan gas. Mekanisme transfer panas yang utama pada kondisi ini adalah reaksi radiasi. Perubahan energi listrik menjadi energi panas terjadi melalui arus dalam busur listrik yang terionisasi, dimana temperatur busur listrik dapat mencapai 6000^{o}C (Khodabandeh et al., 2017).

EAF dapat diklasifikasikan berdasarkan proses transfer panas dari busur, yaitu pemanasan langsung dan pemanasan tidak langsung. Pemanasan tidak langsung terjadi ketika busur listrik terbentuk antara dua elektroda tanpa kontak dengan material *feed* atau dengan kata lain transfer panas terjadi hanya melalui radiasi dan konveksi. Sedangkan pemanasan langsung terjadi ketika

busur listrik terbentuk antara dua elektroda dan kontak dengan material *feed,* sehingga transfer panas terjadi melalui konduksi, radiasi, dan konveksi (Grzella et al., 1923). Komponen EAF secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 Komponen *Electric Arc Furnace* (Grzella et al., 1923)

2.6 Penggunaan Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace*

Arus listrik yang digunakan dalam EAF dapat berasal dari arus listrik searah (*direct current*) maupun arus listrik bolak-balik (*alternating current*). Namun, dalam skala industri arus listrik yang digunakan adalah arus bolak-balik dengan elektroda berupa grafit. Arus listrik melewati elektroda pertama akan menjangkau material *feed* melalui busur listrik, kemudian arus listrik tersebut dari material *feed* melewat elektroda lainnya melalui busur listrik, begitu seterusnya. Umumnya digunakan arus listrik dengan 3 fasa (Hernández et al., 2005).

EAF dapat menghasilkan panas melalui prinsip adanya tahanan (resistansi) saat arus listrik mengalir. Logam atau bahan pengumpanan yang dimuatkan dalam tanur yang akan memberikan tahanan terhadap arus listrik. Terak yang terbentuk saat logam mencair juga dapat memberikan tahanan pada aliran arus listrik. Elektroda harus diangkat sehingga hanya menyentuh permukaan terak agar pemberian panas terus bertahan. Panas yang dihasilkan oleh loncatan elektron (busur api) dengan aliran listrik akan menimbulkan aliran induksi dalam cairan yang akan menyebabkan terjadinya gerak cairan, sehingga homogenisasi cairan dapat terjadi (Hernández et al., 2005).

Keberadaan elektroda pada EAF berfungsi untuk mengalirkan arus busur listrik menuju bahan peleburan. Karbon atau grafit biasanya dimanfaatkan sebagai elektroda karena lebih tahan terhadap temperatur tinggi. Ujung bawah dari elektroda akan semakin pendek ketika digunakan karena panas yang terjadi pada titik tersebut. Elektroda dapat diturunkan atau dinaikkan baik secara otomatis maupun manual agar bersentuhan dengan logam saat operasi peleburan berlangsung. Ketika elektroda sudah mulai memendek, diperlukan penggantian agar proses peleburan tetap optimal (Madias, 2014).

2.7 Waktu *Smelting Electric Arc Furnace*

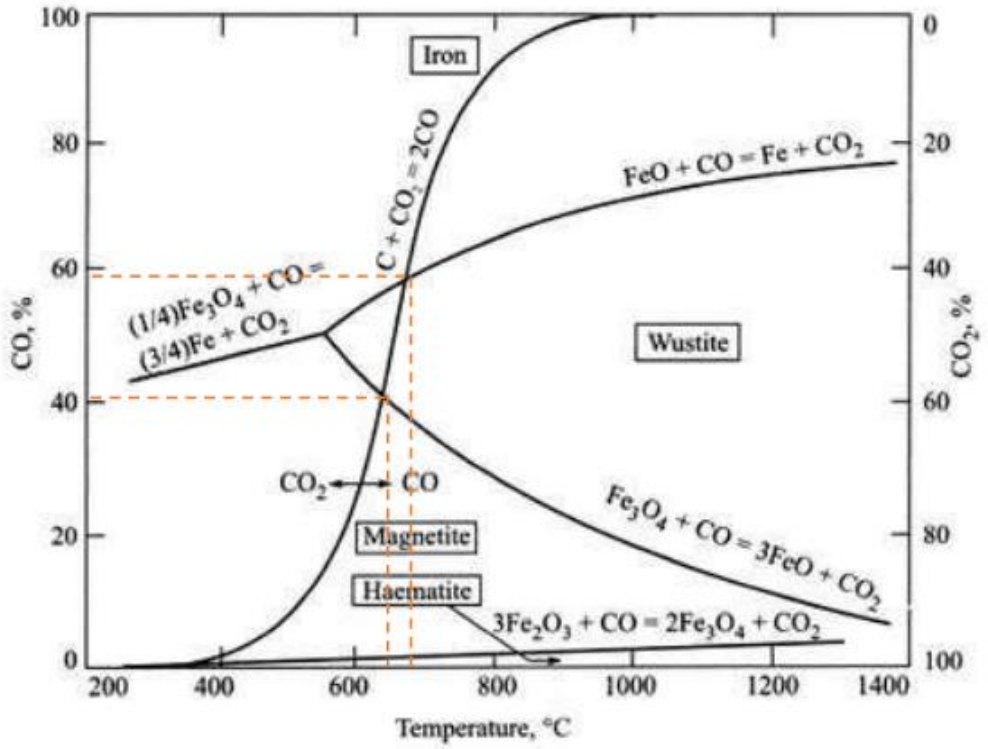
Waktu dalam pelaksanaan proses EAF biasa disebut dengan istilah *tap to tap time* yang dapat diartikan sebagai waktu yang digunakan dalam proses EAF meliputi *charging, smelting* dan *tapping. Tap to tap* dalam industri pengolahan logam yang menggunakan proses EAF berpengaruh terhadap efisiensi proses yang digunakan. Dalam dunia industri logam, EAF

beroperasi sebagai proses peleburan yang dilakukan per *batch* yang menghasilkan baja likuid. Siklus pengoperasian EAF biasa disebut dengan *tap to tap* yang terdiri dari proses pengisian tungku, proses pelelehan, fase *refining* dan penuangan baja cair. Waktu *tap to tap* normalnya dilakukan kurang dari 60 menit untuk EAF modern, sedangkan beberapa operasi tungku kembar hanya membutuhkan waktu sekitar 35-40 menit (Stalhed, 1957).

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

2.8 Diagram Bouduard-Gaussnerr

Diagram Bouduard-Gaussnerr merupakan diagram yang menggambarkan kesetimbangan antara unsur dan oksida besi yaitu besi, hematit, magnetit, wustit, karbon padat, karbon monoksida, dan karbon dioksida dalam proses reduksi langsung besi oleh karbon. Reaksi bouduard terjadi di temperatur tinggi dikarenakan reaksi bouduard merupakan reaksi endotermis. Diagram ini ditunjukkan pada Gambar 2.4, diketahui garis kesetimbangan pada temperatur 1000^{o}C terdapat 100% gas CO. Agar gas CO terurai menjadi CO_2 dan C, temperatur harus diturunkan sehingga kesetimbangan tidak tercapai. Hal ini dapat mengurangi gas CO sebagai reduktor. Pada daerah sebelah kanan garis kesetimbangan, gas CO_2 akan mengalami reaksi bouduard menjadi gas CO. Berdasarkan diagram Bouduard-gausnerr, perbandingan gas CO/CO_2 dan temperatur operasi merupakan faktor yang mempengaruhi terbentuknya senyawa (Sarangi & Sarangi, n.d.).



Gambar 2.4 Diagram Bouduard-Gaussner (Sarangi & Sarangi, n.d.)

Berdasarkan diagram di atas, terdapat kesetimbangan antara besi oksida dengan CO/CO_2 ditunjukkan oleh Persamaan (2.7), (2.8), (2.9), dan (2.10) sebagai berikut.

1. Garis kesetimbangan Boudouard:

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO \quad (2.7)$$

2. Garis kesetimbangan:

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \quad (2.8)$$

3. Garis kesetimbangan:

$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2 \quad (2.9)$$

4. Garis kesetimbangan:

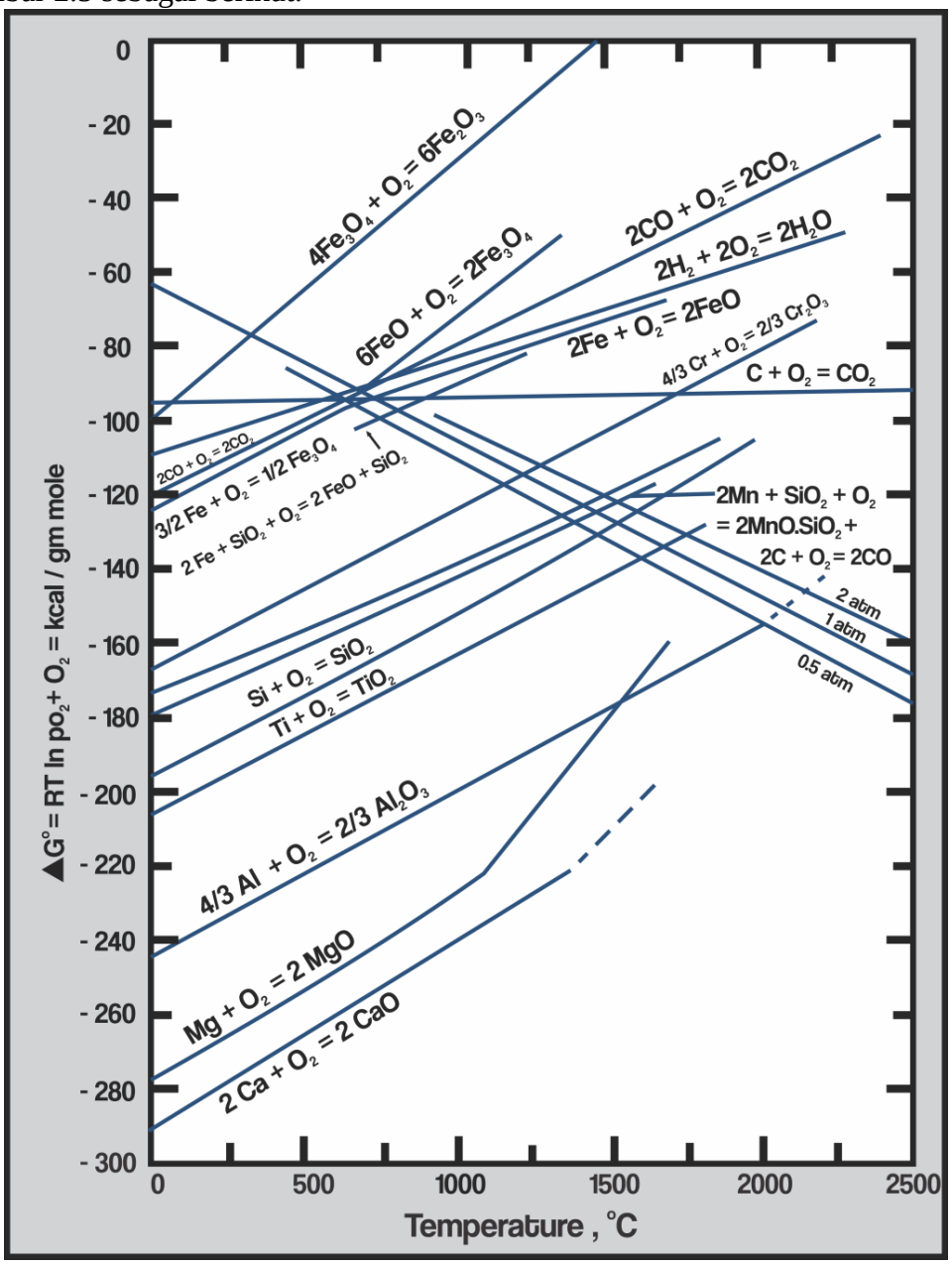
$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2 \quad (2.10)$$

Pada temperatur 700°C senyawa yang stabil dengan perbandingan CO/CO_2 adalah 60:40 adalah wustit (FeO). Di mana magnetit (Fe_3O_4) akan tereduksi menjadi wustit, sedangkan Fe akan mengalami oksidasi menjadi wustit. Terjadi perpotongan antara garis kesetimbangan FeO/Fe dan garis kesetimbangan boudouard pada temperatur 700°C. Hal tersebut mengindikasikan bahwa 700°C merupakan temperatur minimum untuk mereduksi wustit menjadi Fe. Selain itu, juga terjadi perpotongan antara garis kesetimbangan magnetit/wustit dan garis kesetimbangan boudouard pada temperatur 650°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa 650°C merupakan temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi magnetit menjadi wustit. Kedua temperatur tersebut merupakan pada tekanan 1 atmosfer. Ketika dibawah temperatur tersebut, karbon monoksida akan terurai menjadi karbon dioksida. Hal ini akan membuat reaksi tidak akan terjadi (Komarudin, 2008).

2.9 Termodinamika Reduksi

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas sebuah reaksi yang kemudian diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas dengan temperatur. Pada

diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi afinitas bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Nilai ΔG° untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai ΔG° suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO (Lee, 1999). Diagram ellingham untuk beberapa oksida ditunjukkan pada Gambar 2.5 sebagai berikut.



Gambar 2.5 Diagram Ellingham Berbagai Oksida (Lee, 1999)

Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun, tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada

temperatur tertentu (Lee, 1999). Sebagai contoh reduksi dari besi oksida dapat digambarkan dengan skema berikut.

a) T > 570°C: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$
b) T < 570°C: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow Fe$
c) T < 570°C: $4FeO \rightarrow Fe_3O_4 + Fe$

2.10 *Grade*, *Recovery*, dan Basisitas

Proses pengolahan mineral memiliki tujuan utama untuk memisahkan mineral yang berharga dengan mineral pengotor. Terdapat dua cara yang dapat kita lakukan untuk mengukur keberhasilan proses pengolahan mineral yaitu dengan mengukur kadar/*grade* dan pemulihan *recovery* (Napier-Munn & Wills, 2005).

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

Recovery adalah persentase dari total logam atau mineral yang terkandung dalam bijih yang berhasil diubah ke dalam konsentrat. Sebagai contoh, nilai *recovery* sebesar 90% menyatakan bahwa 90% dari logam yang ada di dalam bijih berhasil diperoleh kembali ke dalam konsentrat, namun 10% lainnya akan terbuang ke dalam *tailing*. *Recovery* dilambangkan dengan simbol *R* dengan Persamaan seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.11) sebagai berikut (Pintowantoro et al., 2021).

$$Recovery\ (\%) = \frac{W_p \cdot c}{W_f \cdot f}\ X\ 100\% \tag{2.11}$$

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 (Pintowantoro et al., 2021).

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

Nilai *recovery* suatu 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 (Pintowantoro & Abdul, 2020). Terdapat tiga definisi basisitas *slag*, yaitu B_1, B_2, dan B_3 ditunjukkan oleh Persamaan (2.12), (2.13), dan (2.14) sebagai berikut.

$$B_1 = \frac{CaO}{SiO_2} \tag{2.12}$$

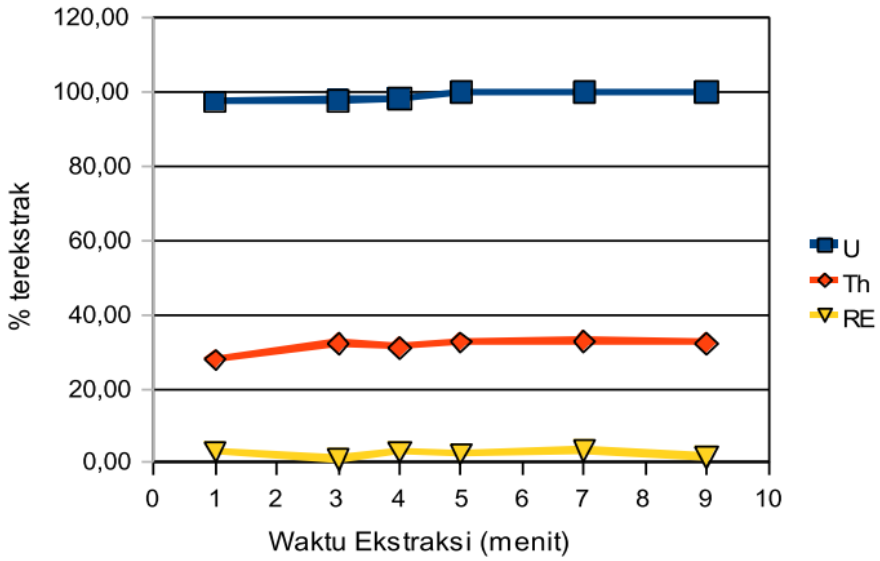
$$B_2 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2} \tag{2.13}$$

$$B_3 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \tag{2.14}$$

2.11 Penelitian Sebelumnya

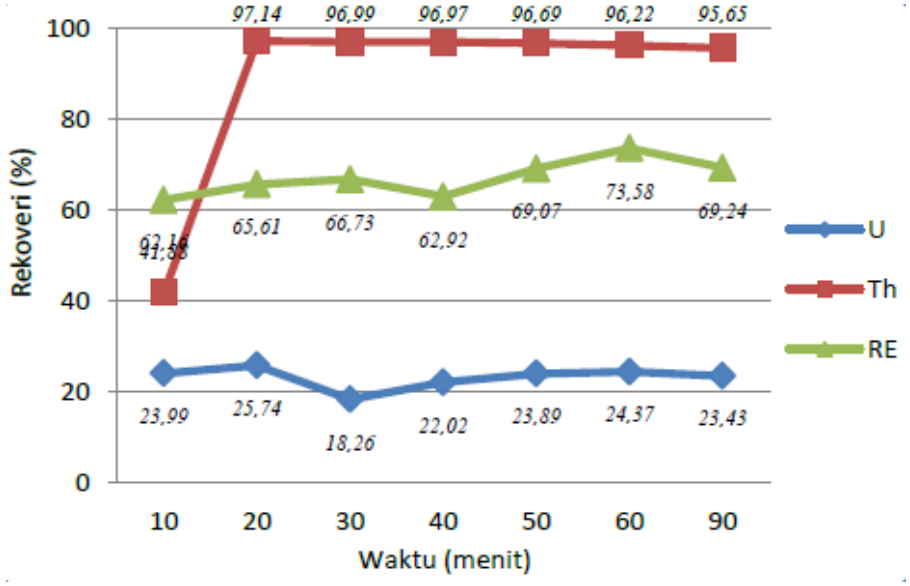
2.11.1 Ekstraksi Monasit

Trinopiawan dkk. pada 2011 melakukan pemisahan uranium dari torium dalam larutan hasil pelarutan endapan dengan H_2SO_4 melalui metode ekstraksi pelarut dengan campuran dari alamin-336, kerosin, dan isodekanol. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimal ekstraksi pada pH umpan 1,5 dengan perbandingan O/A = 5 dan waktu ekstraksi 5 menit, dan diperoleh U sebesar 100%, tetapi Th ikut terekstrak 32,44%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pada kondisi optimal tersebut, Th dapat terpisah dari U sebesar 67,56%. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.6 sebagai berikut (Trinopiawan et al., 2011).



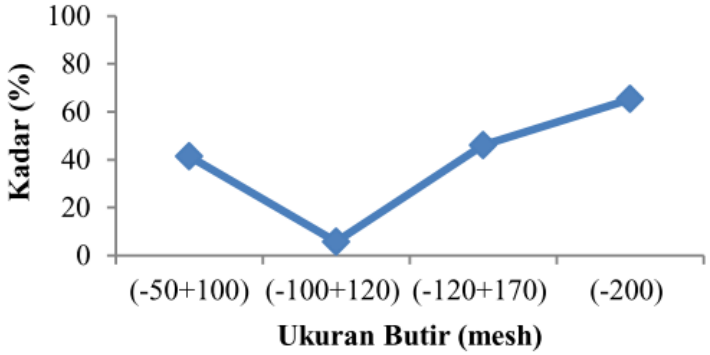
Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Waktu Ekstraksi Terhadap Persentase Unsur Terekstraksi (Trinopiawan et al., 2011)

Selanjutnya, Trinopiawan dkk. pada 2012 melakukan penelitian lebih lanjut. Proses ini dilakukan dengan memisahkan Th dari U pada pasir monasit sehingga dapat ditentukan kondisi optimal 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 pelarutan total dengan dua reagen berbeda, yaitu H_2SO_4 dan HCl. Hasil optimal *recovery* pengendapan pada larutan umpan sulfat, yaitu Th sebesar 96,99% dan U sebesar 18,26% dengan konsumsi H_2SO_4 20 ml dan waktu pengendapan 30 menit. Hasil optimal *recovery* pengendapan pada larutan umpan klorida yaitu Th sebesar 98,05% dan U 25,03% dengan konsumsi H_2SO_4 20 ml dan waktu pengendapan 20 menit. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.7 sebagai berikut. (Trinopiawan & Sumiarti, 2012).



Gambar 2.7 Grafik Pengaruh Waktu Pengendapan Terhadap *Recovery* U, Th, dan RE (Trinopiawan & Sumiarti, 2012)

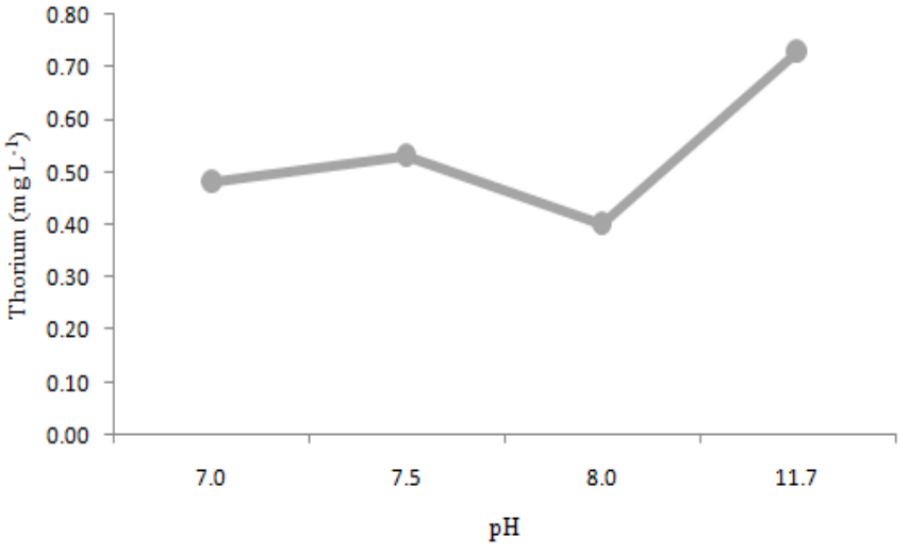
Nurly dkk. pada 2015 melakukan dekomposisi fosfat pasir monasit, sebagai *pre-treatment* sebelum tahapan ekstraksi. *Pre-treatment* dilakukan dengan *roasting* yang ditambahkan NaOH padat selama 120 menit. Pelarutan kalsin hasil *roasting* dilakukan untuk melarutkan fosfat dengan akuades pada temperatur 80^{o}C selama 60 menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa persen dekomposisi fosfat paling baik adalah pada temperatur 400^{o}C dengan klasifikasi ukuran butir -200 dengan persen kadar LTJ adalah 65,52%. Semakin kecil ukuran partikel dan semakin tinggi temperatur fosfat terdekomposisi semakin tinggi dan terjadi peningkatan kadar kandungan LTJ (Nurly et al., 2015).



Gambar 2.8 Pengaruh Ukuran Butir *Feed* Terhadap Persentase Kadar Pada Temperatur 400^{o}C (Nurly et al., 2015)

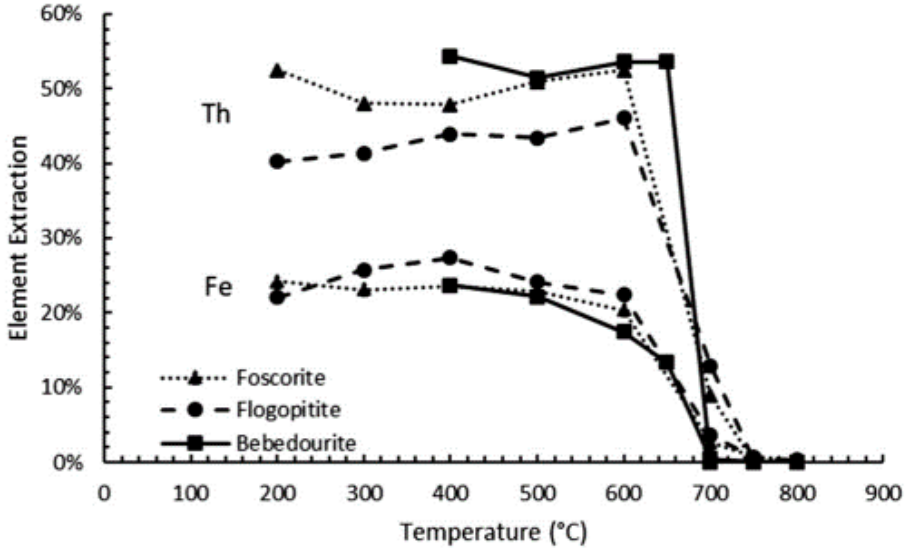
Marisi dkk. pada 2018 melakukan pemisahan unsur radioaktif dan logam tanah jarang pasir monasit PLUTHO yang mengandung torium dan uranium. Penelitian ini dilakukan untuk menurunkan kadar torium dan radioaktivitas dalam limbah cair menggunakan koagulan ferosulfat. Pilot *plant* PLUTHO merupakan suatu fasilitas untuk memisahkan uranium, torium, dan logam tanah jarang (LTJ) dari mineral monasit dan mineral lainnya dalam skala pilot. Perlakuan variasi yang dilakukan pada penelitian adalah kadar koagulan dan pH. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum koagulasi pada pH 8,0 dengan dosis koagulan $FeSO_4$

225 mg/L yang dapat menurunkan kadar torium sebesar 45,20% dari nilai kadar awal 0,40 mg/L. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.9 sebagai berikut. (Marisi et al., 2018).



Gambar 2.9 Grafik Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Kadar Torium (Marisi et al., 2018)

Teixeira dkk. pada 2019 melakukan ekstraksi unsur tanah jarang, torium, dan besi dalam melalui proses ekstraksi selektif bijih. Didapatkan bahwa monasit yang mengandung tanah jarang dapat diproses secara selektif untuk memisahkan besi dan torium dari unsur tanah jarang. Mineral yang digunakan adalah *bebedourite*, *flogopitite*, dan *foscorite*. Sedangkan, variasi dilakukan pada temperatur *roasting* berkisar antara 200-800^{o}C. Ekstraksi REE maksimal didapatkan pada temperatur 700^{o}C dengan rentang 73-82%. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.10 sebagai berikut (Teixeira et al., 2019).

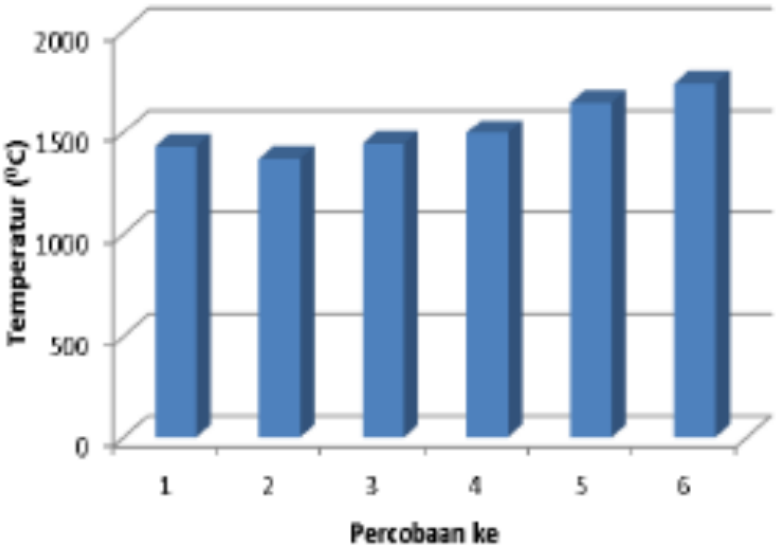


Gambar 2.10 Grafik Pengaruh Temperatur *Roasting* Terhadap Kadar Th dan Fe (Teixeira et al., 2019)

2.11.2 Penggunaan Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace*

Supriyatna dan Shofie pada tahun 2013 membuat rancangan mengenai EAF satu fasa dengan diameter dalam *furnace* sebesar 150 mm dan tinggi 200 mm yang memiliki kapasitas

5-10 kg yang dapat digunkan untuk proses *smelting*. Pada rancangan ini, dilakukan *smelting* ferromangan dengan komposisi bahan sebanyak 6000 gr bijih mangan dan 560 gr bijih besi. *Smelting* dilakukan pada kuat arus listrik 350 A dan waktu 120 menit. Variasi yang dilakukan adalah temperatur *smelting*. Tungku busur listrik hasil rancang bangun akan membutuhkan waktu proses lebih cepat ketika arus listrik yang digunakan bertambah dan temperatur leleh dari bahan baku relatif tidak begitu tinggi. Hasil optimal didapatkan pada temperatur sekitar 1700^{o}C dengan kandungan Fe 14,23% dan Mn 76,12% pada ferromangan. Variasi temperatur *smelting* beserta hasil ditunjukkan oleh Gambar 2.11 dan 2.12 sebagai berikut (Supriyatna & Shofie, 2013).



Gambar 2.11 Variasi Temperatur *Smelting* (Supriyatna & Shofie, 2013)

Unsur	Produk (%)					
	FeMn 1	FeMn 2	FeMn 3	FeMn 4	FeMn 5	FeMn 6
Fe	84,59	96,9	83,48	80,12	16,34	14,23
Mn	8,19	7,59	11,51	10,92	74,52	76,12
C	5,88	4,66	4,77	4,54	4,86	4,95
Si	0,34	0,002	4,49	5,49	0,46	0,43
P	0,14	0,19	0,06	0,05	0,07	0,03
S	0,003	0,0001	0,009	0,002	0,003	0,001

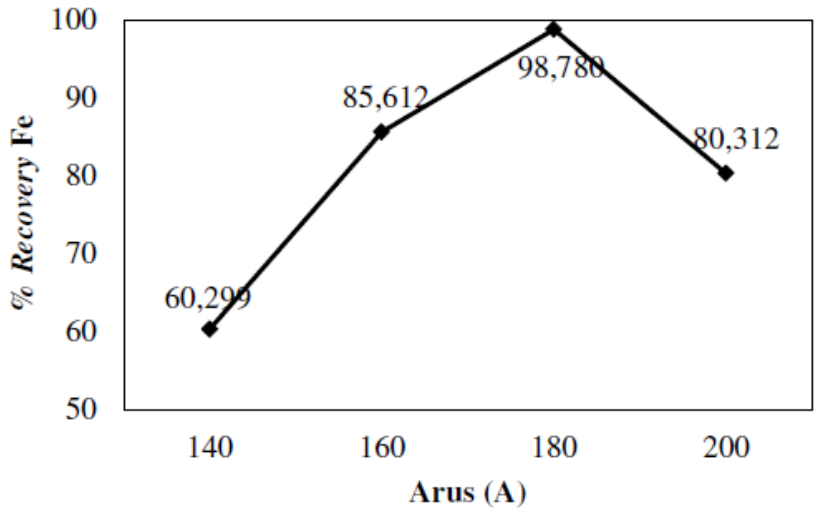
Gambar 2.12 Komposisi Kimia Setiap Variasi Temperatur *Smelting* (Supriyatna & Shofie, 2013)

Supriyatna dkk. pada tahun 2014 membuat rancang bangun EAF satu fase untuk *smelting* konsentrat mangan dan besi menjadi feromangan dengan kapasitas 10 kg. Energi yang dibutuhkan adalah sebesar 32,016 kJ. Uji coba dilakukan dengan variasi waktu dan temperatur *smelting* sebesar 126 menit-1739^{o}C, 138 menit-1646^{o}C, dan 222 menit-1497^{o}C. Sedangkan untuk daya 35 kVA dan arus 300 A. Dengan arus yang tetap, maka waktu dan temperatur akan coba disesuaikan agar dapat memenuhi energi yang dibutuhkan. Didapatkan komposisi ferromangan yang optimal pada variasi waktu dan temperatur *smelting* ke-3, yaitu 222 menit-1497^{o}C. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.13 (Supriyatna et al., 2014).

Unsur	Produk FeMn (%)		
	Ujicoba-1	Ujicoba-2	Ujicoba-3
Fe	80,12	16,34	14,23
Mn	10,92	74,52	76,12
C	4,54	4,86	4,95
Si	5,49	0,46	0,43
P	0,05	0,07	0,03
S	0,002	0,003	0,001

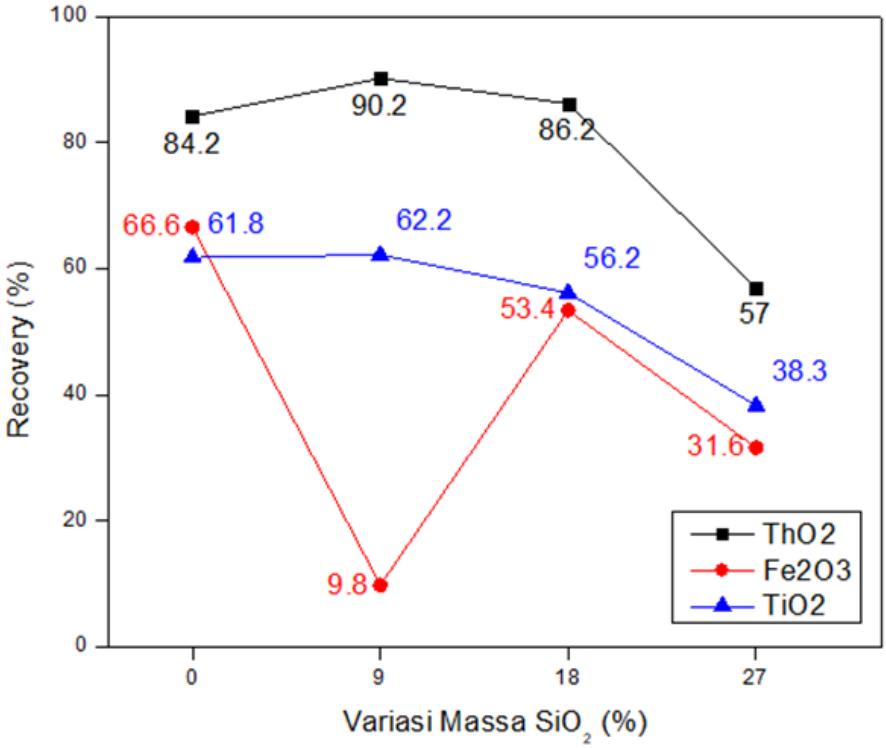
Gambar 2.13 Komposisi Kimia Setiap Variasi Waktu dan Temperatur *Smelting* (Supriyatna et al., 2014)

Pada tahun 2018, Wijaya 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 digunakan variasi arus listrik sebesar 140 A, 160 A, 180 A, dan 200 A dengan variabel tetap berupa tegangan sebesar 16,2 V, waktu *smelting* selama 360 detik. Dalam perhitungan neraca panas diperoleh energi yang dibutuhkan adalah sebesar 1119,96 kJ. Hasil yang berhasil didapatkan adalah arus listrik yang optimal adalah sebesar 180 A dengan *recovery* Fe sebesar 98,780%. Dengan arus listrik sebesar 180 A didapatkan energi sebesar 1049,76 kJ. Dimana output panas tersebut merupakan nilai yang paling mendekati dengan energi yang dibutuhkan. Namun, pada penelitian ini tidak ditemukan penjelasan terkait efisiensi *power supply* yang digunakan. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.14 sebagai berikut (Wijaya, 2018a).



Gambar 2.14 Grafik Pengaruh Kuat Arus Listrik Terhadap *Recovery* Fe (Wijaya, 2018)

Wienar pada 2021 melakukan ekstraksi torium melalui *smelting* pasir monasit dengan *flux* SiO_2 dengan menggunakan metode EAF. *Smelting* dilakukan pada temperatur 1850^oC selama 5 menit. dengan arus listrik EAF sebesar 60 A dan tegangan sebesar 40 V. Hal ini untuk memenuhi energi yang dibutuhkan sebesar 378705,33 J. Didapatkan *recovery* yang tinggi dari ThO_2, yaitu sebesar 90,2%. Hasil ini ditunjukkan oleh Gambar 2.15 sebagai berikut (Wienar, 2021).



Gambar 2.15 Grafik Pengaruh Penambahan *Flux* SiO_2 Terhadap *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit (Wienar, 2021)

Untuk memudahkan membandingkan penelitian sebelumnya, maka disusun dalam bentuk tabel perbandingan. Tabel perbandingan penelitian sebelumnya ditunjukkan oleh Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 Penelitian Sebelumnya

Metode	Material	Variabel	Hasil	Peneliti
Ekstraksi Pelarut	Pasir Monasit	pH, waktu	pH=1,5 O/A=5 Waktu ekstraksi 5 menit Th =32,44%	Trinopiawan dkk. (2011)
Pengendapan dengan Larutan	Pasir Monasit	Volume dan waktu	Umpan Sulfat: H_2SO_4 20 ml waktu 30 menit Th = 96,99% Umpan klorida: H_2SO_4 20 ml waktu 20 menit Th = 98,05%	Trinopiawan dkk. (2012)
Roasting	Pasir Monasit	Temperatur dan ukuran butir	T=400^{o}C Ukuran -200 Recovery 65,52%	Nurly dkk. (2015)
Koagulasi	Limbah Pasir Monasit	Kadar koagulan dan pH	pH 8,0 Jumlah $FeSO_4$ 225 mg/L Kadar torium 45,20%	Marisi dkk. (2018)

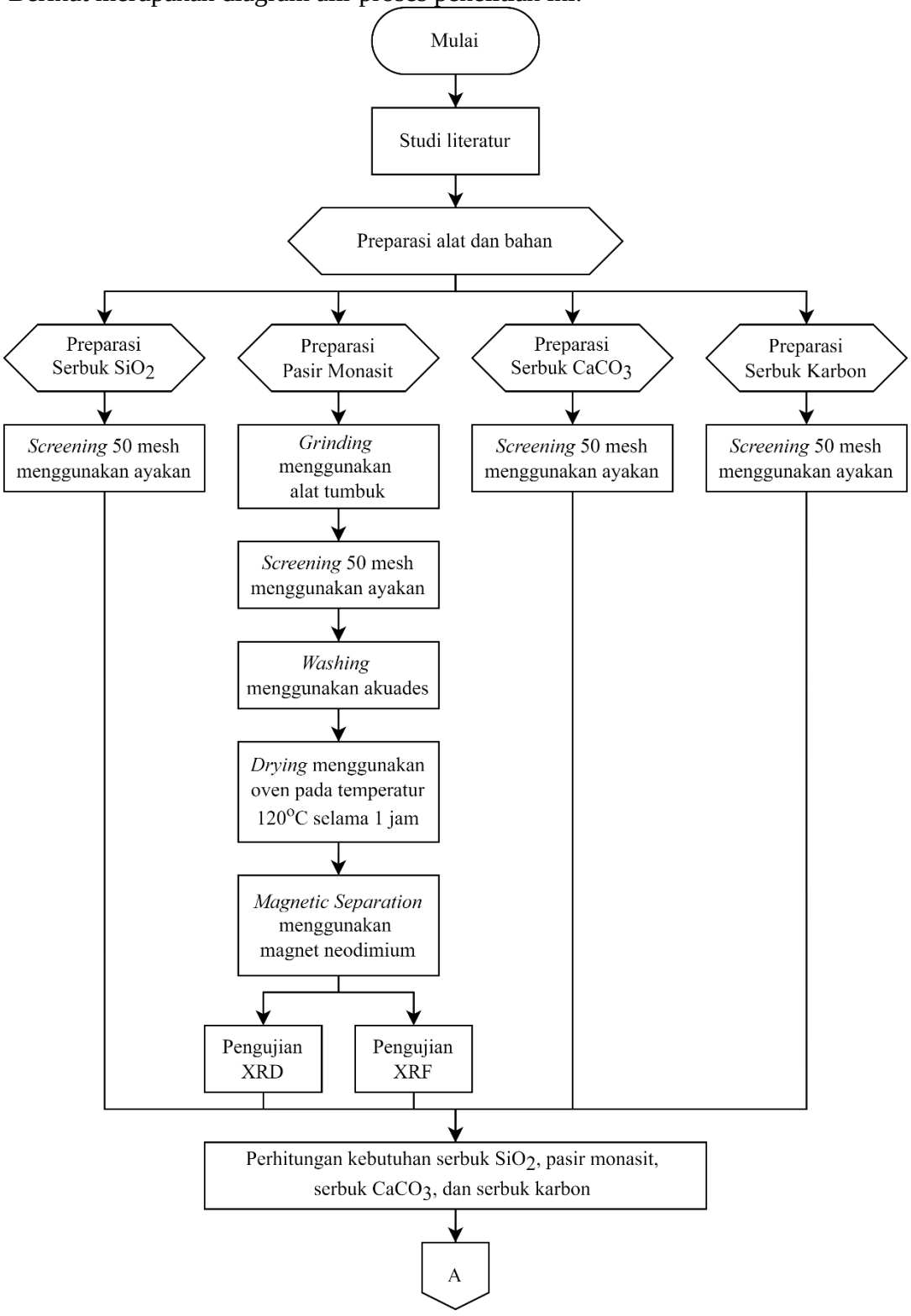
Ekstraksi Selektif dan *Roasting*	Pasir Monasit	Temperatur	*recovery* tanah jarang antara 70 dan 80%, konsumsi asam antara 0,21 kg dan 0,34 kg asam untuk 1 kg bijih	Teixeira dkk. (2019)
Smelting	Mangan dan bijih besi	Temperatur	T=+1500^{o}C Mn=76,12%	Supriyatna dan Shofie (2013)
Smelting	Konsentrat mangan dan besi	Waktu dan temperatur	t=222 menit T=1497^{o}C Fe=80,12% Mn=10,92%	Supriyatna, dkk. (2014)
Smelting	*Direct Reduced Iron* (DRI)	Kuat arus listrik	I=180 A *Recovery* Fe=98,78% Kadar Fe=91,585%	Wijaya (2018)
Smelting	Pasir Monasit	Jumlah SiO_2	SiO_2=9% *Recovery* ThO_2=90,2% Kadar ThO_2=0,46%	Wienar (2022)

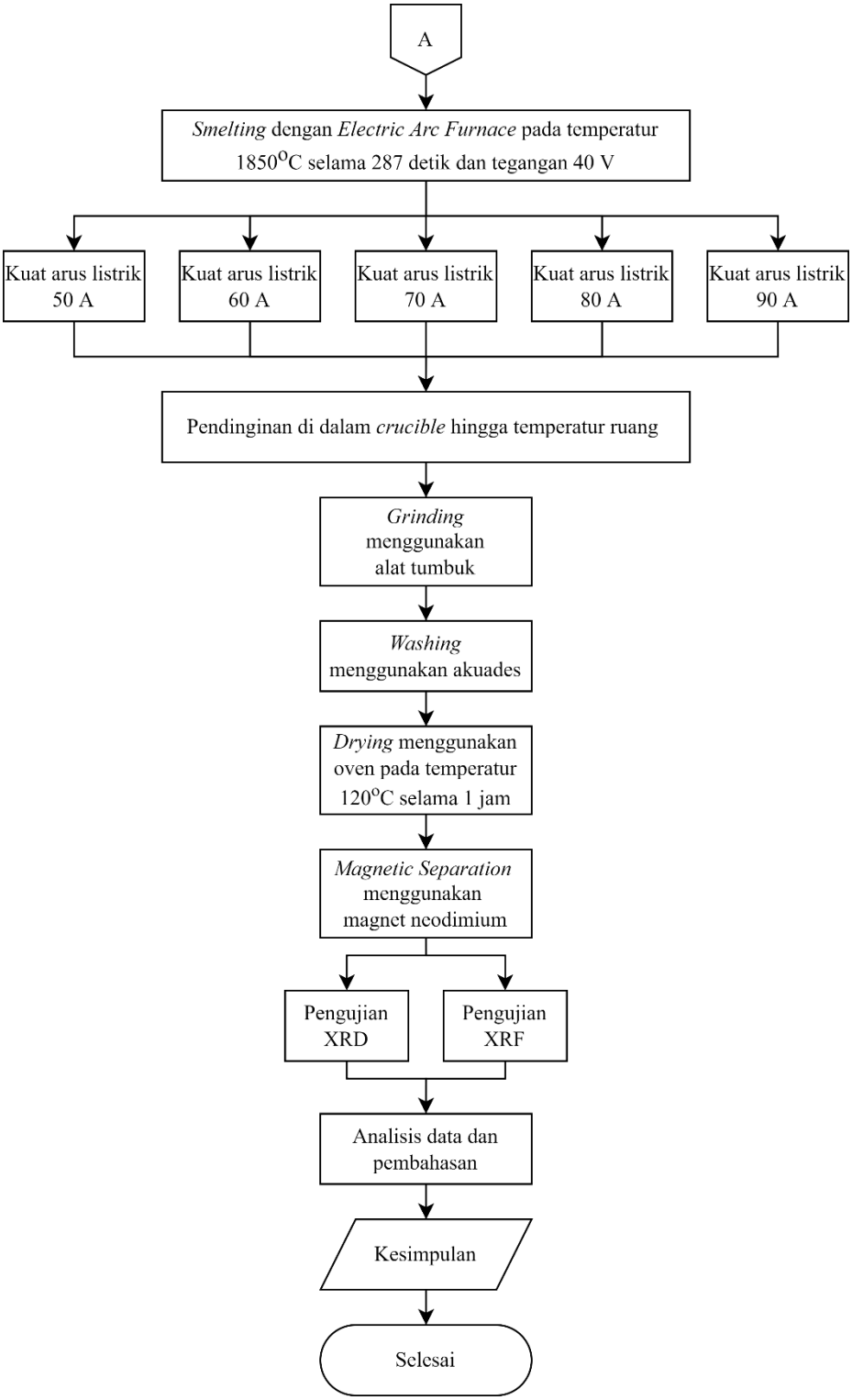
(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir proses penelitian ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

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

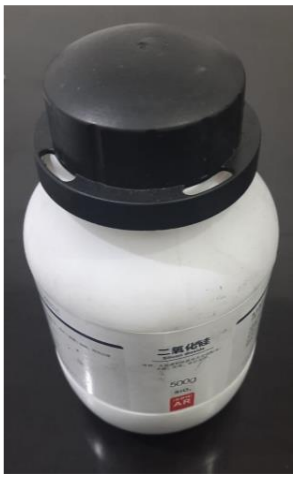
3.2.1 Pasir Monasit

Pasir monasit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Bangka Belitung, Indonesia. Pasir monasit dilakukan preparasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses *smelting*. Pasir monasit ditunjukkan oleh Gambar 3.2 sebagai berikut.

Gambar 3.2 Pasir Monasit (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.2.2 *Flux* SiO_2

Flux yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika dioksida *analytical grade* dengan rumus senyawa SiO_2, yang memiliki kemurnian hingga 99%. *Flux* SiO_2 ditunjukkan oleh Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 *Flux* SiO_2 (Dokumentasi Pribadi, 2022)

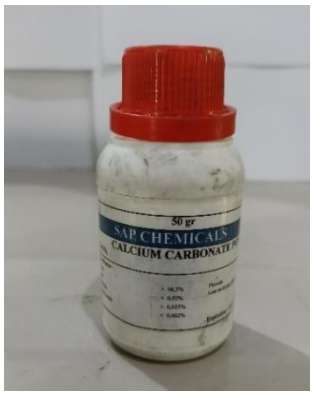
3.2.3 Serbuk Karbon

Serbuk karbon digunakan sebagai reduktor. Serbuk karbon yang digunakan merupakan karbon analitik dengan kemurnian 99%. Serbuk karbon ditunjukkan oleh Gambar 3.4 sebagai berikut.

Gambar 3.4 Serbuk Karbon (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.2.4 Serbuk $CaCO_3$

Serbuk $CaCO_3$ digunakan untuk menyuplai kebutuhan gas CO_2 dalam proses *smelting*. Serbuk $CaCO_3$ yang digunakan merupakan *analytical grade* yang memiliki kemurnian 99%. Serbuk $CaCO_3$ ditunjukkan oleh Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.5 Serbuk $CaCO_3$ (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.2.5 Akuades

Akuades pada penelitian ini digunakan sebagai media pencucian pasir monasit dalam menghilangkan pengotor. Akuades ditunjukkan oleh Gambar 3.6 sebagai berikut.

Gambar 3.6 Air Akuades (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.2.6 Elektroda Grafit

Elektroda grafit digunakan sebagai bahan yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dengan kandungan karbon sebesar 99,9%. Elektroda grafit ditunjukkan oleh Gambar 3.7 sebagai berikut.

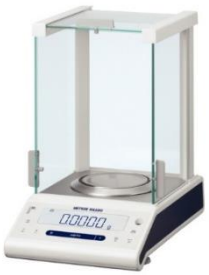
Gambar 3.7 Elektroda Grafit (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3 Alat Penelitian

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

3.3.1 Neraca Analitik

Neraca analitik yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sesuai neraca massa. Neraca analitik ditunjukkan oleh Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Neraca Analitik (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3.2 Ayakan

Ayakan yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendapatkan ukuran butir bahan baku yang diinginkan dan homogen. Ayakan yang digunakan berukuran 50 *mesh*. Ayakan ditunjukkan oleh Gambar 3.9 sebagai berikut.

Gambar 3.9 Ayakan 50 *Mesh* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3.3 Termometer *Infrared*

Termometer *infrared* yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mendeteksi temperatur di dalam *Electric Arc Furnace* saat proses *smelting*, sehingga dapat mengontrol temperatur. Termometer *infrared* ditunjukkan oleh Gambar 3.10 sebagai berikut.

Gambar 3.10 Termometer *Infrared* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3.4 Oven

Oven yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menghilangkan *moisture content* dan mengeringkan pasir monasit setelah proses pencucian. Oven ditunjukkan oleh Gambar 3.11 sebagai berikut.

Gambar 3.11 Oven (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3.5 Alat Tumbuk

Alat ini berfungsi untuk menghancurkan bahan baku untuk mendapatkan ukuran yang homogen yaitu 50 *mesh*. Alat tumbuk ditunjukkan oleh Gambar 3.12 sebagai berikut.

Gambar 3.12 Alat Tumbuk (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3.6 *Power Supply*

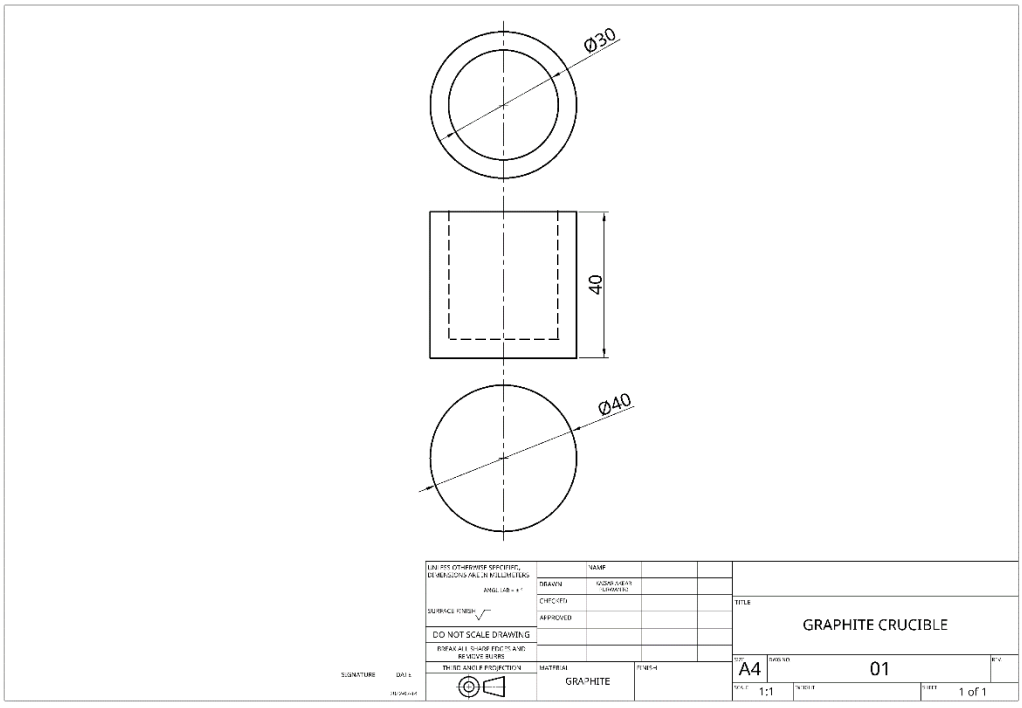
Power supply dalam penelitian ini berfungsi sebagai penyuplai energi listrik sebagai sumber energi utama untuk pada *Electric Arc Furnace*. *Power supply* ditunjukkan oleh Gambar 3.13 sebagai berikut.

Gambar 3.13 *Power Supply* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.3.7 *Crucible*

Crucible digunakan berbahan dasar SiC yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya proses *smelting* pasir monasit dengan *Electric Arc Furnace*. *Crucible* beserta dimensinya ditunjukkan oleh Gambar 3.14 dan 3.15 sebagai berikut.

Gambar 3.14 *Crucible* (Dokumentasi Pribadi, 2022)



Gambar 3.15 Dimensi *Crucible*

3.3.8 Magnet Neodimium

Magnet neodimium digunakan untuk memisahkan pasir monasit dari unsur pengotor, *magnetic*, dan *non-magnetic portion* sebelum dan sesudah proses *smelting.* Magnet neodimium ditunjukkan oleh Gambar 3.16 sebagai berikut.

Gambar 3.16 Magnet Neodimium (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.*

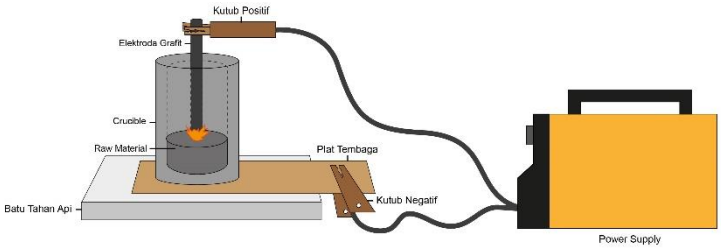
1. Dilakukan proses penghancuran (*grinding)* pasir monasit untuk mendapatkan ukuran yang homogen.
2. Pasir hasil *grinding* dilakukan *screening* melalui proses pengayakan hingga didapatkan ukuran yang homogen yaitu 50 *mesh*.
3. Dilakukan proses pencucian *(washing)* pasir monasit menggunakan media akuades 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 akuades hingga bersih.
6. Dilanjutkan dengan proses pengeringan spesimen pasir monasit di dalam oven pada temperatur 120^{o} C selama 1 jam.
7. Sampel yang telah dikeringkan kemudian diuji karakterisasi menggunakan alat XRD dan XRF.
8. Dilakukan proses penimbangan massa pasir monasit, serbuk karbon, $CaCO_3$, dan SiO_2 sesuai perhitungan neraca massa sebelum dilanjutkan ke proses *smelting* menggunakan EAF.

3.4.2 Proses *Smelting* Menggunakan *Electric Arc Furnace*

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

1. Sampel yang telah dipreparasi sebelumnya dilakukan pencampuran antara pasir monasit, serbuk karbon, $CaCO_3$, dan SiO_2 sesuai dengan variasi yang digunakan.
2. Campuran sampel dimasukkan ke dalam *crucible* dan diposisikan merata pada seluruh bagian dasar.
3. Elektroda grafit kemudian dihubungkan dengan *power supply.*
4. *Power supply* dihubungkan ke sumber listrik dan diatur parameter arus sesuai dengan variasi dan tegangan pada 40 volt.

5. Proses *smelting* dilakukan selama 287 detik pada temperatur 1850^{o}C dengan menghubungkan kutub positif pada material dan kutub negatif pada *crucible* seperti pada Gambar 3.17 sebagai berikut.



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 penghancuran *(grinding)* untuk produk hasil *smelting.*
3. Selanjutnya dilakukan *magnetic separation* untuk memisahkan magnetik dan non-magnetik *portion.*
4. Produk dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 120^{o}C selama 1 jam.
5. Produk ditimbang untuk mengetahui massa setelah proses *smelting*.
6. Dilakukan pengujian XRD dan XRF terhadap produk *smelting* untuk dianalisis hasilnya.

3.5 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

3.5.1 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD diperlukan untuk mengetahui senyawa secara kualitatif dan struktur kristalnya pada spesimen uji. Sampel spesimen uji dipreparasi terlebih dahulu dengan cara dihancurkan sebelum dilakukan uji XRD. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi yang tinggi. Interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom dan menghasilkan radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut merupakan sinar X dengan energi yang tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10^{-3} - 10 nm, berfrekuensi 1017 - 1020 Hz dan memiliki energi 10^{3}-10^{6} eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal suatu senyawa atau unsur.

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

Gambar 3.18 Perangkat Alat XRD (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.5.2 Pengujian *X-Ray Fluorescene* (XRF)

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

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

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian XRF di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS. Hasil pengujian XRF akan didapatkan berupa daftar senyawa dan unsur yang terkandung pada material beserta komposisinya. Perangkat alat XRF ditunjukkan oleh Gambar 3.19 sebagai berikut.

Gambar 3.19 Perangkat Alat XRF (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.6 Perhitungan

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut.

3.6.1 Perhitungan Neraca Massa dan Energi

Perhitungan neraca massa dan energi merupakan hal paling penting yang menentukan keberhasilan dari *smelting* pasir monasit Perhitungan dilakukan dengan menghitung massa dari setiap komponen untuk mendapatkan neraca massa berdasarkan perbandingan mol dari reaksi-reaksi yang terjadi. Temperatur *smelting* 1850℃ akan didapatkan pada parameter-parameter *power supply* melalui perhitungan neraca energi yang kemudian dijadikan sebagai dasar perkiraan reaksi dan perilaku termal untuk menghitung massa dari semua bahan mulai dari pasir monasit, serbuk karbon, $CaCO_3$, dan SiO_2.

Dengan menggunakan reaksi Boudouard sebagai acuan, massa serbuk karbon yang dibutuhkan dapat diperoleh melalui perhitungan kebutuhan gas karbon monoksida (CO) sebagai redukto untuk proses reduksi Fe_2O_3 menjadi logam Fe. Energi untuk dekomposisi $CaCO_3$ dan SiO_2 juga diperhitungkan melalui parameter termodinamika dalam neraca energi. Perbandingan komposisi massa tiap bahan disajikan pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Komposisi Massa *Smelting* Pasir Monasit

SiO_2 (gram)	Pasir Monasit (gram)	Serbuk Karbon (gram)	$CaCO_3$ (gram)	Massa Total (gram)
0,99	10	0,47	0,85	12,31

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

Tabel 3.2 Spesifikasi EAF Pada *Smelting*

Energi yang Dibutuhkan (J)	Tegangan (V)	Waktu (s)	Kuat Arus (A)	Energi EAF (J)
801.566,04	40	287	50	574.000
			60	688.800
			70	803.600
			80	918.400
			90	1.033.200

3.6.2 Perhitungan *Recovery* dan *Separation Efficiency* (S.E.)

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

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

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 (Pintowantoro & Abdul, 2020).

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

$$S.E. = \frac{100\,.\,C\,.\,m\,.\,(c-f)}{(m-f)\,.\,f} \tag{3.2}$$

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

3.6.3 Perhitungan Basisitas

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

$$B_1 = \frac{CaO}{SiO_2} \tag{3.3}$$

$$B_2 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2} \tag{3.4}$$

$$B_3 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \tag{3.5}$$

3.7 Rancangan Penelitian

Berikut merupakan rancangan penelitian yang dilakukan dalam proses *smelting* pasir monasit dengan variasi arus listrik. Rancangan penelitian ditunjukkan oleh Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

Variasi Kuat Arus Listrik (A)	Pengujian	
	XRD	XRF
50	v	v
60	v	v
70	v	v
80	v	v
90	v	v

3.8 Jadwal Penelitian

Berikut merupakan rencana *timeline* yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini. Jadwal penelitian ditunjukkan oleh Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan																	
		Februari		Maret				April				Mei				Juni			
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																		
2	Bimbingan																		
3	Preparasi Alat dan Bahan																		
4	Pengujian Komposisi Awal																		
5	Proses *Smelting*																		
6	Pengujian Komposisi Akhir																		
7	Penyusunan Laporan Akhir																		

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Pasir Monasit

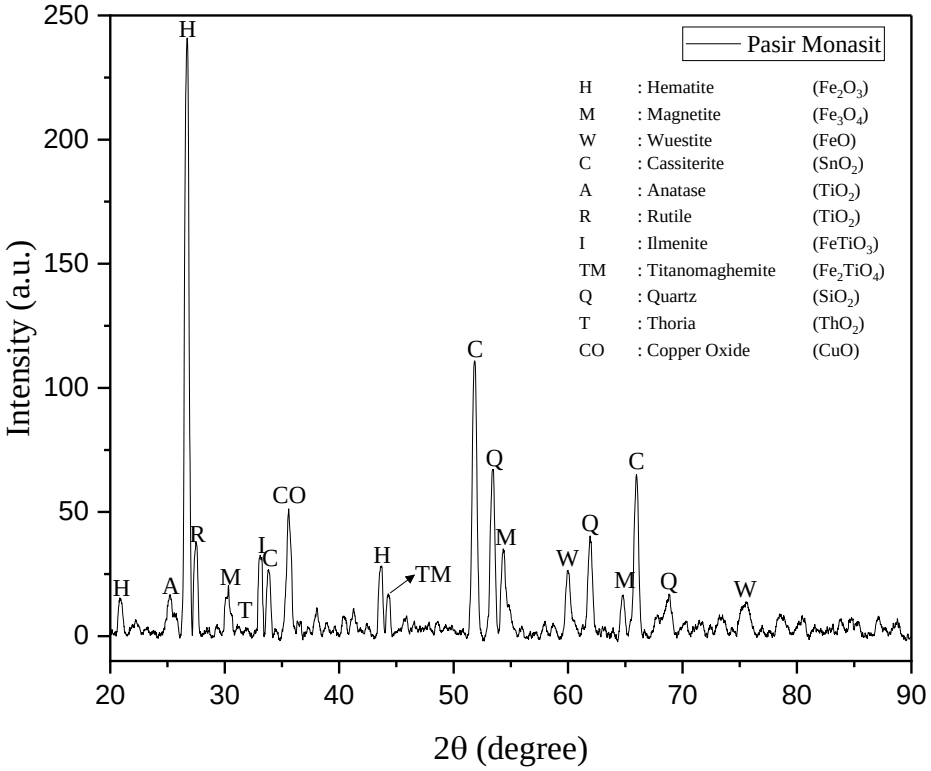
Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan adalah pasir monasit yang berasal dari Bangka Belitung, Indonesia. Untuk mengetahui komposisi oksida yang terdapat dalam pasir monasit dilakukan pengujian karakterisasi komposisi kimia menggunakan *X-Ray Fluoresence* (XRF). Pengujian XRF dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS. Komposisi oksida pada pasir monasit ditunjukkan oleh Tabel 4.1. Berikut merupakan komposisi oksida yang terkandung dalam pasir monasit.

Tabel 4.1 Komposisi Oksida Pasir Monasit (%)

TiO_2	ZrO_2	Fe_2O_3	SnO_2	SO_3	SiO_2	P_2O_5	Y_2O_3	MnO	HfO_2
40,80	14,70	13,80	12,10	8,90	4,60	1,00	0,92	0,83	0,66
V_2O_5	**Nb_2O_5**	**ThO_2**	**CaO**	**WO_3**	**PbO**	**U_3O_8**	**Bi_2O_3**	**As_2O_3**	
0,42	0,42	0,25	0,20	0,16	0,09	0,08	0,04	0,02	

Berdasarkan Tabel 4.1 didapatkan informasi bahwa *grade* ThO_2 dalam pasir monasit sebesar 0,25%. Sementara itu, tiga oksida yang mendominasi pasir monasit adalah TiO_2 sebesar 40,8%, ZrO_2 sebesar 14,7%, dan Fe_2O_3 sebesar 13,8%. Kemudian data ini akan digunakan untuk perhitungan neraca massa dan energi dalam penelitian.

Sedangkan untuk mengetahui fasa, senyawa dan struktur kristal yang terdapat pada pasir monasit dilakukan pengujian *X-Ray Diffcraction* (XRD). Pengujian XRD dilakukan di Divisi Karakterisasi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Parameter pengujian XRD yang digunakan adalah panjang gelombang Cu-Kα 1,5406 Å, energi *x-ray* 8,04 keV, waktu difraksi 10 detik, dan sudut yang digunakan 20-90^o. Dari pengujian XRD akan didapatkan data yang berisikan intensitas dan sudut yang terdeteksi. Kemudian diolah ke dalam bentuk grafik menggunakan *software Origin Pro*. Selain itu, untuk melakukan identifikasi fasa dan senyawa digunakan *software Highscore* yang sudah dilengkapi *database* ICDD-JCPDS. Grafik hasil pengujian XRD pasir monasit ditunjukkan oleh Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Pasir Monasit

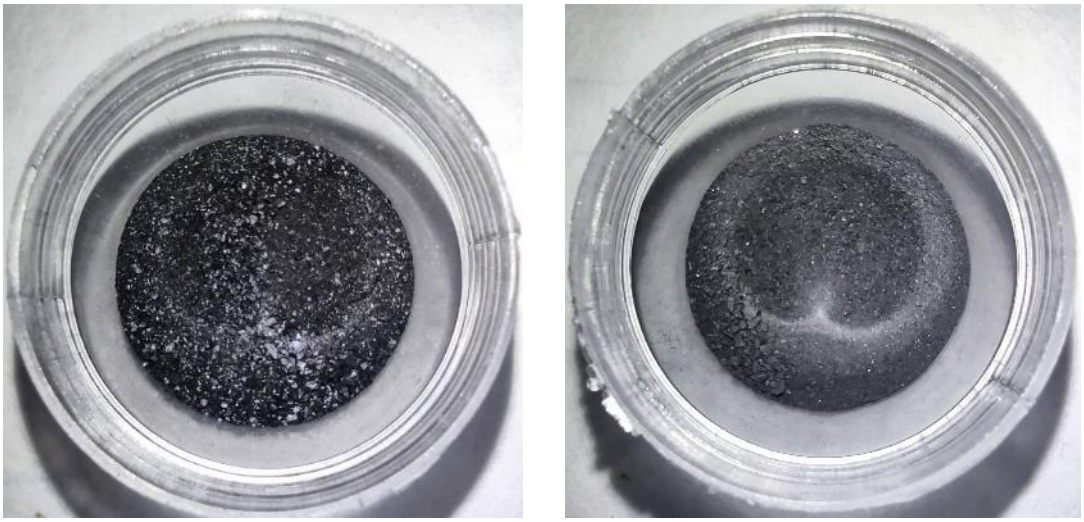
Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwasannya terdapat banyak *peak* yang muncul. *Peak* dengan intensitas tinggi menandakan fasa tersebut mendominasi pada pasir monasit. Dapat dilihat bahwasannya ThO_2 dalam fasa *Thoria* tidak dominan pada pasir monasit dikarenakan memiliki *grade* yang sangat kecil. Fasa yang dominan pada pasir monasit ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berikut merupakan fasa yang dominan pada pasir monasit.

Tabel 4.2 Fasa Dominan Pasir Monasit

No	Fasa	Senyawa	Struktur Kristal	*Reference Code*
1	*Hematite*	Fe_2O_3	*Rhombohedral*	01-073-0603
2	*Magnetite*	Fe_3O_4	*Cubic*	96-900-5842
3	*Wuestite*	FeO	*Cubic*	01-079-1969
4	*Cassiterite*	SnO_2	*Tetragonal*	01-077-0449
5	*Anatase*	TiO_2	*Tetragonal*	96-900-8217
6	*Rutile*	TiO_2	*Tetragonal*	00-034-0180
7	*Ilmenite*	$FeTiO_3$	*Hexagonal*	96-901-0916
8	*Titanomaghemite*	Fe_2TiO_4	*Cubic*	01-084-1595
9	*Thoria*	ThO_2	*Cubic*	03-065-0293
10	*Copper Oxide*	CuO	*Monoclinic*	03-065-2309

4.2 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap Fasa Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada pasir monasit hasil *smelting* dilakukan pengujian karakterisasi fasa menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Pengujian XRD dilakukan di Divisi Karakterisasi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Pengujian XRD hanya dilakukan pada *non-magnetic portion* karena ThO_2 bersifat *diamagnetic* (Belle, 1984). Pasir monasit hasil *smelting* yang telah dilakukan *separation magnetic* ditunjukkan oleh Gambar 4.2 sebagai berikut.

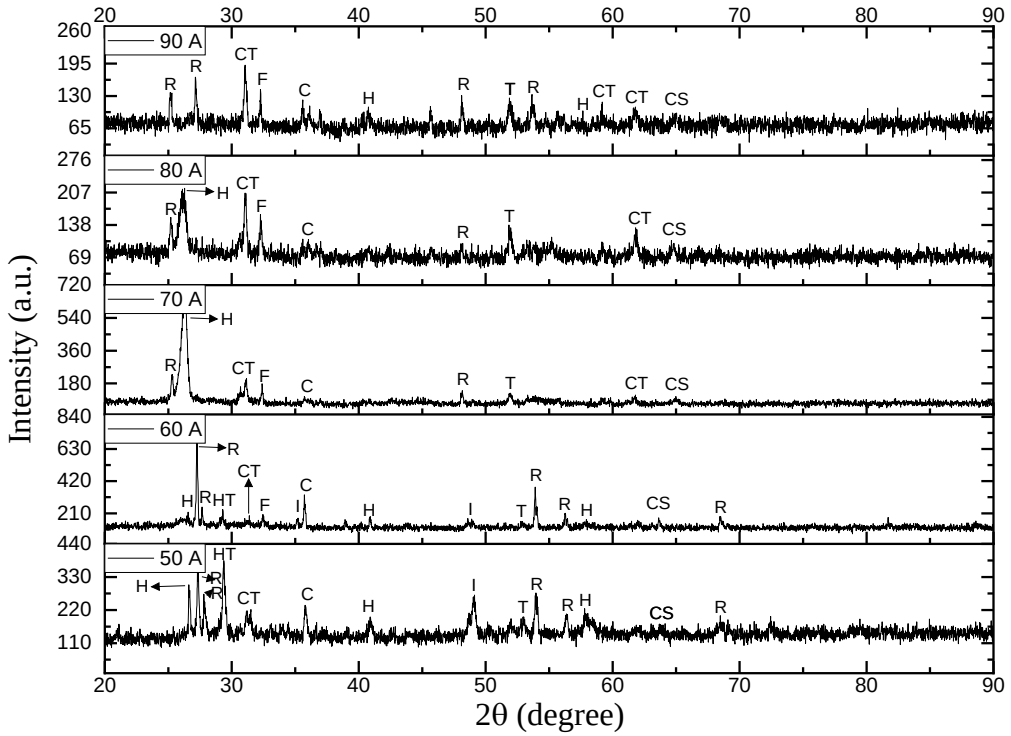


(A) (B)

Gambar 4.2 Pasir Monasit Hasil *Smelting* (a) *Magnetic Portion*, (b) *Non-magnetic Portion*

Parameter pengujian XRD yang digunakan adalah panjang gelombang Cu-Kα 1,5406 Å, energi *x-ray* 8,04 keV, waktu difraksi 10 detik, dan sudut yang digunakan 20-90^o. Dari pengujian XRD akan didapatkan data yang berisikan intensitas dan sudut yang terdeteksi. Kemudian diolah ke dalam bentuk grafik menggunakan *software Origin Pro*. Selain itu, untuk melakukan identifikasi fasa dan senyawa digunakan *software Highscore* yang sudah dilengkapi *database* ICDD-JCPDS. Fasa pada pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan pada Gambar 4.3 sebagai berikut.

R	: Rutile	(TiO_2)	CT	: Calcium Titanium Oxide	($CaTiO_3$)	T	: Thoria	(ThO_2)
I	: Ilmenite	($FeTiO_3$)	HT	: Hatrurite	(Ca_3SiO_5)	F	: Fayalite	(Fe_2SiO_4)
H	: Hematite	(Fe_2O_3)	CS	: Cassiterite	(SnO_2)	C	: Copper Oxide	(CuO)



Gambar 4.3 Fasa Pada Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Dapat dilihat pada Gambar 4.3 bahwa pasir monasit hasil *smelting* memiliki beberapa fasa baru. Fasa baru terbentuk dikarenakan bereaksi dengan SiO_2 sebagai *flux* dan/atau senyawa pengotor lainnya. Bahkan, ThO_2 dalam fasa *Thoria* menjadi salah satu fasa yang cukup dominan. Untuk mempermudah menganalisa perlu dilakukan perbandingan fasa yang terbentuk. Perbandingan fasa yang terbentuk pada masing-masing variasi ditunjukkan pada Tabel 4.3. Berikut data perbandingan fasa yang terbentuk pada masing-masing variasi.

Tabel 4.3 Perbandingan Fasa Pada Masir Monasit Hasil *Smelting*

No	Fasa	Senyawa	Variasi Kuat Arus Listrik (A)				
			50	**60**	**70**	**80**	**90**
1	*Rutile*	TiO_2	v	v	v	v	v
2	*Ilmenite*	$FeTiO_3$	v	v	-	-	-
3	*Hematite*	Fe_2O_3	v	v	v	v	v
4	*Calcium Titanium Oxide*	$CaTiO_3$	v	v	v	v	v
5	*Hatrurite*	Ca_3SiO_5	v	v	-	-	-
6	*Thoria*	ThO_2	v	v	v	v	v
7	*Fayalite*	Fe_2SiO_4	-	v	v	v	v
8	*Copper Oxide*	CuO	v	v	v	v	v
9	*Cassiterite*	SnO_2	v	v	v	v	v

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa fasa baru yang terbentuk pada hasil *smelting* pasir monasit, yaitu *calcium titanium oxide* ($CaTiO_3$), *hatrurite* (Ca_3SiO_5), dan *fayalite* (Fe_2SiO_4). $CaTiO_3$ terbentuk melalui reaksi CaO hasil dekomposisi $CaCO_3$ yang berikatan dengan TiO_2. $CaTiO_3$ terdapat pada semua variasi. Hal ini dikarenakan pembentukan $CaTiO_3$ cukup mudah. Dimana CaO didapatkan pada temperatur 750^{o}C dan membentuk $CaTiO_3$ pada temperatur 1300^{o}C. Sedangkan temperatur *smelting* mencapai 1850^{o}C. Pembentukan $CaTiO_3$ ditunjukkan pada Persamaan (4.1) dan (4.2) sebagai berikut (Song et al., 2021).

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \quad (4.1)$$
ΔG = -95.010 J pada T = 750^{o}C

$$TiO_2 + CaO \rightarrow CaTiO_3 \quad (4.2)$$
ΔG = -85.000 J pada T = 1.300^{o}C

Kemudian, Ca_3SiO_5 terbentuk akibat $CaCO_3$ yang saling bereaksi dengan SiO_2. Reaksi ini terjadi pada rentang 605,2-1.600^{o}C. Oleh karena itu, Ca_3SiO_5 hanya terjadi pada variasi 50 A dan 60 A. Dikarenakan pada kuat arus listrik yang lebih tinggi, laju pemanasan semakin tinggi sehingga mengakibatkan $CaCO_3$ terdekomposisi dan SiO_2 bereaksi dengan senyawa lainnya (Sagita et al., 2020). Pembentukan Ca_3SiO_5 ditunjukkan pada Persamaan (4.3) sebagai berikut (Kolesnikov et al., 2022).

$$3CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow Ca_3SiO_5 + 3CO_2 \quad (4.3)$$
ΔG = -432.500 J pada T = 1.600^{o}C

Sedangkan SiO_2 sebagai *flux* berperan untuk mengikat logam pengotor pada pasir monasit. Salah satunya adalah FeO hasil reduksi Fe_2O_3 dan membentuk Fe_2SiO_4. Alhasil FeO tidak terjadi pada semua variasi. Namun, pada 50 A Fe_2SiO_4. Hal ini dikarenakan pada 50 A laju pemanasan sangat lambat, sehingga belum mencukupi energi yang dibutuhkan untuk

pembentukan Fe_2SiO_4. Reaksi ini terjadi pada temperatur 1.210°C. Pembentukan Fe_2SiO_4 ditunjukkan pada Persamaan (4.4) sebagai berikut (Gupta, 2003).

$$2FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2SiO_4 \quad (4.4)$$
$$\Delta G = -1.672.000 \text{ J pada T} = 1.210^oC$$

Sementara itu, terdapat beberapa fasa yang hilang, yaitu *magnetite* (Fe_3O_4), *wustite* (FeO), dan *titanomaghemite* (Fe_2TiO_4). Fe_3O_4 dan FeO merupakan hasil reduksi dari Fe_2O_3. Awalnya Fe_2O_3 akan tereduksi menjadi Fe_3O_4 pada temperatur 700°C. Kemudian Fe_3O_4 akan tereduksi menjadi FeO pada temperatur 800°C. Dan pada akhirnya FeO akan tereduksi menjadi Fe pada temperatur 1.127°C. Kemungkinan paling tepat adalah Fe_2O_3 sudah berhasil tereduksi Fe, serta tidak menyisakan Fe_3O_4 dan FeO dikarenakan reaksi reduksi Fe_2O_3 ke Fe berlangsung sangat cepat. Reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe ditunjukkan pada Persamaan (4.5), (4.6), dan (4.7) sebagai berikut (Chen et al., 2017).

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \quad (4.5)$$
$$\Delta G = -145.000 \text{ J pada T} = 700^oC$$

$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2 \quad (4.6)$$
$$\Delta G = -51.600 \text{ J pada T} = 800^oC$$

$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2 \quad (4.7)$$
$$\Delta G = -1.630 \text{ J pada T} = 1.127^oC$$

Sedangkan Fe_2TiO_4 hilang dikarenakan bereaksi dengan CaO menjadi $CaTiO_3$ dan Fe pada temperatur 1.000°C. Reaksi Fe_2TiO_4 dengan CaO membentuk $CaTiO_3$ dan Fe ditunjukkan pada Persamaan (4.8) sebagai berikut (Zhao et al., 2019).

$$Fe_2TiO_4 + CaO + 2CO \rightarrow CaTiO_3 + 2Fe + 2CO_2 \quad (4.8)$$
$$\Delta G = -50.000 \text{ J pada T} = 1.000^oC$$

Selain terdapat fasa yang baru dan hilang, juga terdapat fasa yang hanya terjadi pada beberapa variasi saja, yaitu *ilmenite* ($FeTiO_3$). $FeTiO_3$ hanya terjadi pada 50 A dan 60 A karena laju pemanasan yang lambat menghambat $FeTiO_3$ bereaksi dengan CaO membentuk $CaTiO_3$ dan Fe pada temperatur 1.200°C. Reaksi $FeTiO_3$ bereaksi dengan CaO membentuk $CaTiO_3$ dan Fe ditunjukkan pada Persamaan (4.9) sebagai berikut (Zhao et al., 2019).

$$FeTiO_3 + CaO + CO \rightarrow CaTiO_3 + Fe + CO_2 \quad (4.9)$$
$$\Delta G = -100.000 \text{ J pada T} = 1.200^oC$$

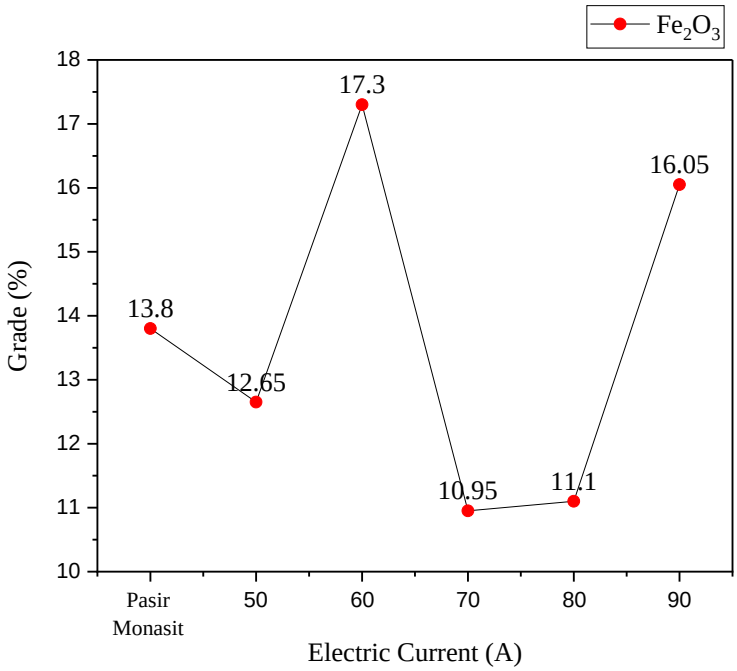
4.3 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap Komposisi Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Untuk mengetahui komposisi senyawa pasir monasit hasil *smelting* dilakukan pengujain XRF. Pengujian XRF dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS. Pasir monasit hasil *smelting* yang diuji adalah *non-magnetic portion* dikarenakan logam berharga, yaitu ThO_2 bersifat *diamagnetic* (Belle, 1984). Komposisi oksida pada pasir monasit hasill *smelting* ditunjukkan oleh Tabel 4.4. Berikut merupakan komposisi senyawa pasir monasit hasil *smelting*.

Tabel 4.4 Komposisi Senyawa Pasir Monasit Hasil *Smelting*

No	Variasi	*Grade* (%)					
		ThO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	SiO_2	Lainnya
1	Pasir Monasit	0,25	13,8	40,8	0,2	4,6	40,32
2	50 A	0,28	12,65	22,95	4,66	9,05	50,41
3	60 A	0,37	17,3	35,4	6,2	8,15	32,58
4	70 A	0,44	10,95	43,95	6,89	8,8	28,97
5	80 A	0,45	11,1	41,9	7,27	9,9	29,38
6	90 A	0,43	16,05	42,7	6,64	8,25	25,93

Dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa terjadi perbedaan komposisi senyawa seiring dengan perubahan kuat arus listrik pada *smelting* pasir monasit. Pada pembahasan ini berfokus pada dua senyawa utama, yaitu Fe_2O_3 dan TiO_2, serta satu senyawa berharga, yaitu ThO_2. Perubahan *grade* Fe_2O_3 pada pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan oleh Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 *Grade* Fe_2O_3 Dalam Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pengaruh variasi kuat arus listrik terhadap *grade* Fe_2O_3 memiliki pola yang fluktuatif. Dimana *grade* Fe_2O_3 mengalami penurunan pada 50 A (12,65%), 70 A (10,95%), dan 80 A (11,1%). Sedangkan mengalami peningkatan pada 60 A (17,3%) dan 90 A (16,05%).

Semakin tinggi kuat arus listrik, maka laju pemanasan semakin tinggi (Sagita et al., 2020). Hal ini mempercepat peningkatan kelarutan SiO_2 selaku *flux* dalam *molten slag* dan mengurangi viskositas dari *slag* (Heo & Park, 2022). Hal ini akan menghalangi reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe. Bahkan dalam bentuk FeO akan cenderung bereaksi dengan SiO_2 membentuk senyawa baru, yaitu Fe_2SiO_4 melalui Persamaan (4.10) sebagai berikut (Gupta, 2003).

$$2FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2SiO_4 \quad (4.10)$$
ΔG = -1.672.000 J pada T = 1210^{o}C

Di lain sisi, semakin tinggi kuat arus listrik, maka memungkinkan energi panas yang berlebih yang mengakibatkan Fe hasil reduksi Fe_2O_3 mengalami oksidasi. Sehingga, Fe akan kembali lagi ke dalam bentuk senyawa oksida pada temperatur 1.000^{o}C. Persamaan oksidasi Fe ditunjukkan oleh Persamaan (4.11), (4.12), dan (4.13) sebagai berikut (Henpristian et al., 2014).

$$2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO \quad (4.11)$$
ΔG = -395.000 J pada T = 1.000^{o}C

$$6FeO + O_2 \rightarrow 2Fe_3O_4 \quad (4.12)$$
ΔG = -375.000 J pada T = 1.000^{o}C

$$4Fe_3O_4 + O_2 \rightarrow 6Fe_2O_3 \quad (4.13)$$
ΔG = -220.000 J pada T = 1.000^{o}C

Faktor utama yang mengakibatkan *grade* Fe_2O_3 mengalami penurunan adalah reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe. Fe merupakan unsur *paramagnetic*, sehingga akan terpisahkan ketika dilakukan *magnetic separation*. Proses reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe ditunjukkan oleh Persamaan (4.14), (4.15), dan (4.16) sebagai berikut (Chen et al., 2017).

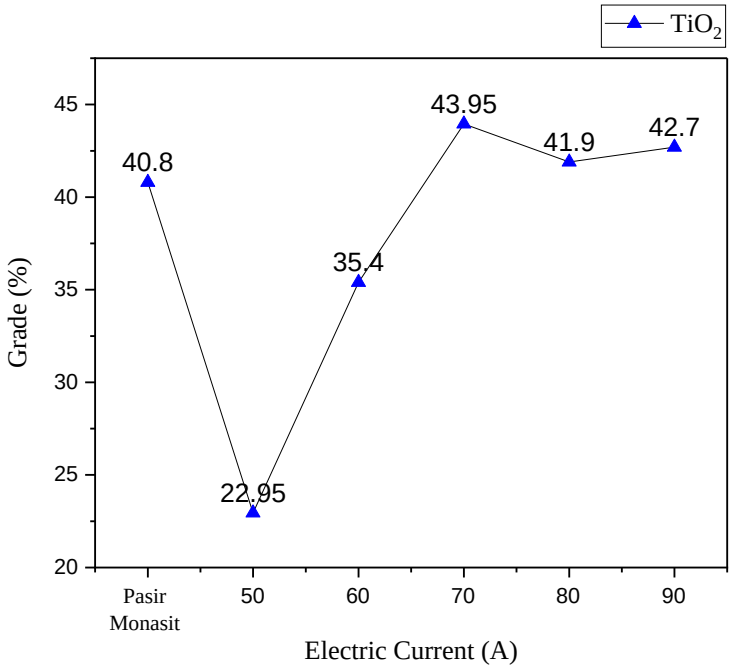
$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \quad (4.14)$$
ΔG = -145.000 J pada T = 700^{o}C

$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2 \quad (4.15)$$
ΔG = -51.600 J pada T = 800^{o}C

$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2 \quad (4.16)$$
ΔG = -1.630 J pada T = 1.127^{o}C

Perlu diingat bahwa *grade* Fe_2O_3 akan turun ketika Fe sudah tidak dalam bentuk senyawa oksida. Namun, ketika Fe_2O_3 tereduksi namun belum mencapai Fe, maka akan tetap teridentifikasi Fe_2O_3. Hal ini juga berlaku untuk Fe_2SiO_4 dan senyawa baru lainnya yang berbasis oksida Fe. Sehingga akan menyebabkan *grade* Fe_2O_3 mengalami kenaikan.

Selain Fe_2O_3, terdapat pula TiO_2 sebagai senyawa pengotor utama dalam pasir monasit. TiO_2 memiliki *grade* terbesar dalam pasir monasit, yaitu sebesar 40,8%. Senyawa ini cenderung stabil dalam bentuk oksida dikarenakan posisinya yang berada di bagian bawah pada diagram ellingham (Lee, 1999). Perubahan *grade* TiO_2 pada pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan oleh Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 *Grade* TiO_2 Dalam Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pengaruh variasi kuat arus listrik terhadap *grade* TiO_2 memiliki pola meningkat. Dimana pada 50 A *grade* TiO_2 mengalami penurunan dari 40,8% ke 22,95%. Kemudian berangsur naik ke 35,4% pada 60 A dan 43,95% pada 70 A. Selanjutnya turun ke 41,9% pada 80 A dan naik kembali ke 42,7% pada 90 A.

$CaTiO_3$ terbentuk karena bereaksinya $FeTiO_3$ dan Fe_2TiO_4 dengan CaO pada temperatur 1.000^{o}C dan 1.200^{o}C. $CaTiO_3$ merupakan senyawa *diamagnetic*, sehingga sulit dipisahkan melalui *magnetic separation* (Pal et al., 2018). Reaksi ini ditunjukkan pada Persamaan (4.17) dan (4.18) sebagai berikut (Zhao et al., 2019).

$$FeTiO_3 + CaO + CO \rightarrow CaTiO_3 + Fe + CO_2 \quad (4.17)$$

ΔG = -100.000 J pada T = 1200^{o}C

$$Fe_2TiO_4 + CaO + 2CO \rightarrow CaTiO_3 + 2Fe + 2CO_2 \quad (4.18)$$

ΔG = -50.000 J pada T = 1.000^{o}C

Sedangkan *grade* TiO_2 mengalami peningkatan dikarenakan reduksi $FeTiO_3$ menjadi $FeTi_2O_5$ yang kemudian tereduksi lagi menjadi TiO_2. Reduksi $FeTiO_3$ menjadi $FeTi_2O_5$ terjadi pada temperatur 1.500^{o}C. Sedangkan reduksi $FeTi_2O_5$ menjadi TiO_2 terjadi pada temperatur 400^{o}C. Reduksi $FeTiO_3$ menjadi TiO_2 ditunjukkan oleh Persamaan (4.19) dan (4.20) sebagai berikut (He et al., 2021; Zhao et al., 2019).

$$2FeTiO_3 + CO \rightarrow Fe + FeTi_2O_5 + CO_2 \quad (4.19)$$

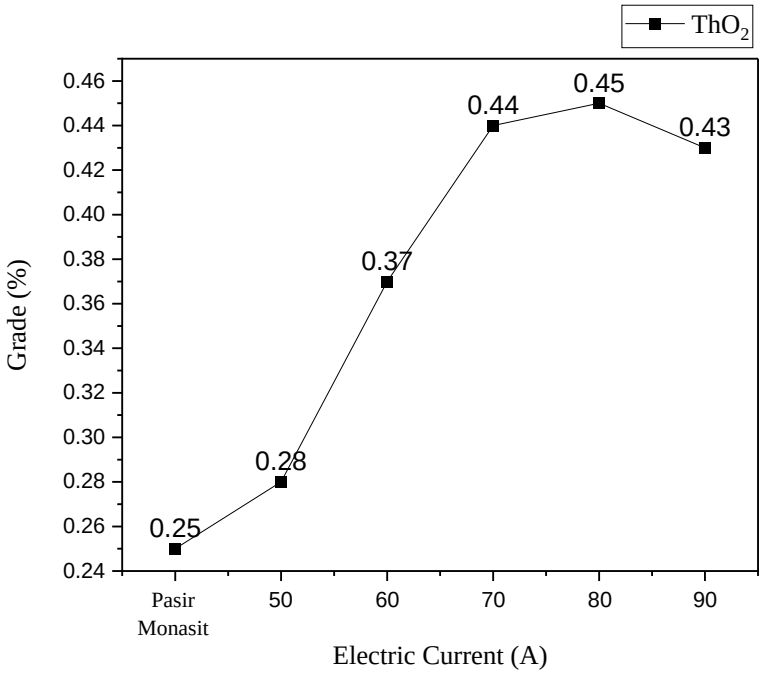
ΔG = -20.000 J pada T = 1.500^{o}C

$$FeTi_2O_5 + CO \rightarrow Fe + TiO_2 + CO_2 \quad (4.20)$$

ΔG = -2.000 J pada T = 400^{o}C

Sementara itu, senyawa berharga yang dicari, yaitu ThO_2 mengalami peningkatan *grade* seiring bertambahnya kuat arus listrik dari 50 A sampai dengan 80 A. Setelah itu mengalami

penurunan *grade* pada 90 A. Perubahan *grade* ThO_2 pada pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan oleh Gambar 4.6 sebagai berikut.



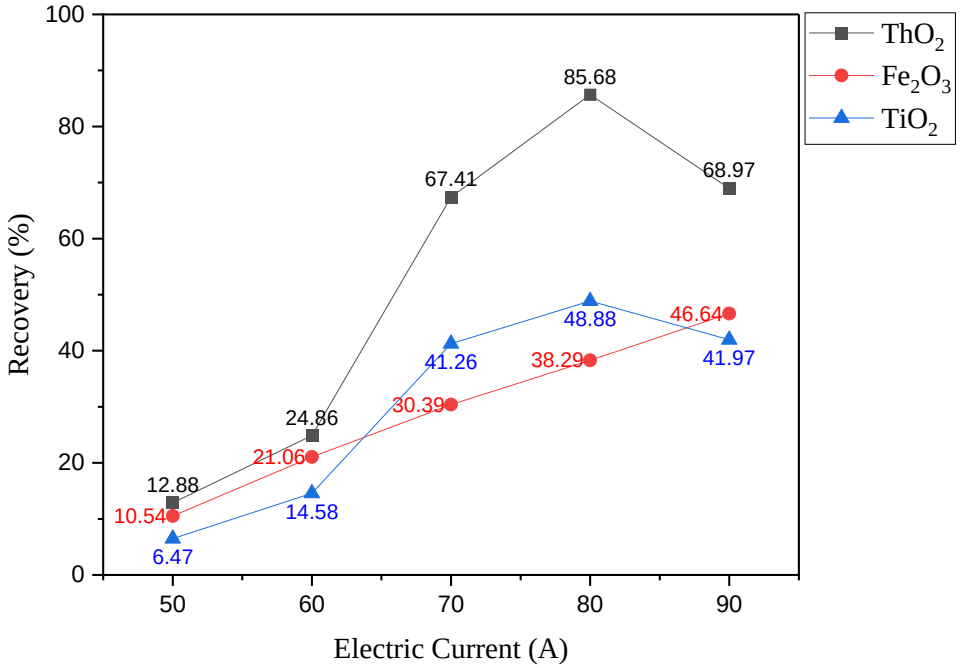
Gambar 4.6 *Grade* ThO_2 Dalam Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat memberikan informasi bahwasannya kenaikan kuat arus listrik dapat membantu meningkatkan *grade* ThO_2. *Grade* ThO_2 tertinggi didapatkan pada 80 A. Kenaikan ini disebabkan oleh jumlah pengotor yang turun. Jumlah pengotor ini turun akibat terpisahkan melalui *separation magnetic*. Sebagai contoh, Fe dari hasil reduksi Fe_2O_3, pembentukan $CaTiO_3$ dari $FeTiO_3$ atau Fe_2TiO_4, dan reduksi $FeTiO_3$. Dimana Fe merupakan unsur *paramagnetic*. Kenaikan kuat arus listrik menyebabkan laju pemanasan meningkat, sehingga menyebabkan reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe cepat terjadi (Sagita et al., 2020). Sehingga, mengahasilkan Fe yang cukup banyak.

Sangat diperlukan proses lebih lanjut melalui metode hidrometalurgi untuk dapat melakukan ekstraksi Th dari pasir hasil *smelting*. Hal ini karena sangat sulit apabila tetap dilakukan melalui *smelting*, dimana temperatur leleh ThO_2 sangat tinggi, yaitu 3.377^{o}C (Ghosh et al., 2016). Selain itu, pada pasir monasit hasil *smelting* juga masih terdapat banyak oksida REE dengan temperatur leleh sangat tinggi (Teixeira et al., 2019).

4.4 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Dalam *smelting*, tujuan utama yang ingin dicapai adalah memisahkan senyawa berharga dengan senyawa pengotor melalui mengikat senyawa pengotor dengan *flux* dalam senyawa baru yang dapat dipisahkan melalui metode separasi. Salah satu indikator untuk mengetahui keberhasilan *smelting* adalah *recovery*. *Recovery* didapatkan melalui perhitungan dengan cara membandingkan antara massa produk dikalikan *grade* senyawa dan massa sampel dikalikan *grade* senyawa pada sampel (Pintowantoro & Abdul, 2020). Produk yang dimaksud adalah *non-magnetic portion* dikarenakan senyawa berharga, yaitu ThO_2 bersifat *diamagnetic* (Belle, 1984). Sedangkan *recovery* yang dibahas hanya pada senyawa utama pasir monasit hasil *smelting*, yaitu Fe_2O_3, TiO_2, dan ThO_2. Grafik *recovery* senyawa utama pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan oleh Gambar 4.7 sebagai berikut.

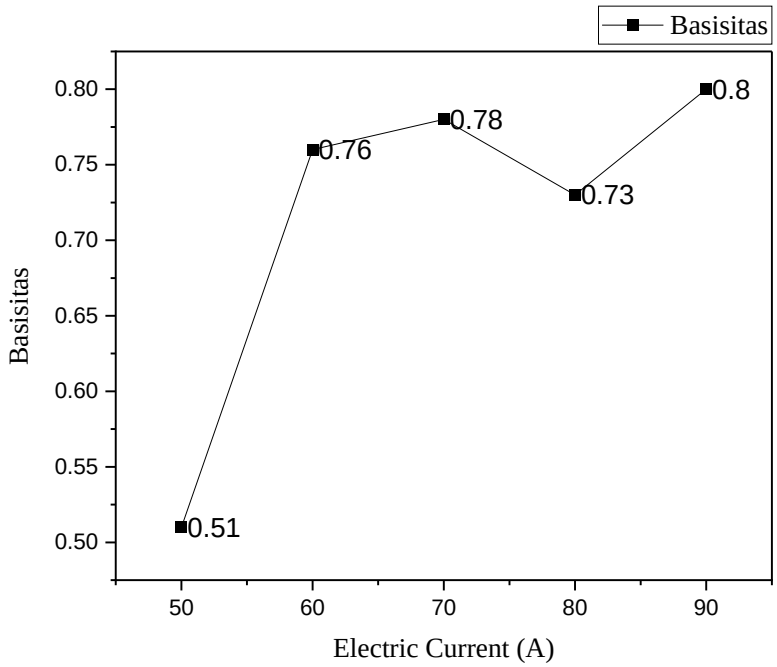


Gambar 4.7 *Recovery* Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Gambar 4.7 menunjukkan bahwasannya *recovery* ThO_2 memiliki tren yang naik seiring kenaikan kuat arus listrik. *Recovery* tertinggi didapatkan sebesar 85,68% pada variasi kuat arus listrik 80 A. Namun, kemudian turun pada 90 A secara cukup signifikan. Walaupun pada 90 A terdapat selisih *grade* yang sangat kecil. Hal ini dikarenakan massa produk yang didapatkan juga berpengaruh terhadap perhitungan *recovery* (Pintowantoro & Abdul, 2020).

Sementara itu, *recovery* Fe_2O_3 dan TiO_2 memiliki tren yang naik. Hal ini dikarenakan terdapat senyawa baru yang teridentifikasi sebagai Fe_2O_3 dan TiO_2 walaupun tidak memiliki rumus kimia yang sama, yaitu Fe_2SiO_4 dan $CaTiO_3$. Selain itu, juga terdapat TiO_2 dari hasil reduksi $FeTiO_3$ (He et al., 2021; Zhao et al., 2019). Dimana Fe_2SiO_4 merupakan hasil reaksi antara FeO dan SiO_2 sebagai *flux* (Gupta, 2003). Sedangkan, $CaTiO_3$ merupakan hasil reaksi antara CaO dan TiO_2 (Song et al., 2021). Variasi kuat arus listrik 50 A memiliki *recovery* Fe_2O_3 dan TiO_2 terkecil masing-masing sebesar 10,54% dan 6,47%.

Recovery juga dipengaruhi oleh basisistas dari *slag* yang terbentuk pada hasil *smelting*. Basisitas adalah perbandingan antara senyawa basa dan senyawa asam yang terdapat pada produk hasil *smelting* (Pintowantoro & Abdul, 2020). Dimana pada produk hasil *smelting* yang dimaksud senyawa basa adalah CaO, sedangkan senyawa asam adalah SiO_2. Basisitas pada pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut.

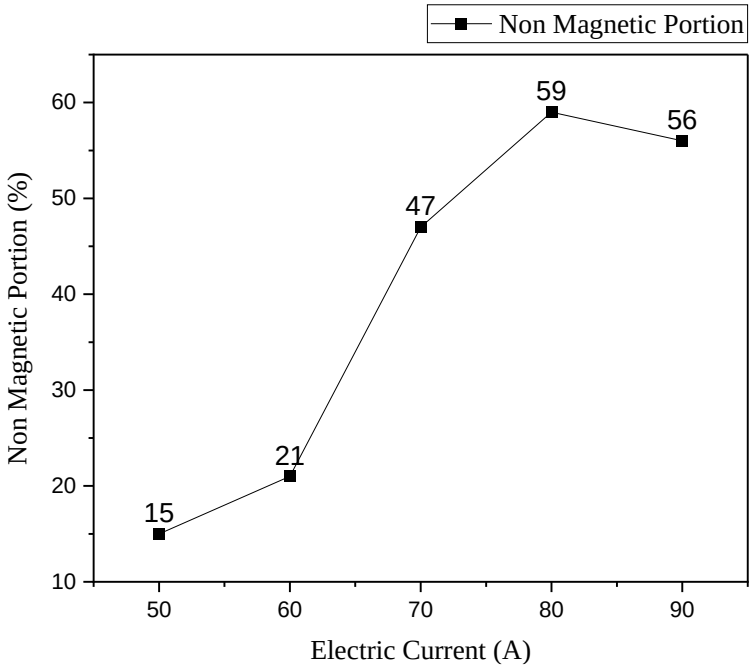


Gambar 4.8 Basisitas Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa basisitas pasir monasit hasil *smelting* relatif mengalami kenaikan seiring meningkatnya kuat arus listrik. Basisitas yang rendah atau semakin mendekati 0 menunjukkan bahwa konsentrat bersifat asam. Sebaliknya, basisitas yang tinggi atau semakin menjauhi 0 menunjukkan bahwa konsentrat bersifat basa. Keasaman konsentrat berpengaruh pada sifat reduktibilitas dari senyawa pengotor. Semakin asam konsentrat akan meningkatkan viskositas *molten metal* dan *slag*, sehingga akan mengurangi reduktibiltas senyawa pengotor dan cenderung bereaksi dengan *flux*. Begitupun sebaliknya apabila keasaman konsentrat rendah akan meningkatkan temperatur leleh dari *slag* (Pintowantoro & Abdul, 2020).

Dapat dilihat bahwasannya ketika nilai basisitas pada titik tertinggi sebesar 0,8, maka *grade* dan *recovery* Fe_2O_3 dan TiO_2 relatif pada titik tertingginya. Hal ini dikarenakan meningkatnya temperatur leleh dari *slag*, sehingga memungkinkan proses reduksi senyawa kompleks $FeTiO_3$ dapat dengan mudah terjadi. Sedangkan pada titik terendahnya, yaitu sebesar 0,51, *grade* dan *recovery* Fe_2O_3 dan TiO_2 relatif pada titik terendahnya juga. Hal ini disebabkan Fe_2O_3 dan TiO_2 cenderung untuk bereaksi dengan logam lain maupun dengan *flux*.

Selain itu, *recovery* juga dipengaruhi oleh *magnetic separation* pasir monasit hasil *smelting*. Hal ini dikarenakan pada perhitungan *recovery* yang dianggap sebagai massa produk adalah *non*-magnetic *portion*. *Non-magnetic portion* pada pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan oleh Gambar 4.9 sebagai berikut.

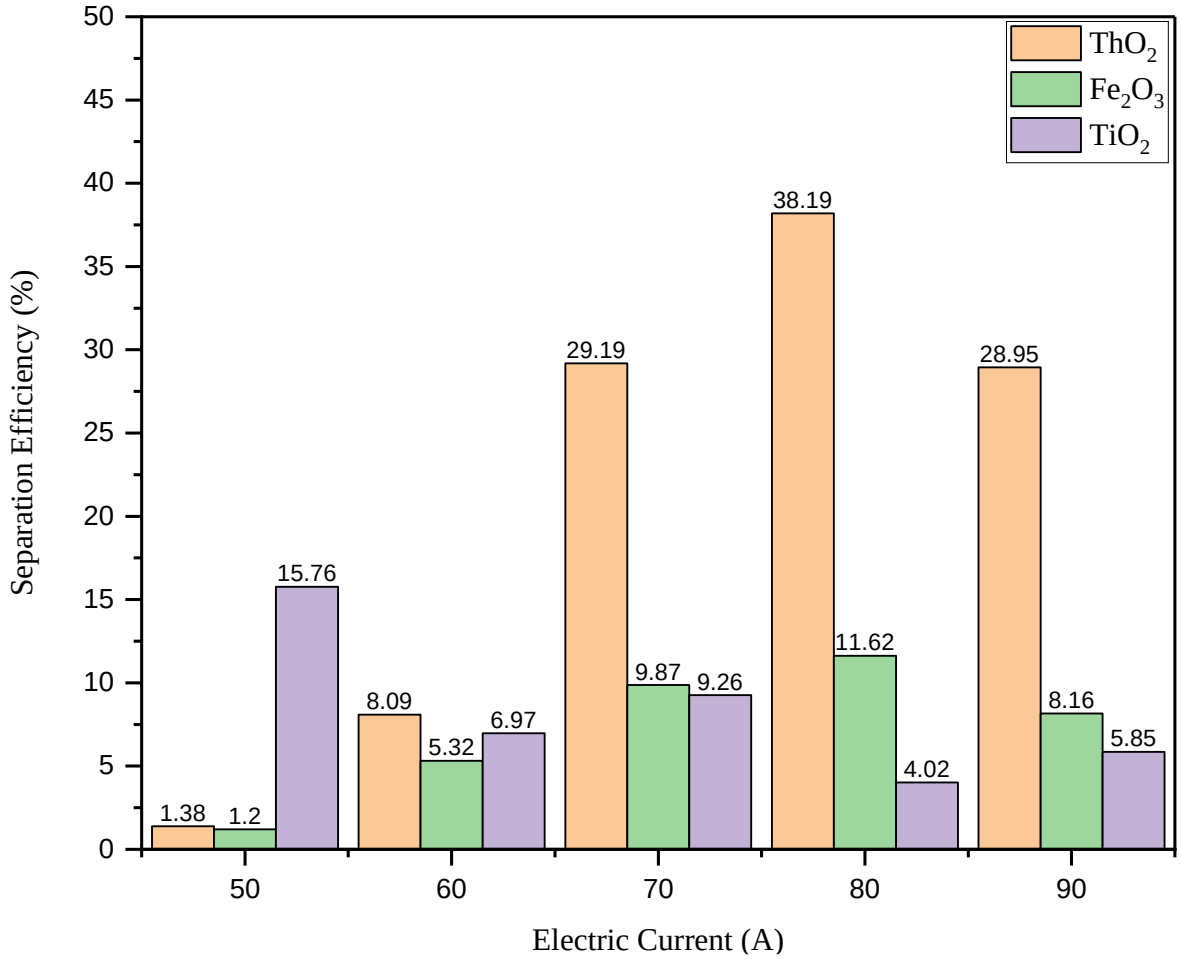


Gambar 4.9 *Non-magnetic Portion* Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kuat arus listrik, maka *non-magnetic portion* cenderung meningkat hingga pada 90 A mengalami penurunan. *Non-magnetic portion* terbanyak didapatkan pada 80 A sebesar 59%. Sebaliknya, didapatkan *non-magnetic portion* terendah sebesar 15% pada 50 A. Persentase *non-magnetic portion* dapat dijadikan salah satu indikator keberhasilan *smelting*. Hal ini tujuan *smelting* adalah mereduksi senyawa pengotor atau mengikatnya dengan *flux* menjadi senyawa kompleks. Kuat arus listrik yang semakin tinggi berdampak pada laju pemanasan yang tinggi pula, sehingga reaksi reduksi maupun pembentukan senyawa kompleks terjadi secara cepat dan memberikan waktu yang cukup untuk menghasilkan jumlah yang besar (Sagita et al., 2020). Selain itu, ThO_2 memiliki sifat *diamagnetic* yang sangat sulit untuk ditarik oleh magnet. Sehingga ThO_2 sebagian besar berada di *non-magnetic portion* (Belle, 1984). Oleh karena itu, semakin besar *non-magnetic portion* dengan *grade* ThO_2 yang sama, maka jumlah ThO_2 pun semakin besar.

4.5 Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Terhadap *Separation Efficiency* (S.E.) Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Dalam menentukan variasi kuat arus listrik EAF yang terbaik, diperlukan suatu parameter dengan memperhitungan *grade* dan *recovery* senyawa utama pasir monasit hasil *smelting*. Parameter ini selanjutnya disebut dengan *separation efficiency* (S.E.). Perhitungan S.E. dilakukan sebagaimana pada Persamaan (3.2) (Pintowantoro & Abdul, 2020). Grafik perbandingan S.E. senyawa utama pasir monasit hasil *smelting* ditunjukkan oleh Gambar 4.10. sebagai berikut.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan S.E. Senyawa Utama Pasir Monasit Hasil *Smelting*

Gambar 4.10 menunjukkan S.E. senyawa utama pasir monasit hasil *smelting* memiliki tren yang berbeda. Dimana, S.E. ThO_2 dan Fe_2O_3 mengalami peningkatan seiring meningkatnya kuat arus listrik kemudian turun pada 90 A. Sementara itu, S.E. TiO_2 memiliki tren yang fluktuatif dengan didapatkan S.E. tertinggi sebesar 15,76% pada 50 A dan terendah sebesar 4,02% pada 80 A.

Penggunaan kuat arus listrik dalam *smelting* pasir monasit adalah untuk memproduksi energi panas yang mencukupi untuk reduksi senyawa pengotor atau mengikat senyawa pengotor dengan *flux* menjadi senyawa kompleks. Seiring meningkatnya kuat arus listrik, maka laju pemanasan akan meningkat. Sehingga, mengakibatkan ketercapaian termodinamika reaksi yang lebih cepat (Sagita et al., 2020). Oleh karena itu, reduksi senyawa pengotor dan pembentukan senyawa kompleks akan signifikan dalam segi jumlah. Namun, konsekuensinya adalah terdapat reduksi yang menghasilkan senyawa pengotor, sehingga menambah *grade* dari senyawa pengotor.

Berdasarkan sub-bab yang telah dibahas terkait *grade*, *recovery*, dan S.E. senyawa utama pasir monasit hasil *smelting*, variasi kuat arus listrik yang paling efektif didapatkan pada 80 A. Pertimbangan paling kuat adalah pada S.E. ThO_2 berada pada titik tertinggi sebesar 38,19% dan TiO_2 berada pada titik terendah sebesar 4,02%. Walaupun, Fe_2O_3 memiliki S.E. tertinggi sebesar 11,62% disebabkan ikut teridentifikasinya senyawa kompleks Fe_2SiO_4 sebagai Fe_2O_3. (Gupta, 2003; He et al., 2021; Zhao et al., 2019).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. *Smelting* pasir monasit dengan variasi kuat arus listrik membentuk senyawa baru, yaitu *calcium titanium oxide* ($CaTiO_3$) pada semua variasi, *hatrurite* (Ca_3SiO_5) hanya pada 50 A dan 60 A, dan *fayalite* (Fe_2SiO_4) pada semua variasi, kecuali pada 50 A.
2. *Grade* Fe_2O_3 mengalami fluktuatif pada semua variasi kuat arus listrik dengan *grade* terendah sebesar 10,95% pada 70 A dan tertinggi sebesar 17,3% pada 60 A. Penurunan *grade* Fe_2O_3 diakibatkan oleh teroksidasinya Fe menjadi senyawa oksida dan reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe, sedangkan peningkatan diakibatkan oleh terbentuknya senyawa kompleks Fe_2SiO_4 yang teridentifikasi sebagai Fe_2O_3. Sedangkan *grade* TiO_2 relatif mengalami peningkatan dengan *grade* tertinggi sebesar 43,95% didapatkan pada 80 A. Peningkatan *grade* TiO_2 diakibatkan oleh reduksi $FeTiO_3$ menjadi TiO_2.
3. Peningkatan kuat arus listrik pada *smelting* pasir monasit mengakibatkan peningkatan *grade* ThO_2 sebagai senyawa berharga. *Grade* ThO_2 pada pasir monasit hasil *smelting* dengan variasi kuat arus listrik 50 A, 60 A, 70 A, 80 A, dan 90 A secara berurutan sebesar 0,28%, 0,37%, 0,44%, 0,45%, dan 0,43%.
4. *Recovery* ThO_2 tertinggi sebesar 85,68% pada 80 A, *recovery* Fe_2O_3 dan TiO_2 terendah secara berurutan sebesar 10,54% dan 6,47% didapatkan pada 50 A. Dengan menggunakan perhitungan *separation efficiency* (S.E.) didapatkan kuat arus listrik paling efektif adalah 80 A.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Melakukan ekstraksi lebih lanjut untuk memperoleh *grade* ThO_2 sebagai senyawa berharga menggunakan metode hidrometalurgi.
2. Melakukan studi terkait desain pada proses *smelting* untuk mengoptimalkan homogenitas saat reaksi berlangsung
3. Melakukan studi terkait *magnetic separation* lebih lanjut karena senyawa utama pasir monasit memiliki sifat magnetik yang spesifik

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR PUSTAKA

Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2021). Indonesia Nuclear Energy Outlook (INEO) 2015: Penyediaan Uranium Untuk PLTN Indonesia. In *Nuevos sistemas de comunicación e información*.

Balakrishna, P. (2012). ThO2 and (U,Th)O2 processing—A review. *Natural Science*, *4*, 943–949. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.431123

Belle, J. (1984). *Thorium Dioxide : Properties and Nuclear Applications*. 550.

Brindley, G. W., & Hayami, R. (1965). Kinetics and mechanism of formation of forsterite (Mg2SiO4) by solid state reaction of MgO and SiO2. *Philosophical Magazine*, *12*(117), 505–514. https://doi.org/10.1080/14786436508218896

Chen, H., Zheng, Z., Chen, Z., & Bi, X. T. (2017). Reduction of hematite (Fe2O3) to metallic iron (Fe) by CO in a micro fluidized bed reaction analyzer: A multistep kinetics study. In *Powder Technology* (Vol. 316). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.02.067

Dewita, E., Barat, J. K., & Prapatan, M. (2012). *Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar*. *232*, 45–56.

Dyana, R. G. L., & Triwikantoro. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi-SiO2 dengan Pengisi Gel SiO2 dari Pasir Bancar Tuban. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, *6*(1), 2337–3520.

Falcon, R., Cann, V., Comins, D., Erasmus, R., Hoed, P. Den, & Luckos, A. (2004). The characterisation of carbon reductants in the metallurgical industry – a case study. *Infacon X: Transformation through Technology*, *February*, 363–380.

Ghosh, P. S., Kuganathan, N., Galvin, C. O. T., Arya, A., Dey, G. K., Dutta, B. K., & Grimes, R. W. (2016). Melting behavior of (Th,U)O2 and (Th,Pu)O2 mixed oxides. *Journal of Nuclear Materials*, *479*, 112–122. https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2016.06.037

Grzella, J., Sturm, P., Kruger, J., Reuter, M. A., Kogler, C., & Probst, T. (1923). Metallurgical Furnaces. *Nature*, *112*(2821), 755–756. https://doi.org/10.1038/112755a0

Gupta, C. K. (2003). Chemical Metallurgy: Principle and Practice. In *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*.

He, C., Zheng, C., Dai, W., Fujita, T., Zhao, J., Ma, S., Li, X., Wei, Y., Yang, J., & Wei, Z. (2021). Purification and phase evolution mechanism of titanium oxycarbide (Ticxoy) produced by the thermal reduction of ilmenite. *Minerals*, *11*(2), 1–18. https://doi.org/10.3390/min11020104

Henpristian, Y., Antoro, I. D., & Oediyani, S. (2014). PENGARUH WAKTU REDUKSI DAN KOMPOSISI PELET TERHADAP PERSEN Fe METAL DAN PERSEN Ni FeNi SPONS DARI BIJIH NIKEL LIMONIT MENGGUNAKAN SIMULATOR ROTARY KILN. *Majalah Metalurgi*, *V*(ISSN 0126-3188/ 197-204).

Heo, J., & Park, J. H. (2022). Effect of temperature on the slag/refractory interfacial reaction with directed reduced iron (DRI) addition in an electric arc furnace (EAF) process: Diffusional growth of magnesiowüstite layer by Boltzmann-Matano analysis. *Ceramics International*, *48*(12), 17217–17224. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.02.279

Hernández, A., Mayordomo, J. G., Asensi, R., & Beites, L. F. (2005). A method based on interharmonics for flicker propagation applied to arc furnaces. *IEEE Transactions on Power Delivery*, *20*(3), 2334–2342. https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.848677

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan. (2021). Statistik Kelistrikan 2020. *Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan*, *13*(April), 122.

Khodabandeh, E., Ghaderi, M., Afzalabadi, A., Rouboa, A., & Salarifard, A. (2017). Parametric

study of heat transfer in an electric arc furnace and cooling system. *Applied Thermal Engineering*, *123*, 1190–1200. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.193

Kokal, H. R., & Ranade, M. G. (1985). *METALLURGICAL USES FLUXES FOR METALLURGY*.

Kolesnikov, A., Fediuk, R., Kolesnikova, O., Zhanikulov, N., Zhakipbaev, B. Y., Kuraev, R., Akhmetova, E., & Shal, A. (2022). Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. *Materials*, *15*(1), 3–10. https://doi.org/10.3390/ma15010324

Komarudin. (2008). *Studi Pengaruh Penambahan Batubara terhadap Intensitas Fe*.

L.N, H., S., S., & S., B. (2009). Peningkatan Efisiensi Produksi Rare Earth Radioaktif dari Hasil Samping Penambangan Timah. *PPGN-BATAN*.

Lee, H. G. (1999). *CHEMICAL THERMODYNAMICS FOR METALS AND MATERIALS*. Imperial College Press and World Scientific Publishing.

Madias, J. (2014). Electric Furnace Steelmaking. In *Treatise on Process Metallurgy* (Vol. 3, Issue December 2014). https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096988-6.00013-4

Marisi, D. P., Suprihatin, S., & Ismayana, A. (2018). Penurunan Kadar Torium dan Radioaktivitas dalam Limbah Cair Proses Pengolahan Monasit PLUTHO Menggunakan Koagulan FeSO4. *Eksplorium*, *39*(1), 39. https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.1.4276

Mubarok, M. Z., Trinopiawan, K., Prassanti, R., & Singkep, P. (2017). *Studi Pemisahan Thorium dari Besi dan Logam Tanah Jarang dalam Larutan Asam Nitrat dengan Ekstraksi Pelarut Menggunakan Ekstraktan Trioctylphosphine Oxide Study of Thorium Seperation from Iron and Rare Earth Metals in Nitric Acid Solution by Solvent Extra*. *38*(2), 133–146.

Napier-Munn, T., & Wills, B. A. (2005). Wills' Mineral Processing Technology. In *Wills' Mineral Processing Technology* (Issue October). https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4450-1.X5000-0

National Council of Educational Research and Training. (2021). *Chemistry: Textbook for Class XII*.

Novriyanisti, A., Prassanti, R., & Widana, K. S. (2021). Pemisahan Unsur-unsur pada Monasit Bangka dengan Pengendapan Bertingkat. *Eksplorium*, *42*(1), 69. https://doi.org/10.17146/eksplorium.2021.42.1.6093

Nurly, H. F., Haryono, D., & Setiyadji, M. (2015). Proses Roasting Pasir Monasit dari Kepulauan Bangka Belitung dengan NaOH Padat Menggunakan Muffle Furnace. *Jurnal Furnace, Vol 1, No 1 (2015)*. http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf/article/view/1673

Pal, P., Liu, X., Kareev, M., Choudhury, D., & Chakhalian, J. (2018). Emergent antiferromagnetism of YTiO3 in YTiO3-CaTiO3 superlattices. *Physical Review B*, *98*(4), 2–6. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.045420

Pintowantoro, S., & Abdul, F. (2020). *PENGANTAR PROSES PEMBUATAN BESI Proses Utama dan Alternatifnya* (Jilid 1). Airlangga Express.

Pintowantoro, S., Widyartha, A. B., Setiyorini, Y., & Abdul, F. (2021). Sodium Thiosulfate and Natural Sulfur: Novel Potential Additives for Selective Reduction of Limonitic Laterite Ore. *Journal of Sustainable Metallurgy*, *7*(2), 481–494. https://doi.org/10.1007/s40831-021-00352-4

Prassanti, R. (2012). Digesti Monasit Bangka Dengan Asam Sulfat. *Eksplorium: Buletin Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir*, *33*(1), 41–54. https://doi.org/10.17146/eksplorium

Prassanti, R., & Pudjianto, R. (2018). *EKSTRAKSI TORIUM DARI MONASIT BANGKA DENGAN METODE SOLVENT IMPREGNATED RESIN (SIR)*. 303–308.

Pretorius, E., & Oltmann, H. (2002). *EAF Fundamentals*.

René, M. (2017). Nature, Sources, Resources, and Production of Thorium. *Descriptive*

Inorganic Chemistry Researches of Metal Compounds, *August*. https://doi.org/10.5772/intechopen.68304

Rodliyah, I., Rochani, S., & Wahyudi, T. (2015). Extraction of Rare Earth Metals from Monazite Mineral Using Acid Method. *Indonesia Mining Journal*, *18*(1), 39–45.

Sagita, D., Darmajana, D. A., Hidayat, D. D., Novrinaldi, & Sitorus, A. (2020). Design and performance of ohmic-based fermentor model for controlling fermentation process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *542*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012033

Sahajwalla, V., Dubikova, M., & Khanna, R. (2016). *Reductant Characterisation and Selection : Implications for Ferroalloys Processing*. *February*, 1–19.

Sarangi, A., & Sarangi, B. (n.d.). *Alternatives Route to Iron Making*.

Song, H., Zhang, J., & Xue, X. (2021). *Kinetics on Chromium-Bearing Vanadia-Titania Magnetite*. 1–14.

Stalhed, J. L. (1957). Sponge Iron in Electric Arc Furnaces. *Journal of Metals, FEBRUARY*, 246–249.

Suhaemi, T. (2017). Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Korea Selatan: Pembelajaran Bagi Indonesia. *Seminar Nasional TEKNOKA*, *2*(2), 28–36.

Suhariyomo, G. (2006). Perkembangan Tenaga Nuklir Di Dunia. *Buletin Alara*, *7*(3), 241314.

Sumarni, Ra, E., Riza, F., Tukardi, Tarjudin, & Rusydi. (2004). Pelarutan Residu Hasil Dekomposisi Bijih Uranium Rirang. *Prosiding Seminar Geologi Nuklir Dan Sumberdaya Tambang*, *85*, 299–304.

Supriyatna, Y. I., Ristiana, R., Nurjaman, F., & Shofi, A. (2014). Rancang Bangun Tungku Busur Listrik Satu Fase untuk Peleburan Konsentrat Mangan dan Besi menjadi Ferromangan. *Teknologi Mineral Dan Batubara*, *10*(3), 165–173.

Supriyatna, Y. I., & Shofie, A. (2013). Uji Performa Tungku Busur Listrik Satu Fase Skala Laboratorium Dalam Proses Pembuatan Ferromangan. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 527–530.

Teixeira, L. A. V., Silva, R. G., Avelar, A., Majuste, D., & Ciminelli, V. S. T. (2019). Selective Extraction of Rare Earth Elements from Monazite Ores with High Iron Content. *Mining, Metallurgy and Exploration*, *36*(1), 235–244. https://doi.org/10.1007/s42461-018-0035-5

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.

Wickleder, M. S., Fourest, B., & Dorhout, P. K. (2018). Thorium. In *The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements* (pp. 52–160). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3598-5_3

Widodo, S., Suyanti, Purwani, M., Sudibyo, R., Muzakky, & Syarip. (2019). *Dari Pasir Monasit ke Torium : Bahan Baku Bahan Bakar Nuklir dan Radioisotop Medik* (Issue April 2020).

Wienar, M. A. (2021). *ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN SIO2 DALAM PROSES SMELTING PASIR MONASIT MENGGUNAKAN ELECTRIC ARC FURNACE TERHADAP KOMPOSISI SENYAWA DAN GRADE THO2*. http://www.ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/10544%0A

Wijaya, L. (2018a). *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*.

Wijaya, L. (2018b). *Analisis Pengaruh Variasi Arus Electric Arc Furnace pada Proses*

Peleburan Direct Reduction Iron terhadap Kandungan Fe Total dan Recovery Fe dalam Proses ….

Wills, B. A., & Finch, J. A. (2015). Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. In *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*.

Woermann, E., Brezny, B., & Muan, A. (1969). Phase equilibria in the system MgO-iron oxide-TiO2 in air. In *Am. J. Sci.* (Vols. 267-A, pp. 463–479).

Zhao, Y., Sun, T., Zhao, H., Xu, C., & Wu, S. (2019). Effect of MgO and CaCO3 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

LAMPIRAN

1. Perhitungan neraca massa

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

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$$
$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$$
$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

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

- Hematit (Fe_2O_3) = 16,50%
- Titanium dioksida (TiO_2) = 36,05%
- Silika dioksida (SiO_2) = 4,50%
- Toirum dioksida (ThO_2) = 0,22%

Apabila diasumsikan sampel percobaan sebesar 100 gram pasir monasit maka:

- Mol Hematit (Fe_2O_3) $=\frac{massa\ hematit}{Mr\ hematit} =\frac{16{,}5\ gram}{161\ gram/mol}$ = 0,1025 mol
- Mol Titanium dioksida $=\frac{massa\ TiO2}{Mr\ TiO2} =\frac{36.05\ gram}{79\ gram/mol}$ = 0,4563 mol
- Mol Silika dioksida $=\frac{massa\ SiO2}{Mr\ SiO2} =\frac{4{,}5\ gram}{60\ gram/mol}$ = 0,075 mol
- Mol Torim dioksida $=\frac{massa\ ThO2}{Mr\ hematit} =\frac{16{,}5\ gram}{161\ gram/mol}$ = 0,00083 mol
- Serbuk karbon yang digunakan memiliki kemurnian 99,99%
- Kalsium karbonat yang digunakan memiliki kemurnian 99,99%

I. Reaksi Reduksi Hematit

a. Reaksi 1

$3Fe_2O_3$	+	CO	→	$2Fe_3O_4$	+	CO_2
0,1025 mol		0,0342 mol		0,0684 mol		0,0342 mol

CO_2 hasil dekomposisi $CaCO_3$ yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.

CO_2	+	C	→	2CO
0,0171 mol		0,0171mol		0,0342 mol

Reaksi CO_2 hasil dari reaksi 1 dengan serbuk karbon.

CO_2	+	C	→	2CO
0,0342 mol		0,0342 mol		0,0684 mol

b. Reaksi 2

Fe_3O_4	+	CO	→	3FeO	+	CO_2
0,0684 mol		0,0684mol		0,2052 mol		0,0684 mol

CO_2 hasil reaksi dekomposisi $CaCO_3$ yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.

CO_2	+	C	→	2CO
0 mol		0 mol		0 mol

Reaksi CO_2 hasil dari reaksi 2 dengan serbuk karbon.

CO_2	+	C	→	2CO
0,0684 mol		0,0684 mol		0,1368 mol

c. Reaksi 3

FeO	+	CO	→	Fe	+	CO_2
0,2052 mol		0,2052 mol		0,2052 mol		0,2052 mol

CO_2 hasil reaksi dekomposisi $CaCO_3$ yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan serbuk karbon.

CO_2	+	C	→	2CO
0,0684 mol		0,0684 mol		(0,2052-0,1368) mol
0,0684 mol		0,0684 mol		0,0684 mol

Reaksi CO_2 hasil dari reaksi 3 dengan serbuk karbon.

CO_2	+	C	→	2CO
0,2052 mol		0,2052 mol		0,4104 mol

II. Perhitungan Kebutuhan Serbuk Karbon

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

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

III. Perhitungan Kebutuhan $CaCO_3$

Total CO_2 yang dibutuhkan = (0,0171 + 0,0684) mol
= 0,0855 mol

$CaCO_3$	→	CaO	+	CO_2
0,0855 mol		0,0855 mol		0,0855 mol

Massa $CaCO_3$ yang dibutuhkan = total mol x Mr $CaCO_3$
= 0,0855 mol x 100 gr/mol
= 8,55 gr

Sehingga didapatkan perbandingan sebagai berikut.

Pasir Monasit	:	Serbuk Karbon	:	$CaCO_3$
100	:	4,7196	:	8,55

IV. Perhitungan Kebutuhan *Flux* SiO_2

Mol TiO_2 = mol SiO_2
Mol TiO_2 = 0,4563 mol
Mol SiO_2 = 0,4563 - 0,075 = 0,3813 mol

Massa *flux* SiO_2 yang ditambahkan = mol x Mr SiO_2
= 0,3813 x 60 gr/mol
= 22,878 gram

Maka perbandingan massa yang diperoleh sebesar
Pasir monasit : Fluks SiO_2
100 : 22,878
Penambahan fluks SiO_2 optimal = 18,61%

Pada kesempatan kali ini menggunakan fluks SiO_2 sebesar 9% atau sebesar 9,99 gr. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wienar pada tahun 2022.

V. Perhitungan *Mass Balance* Proses *Smelting*

Massa *input* = 12,32 gram

- Pasir monasit = 10 gram
- *Flux* SiO_2 = 0,99 gram
- Serbuk Karbon = 0,47 gram
- $CaCO_3$ = 0,86 gram

Massa *output*

- Variasi 50 A = 7,66 gram
  - *Magnetic portion* = 6,51 gram
  - *Non-magnetic portion* = 1,15 gram
  - *Mass loss* = 4,66 gram
- Variasi 60 A = 8,08 gram
  - *Magnetic portion* = 6,40 gram
  - *Non-magnetic portion* = 1,68 gram
  - *Mass loss* = 4,24 gram
- Variasi 70 A = 8,26 gram
  - *Magnetic portion* = 4,43 gram
  - *Non-magnetic portion* = 3,83 gram
  - *Mass loss* = 4,06 gram
- Variasi 80 A = 7,88 gram
  - *Magnetic portion* = 3,12 gram
  - *Non-magnetic portion* = 4,76 gram
  - *Mass loss* = 4,44 gram
- Variasi 90 A = 7,15 gram
  - *Magnetic portion* = 3,14 gram
  - *Non-magnetic portion* = 4,01 gram
  - *Mass loss* = 5,17 gram

2. Perhitungan Neraca Energi (*Heat Balance*)

a) Data Mol

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

Senyawa	Mol
Fe_2O_3	0,1025
TiO_2	0,4563
CaO	0,02
SiO_2	0,075
$CaCO_3$	0,1537

b) Data Entalpi Pembentukan Standar (ΔHf)

Berikut merupakan data entalpi pembentukan standar senyawa pada 298 K.

Senyawa	ΔH_f 298 (kJ/mol)
Fe_2O_3	-824,2
Fe_3O_4	-1.118
FeO	-272
Fe	0
Fe_2SiO_4	39,33
$FeTiO_3$	151,71
TiO_2	-944,7
CaO	-635,09
SiO_2	-910,86
$CaCO_3$	-1.207,6
CO_2	-393,509
CO	-110,525
C	0

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

Berikut merupakan data *heat conten*t senyawa dan unsur, yang dihitung dengan Persamaan:

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

Senyawa	a	b	c	d
Fe_2O_3	98,658	0,03906	1.491.000	-37.888,2
Fe_3O_4	91,896	0,01008	0	-36.397,2
FeO	48,972	0,0042	281.400	-15.918
Fe	12,768	0,015918	-252.000	-4.376,4
Fe	41,034	0,0084	0	-2.814
Fe_2SiO_4	40,71	0,00338	977.000	15.715
$FeTiO_3$	27,87	0,00218	479.000	10.111
TiO_2	75,474	0,00588	1.827.000	-28.681,8
CaO	49,014	0,02268	655.200	-17.014,2
SiO_2	166,228	0,42782	892.910	47.390
SiO_2	65,277	0,0028	1.846.300	-24.310
$CaCO_3$	104,916	0,011004	2.604.000	-40.992
CO_2	44,394	0,00441	865.200	-16.543,8
CO	28,518	0,02058	462.000	-8.841
C	16,926	0,02394	856.800	-8.131,2
$CaTiO_3$	127,974	0,002856	2.809.800	-47.833,8

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^{O}C atau 2123 K, didapat:

i) $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$ ΔH= 11.382,73 J
ii) $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$ ΔH= -61.818,13 J
iii) $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$ ΔH= -13.810,27 J
iv) $Fe \rightarrow Fe$ ΔH= 3.615,97 J
v) $2FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2SiO_4$ ΔH= 127.099,64 J
vi) $FeO + TiO_2 \rightarrow FeTiO_3$ ΔH= 79.388,18 J
vii) $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ ΔH= 51.559,47 J
viii) $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ ΔH= 49.637,30 J
ix) $SiO_2 \rightarrow SiO_2$ ΔH= 154.864,67 J
x) $CaO + TiO_2 \rightarrow CaTiO_3$ ΔH= 326.776,83 J

Total panas reaksi yang dibutuhkan adalah **728696,4 Joule**

e) Perhitungan Energi *Input* Proses *Smelting*

Spesifikasi *Power Supply* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Spesifikasi	Nilai
Tegangan *output*	40 V
Efisiensi	90%

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

E *input* = E *output*
E *input* = E *reaksi* x (100% + (100% - efisiensi))
E *input* = 728696,4 J x 110%
E *input* = 801566,04 J

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

Variasi Kuat Arus Liastrik (A)	Tegangan (V)	Waktu (s)	Energi (J)
50			574.000
60			688.800
70	40	287	803.600
80			918.400
90			1.033.200

3. Perhitungan *Recovery*

Recovery senyawa utama pasir monasit hasil *smelting* didapatkan melalui membandingkan jumlah senyawa pada produk dan *feed* dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Recovery\ (\%) = \frac{W_p . c}{W_f . f} x100\%$$

I. *Recovery* ThO_2

Data massa *feed* dan *non-magnetic portion* beserta *grade* Fe_2O_3 di dalamnya yang digunakan untuk menghitung *recovery* Fe_2O_3 disajikan dalam tabel berikut.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	W_f (gram)	f (%)	W_p (gram)	c (%)
1	50			1,15	0,28
2	60			1,68	0,37
3	70	10	0,25	3,83	0,44
4	80			4,76	0,45
5	90			4,01	0,43

- Variasi 50 A

$$Recovery\ ThO_2, 50\ A = \frac{1{,}15\ x\ 0{,}28}{10\ x\ 0{,}25} x100\%$$
$$Recovery\ ThO_2, 50\ A = 12{,}88\%$$

- Variasi 60 A

$$Recovery\ ThO_2, 60\ A = \frac{1{,}68\ x\ 0{,}37}{10\ x\ 0{,}25} x100\%$$
$$Recovery\ ThO_2, 60\ A = 24{,}86\%$$

- Variasi 70 A

$$Recovery\ ThO_2, 70\ A = \frac{3{,}83\ x\ 0{,}44}{10\ x\ 0{,}25} x100\%$$
$$Recovery\ ThO_2, 70\ A = 67{,}41\%$$

- Variasi 80 A

$$Recovery\ ThO_2, 80\ A = \frac{4{,}76\ x\ 0{,}45}{10\ x\ 0{,}25} x100\%$$
$$Recovery\ ThO_2, 80\ A = 85{,}68\%$$

- Variasi 90 A

$$Recovery\ ThO_2, 90\ A = \frac{4{,}01\ x\ 0{,}43}{10\ x\ 0{,}25} x100\%$$
$$Recovery\ ThO_2, 90\ A = 68{,}97\%$$

II. *Recovery* Fe_2O_3

Data massa *feed* dan *non-magnetic portion* beserta *grade* Fe_2O_3 di dalamnya yang digunakan untuk menghitung *recovery* Fe_2O_3 disajikan dalam tabel berikut.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	W_f (gram)	f (%)	W_p (gram)	c (%)
1	50			1,15	12.65
2	60			1,68	17.3
3	70	10	13,8	3,83	10.95
4	80			4,76	11.1
5	90			4,01	16.05

- Variasi 50 A

$$Recovery\ Fe_2O_3, 50\ A = \frac{1{,}15\ x\ 12{,}65}{10\ x\ 13{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ Fe_2O_3, 50\ A = 10{,}54\%$$

- Variasi 60 A

$$Recovery\ Fe_2O_3, 60\ A = \frac{1{,}68\ x\ 17{,}3}{10\ x\ 13{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ Fe_2O_3, 60\ A = 21{,}06\%$$

- Variasi 70 A

$$Recovery\ Fe_2O_3, 70\ A = \frac{3{,}83\ x\ 10{,}95}{10\ x\ 13{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ Fe_2O_3, 70\ A = 30{,}39\%$$

- Variasi 80 A

$$Recovery\ Fe_2O_3, 80\ A = \frac{4{,}76\ x\ 11{,}1}{10\ x\ 13{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ Fe_2O_3, 80\ A = 38{,}29\%$$

- Variasi 90 A

$$Recovery\ Fe_2O_3, 90\ A = \frac{4{,}01\ x\ 16{,}05}{10\ x\ 13{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ Fe_2O_3, 90\ A = 46{,}64\%$$

III. *Recovery* TiO_2

Data massa *feed* dan *non-magnetic portion* beserta *grade* TiO_2 di dalamnya yang digunakan untuk menghitung *recovery* TiO_2 disajikan dalam tabel berikut.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	W_f (gram)	f (%)	W_p (gram)	c (%)
1	50			1,15	22.95
2	60			1,68	35.4
3	70	10	40,8	3,83	43.95
4	80			4,76	41.9
5	90			4,01	42.7

- Variasi 50 A

$$Recovery\ TiO_2, 50\ A = \frac{1{,}15\ x\ 22{,}95}{10\ x\ 40{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ TiO_2, 50\ A = 6{,}47\%$$

- Variasi 60 A

$$Recovery\ TiO_2, 60\ A = \frac{1{,}68\ x\ 35{,}4}{10\ x\ 40{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ TiO_2, 60\ A = 14{,}58\%$$

- Variasi 70 A

$$Recovery\ TiO_2, 70\ A = \frac{3{,}83\ x\ 43{,}95}{10\ x\ 40{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ TiO_2, 70\ A = 41{,}26\%$$

- Variasi 80 A

$$Recovery\ TiO_2, 80\ A = \frac{4{,}76\ x\ 41{,}9}{10\ x\ 40{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ TiO_2, 80\ A = 48{,}88\%$$

- Variasi 90 A

$$Recovery\ TiO_2, 90\ A = \frac{4{,}01\ x\ 42{,}7}{10\ x\ 40{,}8} x100\%$$
$$Recovery\ TiO_2, 90\ A = 41{,}97\%$$

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

S.E. senyawa utama pasir monasit hasil *smelting* didapatkan dengan meninjau *grade* dan *recovery* masing-masing melalui perhitungan sebagai berikut.

$$S.E.(\%) = \frac{100\ .\ C\ .\ m\ .\ (c-f)}{(m-f)\ .\ f} x100\%$$

I. S.E. ThO_2

Berikut data yang digunakan untuk menghitung S.E. ThO_2 pasir monasit hasil *smelting*.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	W_f (gram)	W_p (gram)	C (%)	m (%)	c (%)	f (%)
1	50		1,15	0,115		0,28	
2	60		1,68	0,168		0,37	
3	70	10	3,83	0,383	87,88	0,44	0,25
4	80		4,76	0,476		0,45	
5	90		4,01	0,401		0,43	

- Variasi 50 A

$$S.E.\ ThO_2, 50\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}115\ .\ 87{,}88\ .\ (0{,}28-0{,}25)}{(0{,}28-0{,}25)\ .\ 0{,}25} x100\%$$
$$S.E.\ ThO_2, 50\ A\ (\%) = 1{,}38\%$$

- Variasi 60 A

$$S.E.\ ThO_2, 60\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}168\ .\ 87{,}88\ .\ (0{,}37-0{,}25)}{(0{,}37-0{,}25)\ .\ 0{,}25} x100\%$$
$$S.E.\ ThO_2, 60\ A\ (\%) = 8{,}09\%$$

- Variasi 70 A

$$S.E.\ ThO_2, 70\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}383\ .\ 87{,}88\ .\ (0{,}44-0{,}25)}{(0{,}44-0{,}25)\ .\ 0{,}25} x100\%$$
$$S.E.\ ThO_2, 70\ A\ (\%) = 29{,}19\%$$

- Variasi 80 A

$$S.E.\ ThO_2, 80\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}476\ .\ 87{,}88\ .\ (0{,}45-0{,}25)}{(0{,}45-0{,}25)\ .\ 0{,}25} x100\%$$
$$S.E.\ ThO_2, 80\ A\ (\%) = 38{,}19\%$$

- Variasi 90 A

$$S.E.\ ThO_2, 90\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}401\ .\ 87{,}88\ .\ (0{,}43 - 0{,}25)}{(0{,}43 - 0{,}25)\ .\ 0{,}25} x100\%$$
$$S.E.\ ThO_2, 90\ A\ (\%) = 28{,}95\%$$

II. S.E. Fe_2O_3

Berikut data yang digunakan untuk menghitung S.E. Fe_2O_3 pasir monasit hasil *smelting*.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	W_f (gram)	W_p (gram)	C (%)	m (%)	c (%)	f (%)
1	50		1,15	0,115		12.65	
2	60		1,68	0,168		17.3	
3	70	10	3,83	0,383	69,56	10.95	13,8
4	80		4,76	0,476		11.1	
5	90		4,01	0,401		16.05	

- Variasi 50 A

$$S.E.\ Fe_2O_3, 50\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}115\ .\ 69{,}56\ .\ (12{,}65 - 13{,}8)}{(12{,}65 - 13{,}8)\ .\ 13{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ Fe_2O_3, 50\ A\ (\%) = 1{,}2\%$$

- Variasi 60 A

$$S.E.\ Fe_2O_3, 60\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}168\ .\ 69{,}56\ .\ (17{,}3 - 13{,}8)}{(17{,}3 - 13{,}8)\ .\ 13{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ Fe_2O_3, 60\ A\ (\%) = 5{,}32\%$$

- Variasi 70 A

$$S.E.\ Fe_2O_3, 70\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}383\ .\ 69{,}56\ .\ (10{,}95 - 13{,}8)}{(10{,}95 - 13{,}8)\ .\ 13{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ Fe_2O_3, 70\ A\ (\%) = 9{,}87\%$$

- Variasi 80 A

$$S.E.\ Fe_2O_3, 80\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}476\ .\ 69{,}56\ .\ (11{,}1 - 13{,}8)}{(11{,}1 - 13{,}8)\ .\ 13{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ Fe_2O_3, 80\ A\ (\%) = 11{,}62\%$$

- Variasi 90 A

$$S.E.\ Fe_2O_3, 90\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}401\ .\ 69{,}56\ .\ (16{,}05 - 13{,}8)}{(16{,}05 - 13{,}8)\ .\ 13{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ Fe_2O_3, 50\ A\ (\%) = 8{,}16\%$$

III. S.E. TiO_2

Berikut data yang digunakan untuk menghitung S.E. Fe_2O_3 pasir monasit hasil *smelting*.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	W_f (gram)	W_p (gram)	C (%)	m (%)	c (%)	f (%)
1	50		1,15	0,115		22.95	
2	60		1,68	0,168		35.4	
3	70	10	3,83	0,383	59,93	43.95	40,8
4	80		4,76	0,476		41.9	
5	90		4,01	0,401		42.7	

- Variasi 50 A

$$S.E.\ TiO_2, 50\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}115\ .\ 59{,}93\ .\ (22{,}95 - 40{,}8)}{(22{,}95 - 40{,}8)\ .\ 40{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ TiO_2, 50\ A\ (\%) = 15{,}76\%$$

- Variasi 60 A

$$S.E.\ TiO_2, 60\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}168\ .\ 59{,}93\ .\ (35{,}4 - 40{,}8)}{(35{,}4 - 40{,}8)\ .\ 40{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ TiO_2, 50\ A\ (\%) = 6{,}97\%$$

- Variasi 70 A

$$S.E.\ TiO_2, 70\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}383\ .\ 59{,}93\ .\ (43{,}95 - 40{,}8)}{(43{,}95 - 40{,}8)\ .\ 40{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ TiO_2, 70\ A\ (\%) = 9{,}26\%$$

- Variasi 80 A

$$S.E.\ TiO_2, 80\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}476\ .\ 59{,}93\ .\ (41{,}9 - 40{,}8)}{(41{,}9 - 40{,}8)\ .\ 40{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ TiO_2, 80\ A\ (\%) = 4{,}02\%$$

- Variasi 90 A

$$S.E.\ TiO_2, 90\ A\ (\%) = \frac{100\ .\ 0{,}401\ .\ 59{,}93\ .\ (42{,}7 - 40{,}8)}{(42{,}7 - 40{,}8)\ .\ 40{,}8} x100\%$$
$$S.E.\ TiO_2, 90\ A\ (\%) = 5{,}85\%$$

5. Perhitungan Basisitas

Basisitas didapatkan melalui membandingkan *grade* SiO_2 dan CaO pasir monasit hasil *smelting*.

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

Berikut data *grade* CaO dan SiO_2 pada masing-masing variasi kuat arus listrik untuk menghitung basisitas pasir monasit hasil *smelting*.

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	CaO (%)	SiO_2 (%)
1	50	4,66	9,05
2	60	6,2	8,15
3	70	6,89	8,8
4	80	7,27	9,9
5	90	6,64	8,25

- Variasi 50 A

$$Basisitas, 50\ A = \frac{4,66}{9,05}$$
$$Basisitas, 50\ A = 0,51$$

- Variasi 60 A

$$Basisitas, 60\ A = \frac{6,2}{8,15}$$
$$Basisitas, 60\ A = 0,76$$

- Variasi 70 A

$$Basisitas, 70\ A = \frac{6,89}{8,8}$$
$$Basisitas, 70\ A = 0,78$$

- Variasi 80 A

$$Basisitas, 80\ A = \frac{7,27}{9,9}$$
$$Basisitas, 80\ A = 0,73$$

- Variasi 90 A

$$Basisitas, 90\ A = \frac{6,64}{8,25}$$
$$Basisitas, 90\ A = 0,8$$

6. Hasil Pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF)

a) Pasir Monasit

Sample ident: EL-163 (Pasir Monasit Smelting 0% - Non Magnetik 2) Oksida

Display all | 12360 | Seq.: 1/1 | Pos: 3 | Time: 28-okt-2021 13:33:46

Compound	Conc	Unit
SiO2	4,1	%
P2O5	1	%
CaO	6,89	%
TiO2	43,2	%
V2O5	0,41	%
MnO	1,48	%
Fe2O3	15,8	%
NiO	0,02	%
Y2O3	1,70	%
ZrO2	16,1	%
Nb2O5	0,44	%
SnO2	7,66	%
HfO2	0,42	%
WO3	0,18	%
ThO2	0,37	%
U3O8	0,09	%

Sample ident: EL-163 (Pasir Monasit Smelting 0% - Non Magnetik 2) Oksida 2

Display all | 12361 | Seq.: 1/1 | Pos: 3 | Time: 28-okt-2021 13:36:25

Compound	Conc	Unit
SiO2	4,2	%
P2O5	1	%
CaO	6,92	%
TiO2	43,1	%
V2O5	0,42	%
MnO	1,47	%
Fe2O3	15,7	%
NiO	0,02	%
Y2O3	1,69	%
ZrO2	16,0	%
Nb2O5	0,45	%
SnO2	7,81	%
HfO2	0,44	%
WO3	0,20	%
ThO2	0,36	%
U3O8	0,08	%

b) Variasi 50 A

Sample ident: EL-219 (Smelting Pasir Monasit Kode 50 Ampere) Oksida

Display all | 13108 | Seq.: 1/1 | Pos: 1 | Time: 23-mei-2022 14:34:31

Compound	Conc	Unit
Al203	0,5	%
Si02	8,8	%
P205	0,9	%
S03	10,9	%
Ca0	4,64	%
Ti02	23,0	%
V205	0,28	%
Mn0	0,777	%
Fe203	12,7	%
Cu0	17,5	%
As203	6,22	%
Y203	1,11	%
Zr02	10,1	%
Nb205	0,27	%
Sn02	2,0	%
Th02	0,27	%

Sample ident: EL-219 (Smelting Pasir Monasit Kode 50 Ampere) Oksida 2

Display all | 13109 | Seq.: 1/1 | Pos: 1 | Time: 23-mei-2022 14:40:49

Compound	Conc	Unit
Al203	0,5	%
Si02	9,3	%
P205	1	%
S03	10,9	%
Ca0	4,67	%
Ti02	22,9	%
V205	0,28	%
Mn0	0,776	%
Fe203	12,6	%
Cu0	17,3	%
As203	6,17	%
Y203	1,10	%
Zr02	9,95	%
Nb205	0,28	%
Sn02	1,9	%
Th02	0,29	%

c) Variasi 60 A

Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 60A nm) Oksida

Display all | 13145 | Seq.: 1/1 | Pos: 2 | Time: 30-mei-2022 12:25:30

Compound	Conc	Unit
SiO2	8,2	%
P2O5	1	%
SO3	2,9	%
CaO	6,17	%
TiO2	35,3	%
V2O5	0,42	%
MnO	1,43	%
Fe2O3	17,3	%
CuO	5,27	%
As2O3	1,77	%
Y2O3	1,64	%
ZrO2	12,8	%
Nb2O5	0,43	%
SnO2	4,5	%
WO3	0,20	%
ThO2	0,38	%

Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 60A nm) Oksida 2

Display all | 13146 | Seq.: 1/1 | Pos: 2 | Time: 30-mei-2022 12:28:22

Compound	Conc	Unit
SiO2	8,1	%
P2O5	0,8	%
SO3	3,0	%
CaO	6,22	%
TiO2	35,5	%
V2O5	0,42	%
MnO	1,43	%
Fe2O3	17,3	%
CuO	5,29	%
As2O3	1,77	%
Y2O3	1,63	%
ZrO2	13,0	%
Nb2O5	0,44	%
SnO2	4,5	%
WO3	0,22	%
ThO2	0,36	%

d) Variasi 70 A

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

Display all | 13100 | Seq.: 1/1 | Pos: 3 | Time: 17-mei-2022 16:00:50

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

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

Display all | 13101 | Seq.: 1/1 | Pos: 3 | Time: 17-mei-2022 16:03:34

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

e) Variasi 80 A

Sample ident: EL-208 (Pasir Monasit Hasil Smelting Kode 80A) Oksida

Display all | 13096 | Seq.: 1/1 | Pos: 2 | Time: 17-mei-2022 15:48:16

Compound	Conc	Unit
Al2O3	1,0	%
SiO2	10	%
SO3	1,2	%
CaO	7,24	%
TiO2	41,8	%
V2O5	0,48	%
MnO	1,53	%
Fe2O3	11,1	%
NiO	0,02	%
CuO	1,43	%
As2O3	0,35	%
Y2O3	1,99	%
ZrO2	18,2	%
Nb2O5	0,52	%
SnO2	2,3	%
WO3	0,080	%
OsO4	0,04	%
PbO	0,01	%
ThO2	0,45	%

Sample ident: EL-208 (Pasir Monasit Hasil Smelting Kode 80A) Oksida 2

Display all | 13097 | Seq.: 1/1 | Pos: 2 | Time: 17-mei-2022 15:50:52

Compound	Conc	Unit
Al2O3	1	%
SiO2	9,8	%
SO3	1,2	%
CaO	7,29	%
TiO2	42,0	%
V2O5	0,50	%
MnO	1,54	%
Fe2O3	11,1	%
NiO	0,02	%
CuO	1,43	%
As2O3	0,36	%
Y2O3	1,99	%
ZrO2	18,2	%
Nb2O5	0,52	%
SnO2	2,4	%
WO3	0,076	%
OsO4	0,02	%
PbO	0,02	%
ThO2	0,45	%

f) Variasi 90 A

Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 90A nm) Oksida

Display all | 13149 | Seq.: 1/1 | Pos: 3 | Time: 30-mei-2022 12:52:21

Compound	Conc	Unit
SiO2	8,0	%
CaO	6,66	%
TiO2	42,8	%
V2O5	0,44	%
MnO	1,61	%
Fe2O3	16,1	%
CuO	0,11	%
As2O3	0,02	%
Y2O3	1,90	%
ZrO2	16,5	%
Nb2O5	0,53	%
SnO2	4,4	%
HfO2	0,35	%
WO3	0,11	%
PbO	0,01	%
ThO2	0,44	%

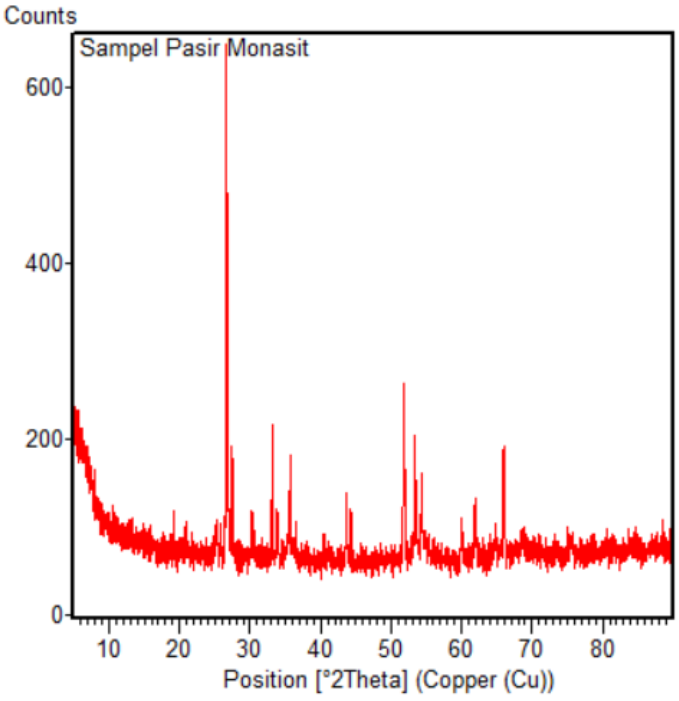
Sample ident: EL-239 (Smelting Pasir Monasit Kode 90A nm) Oksida 2

Display all | 13150 | Seq.: 1/1 | Pos: 3 | Time: 30-mei-2022 12:55:08

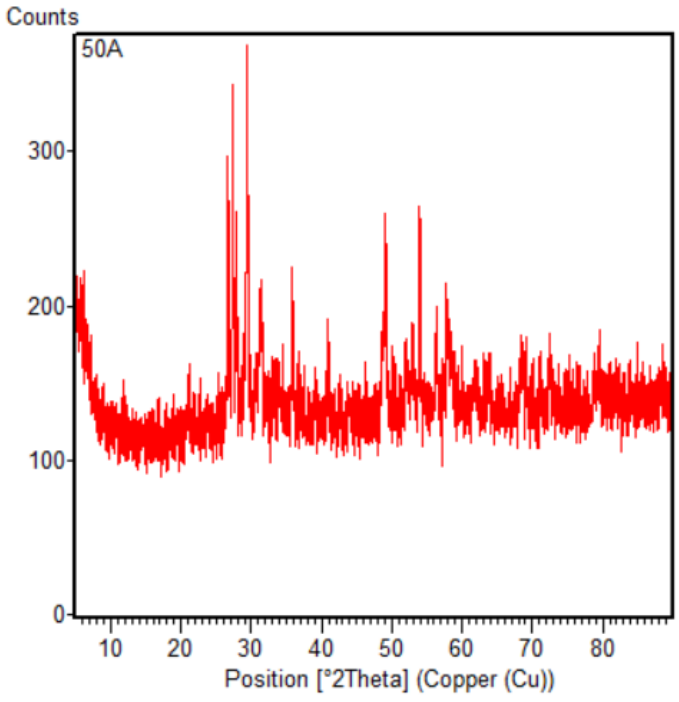
Compound	Conc	Unit
SiO2	8,5	%
CaO	6,61	%
TiO2	42,6	%
V2O5	0,50	%
MnO	1,60	%
Fe2O3	16,0	%
CuO	0,11	%
As2O3	0,01	%
Y2O3	1,89	%
ZrO2	16,4	%
Nb2O5	0,55	%
SnO2	4,3	%
HfO2	0,35	%
WO3	0,097	%
PbO	0,03	%
ThO2	0,42	%

7. Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

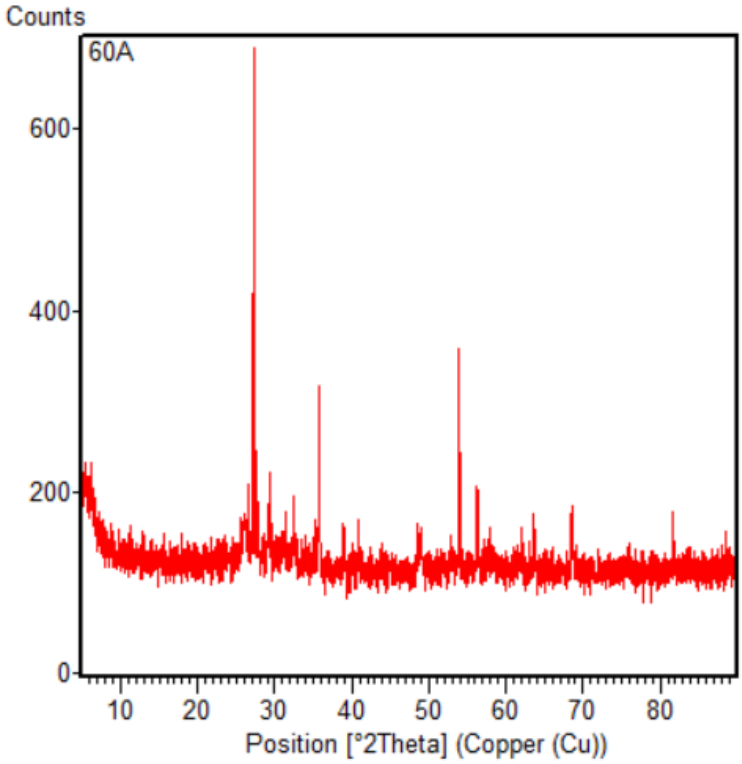
a) Pasir Monasit



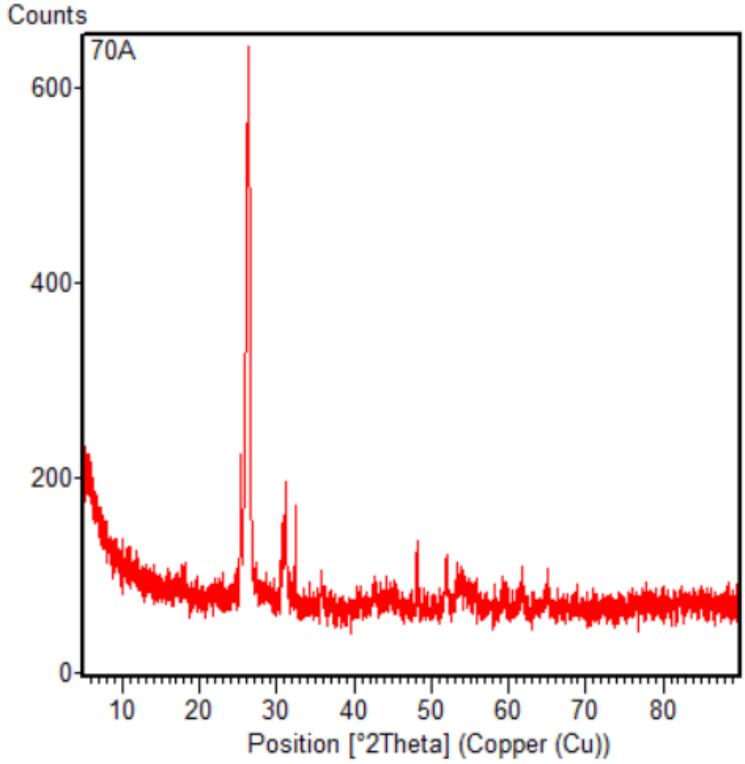
b) Variasi 50 A



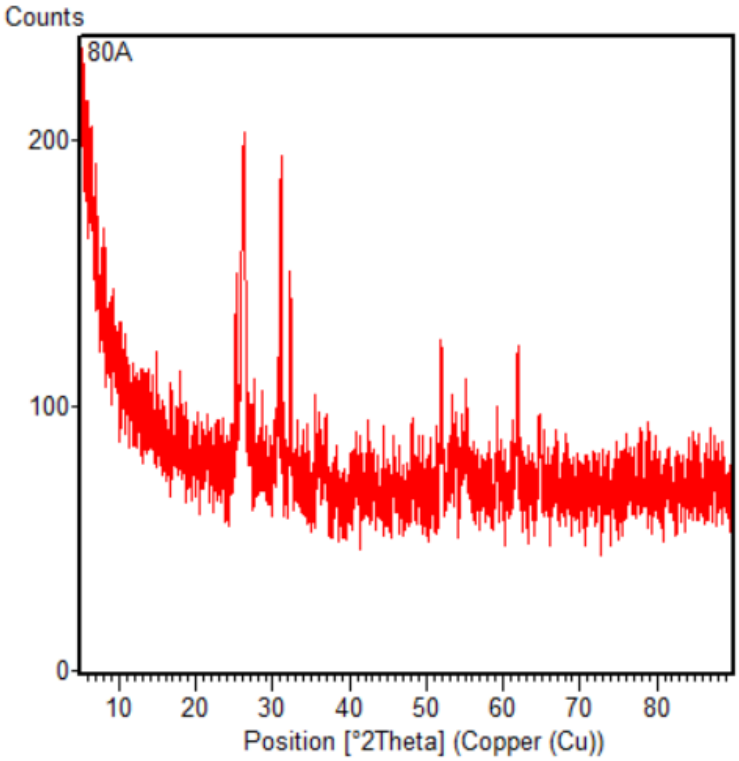
c) Variasi 60 A



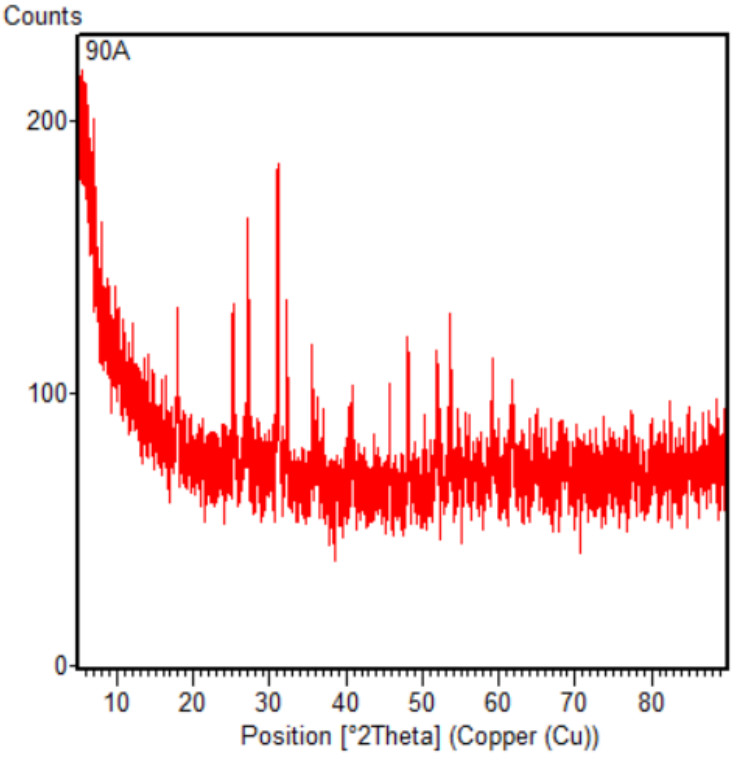
d) Variasi 70 A



e) Variasi 80 A



f) Variasi 90 A



8. Database *Reference* ICDD-JCPDS

a) Fe_2O_3

Date: 6/14/2022 Time: 1:53:09 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code:	01-073-0603
Mineral name:	Hematite, syn
Compound name:	Iron Oxide
Common name:	Iron(III) oxide - alpha
ICSD name:	Iron Oxide
Empirical formula:	Fe_2O_3
Chemical formula:	Fe_2O_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^3):	5.27
Volume of cell (10^6 pm^3):	301.75
Z:	6.00
RIR:	0.06

Subfiles and Quality

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

Comments

ICSD collection code:	022505
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/1/1970
ICSD Collection Code:	022505
Temperature Factor:	ATF. The Electron Density Distribution in Hematite, Fe2 O3 alpha, from Precision X-Ray Diffraction Data. e c (R3-CH). AZX3.

References

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

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 1:53:09 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	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

b) Fe_3O_4

Date: 6/14/2022 Time: 1:55:31 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 96-900-0140

Mineral name: Hematite
Compound name: Hematite
Common name: Hematite

Chemical formula: $Fe_{12.00}O_{18.00}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
Space group: R -3 c
Space group number: 167

a (Å): 5.0380
b (Å): 5.0380
c (Å): 13.7720
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000

Calculated density (g/cm^3): 5.26
Volume of cell (10^6 pm^3): 302.72

RIR: 3.32

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
User Mineral
Quality: None ( )

Comments

Creation Date: 10/25/2014 6:49:36 PM
Modification Date: 10/25/2014 6:49:36 PM
Publication title: Refinement of the hematite structure
COD database code: 9000139

References

Structure: Blake, R. L., Hessevick, R. E., Zoltai, T., Finger, L. W., *American Mineralogist*, **51**, 123 - 129, (1966)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.68552	24.128	29.0
2	1	0	4	2.70280	33.118	100.0
3	1	1	0	2.51900	35.612	71.3
4	0	0	6	2.29533	39.217	2.0
5	1	1	3	2.20838	40.829	20.0
6	2	0	2	2.07965	43.480	1.9

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 1:55:31 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

7	0	2	4	1.84276	49.419	37.7
8	1	1	6	1.69662	54.004	46.1
9	2	1	1	1.63738	56.127	0.6
10	1	2	2	1.60373	57.412	2.2
11	0	1	8	1.60136	57.505	8.7
12	2	1	4	1.48728	62.386	29.8
13	0	3	0	1.45435	63.964	14.4
14	1	2	5	1.41488	65.971	0.2
15	2	0	8	1.35140	69.501	3.1
16	1	0	10	1.31333	71.822	11.4
17	1	1	9	1.30782	72.171	2.0
18	2	1	7	1.26383	75.106	0.2
19	2	2	0	1.25950	75.409	6.4
20	0	3	6	1.22851	77.662	1.2
21	2	2	3	1.21461	78.720	1.1
22	1	3	1	1.20544	79.437	0.1
23	3	1	2	1.19183	80.529	1.5
24	1	2	8	1.19085	80.609	4.2
25	0	2	10	1.16455	82.822	5.6
26	0	0	12	1.14767	84.318	0.2
27	1	3	4	1.14163	84.867	8.0
28	3	1	5	1.10789	88.100	0.0
29	2	2	6	1.10419	88.472	7.7

c) FeO

Date: 6/14/2022 Time: 1:54:41 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code:	01-079-1969
Mineral name:	Wuestite, syn
Compound name:	Iron Oxide
ICSD name:	Iron Oxide
Empirical formula:	$Fe_{0.92}O$
Chemical formula:	$Fe_{.920}O$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	4.3611
b (Å):	4.3611
c (Å):	4.3611
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	5.39
Volume of cell (10^6 pm^3):	82.94
Z:	4.00
RIR:	3.73

Status, subfiles and quality

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

Comments

ICSD collection code:	067199
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/1/1970
ICSD Collection Code:	067199. Rietveld profile refinement applied
Temperature of Data Collection:	REM TEM 1050 C. Published data has been corrected through correspondence with the author
Temperature Factor:	ITF
Additional Patterns:	See PDF 01-079-1969. Point defect clusters in Wuestite. b a (FM3-M). AX.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 1:54:41 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Structure: Radler, M.J., Cohen, J.B., Faber, J., *J. Phys. Chem. Solids*, **51**, 217, (1990)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.51788	35.628	64.8
2	2	0	0	2.18055	41.374	100.0
3	2	2	0	1.54188	59.945	36.7
4	3	1	1	1.31492	71.721	10.4
5	2	2	2	1.25894	75.449	7.2
6	4	0	0	1.09028	89.904	2.1

d) SnO_2

Date: 6/14/2022 Time: 8:14:37 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code:	01-077-0449
Mineral name:	Cassiterite, syn
Compound name:	Tin Oxide
Common name:	Tin(IV) oxide - at 615 K
ICSD name:	Tin Oxide
Empirical formula:	O_2Sn
Chemical formula:	SnO_2

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	P42/mnm
Space group number:	136
a (Å):	4.7421
b (Å):	4.7421
c (Å):	3.1901
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	6.97
Volume of cell (10^6 pm^3):	71.74
Z:	2.00
RIR:	9.74

Status, subfiles and quality

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

Comments

ICSD collection code:	039175
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/1/1970
ICSD Collection Code:	039175
Temperature Factor:	ATF
Temperature of Data Collection:	REM TEM 342 C
Additional Patterns:	See PDF 01-077-0452. High temperature structures of the rutile-type oxides, Ti O2 and Sn O2. f a (P42/MNM). AX2.

References

1 Of 3

Date: 6/14/2022 Time: 8:14:37 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

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

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.35317	26.562	100.0
2	1	0	1	2.64691	33.838	76.7
3	2	0	0	2.37105	37.916	20.9
4	1	1	1	2.31124	38.936	3.4
5	2	1	0	2.12073	42.597	1.2
6	2	1	1	1.76609	51.718	54.5
7	2	2	0	1.67659	54.703	12.5
8	0	0	2	1.59505	57.754	6.1
9	3	1	0	1.49958	61.818	11.2
10	2	2	1	1.48410	62.535	0.1
11	1	1	2	1.44039	64.659	11.4
12	3	0	1	1.41636	65.893	13.9
13	3	1	1	1.35712	69.166	0.2
14	2	0	2	1.32345	71.188	5.5
15	2	1	2	1.27474	74.354	0.2
16	3	2	1	1.21594	78.618	8.2
17	4	0	0	1.18552	81.047	2.6
18	2	2	2	1.15562	83.606	5.3
19	4	1	0	1.15013	84.096	0.2
20	3	3	0	1.11772	87.129	2.4
21	3	1	2	1.09256	89.666	6.3

e) TiO_2 *Anatase*

Date: 6/14/2022 Time: 8:15:54 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 96-900-8217

Mineral name: Anatase
Compound name: Anatase
Common name: Anatase

Chemical formula: $Ti_{4.00}O_{8.00}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
Space group: I 41/a m d
Space group number: 141

a (Å): 3.8040
b (Å): 3.8040
c (Å): 9.6140
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm^3): 3.81
Volume of cell (10^6 pm^3): 139.12

RIR: 4.92

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
User Mineral
Quality: None ( )

Comments

Creation Date: 10/25/2014 7:04:41 PM
Modification Date: 10/25/2014 7:04:41 PM
Structure TIDY: TRANS Origin 0 3/4 5/8
Structure TIDY: REMARK Transformed from non-centrosymmetric setting.
Publication title: Refinement of the structure of anatase at several temperatures Sample: T = 800 C Locality: Legenbach quarry, Binnatal, Switzerland
COD database code: 9008216

References

Structure: Horn, M., Schwerdtfeger, C. F., Meagher, E. P., *Zeitschrift fur Kristallographie*, **136**, 273 - 281, (1972)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	3.53718	25.156	100.0
2	0	1	3	2.45087	36.637	6.4
3	0	0	4	2.40350	37.385	19.4

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 8:15:54 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

4	1	1	2	2.34733	38.314	7.7
5	0	2	0	1.90200	47.762	25.3
6	0	2	2	1.76859	51.640	0.0
7	0	1	5	1.71603	53.344	16.0
8	1	2	1	1.67518	54.753	15.6
9	1	2	3	1.50261	61.680	2.8
10	0	2	4	1.49149	62.191	11.5
11	1	1	6	1.37659	68.052	5.2
12	2	2	0	1.34492	69.884	5.3
13	0	1	7	1.29181	73.210	0.5
14	1	2	5	1.27411	74.397	8.0
15	0	3	1	1.25711	75.578	2.2
16	0	2	6	1.22544	77.893	0.0
17	0	0	8	1.20175	79.730	0.4
18	0	3	3	1.17906	81.584	0.6
19	2	2	4	1.17367	82.040	3.8
20	1	3	2	1.16695	82.615	1.8

f) TiO_2 *Rutile*

Date: 6/14/2022 Time: 1:53:29 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 00-034-0180

Mineral name: Rutile, syn
Compound name: Titanium Oxide
PDF index name: Titanium Oxide

Empirical formula: O_2Ti
Chemical formula: TiO_2

Crystallographic parameters

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

a (Å): 4.5930
b (Å): 4.5930
c (Å): 2.9590
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm^3): 4.25
Volume of cell (10^6 pm^3): 62.42
Z: 2.00

RIR: 9.96

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic
Mineral
Pharmaceutical
Quality: Calculated (C)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/1/1970
Cell parameters at 25 C. Deleted Or Rejected By: Deleted: something wrong, 22-1176 shows this pattern incorrect.

References

Primary reference: Smith, Zolensky, Dept. Geol. Sciences, Penn State Univ., University Park, PA, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1979)
Unit cell: Meagher, E., Lager., *Can. Mineral.*, **17**, 77, (1979)

Peak list

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 1:53:29 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.24800	27.438	100.0
2	1	0	1	2.48700	36.086	15.0
3	2	0	0	2.29700	39.188	27.0
4	2	1	1	1.68740	54.323	7.0
5	2	2	0	1.62390	56.634	6.0
6	3	1	0	1.45240	64.060	6.0
7	3	0	1	1.35980	69.010	1.0
8	1	1	2	1.34640	69.796	1.0
9	3	2	1	1.17000	82.352	1.0
10	4	0	0	1.14820	84.269	1.0
11	3	3	0	1.08260	90.719	1.0
12	4	1	1	1.04250	95.275	1.0
13	4	2	0	1.02700	97.109	1.0
14	1	0	3	0.96430	106.035	1.0
15	5	1	0	0.90080	117.548	1.0
16	2	1	3	0.88910	120.082	1.0

g) $FeTiO_3$

Date: 6/14/2022 Time: 2:27:32 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 01-075-1210

Mineral name: Ilmenite, syn
Compound name: Iron Titanium Oxide
Common name: Iron titanate
ICSD name: Iron Titanium Oxide

Empirical formula: FeO_3Ti
Chemical formula: $FeTiO_3$

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral
Space group: R-3
Space group number: 148

a (Å): 5.0691
b (Å): 5.0691
c (Å): 13.9849
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000

Calculated density (g/cm^3): 4.86
Volume of cell (10^6 pm^3): 311.21
Z: 6.00

RIR: 2.85

Status, subfiles and quality

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

Comments

ICSD collection code: 030671
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/1/1970
ICSD Collection Code: 030671
Calculated Pattern Original Remarks: REM PRE 25.4 kbar
Temperature Factor: ITF
Calculated Pattern Original Remarks: REM TEM Mentioned
Additional Patterns: See PDF 01-075-1212. Crystal structure of ilmenite (Fe Ti O3) at high temperature and high pressure. f c2 (R3-H). ABX3.

References

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 2:27:32 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

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

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	3	4.66163	19.023	0.2
2	1	0	1	4.18846	21.195	0.3
3	0	1	2	3.71797	23.915	35.4
4	1	0	4	2.73487	32.718	100.0
5	1	1	0	2.53455	35.386	68.6
6	0	1	5	2.35889	38.119	0.1
7	0	0	6	2.33082	38.596	1.7
8	1	1	-3	2.22671	40.478	22.7
9	0	2	1	2.16844	41.615	1.2
10	2	0	2	2.09423	43.162	1.6
11	0	2	4	1.85899	48.959	33.9
12	1	0	7	1.81839	50.126	0.5
13	2	0	5	1.72675	52.987	0.8
14	1	1	-6	1.71565	53.357	43.7
15	2	1	1	1.64770	55.744	0.7
16	0	1	8	1.62408	56.627	7.2
17	2	1	-2	1.61442	56.997	2.5
18	0	0	9	1.55388	59.435	0.1
19	1	2	-4	1.49901	61.844	25.1
20	0	3	7	1.47748	62.847	0.2
21	3	0	0	1.46332	63.526	24.9
22	2	1	-5	1.42704	65.339	0.4
23	0	3	3	1.39615	66.972	0.1
24	2	0	8	1.36744	68.571	1.9
25	1	0	10	1.33251	70.632	8.8
26	1	1	-9	1.32473	71.109	1.9
27	1	2	-7	1.27644	74.238	0.2
28	2	2	0	1.26727	74.867	5.2
29	3	0	6	1.23932	76.859	1.9
30	2	2	-3	1.22289	78.086	1.0
31	1	3	1	1.21297	78.848	0.1
32	2	1	-8	1.20346	79.594	2.9
33	3	1	2	1.15951	83.065	1.9
34	0	2	10	1.17944	81.552	4.3
35	0	0	12	1.16541	82.748	0.2
36	3	1	-4	1.14983	84.123	6.0
37	2	2	-6	1.11335	87.558	5.7
38	2	0	11	1.10014	88.883	0.1
39	4	0	1	1.09413	89.502	0.1

h) Fe_2TiO_4

Date: 6/14/2022 Time: 3:25:16 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code:	01-084-1595
Mineral name:	Maghemite, titanian
Compound name:	Iron Titanium Oxide
Common name:	Iron iron
ICSD name:	Iron Titanium Oxide
Empirical formula:	$Fe_{2.18}O_4Ti_{0.42}$
Chemical formula:	$Fe_{.23}(Fe_{1.95}Ti_{.42})O_4$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	P4332
Space group number:	212
a (Å):	8.3410
b (Å):	8.3410
c (Å):	8.3410
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	4.70
Volume of cell (10^6 pm^3):	580.30
Z:	8.00
RIR:	4.14

Subfiles and Quality

Subfiles:	Corrosion ICSD Pattern Inorganic Mineral
Quality:	Calculated (C)

Comments

ICSD collection code:	202597
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/1/1970
ICSD Collection Code:	202597
Temperature Factor:	ATF
Sample Source or Locality:	Specimen from Petoria, South Africa. Studies of the crystal structure and crystal chemistry of titanomaghemite. e d c2 b (P4332). A21X32.

References

Primary reference:	*Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)
Structure:	Collyer, S., Grimes, N.W., Vaughan, D.J., Longworth, G., *Am. Mineral.*, **73**, 153, (1988)

1 Of 2

Date: 6/14/2022 Time: 3:25:16 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	5.89798	15.009	3.9
2	1	1	1	4.81568	18.409	3.2
3	2	1	0	3.73021	23.835	3.8
4	2	1	1	3.40520	26.148	4.3
5	2	2	0	2.94899	30.284	36.5
6	2	2	1	2.78033	32.165	1.0
7	3	1	0	2.63766	33.960	1.6
8	3	1	1	2.51491	35.672	100.0
9	2	2	2	2.40784	37.315	2.9
10	3	2	0	2.31338	38.899	0.6
11	3	2	1	2.22923	40.430	0.3
12	4	0	0	2.08525	43.358	17.6
13	4	1	0	2.02299	44.763	0.3
14	4	1	1	1.96599	46.135	0.2
15	3	3	1	1.91356	47.475	0.1
16	4	2	1	1.82016	50.074	1.3
17	3	3	2	1.77891	51.337	0.1
18	4	2	2	1.70260	53.799	10.8
19	4	3	0	1.66820	55.001	0.6
20	5	1	0	1.63580	56.186	0.4
21	5	1	1	1.60523	57.354	26.4
22	5	2	0	1.54888	59.647	0.7
23	5	2	1	1.52285	60.773	1.5
24	4	4	0	1.47449	62.989	35.9
25	4	4	1	1.45198	64.081	0.5
26	5	3	0	1.43047	65.162	0.5
27	5	3	1	1.40989	66.235	0.2
28	4	4	2	1.39017	67.298	0.1
29	6	1	0	1.37125	68.354	0.3
30	5	3	2	1.35309	69.401	0.5
31	6	2	0	1.31883	71.476	3.5
32	6	2	1	1.30265	72.503	0.4
33	5	4	1	1.28704	73.526	0.1
34	5	3	3	1.27199	74.542	6.5
35	6	2	2	1.25745	75.554	1.4
36	5	4	3	1.24340	76.561	0.3
37	6	3	1	1.22981	77.564	0.1
38	4	4	4	1.20392	79.558	1.5
39	6	3	2	1.19157	80.550	0.3
40	7	1	0	1.17960	81.539	0.1
41	5	5	1	1.16797	82.527	0.1
42	6	4	0	1.15669	83.511	0.1
43	7	2	0	1.14572	84.494	0.1
44	5	5	2	1.13507	85.474	0.4
45	6	4	2	1.11461	87.434	3.2
46	7	2	2	1.10479	88.411	0.1
47	7	3	0	1.09523	89.388	0.2

i) ThO_2

Date: 6/30/2022 Time: 10:58:20 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 03-065-0292

Mineral name: Thoria, syn
Compound name: Thorium Oxide
PDF index name: Thorium Oxide

Empirical formula: O_2Th
Chemical formula: ThO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Fm-3m
Space group number: 225

a (Å): 5.7210
b (Å): 5.7210
c (Å): 5.7210
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm^3): 9.36
Volume of cell (10^6 pm^3): 187.25
Z: 4.00

RIR: 22.52

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: 1/1/1970
Modification Date: 1/1/1970
N 23225 21560. Temperature of Data Collection: 2000
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

Date: 6/30/2022 Time: 10:58:20 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3.30302	26.972	100.0
2	2	0	0	2.86050	31.244	34.4
3	2	2	0	2.02268	44.770	43.3
4	3	1	1	1.72495	53.047	37.1
5	2	2	2	1.65151	55.605	7.9
6	4	0	0	1.43025	65.174	5.5
7	3	3	1	1.31249	71.875	12.3
8	4	2	0	1.27925	74.048	8.9
9	4	2	2	1.16779	82.542	9.3
10	5	1	1	1.10101	88.795	8.0
11	4	4	0	1.01134	99.222	2.7
12	5	3	1	0.96703	105.607	7.8
13	6	0	0	0.95350	107.776	3.9
14	6	2	0	0.90457	116.765	3.9
15	5	3	3	0.87244	123.994	3.1
16	6	2	2	0.86247	126.538	2.6
17	4	4	4	0.82576	137.765	1.1
18	7	1	1	0.80110	148.121	5.6

j) CuO

Date: 6/25/2022 Time: 8:37:25 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 03-065-2309

Compound name: Copper Oxide
PDF index name: Copper Oxide

Empirical formula: CuO
Chemical formula: CuO

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic
Space group: C2/c
Space group number: 15

a (Å): 4.6620
b (Å): 3.4160
c (Å): 5.1180
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 99.4900
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm^3): 6.57
Measured density (g/cm^3): 6.45
Volume of cell (10^6 pm^3): 80.39
Z: 4.00

RIR: 5.13

Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic
NIST Pattern
Quality: Calculated (C)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/1/1970
N AL0043 3546. Temperature Factor: IB=Cu,O.

References

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*
Structure: G.Tunnell, *Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem.*, **A90**, 120, (1935)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.74212	32.630	5.1
2	0	0	2	2.52398	35.540	27.1
3	-1	1	1	2.51553	35.663	100.0

Date: 6/25/2022 Time: 8:37:25 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

4	1	1	1	2.31594	38.854	41.6
5	2	0	0	2.29910	39.150	16.0
6	-1	1	2	1.95533	46.401	1.3
7	-2	0	2	1.85909	48.956	18.9
8	1	1	2	1.77226	51.525	0.8
9	0	2	0	1.70800	53.615	6.9
10	0	2	1	1.61790	56.863	0.6
11	2	0	2	1.57527	58.549	9.5
12	-1	1	3	1.50148	61.731	8.0
13	0	2	2	1.41455	65.988	9.5
14	-3	1	1	1.40305	66.599	6.0
15	3	1	0	1.39842	66.849	3.2
16	1	1	3	1.37516	68.133	8.6
17	2	2	0	1.37106	68.365	11.0
18	-2	2	1	1.35731	69.155	0.3
19	-3	1	2	1.30957	72.060	0.2
20	3	1	1	1.29835	72.782	6.4
21	2	2	1	1.29140	73.237	0.3
22	0	0	4	1.26199	75.235	3.4
23	-2	2	2	1.25777	75.531	4.1
24	0	2	3	1.19868	79.975	0.1
25	-2	0	4	1.19231	80.490	1.2
26	-3	1	3	1.16568	82.776	3.9
27	2	2	2	1.15797	83.398	2.5
28	3	1	2	1.15196	83.932	0.2
29	4	0	0	1.14955	84.148	2.2
30	-2	2	3	1.11799	87.103	0.9
31	1	1	4	1.10586	88.304	0.1
32	-1	3	1	1.08876	90.064	1.4
33	1	3	1	1.07087	91.997	3.1
34	2	0	4	1.03654	96.000	0.6
35	2	2	3	1.01499	98.739	1.5
36	3	1	3	1.00382	100.236	1.3
37	4	0	2	0.98659	102.662	0.5
38	-1	1	5	0.97915	103.757	1.9
39	-2	3	4	0.97766	103.979	2.0
40	-4	2	1	0.96139	106.497	0.1
41	4	2	0	0.95367	107.748	1.1
42	-1	3	3	0.94108	109.876	1.9
43	-4	2	2	0.93542	110.870	1.6
44	-4	0	4	0.92955	111.928	0.9
45	1	1	5	0.91859	113.979	1.0
46	-3	3	1	0.91533	114.609	1.9
47	1	3	3	0.90745	116.176	0.8
48	-5	1	1	0.89937	117.850	1.4
49	5	1	0	0.88802	120.323	0.1
50	2	2	4	0.88613	120.751	1.4
51	3	3	1	0.88411	121.214	2.0
52	3	1	4	0.87379	123.662	0.1
53	0	2	5	0.86911	124.825	0.1
54	4	2	2	0.85431	128.755	1.5
55	5	1	1	0.85176	129.475	1.3
56	-5	1	3	0.84269	132.155	0.8
57	0	0	6	0.84133	132.576	0.4
58	-3	3	3	0.83851	133.460	0.7
59	-2	0	6	0.83581	134.328	0.8
60	3	3	2	0.83358	135.062	0.4
61	-1	1	6	0.82746	137.158	0.1
62	-4	2	4	0.81646	141.281	0.8
63	0	4	2	0.80855	144.435	1.2

Date: 6/25/2022 Time: 8:37:25 PM File: Sampel Pasir Monasit User: LENOVO

64	2	4	0	0.80056	148.395	1.2
65	3	1	2	0.79002	149.209	0.6

k) $CaTiO_3$

Date: 6/30/2022 Time: 10:51:15 PM File: 90A User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 00-040-0103

Compound name: Calcium Titanium Oxide
PDF index name: Calcium Titanium Oxide

Empirical formula: $Ca_2O_6Ti_2$
Chemical formula: $Ca_2Ti_2O_6$

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 pm^3): 985.97
Z: 8.00

RIR: -

Subfiles and Quality

Subfiles: Corrosion
Inorganic
Quality: Calculated (C)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/1/1970

References

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

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	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

l) Ca_3SiO_5

Date: 6/18/2022 Time: 9:17:37 AM File: 50A User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 96-900-8367

Mineral name: Hatrurite
Compound name: Hatrurite
Common name: Hatrurite

Chemical formula: $Ca_{108.00}Si_{36.00}O_{180.00}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic
Space group: C 1 m 1
Space group number: 8

a (Å): 33.0830
b (Å): 7.0270
c (Å): 18.4990
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 94.1200
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm^3): 3.18
Volume of cell (10^6 pm^3): 4289.43

RIR: 0.63

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
User Mineral
Quality: None ( )

Comments

Creation Date: 10/25/2014 7:04:57 PM
Modification Date: 10/25/2014 7:04:57 PM
Structure TIDY: TRANS Origin .56820 0 .24420
Publication title: Tricalcium silicate Ca3O[SiO4]: The monoclinic superstructure Locality: synthetic
COD database code: 9008366

References

Structure: Nishi, F., Takeuchi, Y., Maki, I., *Zeitschrift fur Kristallographie*, **172**, 297 - 314, (1985)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	18.45119	4.785	0.2
2	2	0	0	16.49875	5.352	0.1
3	2	0	-1	12.76300	6.920	0.3
4	2	0	1	11.88206	7.434	0.4
5	0	0	2	9.22560	9.579	0.0
6	2	0	-2	8.31060	10.637	0.1

1 Of 3

Date: 6/18/2022 Time: 9:17:37 AM File: 50A User: LENOVO

7	4	0	0	8.24938	10.716	0.2
8	2	0	2	7.81657	11.311	0.1
9	4	0	-1	7.74104	11.422	0.4
10	4	0	1	7.33710	12.053	0.4
11	1	1	0	6.87289	12.870	0.2
12	1	1	-1	6.47234	13.670	0.4
13	1	1	1	6.40929	13.806	0.0
14	4	0	-2	6.38150	13.866	0.1
15	0	0	3	6.15040	14.390	0.0
16	4	0	2	5.94103	14.900	5.9
17	3	1	0	5.92169	14.949	12.4
18	2	0	-3	5.90349	14.995	0.0
19	3	1	-1	5.70297	15.525	0.1
20	2	0	3	5.63208	15.722	0.1
21	3	1	1	5.57601	15.881	0.1
22	1	1	-2	5.55150	15.952	0.1
23	6	0	0	5.49958	16.103	1.4
24	1	1	2	5.47247	16.184	3.1
25	6	0	-1	5.37727	16.472	0.1
26	6	0	1	5.16976	17.138	0.1
27	4	0	-3	5.10987	17.340	0.0
28	3	1	-2	5.07343	17.466	0.2
29	3	1	2	4.89804	18.097	0.0
30	6	0	-2	4.88066	18.162	0.1
31	5	1	0	4.81059	18.428	0.1
32	4	0	3	4.76934	18.589	0.0
33	5	1	-1	4.71566	18.803	0.0
34	1	1	-3	4.61767	19.205	0.3
35	0	0	4	4.61280	19.226	0.1
36	5	1	1	4.59658	19.294	0.2
37	6	0	2	4.58137	19.359	0.0
38	1	1	3	4.54950	19.496	0.1
39	2	0	-4	4.52759	19.591	0.1
40	2	0	4	4.36192	20.343	0.1
41	5	1	-2	4.36016	20.351	0.3
42	3	1	-3	4.35074	20.396	0.4
43	6	0	-3	4.25433	20.863	0.1
44	3	1	3	4.18570	21.209	0.2
45	5	1	2	4.17678	21.255	0.3
46	4	0	-4	4.15530	21.366	0.5
47	8	0	0	4.12469	21.527	0.0
48	8	0	-1	4.08836	21.720	0.2
49	8	0	1	3.96514	22.404	0.1
50	6	0	3	3.96069	22.429	0.1
51	7	1	0	3.91469	22.696	0.1
52	4	0	4	3.90828	22.734	0.1
53	5	1	-3	3.88932	22.846	0.2
54	7	1	-1	3.87669	22.922	0.1
55	8	0	-2	3.87052	22.959	3.9
56	1	1	-4	3.85692	23.041	6.2
57	1	1	4	3.80387	23.367	0.3
58	7	1	1	3.78388	23.492	0.0
59	3	1	-4	3.70925	23.972	0.1
60	5	1	3	3.69641	24.056	0.0
61	0	0	5	3.69024	24.097	0.1
62	7	1	-2	3.68357	24.141	0.1
63	8	0	2	3.66855	24.242	0.2
64	6	0	-4	3.66628	24.257	0.3
65	2	0	-5	3.65767	24.315	0.1
66	3	1	4	3.57265	24.903	0.4

2 Of 3

Date: 6/18/2022 Time: 9:17:37 AM File: 50A User: LENOVO

67	2	0	5	3.54738	25.083	0.4
68	0	0	-3	3.54552	25.096	0.4
69	7	1	2	3.52876	25.217	4.8
70	0	2	0	3.51350	25.329	2.7
71	4	0	-5	3.46256	25.708	0.2
72	0	2	1	3.45148	25.792	0.1
73	2	2	0	3.43644	25.907	0.0
74	5	1	-4	3.42015	26.032	0.3
75	6	0	4	3.41545	26.069	0.1
76	7	1	-3	3.39552	26.224	0.1
77	2	2	-1	3.38749	26.288	0.2
78	2	2	1	3.36925	26.432	0.0
79	8	0	3	3.31718	26.855	0.2
80	10	0	0	3.29975	27.000	0.0
81	10	0	-1	3.28943	27.086	0.1
82	0	2	2	3.28344	27.136	0.1
83	4	0	5	3.28182	27.150	0.0
84	1	1	-5	3.27170	27.236	0.3
85	9	1	0	3.25054	27.416	1.0
86	5	1	4	3.24564	27.458	0.4
87	2	2	-2	3.23617	27.540	1.2
88	4	2	0	3.23252	27.572	0.1
89	1	1	5	3.23114	27.584	0.2
90	7	1	3	3.21668	27.711	0.1
91	10	0	1	3.20851	27.783	0.9
92	2	2	2	3.20464	27.817	0.2
93	4	2	-1	3.19937	27.863	0.0
94	8	0	-4	3.19075	27.940	0.1
95	3	1	-5	3.18772	27.967	0.2
96	10	0	-2	3.18029	28.034	0.1
97	6	0	-5	3.17156	28.113	3.1
98	4	2	1	3.16890	28.137	0.8
99	9	1	1	3.16696	28.155	0.1
100	9	1	-2	3.12891	28.504	0.1
101	3	1	5	3.07885	28.977	0.6
102	4	2	-2	3.07784	28.987	0.1
103	7	1	-4	3.07666	28.999	0.5
104	0	0	6	3.07520	29.013	0.1
105	2	0	-6	3.06303	29.131	0.3
106	0	2	-3	3.05079	29.250	0.0
107	10	0	2	3.03654	29.371	43.7
108	4	2	2	3.02422	29.513	100.0
109	2	2	-3	3.01923	29.563	0.3
110	9	1	2	3.00637	29.692	0.0
111	5	1	-5	3.00496	29.706	0.1
112	10	0	-3	2.99884	29.768	0.1
113	2	0	6	2.98475	29.912	0.1
114	2	2	3	2.98100	29.951	0.7

m) Fe_2SiO_4

Date: 6/18/2022 Time: 11:59:53 AM File: 90A User: LENOVO

Name and formula

Reference code: 96-900-0559

Mineral name: Fayalite
Compound name: Fayalite
Common name: Fayalite

Chemical formula: $Fe_{8.00}Si_{4.00}O_{16.00}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: P n m a
Space group number: 62

a (Å): 10.2200
b (Å): 6.0490
c (Å): 4.8010
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm^3): 4.56
Volume of cell (10^6 pm^3): 296.80

RIR: 1.47

Subfiles and Quality

Subfiles: User Inorganic
User Mineral
Quality: None ( )

Comments

Creation Date: 10/25/2014 6:50:21 PM
Modification Date: 10/25/2014 6:50:21 PM
Structure TIDY: TRANS b,c,a origin 1/2 1/2 1/2
Structure TIDY: REMARK Transformed from setting P b n m.
Publication title: Effects of temperature and pressure on the crystal structure of ferromagnesian olivine T = 23 deg C, P = 42 kb
COD database code: 9000558

References

Structure: Hazen, R. M., *American Mineralogist*, **62**, 286 - 295, (1977)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	2	0	0	5.11000	17.340	7.0
2	1	0	1	4.34541	20.421	13.9
3	2	1	0	3.90357	22.762	21.9
4	0	1	1	3.76051	23.640	5.7

1 Of 4

Date: 6/18/2022 Time: 11:59:53 AM File: 90A User: LENOVO

5	1	1	1	3.52918	25.214	54.8
6	2	0	1	3.49896	25.436	11.7
7	2	1	1	3.02876	29.468	5.7
8	0	2	0	3.02450	29.510	8.1
9	3	0	1	2.77830	32.193	100.0
10	2	2	0	2.60277	34.430	37.9
11	4	0	0	2.55500	35.094	11.8
12	3	1	1	2.52473	35.529	68.9
13	1	2	1	2.48240	36.155	97.9
14	0	0	2	2.40050	37.434	13.9
15	4	1	0	2.35366	38.207	10.7
16	1	0	2	2.33690	38.492	10.6
17	2	2	1	2.28815	39.346	7.8
18	4	0	1	2.25549	39.939	11.1
19	1	1	2	2.17900	41.387	5.9
20	2	0	2	2.17271	41.530	0.0
21	4	1	1	2.11336	42.753	0.0
22	3	2	1	2.04606	44.231	3.9
23	2	1	2	2.04480	44.260	2.6
24	3	0	2	1.96227	46.227	0.3
25	4	2	0	1.95179	46.490	1.8
26	5	0	1	1.88065	48.358	2.8
27	0	2	2	1.88025	48.369	0.2
28	2	3	0	1.87560	48.497	0.0
29	3	1	2	1.86652	48.748	0.1
30	0	3	1	1.85904	48.957	0.5
31	1	2	2	1.84922	49.234	2.7
32	1	3	1	1.82902	49.815	9.5
33	4	2	1	1.80808	50.432	0.0
34	5	1	1	1.79586	50.799	10.6
35	2	2	2	1.76459	51.766	77.4
36	4	0	2	1.74948	52.246	19.1
37	2	3	1	1.74702	52.326	3.1
38	6	0	0	1.70333	53.774	1.0
39	4	1	2	1.68060	54.561	7.3
40	3	2	2	1.64616	55.801	0.3
41	6	1	0	1.63957	56.045	14.3
42	3	3	1	1.63187	56.333	15.8
43	6	0	1	1.60529	57.351	0.4
44	5	2	1	1.59700	57.674	16.4
45	4	3	0	1.58282	58.243	6.3
46	1	0	3	1.58107	58.314	4.5
47	5	0	2	1.55626	59.335	0.2
48	6	1	1	1.55159	59.532	1.6
49	0	1	3	1.54711	59.722	0.0
50	1	1	3	1.53968	60.473	6.4
51	2	0	3	1.52718	60.582	1.7
52	1	3	2	1.52662	60.607	1.0
53	4	2	2	1.51438	61.146	4.3
54	0	4	0	1.51225	61.244	20.1
55	5	1	2	1.50718	61.473	3.9
56	4	3	1	1.50323	61.652	0.3
57	6	2	0	1.48415	62.533	17.9
58	2	1	3	1.48073	62.694	1.2
59	2	3	2	1.47796	62.825	0.1
60	2	4	0	1.45009	64.175	0.5
61	3	0	3	1.44847	64.255	5.5
62	1	4	1	1.42823	65.277	0.9
63	6	2	1	1.41795	65.810	0.2
64	3	1	3	1.40865	66.300	5.1

2 Of 4

Date: 6/18/2022 Time: 11:59:53 AM File: 90A User: LENOVO

65	3	3	2	1.40626	66.428	0.1
66	1	2	3	1.40117	66.701	8.5
67	7	0	1	1.39684	66.934	8.7
68	6	0	2	1.38915	67.354	0.0
69	2	4	1	1.38815	67.409	0.2
70	5	2	2	1.38381	67.649	0.1
71	5	3	1	1.37529	68.125	3.0
72	2	2	3	1.36326	68.811	7.8
73	7	1	1	1.36102	68.940	0.2
74	4	0	3	1.35625	69.216	0.7
75	6	1	2	1.35391	69.354	3.4
76	3	4	1	1.32824	70.893	13.4
77	4	1	3	1.32340	71.191	5.6
78	4	3	2	1.32142	71.314	1.0
79	3	2	3	1.30638	72.263	0.1
80	4	4	0	1.30138	72.585	2.7
81	6	3	0	1.30119	72.598	5.3
82	0	4	2	1.27952	74.030	5.2
83	8	0	0	1.27750	74.166	2.0
84	1	4	2	1.26961	74.706	1.6
85	7	2	1	1.26813	74.808	0.0
86	6	2	2	1.26236	75.209	5.4
87	5	0	3	1.26007	75.370	0.5
88	4	4	1	1.25606	75.652	0.7
89	6	3	1	1.25588	75.665	0.0
90	0	3	3	1.25350	75.834	0.4
91	8	1	0	1.24993	76.089	0.2
92	7	0	2	1.24740	76.271	0.5
93	1	3	3	1.24418	76.504	1.6
94	2	4	2	1.24120	76.721	0.1
95	4	2	3	1.23753	76.991	0.0
96	8	0	1	1.23454	77.211	0.0
97	5	1	3	1.23359	77.282	0.7
98	5	3	2	1.23198	77.401	1.7
99	7	1	2	1.22169	78.177	0.4
100	2	3	3	1.21741	78.505	0.3
101	8	1	1	1.20961	79.110	0.2
102	0	0	4	1.20025	79.850	3.8
103	3	4	2	1.19782	80.045	0.1
104	1	0	4	1.19206	80.510	0.5
105	5	4	1	1.17850	81.631	1.1
106	2	5	0	1.17726	81.736	0.8
107	8	2	0	1.17683	81.772	0.1
108	3	3	3	1.17639	81.809	2.6
109	0	5	1	1.17313	82.085	0.4
110	1	1	4	1.16956	82.390	0.0
111	2	0	4	1.16845	82.485	0.1
112	6	0	3	1.16632	82.669	0.0
113	1	5	1	1.16547	82.742	1.0
114	5	2	3	1.16316	82.943	6.7
115	7	2	2	1.15317	83.823	1.6
116	7	3	1	1.14823	84.267	0.2
117	2	1	4	1.14724	84.356	0.3
118	6	1	3	1.14523	84.539	0.7
119	4	4	2	1.14407	84.644	5.5
120	6	3	2	1.14394	84.656	2.1
121	2	5	1	1.14338	84.707	0.0
122	8	2	1	1.14299	84.743	1.0
123	3	0	4	1.13204	85.758	0.0
124	6	4	0	1.13087	85.868	0.1

3 Of 4

Date: 6/18/2022 Time: 11:59:53 AM File: 90A User: LENOVO

125	8	0	2	1.12775	86.164	2.4
126	4	3	3	1.12536	86.391	4.1
127	0	2	4	1.11561	87.335	0.0
128	3	1	4	1.11273	87.619	0.0
129	3	5	1	1.10920	87.969	3.8
130	1	2	4	1.10903	87.986	2.6
131	8	1	2	1.10864	88.025	2.6
132	9	0	1	1.10507	88.384	0.3
133	6	4	1	1.10075	88.822	0.2
134	4	5	0	1.09342	89.576	0.4
135	1	4	3	1.09284	89.636	1.6
136	2	2	4	1.08994	89.940	4.6

9. Dokumentasi Penelitian

UCAPAN TERIMA KASIH

Terdapat sebuah kebanggaan, ketika dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Terdapat sebuah kesedihan pula, ketika menyadari sudah habis kesempatan untuk menjalani hidup bersama di perkuliahan. Untuk mengenang jasa-jasa orang baik yang senantiasa turut beperan dalam penelitian tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Diono Purwanto dan Ibu Nurul Farida Hidayati, serta kakak penulis, yaitu Sofia Rizky Purwanto yang senantiasa memberikan do'a terbaik, motivasi yang berarti, dan semangat yang hangat.
2. Seluruh dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan ilmu dan nasihat selama masa perkuliahan berlangsung.
3. Sahabat penulis, yaitu Silvia Mutimmatus Syaadah yang menjadi tempat mencurahkan isi hati dan pikiran, serta senantiasa memberikan do'a terbaik dan semangat yang hangat.
4. Lodeh Asem Kunci, yaitu Wafiq dan Erika sebagai tempat bercerita dan bercanda selama masa perkuliahan
5. Kabinet HMMT Kontribusi 2021 yang lain, yaitu Feby, Ipeh, Safa, Lula, Karim, Arga, Fergi, Fernanda, Aldi, Ega, Serly, Ezra, Denby, dan Sabam yang membersamai ketika mengabdikan diri untuk HMMT.
6. Keluarga besar MT20 yang selalu ada menemani selama proses perkuliahan ini.
7. SMELTING ASYUUUUIK terdiri dari Raihan dan Ojil sebagai partner penelitian tugas akhir yang saling membantu dalam pelaksanaan penelitian,
8. Anggota Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material yang lain, yaitu Zafi, Fadhlan, Rachmat, Yulindarika, Ganang, Edric, dan Jojo yang selalu menemani dan memberikan dukungan ketika melaksanakan penelitian tugas akhir di laboratorium.
9. Grader Metalurgi, Grader Perlakuan Panas, dan Grader Pengolahan Mineral dan Material, serta praktikan penulis yang memberikan pengalaman berharga.
10. Keluarga "Matahati Family" yang menjadi tempat bercerita selama masa perkuliahan.
11. Keluarga "Kos Family", yaitu Yuslam, Darel, Syarief, Rikza, Byan, Fatah, dll yang menjadi teman dalam menghabiskan waktu senggang bersama.
12. Tendik Solid Team, yaitu Cak Bas, Cak Indro, Cak Dayat, dan Cak Natsir yang menjadi tempat bersenda gurau ketika beristirahat selama penelitian tugas akhir.
13. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Pada akhirnya, kebaikan akan terbalas lebih baik dengan kebaikan yang lain. Oleh karena itu, penulis senantiasa berdo'a agar diberikan waktu dan kesempatan suatu saat nanti untuk sejenak bercerita. Akhir kata, semoga penelitian tugas akhir ini dapat membawa manfaat untuk kehidupan manusia kedepannya.

Surabaya, 1 Juli 2022
Penulis

Kaisar Akbar Purwanto

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Kaisar Akbar Purwanto. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Diono Purwanto dan Ibu Nurul Farida Hidayati. Dilahirkan di Kabupaten Magetan, Jawa Timur pada tanggal 12 April 2000. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDIT Al-Furqon Maospati (2006-20012), SMPN 1 Magetan (2012-2015), dan SMAN 1 Magetan (2015-2018). Kemudian melanjutkan studi sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, Surabaya, melalui jalur penerimaan mahasiswa baru SNMPTN pada tahun 2018. Selama menjalani masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik sebagai Grader Metalurgi 2019-2021, Grader Perlakuan Panas 2020/2021, dan Grader Pengolahan Mineral dan Material 2021/2022. Selain itu, penulis juga pernah mendapatkan penghargaan sebagai Finalist Top 10 Lomba Karya Tulis Ilmiah oleh Omah Karya Indonesia. Penulis juga turut aktif dalam kegiatan non-akademik sebagai Ketua HMMT FTI-ITS 2021 dan Staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2019/2020. Sebagai persiapan dalam bekerja, penulis melaksanakan kerja praktik selama 2 bulan di Departemen Inspeksi Teknik PT. Petrokimia Gresik. Sementara itu, untuk menyelesaikan studi sarjana, penulis melakukan penelitian tugas akhir dalam bidang keprofesian Metalurgi Ekstraksi dengan judul "Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik *Electric Arc Furnace* Pada Proses *Smelting* Pasir Monasit Terhadap Komposisi Senyawa dan *Grade* ThO_2". Apabila terdapat hal yang ingin ditanyakan, penulis dapat dihubungi melalui alamat email: kaisarakbar14@gmail.com, nomor *handphone*: +6281615511275, dan profil *linkedin*: linkedin.com/in/kaisarakbar/.