

**PENGARUH RASIO BERAT PASIR BESI DAN NaOH TERHADAP
TINGKAT KEMURNIAN TiO₂ YANG DIPEROLEH DARI PELINDIAN
PASIR BESI LAMPUNG DENGAN KOMBINASI METODE FUSI
KAUSTIK DAN HIDROMETALURGI**

(Skripsi)

Oleh

INDRIYA WATI

1917041007



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH RASIO BERAT PASIR BESI DAN NaOH TERHADAP TINGKAT KEMURNIAN TiO₂ YANG DIPEROLEH DARI PELINDIAN PASIR BESI LAMPUNG DENGAN KOMBINASI METODE FUSI KAUSTIK DAN HIDROMETALURGI

Oleh

INDRIYA WATI

Di berbagai bidang teknologi, TiO₂ banyak dimanfaatkan karena memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh material lain. Salah satu bahan alam yang dapat dijadikan TiO₂ yaitu pasir besi. Provinsi Lampung memiliki pesisir pantai yang luas dengan keberadaan pasir besi yang berlimpah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan ekstraksi TiO₂. Proses ekstraksi dilakukan dengan kombinasi metode fusi kaustik dan hidrometalurgi. Proses fusi kaustik menggunakan variasi rasio berat antara pasir besi dan NaOH yaitu 1:2, 1:3, dan 1:4 yang dikalsinasi pada suhu 450 °C selama 2 jam. Kemudian dilakukan pelindian air pada suhu 80 °C selama 30 menit dan dilanjutkan dengan proses hidrometalurgi menggunakan larutan H₂SO₄ dengan konsentrasi 10 M yang dipanaskan pada suhu 90 °C selama 90 menit. Persentase TiO₂ yang dihasilkan setelah proses sintesis mengalami peningkatan terutama pada sampel dengan rasio berat pasir besi dan NaOH (1:3) dari 14,406% menjadi 21,352%. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fasa TiO₂ yang terbentuk setelah proses ekstraksi adalah *magnetite*, *hematite*, *ilmenite*, *rutile*, *quartz*, dan *anorthite*. Bentuk morfologi permukaan dari sampel cenderung seperti bulatan, lonjong, dan persegi yang tidak beraturan.

Kata Kunci: Pasir besi, Provinsi Lampung, NaOH, TiO₂

ABSTRACT

EFFECT OF THE WEIGHT RATIO OF IRON SAND AND NaOH ON THE LEVEL PURITY OF TiO₂ OBTAINED FROM LEACHING OF LAMPUNG'S IRON SAND USING COMBINATION OF CAUSTIC FUSSION AND HYDROMETALURGICAL METHODS

By

INDRIYA WATI

In various fields of technology, TiO₂ is widely used because it has advantages that other materials do not have. One of the natural materials that can be used as a source of TiO₂ is iron sand. Lampung Province has a wide coastline with abundant presence of iron sand so that it can be used as a TiO₂ extraction material. The extraction process was carried out using a combination of caustic fusion and hydrometallurgical methods. The caustic fusion process by variation iron sand and NaOH (i.e., 1:2, 1:3, and 1:4) which were calcined at 450 °C for 2 hours. Then water leaching was carried out at a temperature of 80 °C for 30 minutes and followed by a hydrometallurgical process using a solution of H₂SO₄ with 10 M concentration which was heated at a temperature of 90 °C for 90 minutes. The percentage of TiO₂ produced after the synthesis process has increased, especially in samples with a weight ratio of iron sand and NaOH (1:3) from 14,406% to 21,352%. The XRD characterization results show that the TiO₂ phases formed after the extraction process are magnetite, hematite, ilmenite, rutile, quartz, and anorthite. The surface morphology of the sample tends to be round, oval, and irregular square.

Keywords: Iron sand, Lampung Province, NaOH, TiO₂

**PENGARUH RASIO BERAT PASIR BESI DAN NaOH TERHADAP
TINGKAT KEMURNIAN TiO₂ YANG DIPEROLEH DARI PELINDIAN
PASIR BESI LAMPUNG DENGAN KOMBINASI METODE FUSI
KAUSTIK DAN HIDROMETALURGI**

Oleh

INDRIYA WATI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Penelitian : **PENGARUH RASIO BERAT PASIR BESI DAN NaOH TERHADAP TINGKAT KEMURNIAN TiO₂ YANG DIPEROLEH DARI PELINDIAN PASIR BESI LAMPUNG DENGAN KOMBINASI METODE FUSI KAUSTIK DAN HIDROMETALURGI**

Nama Mahasiswa : **Indriya Wati**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917041007**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.
NIP 19770318 200012 1 003


Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.
NIP 19900616 201903 1 016

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Gurum Ahmad Fauzi, S.Si., M.T.
NIP 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si......

Sekretaris : Iqbal Firdaus S.Si., M.Si......

**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.**.....



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Mei 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana dituliskan pada daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila terdapat pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan hukuman yang berlaku.

Bandar Lampung, 29 Mei 2023



Indriya Wati
NPM. 1917041007

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Indriya Wati, dilahirkan di Kecamatan Balaraja, Kabupaten Tangerang pada tanggal 9 Januari 2002 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Ahmid dan Ibu Mariyati. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Sentul pada tahun 2007-

2013, Madrasah Tsanawiyah Nurul Adzim Balaraja pada tahun 2013-2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Kabupaten Tangerang pada tahun 2016-2019.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi sebagai anggota bidang kaderisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) tahun 2021, staff ahli advokasi dan kesejahteraan mahasiswa BEM-FMIPA tahun 2021, dan anggota bidang kaderisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (UKM-P) Universitas Lampung tahun 2021. Selain aktif di berbagai organisasi, penulis juga pernah meraih penghargaan medali perak bidang Bahasa Inggris pada Kompetisi Hari Pendidikan Nasional tahun 2021, menjadi asisten praktikum Pemrograman Komputer tahun 2022, Fisika Komputasi, Fisika Eksperimen, dan Lapisan Tipis tahun 2023. Pada tahun 2020, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di

Pusat Riset Fisika – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRF – BRIN) dengan judul “Pengaruh Perubahan Jenis *Fuel* Material Terhadap Karakter Termal pada Komposisi 17Al/Sn-68ZnO- 15Arabic Gum”. Penulis pernah melakukan kegiatan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Wonoharjo, Kecamatan Sumberejo, Kabupaten Tanggamus di tahun 2022. Selain itu, penulis menyelesaikan kegiatan penelitian terkait Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Rasio Berat Pasir Besi dan NaOH Terhadap Tingkat Kemurnian TiO₂ yang Diperoleh dari Pelindian Pasir Besi Lampung Dengan Kombinasi Metode Fusi Kaustik dan Hidrometalurgi” di Laboratorium Fisika Material FMIPA, Universitas Lampung pada tahun 2022.

MOTTO

"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum hingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri."

(Q.S. Ar Rad: 11)

"Jangan katakan pada Allah '*aku punya masalah besar*', tetapi katakan pada masalah bahwa '*aku punya Allah Yang Maha besar*'."

(Ali bin Abi Thalib)

"Keberhasilan tidak akan tercapai tanpa do'a dan dukungan orang tua"

(Indriya Wati)

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT., Kupersembahkan karya ini untuk kedua
orang tuaku tercinta:

AHMID & MARIYATI

Dan adikku tersayang.....

ANDINI GUSTIANINGSIH

Bapak Ibu Dosen dan teman-teman Fisika 2019

Jurusan Fisika FMIPA Unila

Serta

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Rasio Berat Pasir Besi dan NaOH Terhadap Tingkat Kemurnian TiO₂ yang Diperoleh dari Pelindian Pasir Besi Lampung Dengan Kombinasi Metode Fusi Kaustik dan Hidrometalurgi”** sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dari pembaca demi penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 29 Mei 2023

Penulis,

Indriya Wati

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Rasio Berat Pasir Besi dan NaOH Terhadap Tingkat Kemurnian TiO₂ yang Diperoleh dari Pelindian Pasir Besi Lampung Dengan Kombinasi Metode Fusi Kaustik dan Hidrometalurgi”**. Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari semangat, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, arahan, bimbingan, motivasi serta ilmunya selama penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, masukan, dan ilmunya selama penelitian, penulisan skripsi, maupun selama penulis menempuh perkuliahan di jurusan Fisika.
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan koreksi, masukan, dan ilmunya selama penulisan skripsi.

4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Yanti Yuliyanti selaku Sekretaris Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu dosen jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
8. Kedua orang tuaku bapak Ahmid dan Ibu Mariyati, serta adikku tersayang Andini yang telah memberikan do'a dan semangat untuk penulis.
9. Fajar, Zidan, Hania, Afifah, Kurnia, Aryu, dan Tim Ilmenit yang telah membantu penulis selama perkuliahan hingga tugas akhir.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika 2019 Frila, Vivi, Hilya, Aisyah, Tresna, Nabilah, Ruth, Daffa, Rizki, dan masih banyak lagi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT. membalas kebaikan dari seluruh pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 29 Mei 2023
Penulis,

Indriya Wati

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN SAMPUL.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
PERSEMBAHAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pasir Besi	7
2.2 Titanium Dioksida (TiO ₂)	8
2.2.1 TiO ₂ <i>Rutile</i>	8
2.2.2 TiO ₂ <i>Anatase</i>	9
2.2.3 TiO ₂ <i>Brookite</i>	10

2.3 Metode Sintesis TiO ₂	12
2.3.1 Metode Fusi Kaustik	12
2.3.2 Metode Hidrometalurgi	14
2.4 X-Ray Fluorescence (XRF)	15
2.5 Difraksi Sinar-X	17
2.6 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	19
2.7 Penelitian Terkait	21

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.2.1 Alat Penelitian	24
3.2.2 Bahan Penelitian	24
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.3.1 Karakterisasi Kandungan Senyawa di Pasir Besi	25
3.3.2 Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi	25
3.4 Diagram Alir	26
3.4.1 Proses Preparasi <i>Raw Material</i>	26
3.4.2 Proses Fusi Kaustik	28
3.4.3 Proses Hidrometalurgi	29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi Lampung	30
4.2 Hasil Karakterisasi XRF	35
4.3 Hasil Karakterisasi XRD	36
4.3.1 Analisis Kualitatif	37
4.3.2 Analisis Kuantitatif	39
4.4 Hasil Karakterisasi SEM	41

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Visualisasi struktur kristal TiO_2 <i>rutile</i>	9
Gambar 2.2 Visualisasi struktur kristal TiO_2 <i>anatase</i>	10
Gambar 2.3 Visualisasi struktur kristal TiO_2 <i>brookite</i>	11
Gambar 2.4 Prinsip kerja <i>X-Ray Fluorescence</i>	15
Gambar 2.5 Difraksi sinar-X pada suatu kristal	18
Gambar 2.6 Alat SEM	19
Gambar 2.7 Proses terbentuknya BSE.....	20
Gambar 2.8 Proses terbentuknya SE	21
Gambar 3.1 Diagram alir proses preparasi <i>raw material</i>	27
Gambar 3.2 Diagram alir proses fusi kaustik	28
Gambar 3.3 Diagram alir proses hidrometalurgi	29
Gambar 4.1 (a) Pasir besi, (b) Pasir besi setelah dihaluskan dan diayak dengan ayakan -325 mesh.....	30
Gambar 4.2 Pasir besi : NaOH setelah <i>roasting</i> , (a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4.....	31
Gambar 4.3 Proses pelindian air setelah sampel di- <i>roasting</i> dengan NaOH (a) kali pertama, (b) kali kedua, (c) kali ketiga, d) kali keempat	32
Gambar 4.4 Proses hidrometalurgi	33
Gambar 4.5 Sampel setelah melalui proses hidrometalurgi dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 30 menit.....	34

Gambar 4.6 Sampel setelah dikalsinasi pada suhu 480 °C selama 2 jam.....	34
Gambar 4.7 Difraktogram hasil analisis XRD <i>raw material</i> dan sampel dengan rasio berat pasir besi : NaOH = 1:3	37
Gambar 4.8 Grafik hasil <i>refinement</i> menggunakan <i>software</i> rietica <i>raw material</i> (b) sampel TiO ₂ (pasir besi : NaOH = 1:3)	39
Gambar 4.9 Bentuk morfologi partikel <i>raw material</i> dan sampel dengan rasio berat pasir besi dan NaOH (1:3)	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Hasil karakterisasi XRF pada pasir besi dan sampel dengan rasio berat pasir besi dan NaOH (1:2, 1:3, dan 1:4) menggunakan konsentrasi H ₂ SO ₄ 10 M	35
Tabel 4.2 Identifikasi fasa yang terbentuk pada sampel	38
Tabel 4.3 Parameter kesesuaian <i>refinement</i> dari data XRD pada sampel	40
Tabel 4.4 Fasa yang terbentuk pada sampel dalam % berat.....	41

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri logam, pemanfaatan pasir besi di beberapa negara sangatlah besar. Salah satunya yakni Amerika yang telah memanfaatkan mineral pasir besi dengan kadar besi (Fe) mencapai 35% keatas. Tentunya Indonesia lebih berpotensi dalam memanfaatkan pasir besi karena Indonesia memiliki wilayah perairan yang luas sehingga bisa dijadikan sumber utama untuk memperoleh pasir besi dengan kadar besi yang tinggi. Provinsi Lampung termasuk daerah yang memiliki pesisir pantai yang cukup luas dengan keberadaan mineral pasir besi yang berlimpah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan ekstraksi TiO_2 . Selain itu, cadangan pasir besi di wilayah Lampung, Aceh, Bengkulu, Jawa dan Bali sekitar 158.893.645 ton dengan kandungan TiO_2 sebanyak 5,4 - 23,17% (Hilman dkk., 2014).

Pasir besi termasuk salah satu material magnetik berupa endapan besi yang terbentuk akibat adanya pengikisan batuan alam yang mengandung mineral besi. Mineral utama yang terkandung dalam pasir besi seperti unsur Fe dan Ti yang berikatan dengan unsur lainnya. Unsur Fe dan Ti akan saling berikatan dan membentuk senyawa *ilmenite* (FeTiO_3), *hematite* (Fe_2O_3), dan *magnetite* (Fe_3O_4) (Setiawati dkk., 2013). Namun, biasanya senyawa *ilmenite* yang dapat diekstraksi menjadi TiO_2 (Mahdi dkk., 2013).

Berdasarkan jumlah pasir besi di Indonesia yang sangat berlimpah karena dapat dijumpai di sepanjang pantai, sehingga mudah untuk ditambang dan diolah menjadi bahan lain yang bernilai lebih tinggi. Namun hingga saat ini pemanfaatan pasir besi masih dikatakan kurang efektif karena biasanya hanya dijual ke konsumen dalam bentuk mentahnya saja (Mohar dkk., 2013). Hal ini menjadi alasan tersendiri untuk melakukan penelitian terkait pemanfaatan pasir besi sebagai sumber daya alam yang jumlahnya melimpah di Indonesia.

TiO₂ termasuk bahan semikonduktor yang memiliki nilai celah pita energi yang lebar sekitar 3,2 eV. TiO₂ memiliki banyak kelebihan seperti harganya murah, stabil secara kimia, tidak beracun dan tidak memiliki daya serap terhadap cahaya tampak. Senyawa titanium dioksida dikenal tidak toksik, memiliki stabilitas termal cukup tinggi, dan kemampuannya digunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya (Ratnasari, 2014). Dalam bidang industri, TiO₂ memiliki peranan penting yaitu sebagai pigmen, adsorben, pendukung katalitik, dan semikonduktor (Setiawati dkk., 2006). Selain itu dapat TiO₂ juga dapat digunakan sebagai antibakteri pada kemasan (Augustu, 2017).

Beberapa metode yang telah digunakan untuk mengekstraksi titanium dari pasir besi antara lain fusi kaustik, pirometalurgi, dan hidrometalurgi. pada proses fusi kaustik, *ilmenite* dicampurkan dengan alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) maupun kalium hidroksida (KOH) yang kemudian dikalsinasi pada suhu tertentu untuk menguraikan *ilmenite* menjadi natrium titanat (Na₂TiO₃) maupun kalium titanat (K₂Ti₆O₁₃) (Aristanti dkk., 2017). Hal ini akan memudahkan senyawa TiO₂ larut dalam larutan asam. Sedangkan, pada proses pirometalurgi, *ilmenite* direduksi

dengan bantuan karbon pada suhu tinggi sehingga besi pada *ilmenite* dapat tereduksi dan menghasilkan *slag* yang kaya akan TiO_2 . Sementara itu pada proses hidrometalurgi, *ilmenite* dilarutkan menggunakan larutan asam klorida (HCl) maupun asam sulfat (H_2SO_4). Kelemahan metode pirometalurgi yaitu tidak semua besi dapat terpisah dengan TiO_2 sehingga dibutuhkan kondisi pemanasan lebih lanjut yang mampu melelehkan besi. Sedangkan kelemahan pada proses hidrometalurgi yaitu proses ekstraksi berlangsung sangat lama karena membutuhkan proses kalsinasi pada suhu yang cukup tinggi dan menghasilkan TiO_2 yang sangat sedikit (Setiawati, 2013).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Subagja dkk (2012) dalam ekstraksi TiO_2 dari pasir besi menggunakan variasi perbandingan rasio mol pasir besi dan NaOH sebesar 1:0,5, 1:1, 1:3, dan 1:4. Selain itu, suhu saat *roasting* juga divariasikan dari 400 °C sampai dengan 800 °C serta dilakukan variasi waktu *roasting* dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa intensitas difraksi sinar-X dari fasa natrium titanat dan natrium ferit meningkat jika perbandingan mol pasir besi dan NaOH ditingkatkan dari 0,5 sampai 4, suhu *roasting* dinaikkan dari 400 °C menjadi 800 °C dan waktu *roasting* ditingkatkan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam (Subagja dkk., 2012). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Firdaus dkk (2021) untuk mengetahui kandungan TiO_2 dari pasir besi Lampung dengan metode pelindian berdasarkan variasi suhu. Pasir besi dicampur dengan natrium bikarbonat (NaHCO_3), kemudian dipanaskan pada suhu 700 °C selama satu jam. Penelitian ini menggunakan 5 sampel dengan variasi suhu *leaching* 70, 80, 90, 100, dan 110 °C selama 2 jam. Proses *acid leaching* menggunakan HCl 12 M dengan perbandingan besi pasir dan HCl 1:4,

sedangkan proses *water leaching* menggunakan aquades sebanyak 50 ml. Selanjutnya, sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan XRF untuk mengetahui kandungan TiO_2 pada pasir besi. Hasilnya menunjukkan bahwa kandungan TiO_2 tertinggi diperoleh pada sampel dengan suhu pelindian $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam, yaitu sekitar 61% (Firdaus dkk 2021). Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Marjunus dkk (2022) untuk mengetahui kandungan TiO_2 dari pasir besi Lampung dengan metode *acid leaching*. Sebelumnya, pasir besi dicampur dengan natrium bikarbonat (NaHCO_3) dan dikalsinasi pada suhu 700°C selama satu jam. Untuk mengetahui kadar TiO_2 dari pasir besi Lampung dilakukan dengan variasi konsentrasi HCl 4, 6, 8, 10, dan 12 M pada proses *leaching* selama 2 jam dengan suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ dan $110\text{ }^\circ\text{C}$. Kemudian dilakukan proses *water leaching* dengan menggunakan 50 ml aquades. Setelah itu, sampel dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD untuk mengetahui kadar TiO_2 dalam pasir besi Lampung. Hasilnya diperoleh kandungan TiO_2 tertinggi pada sampel dengan konsentrasi HCl 12 M pada suhu pelindian $110\text{ }^\circ\text{C}$ sebesar 33,737% (Marjunus dkk., 2022).

Pada penelitian ini, akan dikombinasikan metode fusi kaustik dan hidrometalurgi untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi titanium dioksida (TiO_2) dari pasir besi. Pada bagian metode fusi kaustik akan digunakan Natrium Hidroksida (NaOH) yang berbentuk padatan putih dengan perbandingan rasio berat sebesar 1:2, 1:3, dan 1:4 antara pasir besi dan NaOH. Penambahan Natrium Hidroksida (NaOH) ini bertujuan untuk mempermudah ekstraksi TiO_2 yang akan membentuk natrium titanat. Metode pelindian menggunakan metode fusi kaustik dapat meningkatkan kemurnian TiO_2 (Aristanti dkk., 2019). Namun, pada proses fusi kaustik titanium dioksida (TiO_2) masih terikat dalam garam kompleks Na-Ti-Fe-O sehingga

diperlukan proses lanjutan untuk mendapatkan titanium dioksida (TiO_2) murni. Selanjutnya, akan dilakukan proses *leaching* dengan asam sulfat (H_2SO_4) yang memiliki konsentrasi 10 M untuk memperoleh titanium dioksida (TiO_2) dari proses fusi kaustik. Asam sulfat (H_2SO_4) dipilih pada proses *leaching* karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muharrom (2018), asam sulfat (H_2SO_4) memiliki nilai efisiensi ekstraksi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan asam klorida (HCl) dan asam nitrat (HNO_3) yaitu sebesar 69%. Karakterisasi yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia pada bahan uji, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa kristal pada sampel, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan pada sampel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan NaOH terhadap tingkat kemurnian TiO_2 dari pasir besi Lampung?
2. Apakah kombinasi metode fusi kaustik dan hidrometalurgi dapat dikatakan efektif untuk meningkatkan kemurnian TiO_2 dari pasir besi Lampung?
3. Bagaimana komposisi kimia, fasa, dan bentuk morfologi yang dihasilkan oleh sampel?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan NaOH terhadap tingkat kemurnian TiO_2 dari pasir besi Lampung.

2. Mengetahui tingkat efektivitas penggunaan kombinasi metode fusi kaustik dan hidrometalurgi dalam peningkatan kemurnian TiO₂.
3. Mengetahui komposisi kimia, fasa, dan bentuk morfologi yang terbentuk oleh sampel.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Pasir besi yang digunakan berasal dari Provinsi Lampung.
2. Menggunakan perbandingan rasio berat 1:2, 1:3, dan 1:4 antara pasir besi dan NaOH.
3. Suhu kalsinasi sebesar 480 °C selama 2 jam.
4. Menggunakan karakterisasi XRF, XRD, dan SEM.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan baru dalam meningkatkan ekstraksi TiO₂.
2. Memberikan informasi terkait pemanfaatan pasir besi sebagai bahan baku utama pembuatan TiO₂.
3. Memperoleh TiO₂ dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Besi

Pasir besi termasuk salah satu material magnetik berwarna hitam yaitu berupa endapan besi yang terbentuk akibat adanya pengikisan batuan alam yang mengandung mineral besi. Berdasarkan letak lokasi endapannya, pasir besi memiliki karakter fisik dan kandungan mineral yang berbeda-beda. Pasir besi digunakan dalam berbagai bidang seperti elektronik, energi, kimia, ferrofluida, katalis, dan diagnosis medis. Di Indonesia jumlah pasir besi sangatlah melimpah karena dapat dijumpai di sepanjang pantai, sehingga mudah untuk ditambang dan diolah menjadi bahan lain yang bernilai lebih tinggi. Namun hingga saat ini, pemanfaatan pasir besi masih kurang efektif karena biasanya dijual tanpa diolah terlebih dulu (Mohar dkk., 2013).

Kandungan kimia yang dominan pada pasir besi yaitu Fe dan Ti yang masih berikatan dengan unsur-unsur lainnya. *Hematite* (Fe_2O_3), silika (SiO_2), *rutile* (TiO_2), dan alumina (Al_2O_3) merupakan senyawa yang umumnya terkandung dalam pasir besi (Ibrahim dkk., 2012). Di Indonesia, pemanfaatan TiO_2 pada pasir besi masih relatif rendah dibandingkan dengan jumlah pasir besi yang sangat melimpah sehingga bisa dijadikan bahan utama penghasil TiO_2 (Ahmad dkk., 2007).

Berdasarkan kandungannya, *ilmenite* terdiri dari 36,80% Fe, 31,57% Ti, 31,63% O, atau 52,66% TiO₂ dan 47,33% FeO. Dalam senyawa *ilmenite* sering terjadi kerusakan pada susunan kristalnya dan persentase massa yang tidak begitu sesuai dengan teori. Hal ini disebabkan *ilmenite* terbentuk karena kejadian alam. Oleh sebab itu, kandungan TiO₂ dalam *ilmenite* sekitar 33-65% (Ninndemona, 2006).

2.2 Titanium Dioksida (TiO₂)

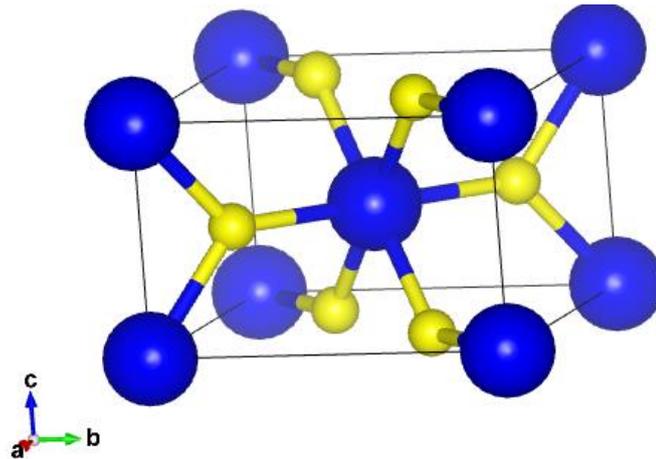
Pada tahun 1791, seorang ahli mineral bernama Reverend William Gregor menemukan titanium di Inggris, yang kemudian diberi nama *ilmenite*. Beberapa tahun kemudian German Chemist Heinrich Klaporth seorang ahli kimia berkebangsaan Jerman menemukan elemen tersebut dalam bentuk *rutile*. Titanium dioksida merupakan senyawa yang tersusun atas ion Ti⁴⁺ dan O²⁻. Titanium dioksida atau dikenal dengan titania termasuk oksida dari titanium yang memiliki rumus molekul TiO₂ sebagai bahan semikonduktor.

Umumnya, fasa-fasa kristalin TiO₂ sangat bergantung pada suhu dan tekanan lingkungannya sehingga memiliki bentuk polimorfik. TiO₂ memiliki tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*. Dalam penggambaran struktur kristal TiO₂ dapat digunakan *software* Vesta dengan bantuan data *Crystallographic Information File* (CIF) untuk mengetahui nilai *space group*, *lattice parameter*, dan *atomic position*.

2.2.1 TiO₂ *Rutile*

Ditinjau dari segi stabilitasnya, *rutile* merupakan fasa TiO₂ yang paling stabil jika dibandingkan dengan fasa-fasa TiO₂ yang lain. TiO₂ fase *rutile* memiliki stabilitas yang baik secara kimia maupun mekanik. TiO₂ termasuk semikonduktor tipe-n dengan celah pita energi yang lebar dan banyak digunakan untuk mengembangkan

sensor gas berbasis bahan polikristalin film tebal atau partikel kecil. *Unit cell* dari TiO_2 fase *rutile* ini mengandung atom titanium (Ti) yang menempati pusat inti dan terdapat enam atom oksigen (O) yang ditempatkan di sudut oktahedron kuasi regular (Hamdan dkk., 2014). Hasil penggambaran struktur kristal TiO_2 *rutile* dengan *software* Vesta ditunjukkan oleh **Gambar 2.1**.



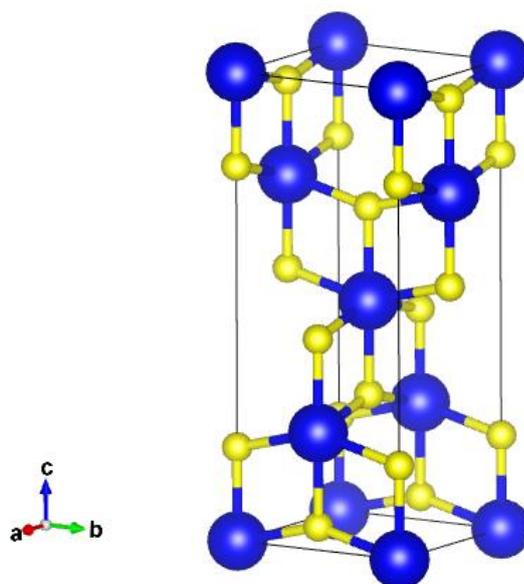
Gambar 2.1 Visualisasi struktur kristal TiO_2 *rutile* (warna biru = atom Ti; kuning = atom O), dibuat berdasarkan model Howard dkk., 1991 dengan *software* Vesta

Gambar 2.1 menunjukkan model struktur kristal TiO_2 fase *rutile* yang memiliki bentuk kristal tetragonal, *space group* $P 42/mnm$ (No. 136), serta parameter kekisi $a = b = 0,4594$ nm dan $c = 0,2959$ nm. Bentuk kristal tetragonal memiliki sudut kristalografi yang saling tegak lurus $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Howard dkk., 1991).

2.2.2 TiO_2 Anatase

Anatase merupakan fase TiO_2 yang terjadi secara alami dan sebagai polimorf utama dalam pembentukan fotokatalitik (Hanaor dkk., 2011). TiO_2 *anatase* memiliki sifat metastabil seperti halnya TiO_2 *brookite*. Bentuk kristal anatase terjadi pada pemanasan suhu rendah sekitar $100\text{-}700$ °C (Hastuti, 2011). Namun, pada saat proses kalsinasi di atas 700 °C, fasa *anatase* akan berubah menjadi *rutile* (Hamdan

dkk., 2014). Umumnya, *anatase* mengalami distorsi ortorombik yang lebih besar dibandingkan *rutile* sehingga bentuk kristal *anatase* menjadi asimetris seperti pada **Gambar 2.2**. *Anatase* memiliki bentuk geometris yang lebih mendukung untuk menyerap cahaya sehingga memiliki luasan aktif yang lebih besar jika dibandingkan *rutile* (Tjahjanto, 2001). Hasil penggambaran struktur kristal TiO_2 *anatase* dengan *software* Vesta ditunjukkan oleh **Gambar 2.2**.



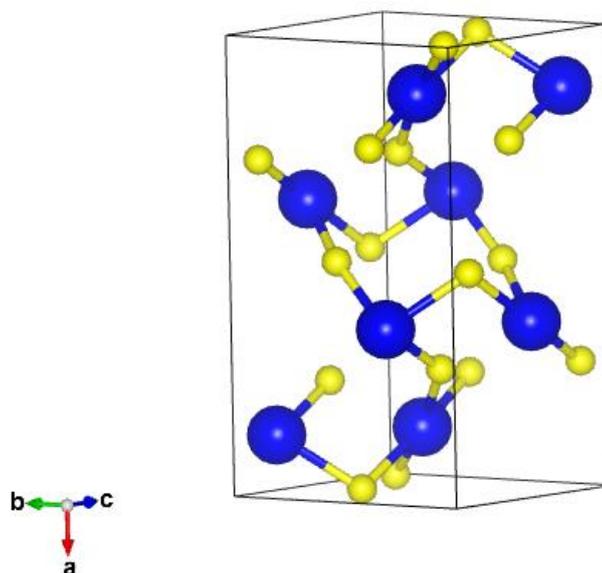
Gambar 2.2 Visualisasi struktur kristal TiO_2 *anatase* (warna biru = atom Ti; kuning = atom O), dibuat berdasarkan model Djerdje dan Tonejc, 2006 dengan *software* Vesta

Gambar 2.2 menunjukkan model struktur kristal TiO_2 fase *anatase* yang memiliki bentuk kristal tetragonal dengan *space group* $I 41/amd$ (No. 141), serta parameter kekisi $a = b = 0,3796$ nm dan $c = 0,9444$ nm. Bentuk kristal tetragonal memiliki sudut kristalografi yang saling tegak lurus $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Djerdje dan Tonejc, 2006).

2.2.3 TiO_2 Brookite

Brookite merupakan fasa TiO_2 yang bersifat metastabil sama seperti fasa *anatase* (Hanaor dkk., 2011). *Brookite* memiliki struktur yang lebih rumit dan volume sel

yang lebih besar dibandingkan *rutile* dan *anatase*. Selain itu, struktur *brookite* memiliki simetri yang lebih rendah dengan panjang ikatan Ti-O lebih bervariasi daripada fase *rutile* atau *anatase* (Hamdan dkk., 2014). Fasa *brookite* jarang sekali ditemukan dan sulit dibuat karena memiliki struktur ortorombik (Nasution dan Fitri, 2018). Hasil penggambaran struktur kristal TiO₂ *brookite* dengan *software* Vesta ditunjukkan oleh **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Visualisasi struktur kristal TiO₂ *brookite* (warna biru = atom Ti; kuning = atom O), dibuat berdasarkan model Meagher dan Lager, 1979 dengan *software* Vesta

Gambar 2.3 menunjukkan model struktur kristal TiO₂ fase *brookite* yang memiliki bentuk kristal ortorombik dengan *space group* P b c a (No. 61), serta parameter kekisi $a = 0,9174$ nm, $b = 0,5449$ nm dan $c = 0,5138$ nm. Bentuk kristal ortorombik memiliki sudut kristalografi yang saling tegak lurus $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Meagher dan Lager, 1979).

Titanium dioksida biasanya digunakan sebagai fotokatalis, obat kanker, serta aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Phani dkk., 2001). TiO₂ termasuk semikonduktor yang bersifat *inert*, stabil, memiliki energi gap yang lebar dan hanya

aktif pada daerah cahaya ultraviolet (Lisenbigler dkk., 1995). Saat dimurnikan, TiO₂ umumnya berwarna putih dan akan terdekomposisi pada suhu 1640 °C sebelum meleleh, tidak larut dalam air tetapi larut dalam H₂SO₄.

Menurut Kesumaningrum dkk (2011), TiO₂ memiliki beberapa keunggulan yaitu :

- a. Mempunyai energi band gap sebesar 3,2 eV untuk proses fotokatalis sehingga dapat memudahkan terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan lubang pada pita valensi saat diinduksikan cahaya ultraviolet sekitar 340-390 nm.
- b. Memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi dibandingkan dengan fotokatalis lain seperti seng oksida (ZnO), *cadmium sulfide* (CdS), tungsten trioksida (WO₃), dan timah putih (SnO₂).
- c. Dapat menyerap sinar ultraviolet dengan baik.
- d. Memiliki kestabilan kimia dalam interval pH berkisar 0-14.
- e. Memiliki ketahanan terhadap photodegradasi.
- f. Bersifat *inert* dan tidak larut dalam reaksi baik secara biologis maupun kimia.

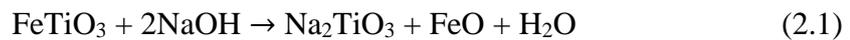
2.3 Metode Sintesis TiO₂ dari Pasir Besi

Dalam proses sintesis TiO₂ dari pasir besi diperlukan metode yang tepat agar dapat menghasilkan TiO₂ dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Metode yang biasanya digunakan untuk memisahkan TiO₂ dari pasir besi biasanya dilakukan proses fusi kaustik (alkali) dan *leaching* dengan sulfat maupun klorida.

2.3.1 Metode Fusi Kaustik

Fusi kaustik merupakan pirolisis pada suhu tinggi dengan campuran Natrium Hidroksida (NaOH). Umumnya, penggunaan NaOH pada proses fusi kaustik

dikarenakan harganya yang lebih terjangkau dibandingkan dengan alkali lainnya. Suhu kalsinasi yang digunakan pada proses fusi kaustik dengan NaOH yaitu sekitar 350 °C – 500 °C. Reaksi kimia antara mineral *ilmenite* dan NaOH dengan rasio tertentu akan membentuk garam natrium seperti natrium titanat (Na₂TiO₃). Reaksi yang terjadi selama proses fusi kaustik ditunjukkan pada persamaan (2.1) (Setiawati dkk., 2013).



Berdasarkan reaksi yang ditunjukkan pada persamaan (2.1), dapat diamati bahwa produk reaksi yang dihasilkan berupa garam kompleks titanat. Sehingga diperlukan proses lanjutan untuk memperoleh TiO₂ (Fouda dkk., 2011).

Pada saat proses kalsinasi, cawan yang digunakan terbuat dari alumina karena memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan resistansi korosif yang lebih baik jika dibandingkan dengan cawan lainnya. Selain itu, cawan ini dianggap lebih cocok pada proses reaksi yang terjadi karena tidak akan bereaksi pada reaksi fusi.

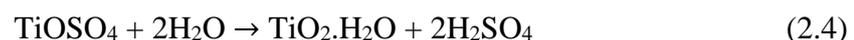
Setelah proses kalsinasi maka perlu dilakukan pelindian dengan air. Pelindian dengan air bertujuan untuk mengurangi kadar NaOH berlebih yang tetap ada setelah proses fusi kaustik. Saat pelindian dengan air maka kelebihan alkali bahkan senyawa silikat akan ikut terlarut dalam air. Reaksi yang terbentuk pada saat proses pelindian air ditunjukkan pada persamaan (2.2) (Setiawati dkk., 2013).



2.3.2 Metode Hidrometalurgi

Hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi yang biasanya dilakukan dengan bantuan asam seperti asam klorida maupun asam sulfat dengan konsentrasi tertentu. Pada metode ini, hanya metal yang diinginkan saja yang akan bereaksi (larut) dan kemudian dipisahkan dari material yang tidak diinginkan. Prinsip dasar hidrometalurgi adalah pelarutan bijih-bijih dengan asam yang sesuai dengan jenis logam yang terdapat pada bijih-bijih yang dikerjakan, kemudian dari larutan tersebut logam atau senyawanya dipisahkan dari larutan dengan cara elektrolisa atau dengan cara pengendapan.

Pada proses fusi kaustik, titanium dioksida (TiO_2) masih terikat dalam garam kompleks Na-Ti-Fe-O sehingga diperlukan proses lanjutan untuk mendapatkan titanium dioksida (TiO_2) murni. Proses pelindian dilakukan dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi tertentu. Bahan baku yang bisa digunakan untuk proses ini dapat berupa *ilmenite* maupun terak titania yang dihasilkan dari proses fusi kaustik. Proses pelindian menggunakan asam sulfat ini dipanaskan pada suhu larutan $90\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Asam sulfat pada proses pelindian akan melarutkan TiO_2 yang membentuk TiOSO_4 . Reaksi pelindian asam disajikan oleh persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) berikut ini (Setiawati dkk., 2013; Vidiанти, 2014).



Setelah proses pelindian dengan asam sulfat (H_2SO_4), Tahap selanjutnya yaitu dikalsinasi pada suhu sekitar $500\text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu tahan 2 jam. Kalsinasi yang

dilakukan setelah pelindian dengan asam sulfat (H_2SO_4) ini bertujuan untuk menghilangkan garam yang terbentuk pada serbuk kristal (Fouda dkk., 2011).

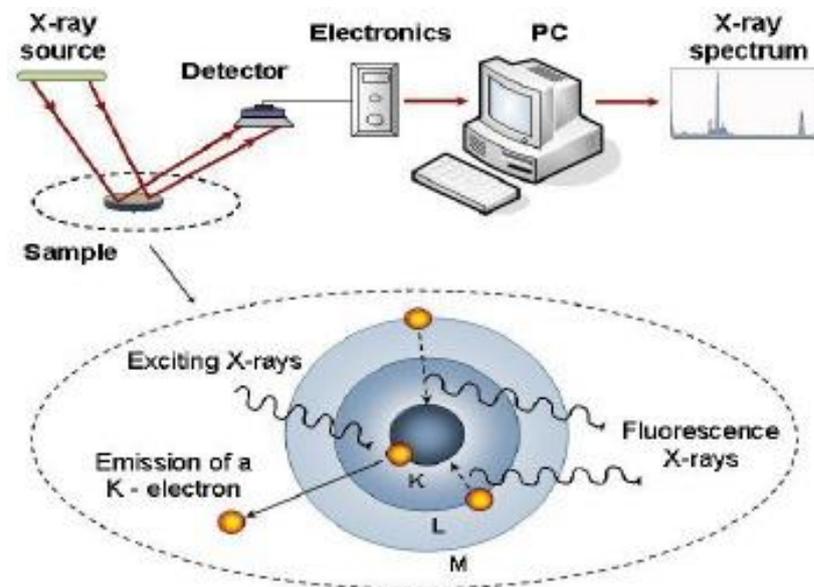
Proses hidrometalurgi terdiri dari 3 tahapan sebagai berikut.

1. *Leaching* atau pengikisan logam dari batuan dengan bantuan reduktan organik.
2. Pemekatan larutan hasil *leaching* dan pemurniannya.
3. Recovery yaitu pengambilan logam dari larutan hasil *leaching*.

2.4 X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur dari suatu material yang akan dianalisis. XRF tidak hanya dihasilkan oleh sinar-X tetapi juga dihasilkan dari sumber eksitasi primer seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Juwita, 2003).

Skema terkait prinsip kerja XRF ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Prinsip kerja X-Ray Fluorescence (Girard, 2010).

Ketika sumber radioaktif (tabung X-Ray) memancarkan sinar-X dan mengenai sampel. Dalam sampel akan terjadi pelepasan elektron pada kulit K yang

menyebabkan atom menjadi tidak stabil. Oleh karena itu, elektron dari kulit terluarnya akan mengisi kekosongan elektron pada kulit K yang akan memancarkan energi sinar-X baru yang berbeda dengan sinar-X asal. Sinar-X tersebut yang akan dikirim ke detektor. Selanjutnya, sinyal dari detektor akan diproses oleh elektronik dan dikirim ke komputer yang kemudian akan ditampilkan dalam bentuk spektrum *channel* grafik (Girard, 2010).

Hasil analisis sampel menggunakan XRF biasanya berupa spektrum dua dimensi dengan sumbu-x adalah energi dari unsur (keV) sedangkan sumbu-y adalah intensitas sinar-X yang dipancarkan oleh setiap unsur (cps). Semakin besar intensitas yang muncul, maka semakin banyak kandungan unsur tersebut dalam suatu material (Jenkins, 1981). Setiap unsur akan menghasilkan spektrum dengan energi yang spesifik (Tucker, 1991).

Metode XRF memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut.

- a. Murah, mudah, dan analisisnya cepat.
- b. Jangkauan elemen hasil analisa akurat.
- c. Membutuhkan sedikit sampel pada tahap preparasinya.
- d. Dapat menentukan unsur dalam material tanpa adanya standar.
- e. Dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologik maupun tubuh secara langsung.

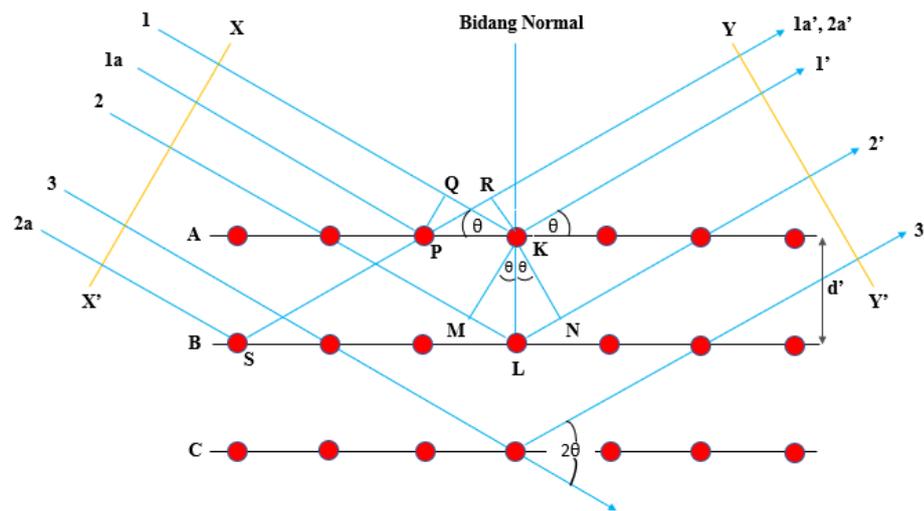
Metode XRF memiliki keterbatasan pada analisisnya seperti tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material itu sendiri, sampel yang digunakan relatif besar, biasanya lebih dari 1 gram, bahan yang digunakan dalam bentuk bubuk dan efektif dihomogenisasi, bahan yang komposisinya mirip, bahan

yang mengandung kelimpahan tinggi unsur-unsur yang penyerapan dan efek fluoresensi dapat dipahami (Sembiring, 2019).

2.5 Difraksi Sinar-X

Pada tahun 1895, Sinar-X ditemukan oleh seorang fisikawan berkebangsaan Jerman bernama William C. Roentgen. Penamaan sinar-X ini dikarenakan sifatnya yang tidak diketahui pada saat itu. Tidak seperti cahaya biasa, sinar ini tidak terlihat, tetapi nyata. Di sisi lain, sinar-X jauh lebih menembus daripada cahaya dan dapat dengan mudah melewati tubuh manusia, kayu, lembaran yang relatif tebal dan benda buram lainnya. Sinar-X selanjutnya banyak digunakan oleh dokter maupun insinyur yang ingin mempelajari struktur internal benda buram. Sinar-x merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki sifat sama dengan cahaya tetapi panjang gelombangnya jauh lebih pendek. Satuan pengukuran pada daerah sinar-X adalah angstrom (\AA), sama dengan 10^{-8} cm. Sinar-x yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang sekitar 0,5–2,5 \AA jauh lebih pendek dibandingkan panjang gelombang cahaya tampak sekitar 6000 \AA (Cullity, 1978).

Difraksi sinar-X merupakan salah satu teknik non destruktif yang biasanya digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan fasa pada suatu material. Jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada bahan kristal, maka akan terjadi interaksi dengan atom-atom pada material. Kemudian, atom-atom tersebut akan menghamburkan kembali sinar-X dengan panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar-X yang dihamburkan ini yang akan ditangkap oleh detektor sebagai puncak difraksi.



Gambar 2.5 Difraksi sinar-X pada suatu kristal, dibuat berdasarkan model Cullity, 1978.

Hukum Bragg merupakan rumusan matematika tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Terdapat dua fakta geometris yang terdapat pada Hukum Bragg yaitu :

1. Berkas datang, garis normal terhadap bidang refleksi, dan berkas difraksi selalu coplanar.
2. Sudut diantara berkas difraksi dan berkas transmisi selalu bernilai 2θ . Sudut ini dikenal dengan nama sudut difraksi yang nilainya lebih dari θ , sudut ini biasanya terukur secara eksperimen.

Adapun persamaan mengenai Hukum Bragg dengan satu gelombang ditunjukkan oleh persamaan (2.6).

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.6)$$

Dengan λ merupakan panjang gelombang, d merupakan jarak antar bidang atom, dan θ merupakan sudut berkas datang. Berdasarkan **Gambar 2.5**, jika berkas dianggap paralel sempurna, maka sinar-X monokromatik dengan panjang

gelombang λ merupakan sinar datang pada kristal dengan sudut θ (sudut Bragg) yang diukur antara berkas datang dan bidang kristal (Cullity, 1978).

2.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

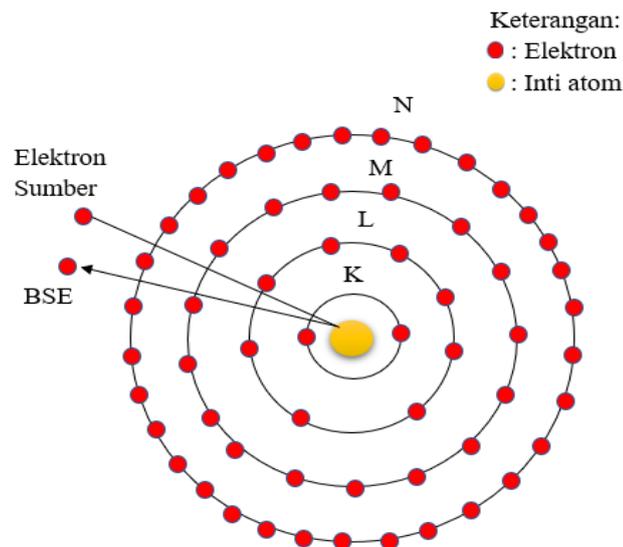
SEM merupakan instrumen mikroskop elektron yang digunakan untuk memperoleh gambar fisik kristal yang terdapat pada suatu material dalam skala mikrometer dengan tingkat resolusi tinggi. Mikroskop elektron ini akan memancarkan elektron ke bagian tertentu pada permukaan kristal. Hasil interaksi antara elektron dengan atom pada kristal akan menghasilkan sinyal yang kemudian merefleksikan kondisi morfologi-topografi permukaan kristal. Adapun alat SEM ditunjukkan oleh **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Alat SEM (Sumber: <http://surl.li/hpwdf>).

Detektor akan mendeteksi dua jenis elektron utama yaitu *Backscattered Electron* (BSE) dan *Secondary Electron* (SE). BSE terbentuk pada atom-atom di bagian permukaan sampel yang lebih dalam. Hal ini disebabkan oleh tumbukan yang terjadi antara elektron sumber dan inti atomnya. Karena massa proton yang membentuk inti atom lebih besar dari elektron, maka setiap tumbukan akan menyebabkan

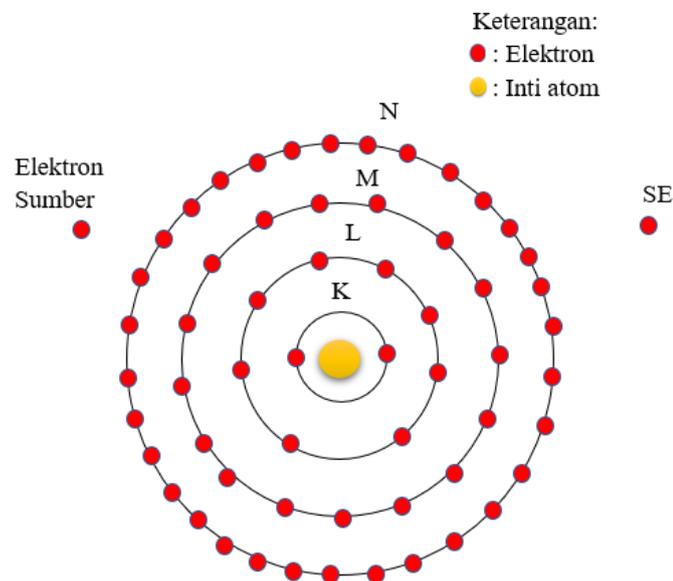
terpentalnya sebagian besar elektron ke arah 180° , sehingga akan dipantulkan kembali ke arah datangnya yaitu ke luar permukaan bahan (Sujatno dkk., 2015). *Backscattered Electron* (BSE) merupakan fungsi dari massa atom, hal ini yang memungkinkan tekstur internal kristal disertai komposisinya dapat terdeteksi (Meirawati, 2022). Proses terbentuknya BSE ditunjukkan oleh **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Proses terbentuknya BSE (Sujatno dkk., 2015).

Jika elektron sumber dalam perjalanannya di dalam bahan hanya melewati awan elektron atau orbital sebuah atom maka elektron tersebut dapat saja memindahkan sebagian energi kinetiknya ke satu atau lebih elektron pada orbit tersebut. Elektron itu akan menjadi tidak stabil dan dalam kondisi tereksitasi sehingga meninggalkan posisinya dan keluar dari permukaan bahan, maka elektron tersebut dikenal sebagai *Secondary Electron* (SE) atau elektron sekunder, Karena elektron-elektron SE memiliki energi yang rendah, maka hanya elektron-elektron yang sangat dekat permukaan bahan saja yang dapat lolos ke luar. Dengan bantuan detektor khusus elektron SE dapat dimanfaatkan untuk membentuk *image* morfologi permukaan

bahan dengan baik (Sujatno dkk., 2015). Adapun proses terbentuknya SE ditunjukkan oleh **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Proses terbentuknya SE (Sujatno dkk., 2015).

Untuk memperoleh analisis kualitatif spektral *X-Ray* yang menunjukkan komposisi kimiawi mineral, digunakan teknik lebih lanjut yang disebut *Energy-dispersive X-Ray Analysis* (EDX). Biasanya perangkat EDX terpasang menyatu dengan instrumen SEM. Hal ini menjadikan SEM sebagai metode yang sangat efektif untuk mengamati struktur kristalografi, morfologi permukaan kristal, serta komposisi kimiawi mineralnya (Meirawati, 2022).

2.7 Penelitian Terkait

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Subagja dkk (2012) dalam ekstraksi TiO_2 dari pasir besi menggunakan variasi perbandingan rasio mol pasir besi dan NaOH sebesar 1:0,5, 1:1, 1:3, dan 1:4. Selain itu, suhu saat *roasting* juga divariasikan dari 400 °C sampai dengan 800 °C serta dilakukan variasi waktu *roasting* dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam. Hasil analisis XRD menunjukkan

bahwa intensitas Difraksi sinar-X dari fasa Natrium titanat dan Natrium ferit meningkat jika perbandingan mol pasir besi dan NaOH ditingkatkan dari 0,5 sampai 4, suhu *roasting* dinaikkan dari 400 °C menjadi 800 °C dan waktu *roasting* ditingkatkan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam (Subagja dkk., 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Firdaus dkk (2021) yang bertujuan untuk mengetahui kandungan TiO₂ dari pasir besi Lampung dengan metode pelindian berdasarkan variasi suhu. Pasir besi dicampur dengan natrium bikarbonat (NaHCO₃), kemudian dipanaskan pada suhu 700 °C selama satu jam. Penelitian ini menggunakan 5 sampel dengan variasi suhu *leaching* 70, 80, 90, 100, dan 110 °C selama 2 jam. Proses *acid leaching* menggunakan HCl 12 M dengan perbandingan besi pasir dan HCl 1:4, sedangkan proses *water leaching* menggunakan aquades sebanyak 50 ml. Selanjutnya, sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan XRF untuk mengetahui kandungan TiO₂ pada pasir besi. Hasilnya menunjukkan bahwa kandungan TiO₂ tertinggi diperoleh pada sampel dengan suhu pelindian 110 °C selama 2 jam, yaitu sekitar 61% (Firdaus dkk., 2021).

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Marjunus dkk (2022) untuk mengetahui kandungan TiO₂ dari pasir besi Lampung dengan metode *acid leaching*. Sebelumnya, pasir besi dicampur dengan natrium bikarbonat (NaHCO₃) dan dikalsinasi pada suhu 700 °C selama satu jam. Untuk mengetahui kadar TiO₂ dari pasir besi Lampung dilakukan dengan variasi konsentrasi HCl 4, 6, 8, 10, dan 12 M pada proses *leaching* selama 2 jam pada suhu 70 °C dan 110 °C. Kemudian dilakukan proses *water leaching* dengan menggunakan 50 ml aquades. Setelah itu, sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan XRF untuk mengetahui kadar TiO₂

dalam pasir besi Lampung. Hasilnya diperoleh kandungan TiO_2 tertinggi pada sampel dengan konsentrasi HCl 12 M dengan suhu pelindian 110 °C sebesar 33,737% (Marjunus dkk., 2022).

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Aristanti dkk (2019) menggunakan *ilmenite* Bangka untuk memperoleh titanium dioksida (TiO_2) yang disintesis dengan memvariasikan suhu kalsinasi untuk mendapatkan karakteristik yang dapat meningkatkan kemampuan fotokatalis. Sintesis dilakukan menggunakan proses fusi kaustik menggunakan NaOH untuk menguraikan ilmenit menjadi senyawa titanat yang lebih larut dalam asam, sehingga dapat mengurangi konsumsi asam dalam proses pelindian. Proses *leaching* menggunakan H_2SO_4 8 M dalam padatan 5% untuk menghasilkan TiOSO_4 sebagai filtrat. Kemudian filtrat dihidrolisis untuk mendapatkan endapan $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Kalsinasi dengan variasi suhu dilakukan setelah endapan dilarutkan dengan air sampai diperoleh pH netral. Suhu yang digunakan sebesar 350 °C, 450 °C, 550 °C, 650 °C, dan 750 °C. Hasil uji aktivitas fotokatalitik menggunakan larutan Rhodamin B (RhB) dan Metilen Biru (MB) menunjukkan efisiensi fotokatalis tertinggi dicapai oleh TiO_2 yang dikalsinasi pada suhu 650 °C, dengan 69,33% (RhB) dan 83,41% (MB). Dimana pada suhu tersebut, fasa *rutile* mulai terbentuk sekitar 15,38%, energi celah pita sebesar 2,4 eV, dan pertumbuhan ukuran kristal menjadi 53,41 nm yang mempengaruhi peningkatan aktivitas fotokatalitik (Aristanti dkk., 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 10 November 2022 sampai dengan 30 Desember 2022 di Laboratorium Fisika Material Universitas Lampung, serta menyewa XRF, XRD, dan SEM di Pusat Riset Teknologi Pertambangan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang-Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas beaker, gelas ukur, spatula, neraca analitik, termometer, *hotplate*, pengaduk magnet (*magnetic stirrer*), kertas saring, reflux, corong kaca, labu erlenmeyer, XRF, XRD, dan SEM.

3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir besi Lampung, NaOH, H₂SO₄, dan aquades.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari karakterisasi pasir besi menggunakan XRF, XRD, dan SEM. Kemudian dilanjutkan dengan TiO₂ dari pasir besi, serta karakterisasi menggunakan XRF, XRD, dan SEM.

3.3.1 Karakterisasi Kandungan Senyawa di Pasir Besi

Karakterisasi senyawa di pasir besi pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Pasir besi dari Provinsi Lampung disiapkan terlebih dulu.
2. Pasir besi dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, dan SEM.

3.3.2 Ekstraksi TiO₂ dari Pasir Besi

Proses ekstraksi TiO₂ dari pasir besi dilakukan dengan menggunakan kombinasi antara metode fusi kaustik dan hidrometalurgi.

3.3.2.1 Preparasi *Raw Material*

Adapun tahapan preparasi awal pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Pasir besi dicuci dengan air mengalir dan dibilas dengan aquades sambil diaduk selama 10 menit.
2. Pasir besi dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selama 30 menit.
3. Pasir besi disaring untuk menghilangkan pengotor yang tidak larut dalam aquades.
4. Pasir besi dihaluskan dan diayak dengan *sieve* hingga -325 *mesh*.

3.3.2.2 Proses Fusi Kaustik

Adapun proses fusi kaustik sampel *ilmenite* pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Pasir besi yang telah halus ditambahkan NaOH dengan variasi rasio berat antara pasir besi dan NaOH sebesar 1:2, 1:3, dan 1:4.
2. Pasir besi diroasting pada suhu 450 °C selama 2 jam sehingga diperoleh produk berupa garam natrium.
3. Garam natrium dihaluskan dan dilanjutkan kedalam proses pelindian dengan air dengan perbandingan 1:5 (b/v).

4. Garam natrium yang telah ditambah air dipanaskan dan diaduk dengan *hotplate magnetic stirrer* pada suhu 80 °C selama 30 menit.
5. Proses pelindian air dilakukan sebanyak 4 kali hingga warna larutan berubah dari biru kehijauan menjadi putih bening.
6. Sampel difiltrasi untuk memisahkan filtrat dan residu yang mengandung Ti.
7. Residu dikeringkan dengan oven dan dihaluskan.
8. Residu yang telah dihaluskan kemudian ditimbang.

3.3.2.3 Proses Hidrometalurgi

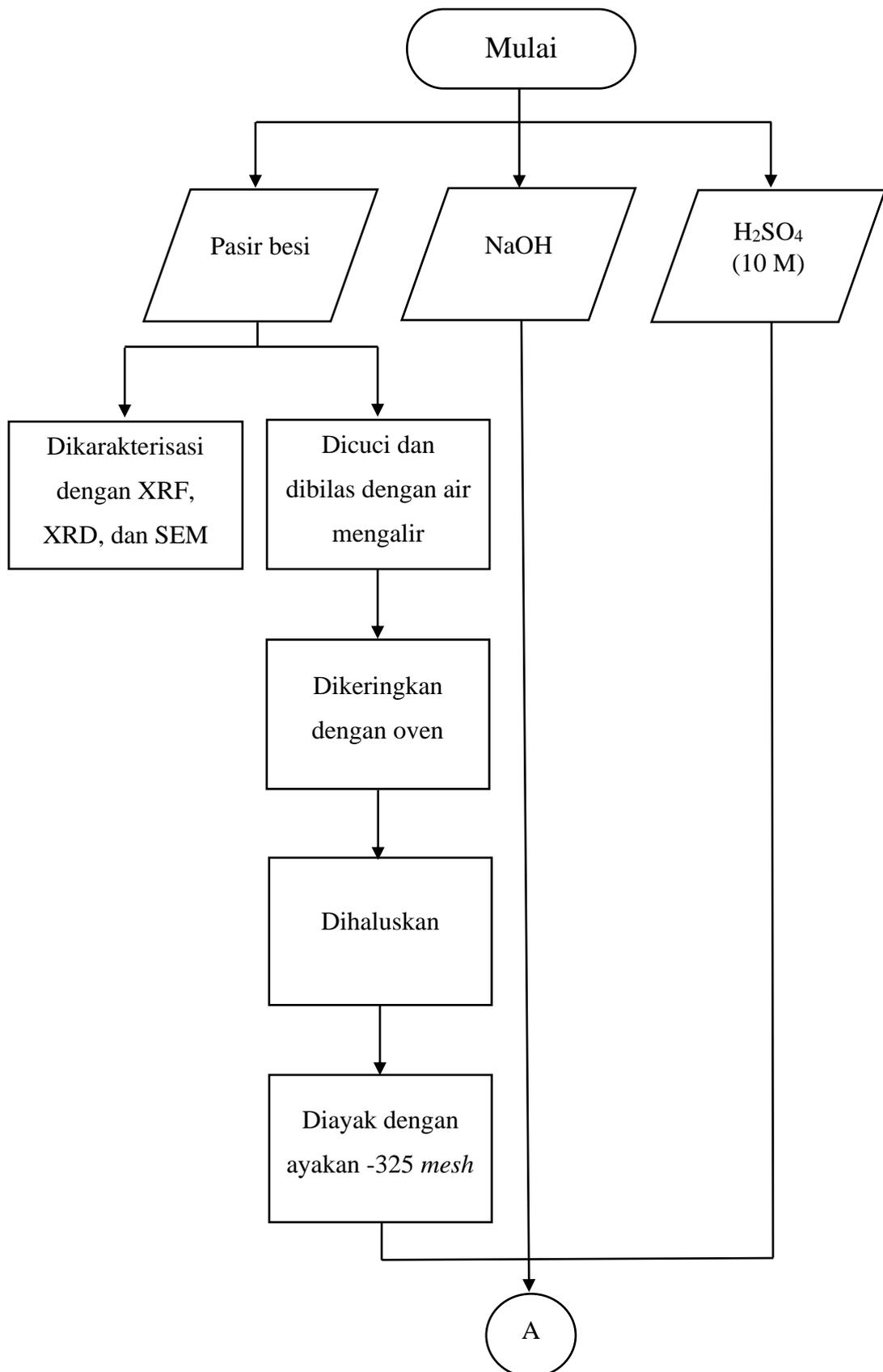
Adapun tahapan proses hidrometalurgi sampel pada penelitian ini sebagai berikut.

1. H₂SO₄ 10 M dipanaskan hingga suhu 90°C.
2. Residu dicampurkan dengan H₂SO₄ 10 M sambil dipanaskan dan diaduk menggunakan *hotplate magnetic stirrer* pada suhu 90°C selama 90 menit.
3. Endapan yang diperoleh kemudian dicuci menggunakan aquades.
4. Endapan disaring dengan kertas saring.
5. Endapan yang dihasilkan dikeringkan dalam oven dengan suhu 100 °C selama 30 menit.
6. Sampel di kalsinasi pada suhu 480 °C selama 2 jam.
7. Sampel dikarakterisasi dengan XRF, XRD, dan SEM.

3.4 Diagram Alir

3.4.1 Proses Preparasi *Raw Material*

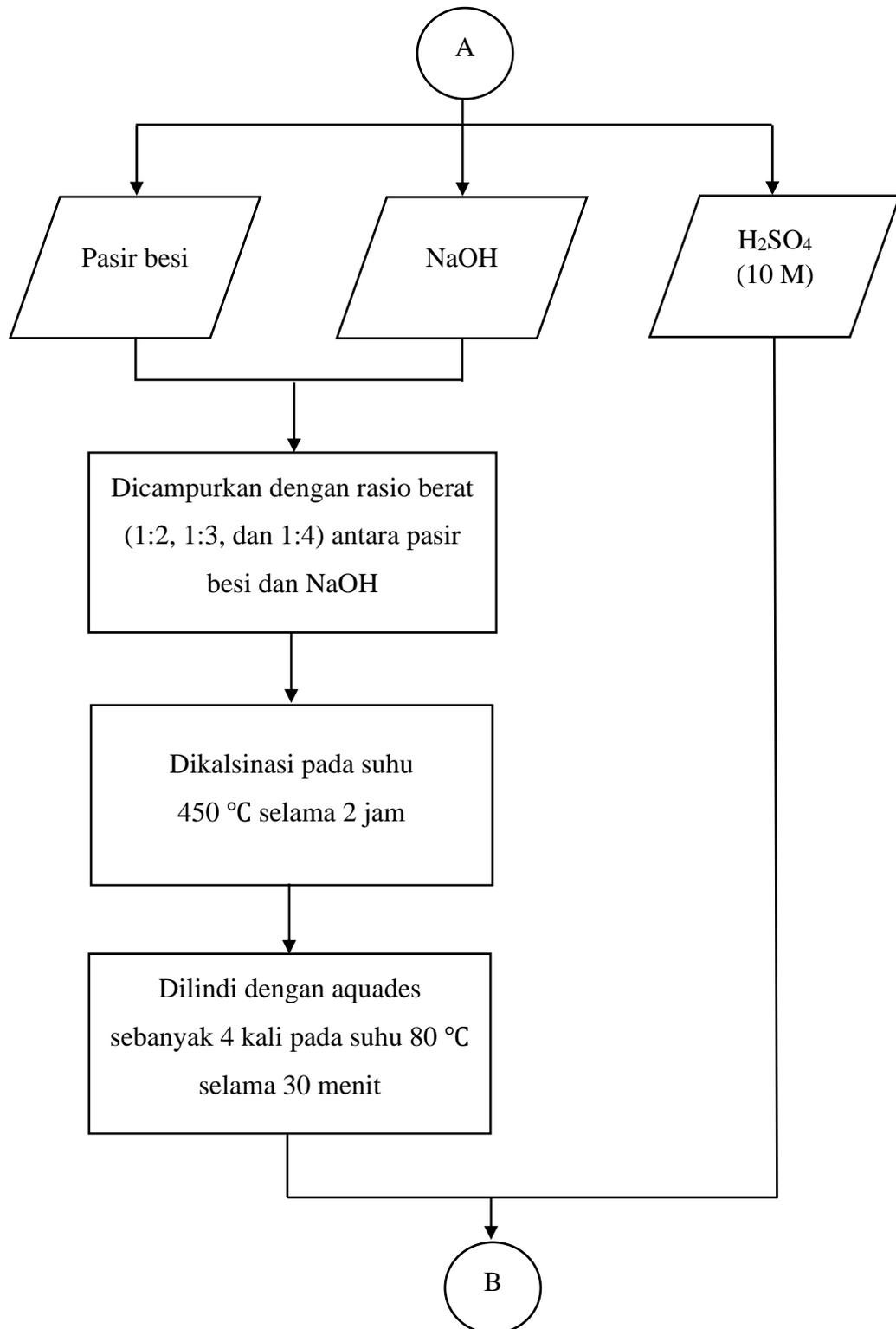
Diagram alir proses preparasi *raw material* pada penelitian ini ditunjukkan oleh **Gambar 3.1.**



Gambar 3.1 Diagram alir proses preparasi *raw material*

3.4.2 Proses Fusi Kaustik

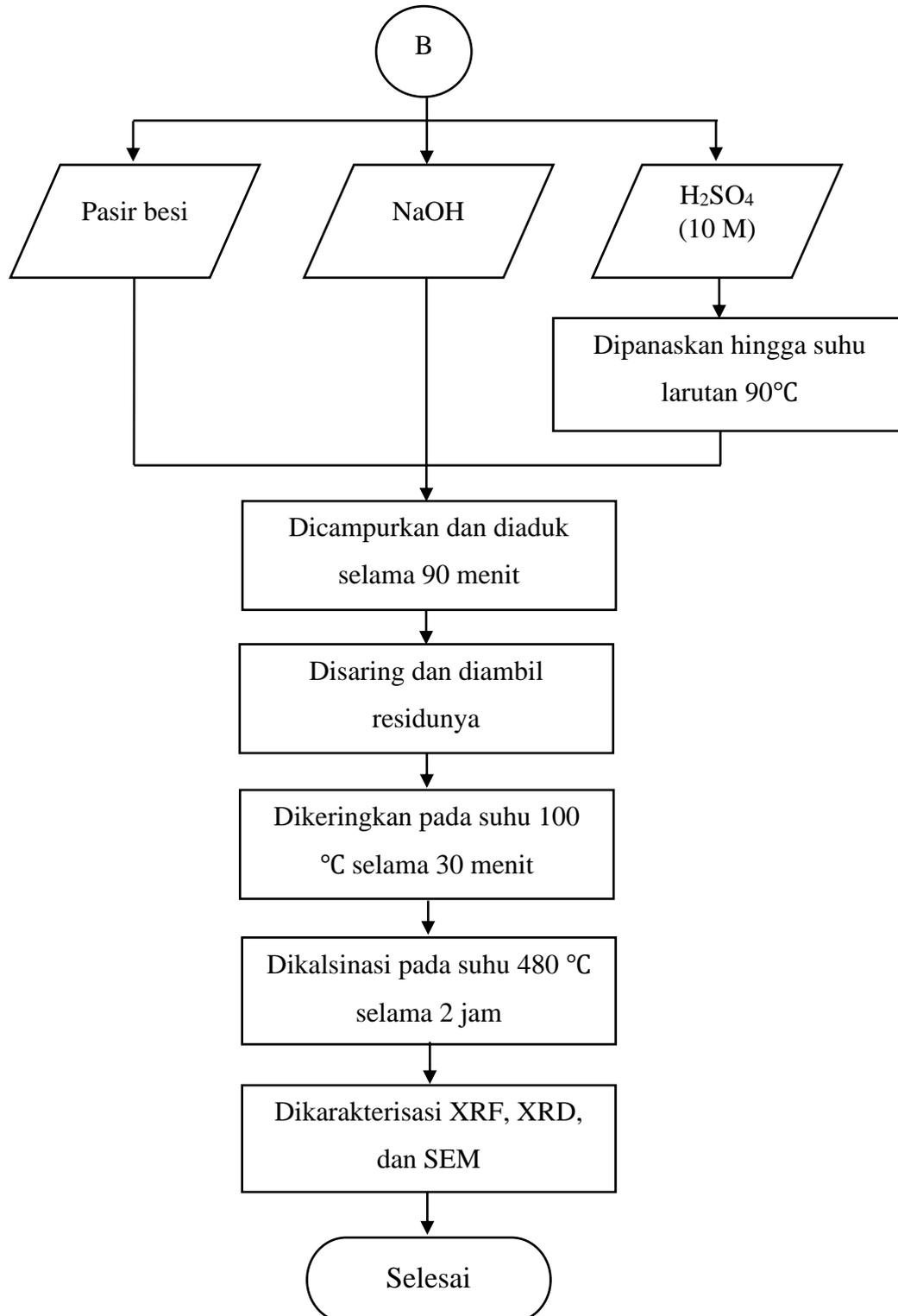
Diagram alir proses fusi kaustik pada penelitian ini ditunjukkan oleh **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Diagram alir proses fusi kaustik

3.4.3 Proses Hidrometalurgi

Diagram alir proses hidrometalurgi pada penelitian ini ditunjukkan oleh **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Diagram alir proses hidrometalurgi

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Penambahan rasio berat NaOH pada sampel mempengaruhi tingkat kemurnian TiO₂ yang dihasilkan dengan sampel terbaik terdapat pada rasio berat pasir besi : NaOH = 1:3.
2. Penggunaan kombinasi metode fusi kaustik dan hidrometalurgi efektif untuk menghasilkan TiO₂ dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi.
3. Kadar TiO₂ tertinggi diperoleh pada sampel dengan rasio berat pasir besi dan NaOH = 1:3 yaitu sebesar 21,352%. Terdapat 6 fasa yang teridentifikasi yaitu *magnetite*, *hematite*, *ilmenite*, *rutile*, *quartz*, dan *anorthite*. Sementara itu, Bentuk morfologi dari sampel berdasarkan hasil karakterisasi SEM yaitu tidak seragam dengan letak yang tidak beraturan.

1.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukan proses separasi magnetik terhadap pasir besi sebelum proses ekstraksi untuk mengurangi jumlah pengotor. Selain itu, suhu yang digunakan saat proses pelindian sebaiknya mendekati titik didih pelarut yang digunakan agar proses pemisahan TiO₂ dari senyawa lainnya dapat maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad A., Awan, G.H. dan Aziz, S. 2007. Synthesis and Applications of TiO₂ Nanoparticles. *Pakistan Engineering Congres, 70th Annual Session Proceedings*. No. 676. pp. 404-412.
- Ahmed, M.A., El-Katori, E.E., Gharni, Z.H., 2013. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye Using Fe₂O₃/TiO₂ Nanoparticles Prepared by Sol-gel Method. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 553. pp. 19-29.
- Aristanti, Y., Supriyatna, Y.I., Masduki N.P., and Soepriyanto, S. 2017. Decomposition of Banten Ilmenite by Caustic Fusion Process for TiO₂ Photocatalytic Application. *Mineral Processing and Technology International Conference*. 285. 012005.
- Aristanti, Y., Supriyatna, Y.I., Masduki, N.P., and Soepriyanto, S. 2019. Effect of calcination temperature on the characteristics of TiO₂ synthesized from ilmenite and its applications for photocatalysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 478. 012019.
- Augustu, L. dan Yuliana. 2017. Fabrikasi Komposit Graphene/TiO₂/Pani sebagai Bahan Elektroda Baterai Lithium-Ion (Li-Ion). *Jurnal Aplikasi Fisika Kendari*. Vol. 13. No. 1. pp. 31-40.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-ray Diffraction 2nd Edition*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA.
- Djerdj, I dan Tonejc, A.M. 2006. Structural Investigations of Nanocrystalline TiO₂ Samples. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 413. pp. 159-174.
- Fatmaliana, A., Maulinda, dan Sari, N. 2020. Synthesis and Characterization of Hematite (Fe₂O₃) of Iron Ore and Magnetite (Fe₃O₄) from Iron Sand Through Precipitaion Method for Industrial Raw Material. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 12. No. 2. pp. 37-42.
- Fauzi, A.S., dan Pramesti, Y.S. 2018. Potensi Pasir Besi Sungai Brantas sebagai Sumber Bahan Silica dan Calsite. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*. Vol. 8. No. 2. pp. 61-66.

- Firdaus, I., Stevani, A., Handayani, Y.N., Febriyanti, N., Marjunus, R., and Manurung, P. 2021. Synthesis and Characterization of TiO_2 From Lampung's Iron Sand Using Leaching Method With Temperature Variation. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 17. No. 2. pp. 37-40.
- Fouda, M., Amin, R.S., and Saleh, H. 2011. Extraction of Ultrafine Titania from Black Sands Broaden on the Mediterranean Sea coast in Egypt by Molten Alkalies. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. Vol. 4. No. 9. pp. 4256-4265.
- Girard, J.E. 2010. *Principle of Environmental Chemistry*. Jones and Bartlett Publishers. USA.
- Hamdan, H.H., Jaafar, H.I., dan Ali, A.M. 2014. *Fabrication of TiO_2 Nanotubes Using Electrochemical Anodization*. Lambert Academic Publishing. Germany.
- Hanaor, D.A.H. and Sorrell, C.C. 2011. Review of The Anatase to Rutile Phase Transformation. *Journal Mater Sci*. Vol. 46. pp. 855–874.
- Hastuti, E. 2011. Analisa Difraksi Sinar X TiO_2 Dalam Penyiapan Bahan Sel Surya Tersensitisasi Pewarna. *Jurnal Neutrino*. Vol. 4. No. 1. pp. 93-100.
- Hilman, P.M., Suprpto, S.J., Sunuhadi, D.N., Tampubolon, A., Wahyuningsih, R., Widhyatna, D., Pardiarto, B., Gunradi, R., Franklin, Yudawinata, K., Sutisna, D.T., Dinarsih, D., Sukaesih, Yuningsih, E.T., Candra, Oktaviani, P., Rahmawati, R., Ulfa, R.M., Sukmayana, I., dan Ostman, I. 2014. *Pasir Besi di Indonesia: Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Howard, C.J., Sabine, T.M., dan Dickson, F. 1991. Structural and Thermal Parameters for Rutile and Anatase. *Acta Crystallographica*. Vol. 47. pp. 462-468.
- Ibrahim A., Yusuf, I. dan Azwar, 2012. Identifikasi Senyawa Logam Dalam Pasir Besi di Propinsi Aceh. *Majalah Ilmiah BISSOTEK*. Vol. 7. No. 1. pp. 44-51.
- Jenkins, R., Gould, R.W., and Gedcke, D. 1981. *Quantitatif X Ray Spectrometry*. Marcell Dekker. New York.
- Juwita, L. 2003. Karakterisasi Material Menggunakan XRF, XRD, dan SEM-EDX. *Jurnal Teknik*. Vol. 2. No. 2. pp. 177-192.
- Kesumaningrum, J., Prasetya, N.B.A., dan Suseno, A. 2011. Absorpsi Fenol dengan TiO_2 /Zeolit Artificial Berbahan Dasar Sekam padi dan Limbah Kertas, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 14. No. 1. pp. 25-31.

- Kisi, E.H. 1994. Rietveld Analysis of Powder Diffraction Patterns. *Material forum*. Vol. 18. pp. 135-153.
- Lisenbigler, A.L., Lu, G., and Yates, J.T.Jr. 1995. Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mecanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*. Vol. 95. No. 3. pp. 735-758.
- Mahdi, E.M., Hamdi, M., Meor, Y.M.S. and Wilfred, P. 2013. XRD dan EDXRF Analysis of Anatase Nano-TiO₂ Synthesized from Mineral Precursors. *Advanced Materials Research*. Vol. 620. pp. 179-185.
- Manurung, P., Situmeang, R., Ginting, E., dan Pardede, I. 2015. Synthesis and Characterization of Titania-Rice Husk Silica Composites as Photocatalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 15. No. 1. pp. 36-42.
- Marjunus, R., Sucipto, A., Purwarini, D., and Firdaus, I. 2022. Synthesis and Characterization of TiO₂ from Lampung's Iron Sand Using Acid Leaching Method With Variation of HCl Concentration. *AIP Conference Proceedings*. **2668**. 060003.
- Meagher, E.P dan Lager, G. A. 1979. Polyhedral Thermal Expansion in the TiO₂ Polymorphs: Refinement of the Crystal Structures of Rutile and Brookite at High Temperature. *Canadian Mineralogist*. Vol. 17. pp. 77-85.
- Meirawati, Mira, Nugraheni, R.D., dan Cahyaningratri P. Riyandhani. 2022. *Mineralogi*. Zahira Media Publisher. Banyumas.
- Mohar, M.T., Fatmawati D., dan Sasangko, S.B. 2013. Pembuatan Pigment Titanium Dioksida (TiO₂) dari Ilmenite (FeTiO₃) Sisa Pengolahan Pasir Zircon Dengan Proses Becher. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2. No. 4. pp. 110-116.
- Muharrom, I.M. 2018. Analysis the Influence of Variation Acid (HNO₃, H₂SO₄, HCl) to Lithium Extraction Process in Sidoarjo MUD using Hydrometallurgy Method. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Surabaya.
- Nasution, N., dan Fitri, A. 2018. Sintesis Nanopartikel TiO₂ Fasa Rutile dengan Metode Kopesipitasi. *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*. Vol. 2. No. 2. pp. 18-25.
- Natl. Bur. Stand. 1967. *Magnetite (Iron Oxide)*. 25.5.31. US.
- Natl. Bur. Stand. 1978. *Ilmenite (Iron Titanium Oxide)*. 25.15.34. US.
- Nurayni, S., dan Nofitasari, R.N. 2018. Characterization of Mineral Content of Iron Sand at Depok Beach, Sigandu Beach and Muara Beach in Batang Regency.

Journal of Natural Sciences and Mathematic Research. Vol. 4. No. 1. pp. 23-26.

- Ninndemona, V. 2006. Ekstraksi TiO_2 dari Pasir Mineral dan Penerapannya Sebagai Fotokatalis. *Tesis Magister Ilmu Kimia*. Program Studi Ilmu Kimia FMIPA Universitas Indonesia.
- Phani, G., Tulloch, G., Victorio, D., and Skryabin I. 2001. Titania Solar Cells: New Photovoltaic Technology. *Renewable Energy*. Vol 22. pp. 303-309..
- Ratnasari, D.D. dan Purwaningsih, H. 2014. Pengaruh Variasi Kecepatan Stiring dan Temperatur Sintering terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Fase Material Sensor Gas TiO_2 . *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 3. No. 1. pp. 68-72.
- Sadykov, V.A. 1996. Hematite (Iron Oxide). *Journal Solid State Chemistry*. 123.191.
- Sembiring, T., Dayana, I., dan Rianna, M. 2019. *Alat Penguji Material*. Guepedia. Jakarta.
- Setiawati, L.D., Rahman, T.P., Nugroho, D.W., Nofrizal, Ikono, R., Suryandaru, Yuswono, Siswanto, dan Rochman, N. T. 2013. Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO_2) dari Pasir Besi dengan Metode Hidrometalurgi. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. pp. 465-468.
- Setiawati, T.S., Amalia, I.S., Sulistioso G.S. dan Wisnu, A.A. 2006. Sintesis Lapisan Tipis TiO_2 dan Analisis Fotokatalisnya. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. pp. 141-146.
- Subagja, R., Royani, A. dan Prasetyo, P. 2012. Pengaruh Penambahan NaOH, Temperatur dan Waktu Terhadap Pembentukan Fasa Natrium Titanat dan Natrium Ferit pada Proses Pemanggangan Ilmenit Bangka. *Majalah Metalurgi*. pp. 241-250.
- Sugiyama, K., Takeuchi, Y.Z. 1991. *Rutile (Titanium Oxide)*. 194.305.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana., dan Dimyati, A. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Vol. 9. No. 2. pp. 44-50.
- Sutrisno, H., Ariswan, and Purwaningsih, D. 2018. Qualitative and Quantitative Phase-Analysis of Undoped Titanium Dioxide and Chromium Doped Titanium Dioxide from Powder X-Ray Diffraction Data. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 18. No.3. pp. 486-495.
- Tjahjanto, R.T. dan Gunlazuardi J. 2001. Preparasi Lapisan Tipis TiO_2 sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis. *Makara, Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*. Vol. 5. No. 2. pp. 81-91.

- Tucker, M., and Hardy R. 1991. *Techniques In Sedimentology*. Maurice Tucker. London.
- Vidianti, I.A. 2014. Pemisahan Titanium Dioksida dari Pasir Besi Kabupaten Lumajang Dengan Pelindian H_3PO_4 dan Agen Dekomposisi NaOH. *SKRIPSI*. Jurusan Kimia FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November.
- Wang, J., Yu, J., Zhu, X., and Kong, X.Z. 2012. Preparation of Hollow TiO_2 Nanoparticles Through TiO_2 Deposition on Polystyrene Latex Particles and Characterizations of Their Structure and Photocatalytic Activity. *Nanoscale Research Letter*. Vol. 7. pp. 1-8.
- Will. G., Belloto, M., Parish, W., Hart, M. 1998. Quartz (Silicon Oxide). *Journal of Application Crystallography*. 21.182.
- Yuwanda, A.N., Rahmayuni, R., Visgun, D.A., Rahmi, A., Rifa'I, A., dan Dwiridal, L. 2022. Characterization of Magnetic Minerals of Iron Sand Pasia Nan Tigo Padang Beach Using X-Ray Diffraction (XRD). *Indonesian Journal of Applied Physics*. Vol. 12. No. 1. pp. 35-47.