

**EKSTRAKSI TITANIUM DIOKSIDA (TiO_2) DARI PASIR BESI PANTAI
MANDIRI PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN
METODE PIROMETALURGI**

(Skripsi)

Oleh

INTAN ALDARA



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

EKSTRAKSI TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) DARI PASIR BESI PANTAI MANDIRI PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN METODE PIROMETALURGI

Oleh

INTAN ALDARA

Pasir besi di Indonesia tersebar di berbagai pantai seperti pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara dan kepulauan Maluku. Pada penelitian ini, pasir besi diperoleh dari Pantai Mandiri yang terletak di Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung menggunakan metode *random sampling*. Preparasi pasir besi dilakukan dengan cara separasi magnetik menggunakan magnet batang untuk memisahkan pasir besi dari pengotornya. Pasir besi Pantai Mandiri mengandung beberapa unsur dominan yaitu Fe, Si, Ti, Al, Ca, K, dan Mn dengan presentase kandungan berturut-turut adalah 52,854; 20,553; 7,600; 7,449; 6,873; 2,076; dan 0,556%. Selain itu, pasir besi ini juga mengandung unsur lain dengan presentase kandungan kurang dari 0,5%. Ekstraksi TiO₂ dari pasir besi dilakukan menggunakan metode pirometalurgi dengan variasi suhu *roasting* 600, 700, dan 800°C, diperoleh serbuk berwarna abu-abu dengan rendemen berturut-turut 24,29; 23,27; dan 16,74%. Sampel hasil ekstraksi, dikarakterisasi menggunakan XRF dan menunjukkan kandungan TiO₂ dalam sampel meningkat seiring dengan peningkatan suhu *roasting* yaitu 6,970; 8,436; dan 8,659%. Sampel hasil ekstraksi dengan suhu *roasting* 800°C dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa TiO₂ yang diperoleh memiliki fase anatase berstruktur kristal tetragonal dengan $a = b = 3,7840 \text{ \AA}$ dan $c = 9,5150 \text{ \AA}$, serta memiliki nilai sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, serta memiliki ukuran yang tergolong nanopartikel yaitu 55,16 nm. TiO₂ yang tergolong nanopartikel dapat dimanfaatkan sebagai antibakteri *Escherichia coli*, komposit polimer, dan semikonduktor pada DSSC. Hasil karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan sampel hasil ekstraksi pada suhu *roasting* 800°C memiliki variasi bentuk, ukuran, dan kontras warna yang menandakan bahwa sampel yang diperoleh memiliki keberagaman fase.

Kata Kunci: Pasir Besi, TiO₂, Pirometalurgi, Nanopartikel

ABSTRACT

EXTRACTION OF TITANIUM DIOXIDE (TiO₂) FROM IRON SANDS OF MANDIRI BEACH PESISIR BARAT AS NANOPARTICLES BY PYROMETALLURGICAL METHOD

By

INTAN ALDARA

Iron sand in Indonesia is spread on various beaches such as the west coast of Sumatra, the south coast of Java, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara and the Maluku islands. In this study, iron sand was obtained from Mandiri Beach located in Pesisir Barat Regency, Lampung Province using the random sampling. Iron sand preparation is carried out by magnetic separation using rod magnets to separate iron sand from impurities. The iron sand of Pantai Mandiri contains several dominant elements namely Fe, Si, Ti, Al, Ca, K, and Mn with a percentage of content respectively is 52,854; 20,553; 7,600; 7,449; 6,873; 2,076; and 0,556%. In addition, this iron sand also contains other elements with a percentage content of less than 0,5%. Extraction of TiO₂ from iron sand was carried out using pyrometallurgical method with roasting temperature variations of 600, 700, and 800°C, obtained gray powder with yield of 24,29; 23,27; and 16,74%. The extracted sample was characterized using XRF and showed that the TiO₂ content in the sample increased with an increase in roasting temperature of 6,970; 8,436; and 8.659%. Extracted samples with a roasting temperature of 800°C were characterized using XRD and SEM. The result of XRD characterization show that the TiO₂ obtained has an anatase phase with a tetragonal crystal structure with $a = b = 3,7840 \text{ \AA}$ and $c = 9,5150 \text{ \AA}$, and has an angular value of $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, and has a size classified as nanoparticles of 55,16 nm. TiO₂ which is classified as nanoparticles can be used as antibacterial Escherichia coli, polymer composites, and semiconductors in DSSC. The results of characterization with SEM show that the surface morphology of extracted samples at a roasting temperature of 800°C has variations in shape, size, and color contrast which indicates that the samples obtained have phase diversity.

Keywords: Iron Sand, TiO₂, Pyrometallurgy, Nanoparticles

**EKSTRAKSI TITANIUM DIOKSIDA (TiO_2) DARI PASIR BESI PANTAI
MANDIRI PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN
METODE PIROMETALURGI**

Oleh

Intan Aldara

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: **EKSTRAKSI TITANIUM DIOKSIDA
(TiO₂) DARI PASIR BESI PANTAI
MANDIRI PESISIR BARAT SEBAGAI
NANOPARTIKEL DENGAN METODE
PIROMETALURGI**

Nama Mahasiswa

: **Intan Aldara**

Nomor Pokok Mahasiswa

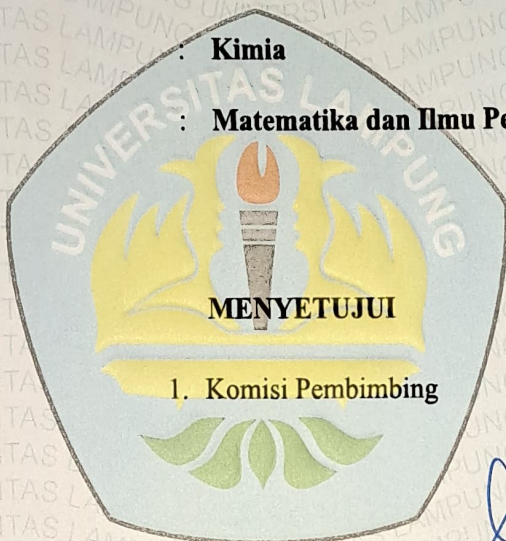
: **2017011028**

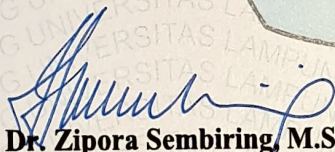
Jurusan

: **Kimia**

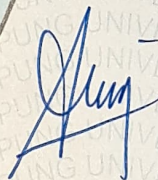
Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



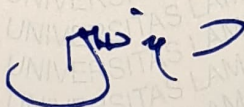


Dr. Zipora Sembiring, M.Si.
NIP. 195901061986032001



Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.
NIP. 198203272015021002

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

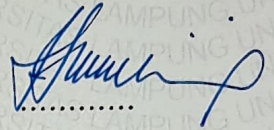


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

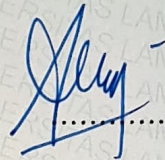
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

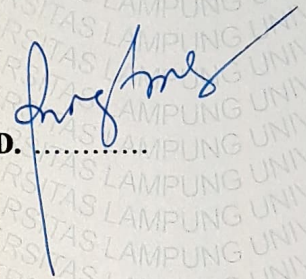
Ketua : Dr. Zipora Sembiring, M.Si.



Sekretaris : Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.



Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 25 April 2024

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Intan Aldara
NPM : 2017011028
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya berjudul **“Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO_2) dari Pasir Besi Pantai Mandiri Pesisir Barat Sebagai Nanopartikel dengan Metode Pirometalurgi”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 25 April 2024
Yang Menyatakan,



Intan Aldara
NPM. 2017011028

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Intan Aldara, lahir di Gedong Tataan pada tanggal 25 Desember 2002. Penulis merupakan putri dari Bapak Al Imron dan Ibu Elyawati. Saat ini penulis bertempat tinggal di Desa Sukaraja, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran, Lampung.

Penulis memulai Pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Sekar Wangi pada tahun 2008-2009. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Sukaraja pada tahun 2009-2015. Pada tahun 2015-2018 penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Pesawaran. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Gedong Tataan pada tahun 2018-2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi. Organisasi yang diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila sebagai kader muda pada periode 2021 dan anggota inti pada periode 2022 di bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I tahun 2023 selama 40 hari pada bulan Januari-Februari 2023 di Pekon Way Napal, Kecamatan Krui Selatan, Kabupaten Pesisir Barat, Lampung. Pada bulan Juli-Agustus 2023, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium dan *Quality Control* (QC) Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air Minum Way Rilau yang berlokasi di Jl. P. emir M. Noer No. 11a, Sumur Putri, Teluk Betung

Utara, Bandar Lampung. Pada bulan Agustus-Desember 2023 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mineral Terpadu Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang yang diberi Judul **“Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO_2) dari Pasir Besi Pantai Mandiri Pesisir Barat Sebagai Nanopartikel dengan Metode Pirometalurgi”**.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan *alhamdulillahirobbil 'alamin* puji syukur kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang selalu menyertai langkahku, sehingga terciptalah sebuah karya yang kupersembahkan sebagai wujud bakti dan tanggung jawabku kepada:

Mama Elyawati yang telah mengandung, melahirkan, membesarkan, mendidik, memberikan cinta dan kasih, mendoakan, serta senantiasa mendukung dan menemani langkahku. Semoga Allah SWT hadiahkan *Jannah-Nya* untukmu,
Aamiin yaa Robbal'alamin.

Kakak Bayu Rahmat Sanjaya dan Mutiara Mustika, serta Ananda Bumi Barra Alkantara dan Sultan Fawwas Albarra yang telah mendoakan dan memberikan dukungan dalam segala hal. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan dan kebahagiaan ditengah keluarga ini.

Pembimbing penelitianku, Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si., dan Bapak Dr. Sudibyو, S.T., M.Sc., serta seluruh Dosen Jurusan Kimia yang telah membimbing, mendidik, dan memberikan banyak ilmu kepadaku selama menjalani proses pendidikan sarjana.

Serta,
Almamaterku tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).”

(Q.S. Al-Insyirah: 6-7)

“...Barangsiapa bertakwa kepada Allah niscaya Dia akan membukakan jalan keluar baginya.”

(Q.S. At-Talak: 2)

“Sesulit apapun tetaplah bertahan, jangan mundur, meski selangkah! Percayalah kau bisa.”

(Chatreen Moko)

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil 'alamin segala puji bagi Allah *subhanahu wa ta'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO₂) dari Pasir Besi Pantai Mandiri Pesisir Barat sebagai Nanopartikel dengan Metode Pirometalurgi”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Shalawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk golongan yang mendapatkan syafaatnya di *Yaumul Qiyamah* kelak, Aamiin.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, kritk, saran, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
2. Bapak Mulyono, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si. selaku Pembimbing Utama atas seluruh dedikasinya dalam memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, dukungan, kritik, dan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Dr. Sudibyو, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang senantiasa membimbing, memberikan arahan, dan ilmu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Bapak Prof. Rudy Tahan Mangapul Situmeang, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan ilmu, arahan, kritik, dan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

6. Ibu Dr. Rinawati, Ph.D. selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberikan arahan dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen, laboran, staff, serta karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman kepada penulis selama kuliah.
8. Bapak dan Ibu Peneliti, staff, serta karyawan BRIN Tanjung Bintang atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama melaksanakan penelitian.
9. Mama Elyawati yang senantiasa mendoakan, mendukung, mendengarkan dan memberikan cinta, kasih sayang, nasihat, serta motivasi kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan ini dengan baik.
10. Kakak-kakakku, Mutiara Mustika dan Bayu Rahmat Sanjaya yang senantiasa memberikan doa dan dukungan untuk penulis.
11. Bumi Barra Alkantara dan Sultan Fawwas Albarra sebagai salah satu sumber semangat penulis atas segala bentuk kasih sayang yang senantiasa diberikan kepada penulis.
12. Ratih Purwasih dan Nur Indah Jeni Safitri sebagai sahabat penulis sedari SMP yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan semangat, dan dukungan kepada penulis.
13. Tiara Khairunnisa sebagai sahabat penulis yang selalu menemani dan mendengarkan penulis, memberi nasihat, dukungan, dan candaan kepada penulis.
14. Muhammad Irfan Hanafi atas ketersediaannya mendengarkan keluh kesah, membantu, dan memberikan dukungan kepada penulis.
15. Lisa Rahmawati, M. Rafli Akbar, dan Yurita Renaria sebagai teman seperbimbingan dan seperjuangan penulis dalam penelitian yang telah banyak membantu, memberikan dukungan, dan bekerja sama dengan penulis sehingga penelitian dan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
16. Kakak-kakak rekan penelitian penulis, Vinda, Anwar, Roi, Hirson, dan Reza yang telah banyak membantu dan memberi arahan kepada penulis saat melaksanakan penelitian.

17. Siti Salwa Khotijah yang telah kebersamaan penulis melewati semester demi semester dan senantiasa memberikan dukungan kepada penulis.
18. Amelia Mareta, Fitriana Artika Sari, Dyasmin Dwi Larasati, dan Putri Ardila Buana sebagai teman terdekat penulis di masa perkuliahan yang telah menemani, membantu, dan memberikan dukungan kepada penulis.
19. Seluruh keluarga dan kerabat terdekat yang senantiasa mendoakan penulis.
20. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis.
21. Teruntuk diriku, terima kasih telah berjuang sejauh ini dan tidak pernah berpikir untuk menyerah. Terima kasih telah mau berdamai dengan segala hal yang terjadi dalam kehidupan ini. Terima kasih telah berusaha memberikan yang terbaik dari setiap proses yang kamu jalani. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan dalam proses perjalanan hidupmu.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Semoga Allah *subhanahu wa ta'ala* membalas segala bentuk kebaikan yang telah Bapak, Ibu, dan rekan-rekan semua berikan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua, Aamiin.

Bandar Lampung, 25 April 2024
Penulis,

Intan Aldara
NPM. 2017011028

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pasir	5
2.1.1 Pasir Pantai	6
2.1.2 Pasir Sungai	6
2.1.3 Pasir Kuarsa.....	7
2.1.4 Pasir Zirkon	8
2.1.5 Pasir Besi	8
2.2 Metode Ekstraksi	10
2.2.1 Metode Pirometalurgi.....	10
2.2.2 Metode Hidrometalurgi	11
2.2.3 Metode Elektrometalurgi.....	12
2.3 Karakterisasi	13
2.3.1 <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF).....	13
2.3.2 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	14
2.3.3 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	17
2.4 Aplikasi TiO ₂	19
III. METODELOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Waktu dan Tempat	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20
3.2.1 Alat	20
3.2.2 Bahan.....	21
3.3 Metode Penelitian	21
3.3.1 Metode <i>Sampling</i>	21

3.3.2 Preparasi	21
3.3.3 Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO ₂) dari Pasir Besi	22
3.3.4 Karakterisasi	23
3.3.5 Pengolahan Data	24
3.3.6 Skema Alur Penelitian	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Preparasi Sampel	28
4.2 Karakterisasi XRF Pasir Besi	29
4.3 Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO ₂)	31
4.4 Karakterisasi XRD	36
4.5 Karakterisasi SEM	38
V. KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	49
Lampiran 1. Perhitungan Rendemen Hasil Ekstraksi TiO ₂	50
Lampiran 2. Perhitungan Ukuran Kristal TiO ₂ Menggunakan Persamaan Scherrer	51
Lampiran 3. Spektrum Hasil Karakterisasi XRF	52
Lampiran 4. EDS <i>Mapping</i> Unsur yang Terkandung Pada Hasil Ekstraksi ..	54
Lampiran 5. Dokumentasi Proses Penelitian	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil XRF Pasir Besi	14
2. Hasil Karakterisasi XRF Pasir Besi Pantai Mandiri Hasil Preparasi	29
3. Hasil Karakterisasi XRF Pasir Besi Pantai Bungus	31
4. Hasil Karakterisasi Komponen Unsur Sampel Hasil Ekstraksi	33
5. Hasil Karakterisasi Komponen Oksida Sampel Hasil Ekstraksi.....	34
6. Hasil Analisis EDS.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Kristal TiO ₂	9
2. Skema XRF	13
3. Difraksi Sinar-X oleh Bidang Nanokristal	15
4. Geometri XRD	16
5. Pola Difraksi Kristal TiO ₂ Brookite, Rutile, dan Anatase	17
6. Skema SEM.....	18
7. Skema Alur Kerja <i>Sampling</i>	24
8. Skema Alur Kerja Preparasi Sampel.....	25
9. Skema Alur Kerja Preparasi Pelarut H ₂ SO ₄ 8 M	25
10. Skema Alur Kerja Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi.....	26
11. Skema Alur Kerja Karakterisasi.....	27
12. Sampel Hasil Preparasi (a) <i>Concentrate</i> dan (b) <i>Tailing</i>	28
13. Pasir Besi Hasil Preparasi Lolos Ayakan 325 <i>mesh</i>	29
14. Sampel Hasil Roasting (a) 600°C, (b) 700°C, dan (c) 800°C	32
15. Hasil Ekstraksi TiO ₂ (a) 600°C, (b) 700°C, dan (c) 800°C	33
16. Pola Difraksi Sampel dari Analisis <i>High-Score Plus</i>	36
17. Struktur Kristal Anatase	37
18. (a) Hasil Karakterisasi SEM Perbesaran 1.000x, (b) Perbesaran 5.000x, (c) Perbesaran 10.000x dan (d) EDS Mapping Titanium dalam Sampel	38

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasir besi di Indonesia tersebar di berbagai pantai seperti pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara dan kepulauan Maluku (Elsafitri dkk., 2020). Berdasarkan data Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (2022), pada tahun 2021 Indonesia memiliki potensi sumber daya pasir besi sebesar 4.830.990.567 ton. Pasir besi terbentuk karena adanya aktivitas letusan gunung berapi atau intrusi magma dan sungai yang melintas di pantai (Tiwow dkk., 2018). Di Lampung, pasir besi banyak ditemui di pantai Pesisir Barat. Di bagian barat pantai Kabupaten Pesisir Barat terdapat gunung-gunung, yaitu Gunung Pugung, Gunung Sebayon, Gunung Telalawan dan Gunung Tampak Tunggak, selain itu terdapat beberapa sungai yang melintas di kisaran pantai. Hal ini yang menyebabkan banyaknya pasir besi di sepanjang pantai Pesisir Barat (Giovano dkk., 2021).

Pasir besi mengandung senyawa magnetit atau besi oksida yang terdiri dari campuran besi dan oksigen di antaranya hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) dan ilmenit (FeTiO_3). Fe dan Ti merupakan unsur yang paling dominan pada pasir besi dengan presentase masing-masing sebesar 76,92% dan 19,94%, sisanya merupakan unsur-unsur seperti Sb, Sn, Nb, Zr, Zn, Mn dan V yang memiliki presentase kecil (Indrawati dkk., 2013). Sebagian besar pasir besi terdiri dari mineral magnetik sehingga banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti elektronika, energi, kimia, ferrofluida, katalis, dan diagnosa medik. Senyawa ilmenit (FeTiO_3) pada pasir besi dapat diekstraksi menjadi titanium dioksida

(TiO₂). TiO₂ dapat dimanfaatkan menjadi fotokatalisis karena secara kimia stabil dan aman (Negishi *et al.*, 1997). TiO₂ bersifat inert, tidak berbahaya, murah, tahan korosi, serta memiliki karakteristik optik yang baik sehingga dimanfaatkan sebagai semikonduktor pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Astuti dan Ningsi, 2017). Selain itu, TiO₂ juga banyak digunakan dalam industri penerbangan karena sifatnya yang ringan, kuat, dan lebih baik dari baja *stainless* dalam menahan korosi (Lu *and* Chen, 2009).

Aplikasi pasir besi ternyata tidak terlepas dari perkembangan kajian nanomaterial yang menuntut agar berada dalam orde nanometer (Kartika dan Pratapa, 2014). Saat ini, pasir besi dengan ukuran nanopartikel sedang gencar dikembangkan karena pasir besi yang berukuran nano memiliki peluang yang lebih besar untuk diaplikasikan (Rianna dkk., 2022). Nanomaterial adalah material yang memiliki ukuran berkisar antara 1-100 nm. Material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material berukuran besar, seperti sifat magnetik, optik, katalitik, dan sifat mekanik (Hosokawa *et al.*, 2007). Telah banyak dilakukan penelitian mengenai ekstraksi nanomaterial dari pasir besi, salah satunya adalah TiO₂ (Setyani dan Wibowo, 2017).

Beberapa metode telah digunakan dalam ekstraksi TiO₂ dari pasir besi, di antaranya adalah metode pirometalurgi dan hidrometalurgi. Metode pirometalurgi merupakan metode pembakaran pasir besi dengan bantuan karbon sebagai reduktor pada suhu tinggi sehingga besi pada ilmenit dapat tereduksi dan menghasilkan *slag* yang kaya akan TiO₂. Sedangkan proses hidrometalurgi adalah proses pelarutan pasir besi menggunakan larutan asam klorida maupun asam sulfat, namun adanya besi yang ikut terlarut dalam asam tersebut membutuhkan proses lebih lanjut (Setiawati dkk., 2013). Selain itu, ekstraksi TiO₂ dari pasir besi menggunakan metode hidrometalurgi berlangsung sangat lama karena membutuhkan proses kalsinasi pada suhu yang cukup tinggi dan menghasilkan TiO₂ yang sangat sedikit (Istiqomah dkk., 2019).

Pada penelitian Najihah dkk. (2018), telah dilakukan ekstraksi TiO_2 dari pasir besi Tulungagung menggunakan metode hidrometalurgi dengan pelarut asam sulfat berkonsentrasi 8 M yang disertai dengan pemanasan. Dalam penelitian ini, material yang diperoleh adalah nanokristalin TiO_2 berfase rutil yang terbentuk pada pemanasan dengan suhu 1000°C selama 7 jam. Ukuran nanokristalin yang diperoleh adalah sebesar 2,01 nm.

Pada penelitian Indrawati dkk. (2013), telah dilakukan ekstraksi TiO_2 dari pasir besi menggunakan metode pirometalurgi. Pasir besi direaksikan dengan natrium karbonat (Na_2CO_3). Perbandingan antara pasir besi dan Na_2CO_3 adalah 1:2 dengan berat total 60 gram. Penambahan Na_2CO_3 pada saat *roasting* pasir besi membantu proses dekomposisi senyawa serta senyawa yang terbentuk cukup berpori sehingga memudahkan sampel untuk *dileaching*. Material yang diperoleh adalah TiO_2 sebesar 17,26% pada suhu 600°C , 76,54% pada suhu 700°C , dan 51,5% pada suhu 800°C . Pada penelitian Lasheen (2008), diketahui perbandingan optimum antara pasir besi dengan Na_2CO_3 adalah 0,55:1, pada perbandingan ini proses dekomposisi terjadi secara sempurna dan sampel yang dihasilkan mudah diuraikan dengan akuades dan asam. Pada penelitian Ermawati dkk. (2011), TiO_2 diekstraksi dari pasir besi Pandeglang, Jawa Barat dan diperoleh TiO_2 sebesar 47,48% pada suhu 600°C , dan 64,62% pada suhu 750°C .

Berdasarkan uraian diatas, akan dilakukan penelitian mengenai ekstraksi nanopartikel TiO_2 dari pasir besi Pantai Mandiri yang terletak di Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung menggunakan metode pirometalurgi dengan variasi suhu *roasting* 600, 700, dan 800°C . TiO_2 yang telah didapatkan akan dikarakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui mineral yang terkandung didalamnya. Sampel dengan hasil XRF terbaik dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan SEM untuk mengetahui morfologi permukaan TiO_2 yang diperoleh.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui mineral yang terkandung dalam pasir besi Pantai Mandiri Pesisir Barat melalui karakterisasi XRF.
2. Mendapatkan TiO_2 dari hasil ekstraksi pasir besi menggunakan metode pirometalurgi.
3. Mengetahui struktur TiO_2 yang dihasilkan dari ekstraksi pasir besi melalui karakterisasi XRD.
4. Mengetahui morfologi permukaan TiO_2 yang dihasilkan dari ekstraksi pasir besi melalui karakterisasi SEM.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah referensi tentang mineral-mineral yang terkandung dalam pasir besi Pantai Mandiri Pesisir Barat.
2. Meningkatkan potensi pemanfaatan pasir besi Pantai Mandiri Pesisir Barat sebagai sumber nanopartikel TiO_2 .

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir

Pasir merupakan material yang terdiri dari butiran-butiran batuan berukuran 0,06 – 2 mm. Butiran pasir dapat berupa mineral tunggal, fragmen batuan atau biogenik. Pasir terbentuk karena adanya proses pelapukan fisika dan kimia pada batuan (Kusmiyarti, 2016). Pelapukan fisika merupakan pelapukan batuan yang diakibatkan adanya pengaruh faktor fisik pada batuan. Suhu udara, tekanan, dan kristalisasi garam merupakan faktor utama yang berperan dalam pelapukan fisika. Pelapukan kimia merupakan pelapukan yang diakibatkan perubahan struktur kimiawi yang terdapat pada batuan melalui reaksi tertentu (Chambers dan Sutarman, 2012). Ada 3 macam reaksi yang terjadi pada pelapukan kimia antara lain *solution*, hidrolisis, dan oksidasi (Tamanak dkk., 2020). Reaksi *solution* merupakan proses terlarutnya bahan padat ke cairan menjadi ion yang dapat larut dan dikelilingi oleh molukel air. Reaksi hidrolisis merupakan reaksi suatu substansi dengan air yang membentuk hidroksida dan substansi baru yang lebih mudah terlarut. Reaksi oksidasi merupakan suatu proses kehilangan elektron atau penggabungan senyawa dengan oksigen (Hasibuan dan Syafriadiman, 2021).

Pasir digunakan dalam berbagai industri dan produk diantaranya penyaringan air, plastik, dan bidang elektronik. Pasir mengacu pada bahan butiran yang dihasilkan dari disintegrasi batuan yang digunakan sebagai komponen utama untuk memproduksi beton, material bangunan, aspal, dan kaca. Sedangkan pasir dari pantai dan sungai biasanya digunakan untuk sektor konstruksi (Filho *et al.*, 2021). Pada pembuatan genteng, pasir digunakan sebagai penguat genteng agar ketika

proses pembakaran atau penjemuran genteng menjadi kuat dan tidak mudah pecah (Pradiptha dkk., 2022).

Pasir terdiri dari beberapa jenis, antara lain pasir pantai, pasir sungai, pasir kuarsa, pasir zirkon, dan pasir besi.

2.1.1 Pasir Pantai

Pasir pantai adalah jenis pasir yang didapatkan dari pesisir pantai yang memiliki butiran halus berkisar 0,55 hingga 2 mm. Pasir pantai terbentuk akibat pengikisan batu yang disebabkan erosi gelombang laut. Pasir pantai umumnya merujuk pada logam berat seperti biji besi dan timah yang terkandung. Di alam, pasir pantai ditemukan dengan kemurnian yang bervariasi tergantung pada proses terbentuknya di samping adanya material lain yang ikut selama proses pengendapan. Material dengan unsur yang dominan berkontribusi sebagai pemberi warna pada pasir pantai dan warna tersebut dapat diperkirakan derajat kemurniannya. Salah satu kandungan pasir pantai adalah kalsium (Setiyo dkk., 2020).

2.1.2 Pasir Sungai

Pasir sungai adalah salah satu jenis pasir yang berasal dari sungai dan memiliki ukuran pasir antara 0,063 hingga 2 mm. Pasir sungai dapat ditambang langsung dari sungai dan umumnya berupa hasil dari terkikisnya batuan sungai yang bersifat keras dan tajam (Fuad dkk., 2020). Pasir sungai umumnya berupa butir halus dan berbentuk bulat. Karena butirnya halus, pasir sungai baik untuk plesteran tembok. Namun, daya rekat antar butir pasir ini menjadi kurang baik karena pasir berbentuk bulat. Selain itu, pasir sungai dapat dimanfaatkan dalam pembuatan beton. Adapun pasir yang digunakan untuk pembuatan beton adalah pasir yang lolos ayakan mengikuti standar ASTM E 11-70. Hal ini dilakukan

untuk mencegah keretakan pada beton bila sudah mengering (Qomaruddin, 2018). Pasir sungai dapat digunakan sebagai sumber *calcite oxide* (CaCO_3) dan *quartz oxide* (SiO_2), serta dapat digunakan untuk penyerapan gelombang mikro karena mengandung oksida besi (Fe_2O_3 dan Fe_3O_4) dan silika oksida (SiO_2) serta senyawa lain seperti Ni dan Zn dengan kandungan yang kecil (Fauzi dan Nadliroh, 2021).

2.1.3 Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa adalah salah satu mineral umum yang ditemukan di kerak kontinen bumi. Pasir kuarsa dikenal juga sebagai pasir putih yang merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan feldspar. Hasil pelapukan tercuci dan terbawa oleh air yang terendapkan di tepi-tepi sungai, danau, atau laut. Pasir kuarsa terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan seperti oksida besi, oksida kalsium, oksida alkali, oksida magnesium, lempung, dan zat organik hasil pelapukan hewan dan tumbuhan. Pada umumnya, pasir kuarsa ditemukan dengan ukuran butiran yang bervariasi mulai dari fraksi halus (0,06 mm) sampai dengan ukuran kasar (2 mm) (Ramadhan dan Suparman, 2018).

Pasir kuarsa memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silika trigonal terkristalisasi (silikon dioksida, SiO_2) dengan skala kekerasan Mohs 7 dan densitas $2,65 \text{ g/cm}^3$. Cadangan pasir kuarsa Indonesia tersebar di Sumatera Barat, Kalimantan Barat, Jawa Barat, Sumatera Selatan, Kalimantan Selatan, serta Pulau Bangka dan Belitung. Cadangan pasir kuarsa terbesar terdapat di Sumatera Barat yaitu sekitar 82,5% dari seluruh cadangan yang ada di Indonesia. Pasir kuarsa banyak digunakan dalam industri gelas, optik, keramik, dan abrasif. Selain itu, pasir kuarsa juga dipergunakan sebagai dasar atau bahan tambahan pada pembuatan jalan tol dan *airport* (Ramadhan dan Suparman, 2018).

2.1.4 Pasir Zirkon

Pasir zirkon adalah salah satu produk dari pasir mineral. Zirkon adalah silikat zirkonium, dengan rumus kimia $ZrSiO_4$. Dalam struktur kristalnya, zirkon mengandung uranium dan torium hingga 1% (Gediga *et al.*, 2019). Penggunaan pasir zirkon sangat bervariasi, baik sebagai mineral industri nonlogam maupun mineral logam. Pasar pasir zirkon dunia sebagian besar digunakan sebagai mineral industri, yaitu untuk keramik, pasir cetak (*foundry sand*), bata tahan api (*refractory*), dan kimia zirkonium. Zirkonium silikat adalah produk pengolahan pasir zirkon yang paling banyak digunakan sebagai *opacifier* atau glasir untuk meningkatkan kualitas keramik (Suseno, 2015).

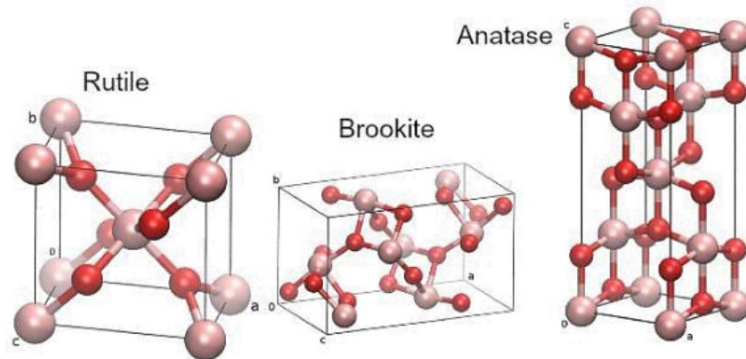
2.1.5 Pasir Besi

Pasir besi merupakan pasir yang mengandung partikel besi yang terdapat di sepanjang pantai. Pembentukan pasir besi ditentukan oleh beberapa faktor antara lain batuan asal, proses perubahan, media transportasi, proses serta tempat pengendapannya. Sumber mineral pasir besi pantai sebagian besar berasal dari batuan gunung api yang mengalami perubahan. Proses perubahan ini terjadi akibat dari pelapukan batuan karena proses alam akibat panas dan hujan yang membuat butiran mineral terlepas dari batuan. Media transportasi endapan pasir besi pantai antara lain aliran sungai, gelombang, dan arus laut. Proses transportasi membawa material lapukan dari batuan asal dan menyebabkan mineral-mineral terangkut hingga ke muara, kemudian gelombang dan arus laut mencuci dan memisahkan mineral-mineral tersebut berdasarkan perbedaan berat jenisnya (Andani dan Octova, 2020).

Pasir besi berwarna abu-abu gelap atau kehitaman, berbutir sangat halus dengan ukuran antara 0,075-0,15 mm, densitas 2-5 gr/cm³, dan derajat kemagnetan (MD) 6,40-27,16%. Pasir besi mengandung mineral besi dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Mineral-mineral utama yang terdapat di dalam endapan pasir besi yaitu

hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), dan ilmenit (FeTiO_3). Mineral-mineral ini menyebabkan pasir besi bersifat feromagnetik, yaitu sifat magnet dengan daya tarik magnet yang kuat (Yulianti dkk., 2020). Selain itu, pasir besi juga mengandung beberapa unsur lain yaitu K, C, Na, Mg, Al, Si, dan Ca (Karbeka dkk., 2020).

Mineral-mineral yang terkandung dalam pasir besi dapat diekstraksi menjadi senyawa nanopartikel yang memiliki berbagai manfaat, salah satunya titanium dioksida (TiO_2) (Setyani dan Wibowo, 2017). Titanium dioksida atau dikenal juga sebagai titanium (IV) oksida atau titania adalah oksida dari titanium dengan rumus molekul TiO_2 . TiO_2 mempunyai berat molekul 79,90 g/mol dan densitas $4,26 \text{ g/cm}^3$. TiO_2 tidak mampu menyerap cahaya tampak tetapi mampu menyerap radiasi UV sehingga dapat menyebabkan terjadinya radikal hidroksil pada pigmen sebagai fotokatalis. TiO_2 merupakan bahan semikonduktor yang memiliki sifat optik yang baik dan nilai celah pita energi yang lebar yaitu 3,2 eV yang hanya aktif dalam cahaya ultraviolet (Pataya dkk., 2016).



Gambar 1. Struktur Kristal TiO_2 (Saputri dkk., 2022)

Secara umum, TiO_2 dapat berupa endapan dalam bentuk rutile (tetragonal TiO_2), anatase (tetragonal TiO_2), dan brookite (rombik TiO_2). TiO_2 bersifat ringan, kuat, tidak mudah terbakar, tidak menimbulkan efek beracun, memiliki biokompatibilitas yang tinggi, tahan terhadap suhu tinggi, korosi, serta garam anorganik. Karena sifat-sifat yang dimilikinya, TiO_2 banyak digunakan dalam industri, kimia (katalis dan kosmetik), otomotif (pelapis kaca anti-UV dan

antidebu), medis (*implant* dan alat kedokteran), keramik, kertas, kemasan, hingga penerbangan. Selain itu, TiO_2 dapat digunakan sebagai pelapis pada polimer resin plastik karena TiO_2 memiliki fungsi bakterisida dan fungisida. Hal ini menyebabkan akan mengurangnya pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur, sehingga diharapkan makanan yang disimpan di dalam kemasan makanan dengan pelapis TiO_2 akan lebih awet dan bebas dari bakteri. Para peneliti menggunakan TiO_2 dalam makanan kemasan sebagai fotokatalitik disinfektan untuk melapisi permukaan plastik polimer dan menggunakan TiO_2 sebagai lapisan tipis bahan kemasan plastik (Supriyatna *et al.*, 2020).

2.2 Metode Ekstraksi

Beberapa metode telah dilakukan untuk mengekstraksi TiO_2 dari pasir besi antara lain metode pirometalurgi, hidrometalurgi, dan elektrometalurgi.

2.2.1 Metode Pirometalurgi

Metode pirometalurgi adalah metode pembakaran pasir besi dengan bantuan karbon sebagai reduktor pada temperatur tinggi sehingga menghasilkan slag yang kaya akan TiO_2 sebagai hasil reduksi besi pada ilmenit (FeTiO_3) (Aliwarga dkk., 2019). Proses dasar dari metode pirometalurgi adalah peleburan, *roasting*, dan destilasi. Pada proses peleburan, bijih-bijih dipanaskan sampai temperatur tertentu sehingga cukup untuk mencairkan logam yang dikehendaki. Pada proses ini akan terjadi proses reduksi dan oksidasi yang bergantung pada jenis bijih-bijih yang diolah. Bijih-bijih yang bersifat oksida seperti Fe, Mn, Cr dan Sn dipisahkan secara reduksi dan bijih-bijih yang bersifat karbonat dan sulfida dipisahkan secara oksidasi. Pada proses *roasting*, temperatur yang digunakan tidak sampai meleburkan logam yang bersangkutan. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan gas-gas atau lembab dari bijih-bijih dan dapat terjadi reduksi, oksidasi, klorisasi,

dan sulfatisasi. Pada proses destilasi, logam atau senyawa diuapkan dari bahan tambang yang sukar menguap (Rasyid, 2014).

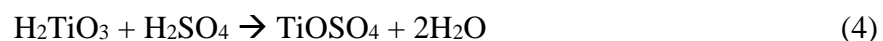
Pada penelitian Indrawati dkk. (2013), telah dilakukan ekstraksi TiO_2 dari pasir besi menggunakan metode pirometalurgi dengan bantuan natrium karbonat (Na_2CO_3). Penambahan Na_2CO_3 pada saat *roasting* pasir besi membantu proses dekomposisi senyawa dengan reaksi sebagai berikut:



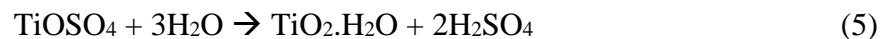
Kemudian, hasil *roasting* dileaching menggunakan akuades dengan reaksi sebagai berikut:



Kemudian, dileaching menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) untuk meningkatkan kemurnian Ti dengan melarutkan logam Fe dengan reaksi sebagai berikut:



Kemudian, dicuci kembali menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa asam dengan reaksi sebagai berikut:



Dari penelitian ini, diperoleh TiO_2 pada suhu *roasting* 700°C sebesar 76,54%. Pada suhu 700°C , ilmenit terdekomposisi dengan baik dan terbentuk sampel yang berpori sehingga memudahkan sampel terpisah dari pengotornya pada saat pencucian.

2.2.2 Metode Hidrometalurgi

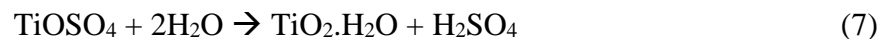
Metode Hidrometalurgi adalah proses pelarutan pasir besi menggunakan larutan asam seperti asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam fosfat (H_3PO_4). Namun, adanya besi yang ikut terlarut dalam asam tersebut membutuhkan proses pemanasan dengan suhu tinggi. Konsentrasi pelarut asam pada metode ini harus sesuai, bila konsentrasi pelarut asam berkurang akan terjadi hidrolisis prematur yang mengakibatkan hilangnya TiO_2 pada pasir besi tersebut. Selain itu, metode

ini memerlukan asam kuat dalam jumlah banyak dengan biaya produksi yang relatif tinggi. Besarnya jumlah asam kuat yang digunakan akan menghasilkan limbah yang besar pula. Metode hidrometalurgi berlangsung sangat lama karena membutuhkan proses kalsinasi pada suhu yang cukup tinggi dan menghasilkan TiO_2 yang sangat sedikit (Aliwarga dkk., 2019).

Pada penelitian Najihah dkk. (2018), telah dilakukan ekstraksi TiO_2 dari pasir besi Tulungagung menggunakan metode hidrometalurgi menggunakan asam sulfat 8 M yang disertai pemanasan dengan reaksi sebagai berikut:



Kemudian, endapan yang diperoleh dicuci kembali menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa asam dengan reaksi sebagai berikut:



Material yang diperoleh yaitu nanokristalin TiO_2 berfase rutile dengan struktur kristal tetragonal yang terbentuk pada pemanasan dengan suhu 1000°C selama 7 jam. Ukuran nanokristalin yang diperoleh adalah sebesar 2,01 nm dengan volume sel sebesar $62,457 \text{ \AA}^3$ dan berat molekul sebesar 84,918.

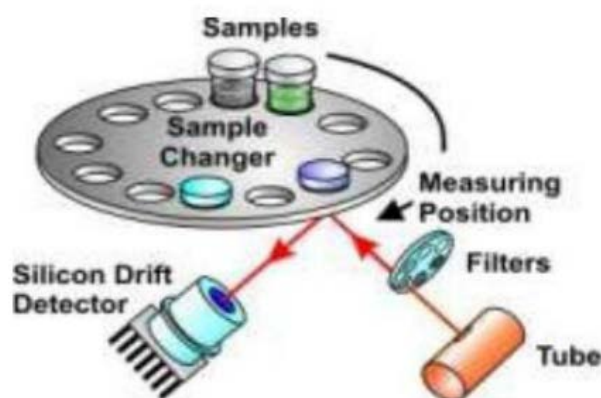
2.2.3 Metode Elektrometalurgi

Metode elektrometalurgi merupakan proses ekstraksi metalurgi menggunakan sumber panas yang berasal dari listrik. Tujuan dari metode elektrometalurgi adalah mengendapkan logam dari suatu larutan sebagai hasil pelindian (Rasyid, 2014). Prinsip kerja elektrometalurgi yaitu suatu elektrolisa dimana penggunaan energi listrik untuk mengendapkan suatu metal atau logam pada salah satu elektrodanya. Pekerjaan elektrolisa ini terdiri dari 2 tahapan, yaitu *electro winning* dan *electro refinery*. *Electro winning* adalah proses elektrokimia yang digunakan untuk mereduksi kation logam ke permukaan katoda dari larutan air yang berasal dari proses pencucian kimia. *Electro refinery* merupakan proses pemurnian logam (Taruminkeng dkk., 2016).

2.3 Karakterisasi

2.3.1 *X-ray Fluorescence (XRF)*

X-ray fluorescence (XRF) merupakan salah satu cara untuk mengidentifikasi suatu objek material. XRF spektrometer digunakan untuk menganalisis unsur yang terkandung dalam sampel secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan adanya spektrum unsur pada energi sinar-X, sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum. XRF pada umumnya digunakan untuk menentukan unsur-unsur penyusun suatu material. Metode ini banyak digunakan karena mudah dan biaya yang digunakan untuk metode ini relatif murah. Selain itu, proses analisa metode XRF juga cepat dan hanya membutuhkan sedikit sampel. Oleh karena itu, metode ini mempermudah proses identifikasi suatu objek dengan mendapatkan hasil yang akurat (Namira dkk., 2021).



Gambar 2. Skema XRF (Bahfie dkk., 2022).

Prinsip dasar XRF adalah pencacahan sinar-X yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti (karena terjadinya eksitasi elektron) oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Ketika sinar-X yang berasal dari radio isotop sumber

eksitasi menabrak elektron dan akan mengeluarkan elektron kulit dalam, maka akan terjadi kekosongan pada kulit itu. Elektron dari kulit yang lebih tinggi akan mengisi kekosongan itu. Perbedaan energi dari dua kulit itu akan tampil sebagai sinar-X yang dipancarkan oleh atom. Spektrum sinar-X selama proses tersebut menunjukkan peak atau puncak dari setiap unsur yang merupakan landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada (Sumantry, 2013).

Pada penelitian Salomo dkk. (2017), pasir besi diperoleh dari pantai Bungus yang terletak di Kota Padang, Sumatera Barat. Pasir besi tersebut dikarakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui kandungan dari pasir besi tersebut. Hasil karakterisasi XRF yang terdapat pada sampel menunjukkan unsur-unsur dominan seperti Fe, Si, dan Ti (titanium). Diperoleh presentase kandungan Fe, Si, dan Ti masing-masing sebesar 59,974; 14,826; dan 8,368%, sisanya merupakan unsur-unsur lain seperti Al, Mg, Ca, dan Ag.

Tabel 1. Hasil XRF Pasir Besi

No	Unsur	Konsentrasi (%)	Oksida	Konsentrasi (%)
1	Fe	59,974	Fe ₂ O ₃	49,730
2	Si	14,826	SiO ₂	22,205
3	Ti	8,368	TiO ₂	8,389
4	Al	7,337	Al ₂ O ₃	9,905
5	Mg	3,587	MgO	4,321
6	Ca	1,539	CaO	1,391
7	Ag	1,158	Ag ₂ O	0,819

2.3.2 X-ray Diffraction (XRD)

X-ray diffraction (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter

struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel dari nanokristal. XRD sangat berguna untuk mempelajari struktur kristal, komposisi kimia, dan sifat sifat fisika dari nanomaterial. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg (Mursal, 2018).

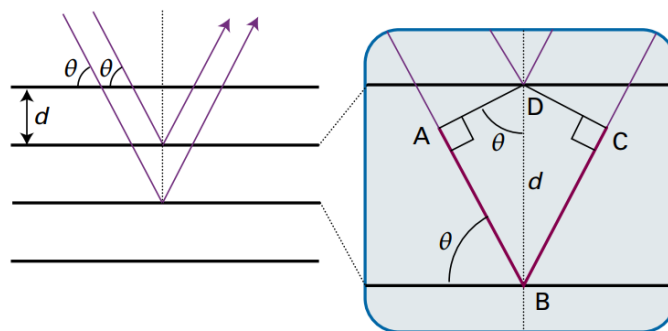
$$AB + BC = 2.d.\sin \theta \quad (8)$$

Ketika panjang lintasan ($AB + BC$) pada difraksi sinar-X sama dengan bilangan bulat Panjang gelombang, maka:

$$n.\lambda = 2.d.\sin \theta \quad (9)$$

Keterangan:

n = bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan; λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan; d = jarak antara dua bidang kisi; θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal.



Gambar 3. Difraksi Sinar-X oleh Bidang Nanokristal (Atkins *et al.*, 2018)

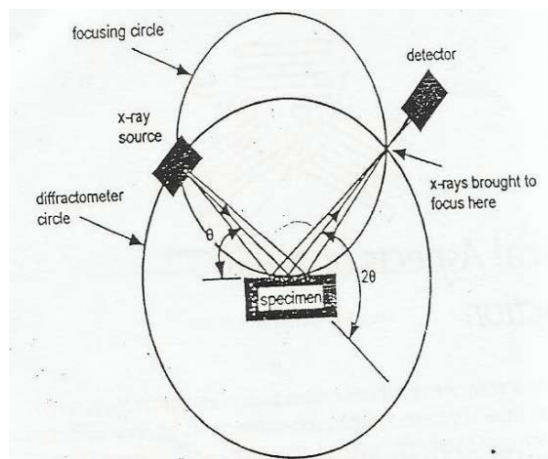
Hukum Bragg merupakan rumusan matematika tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Berkas sinar-X monokromatik yang datang pada permukaan kristal akan dipantulkan, dan pantulan terjadi hanya jika sudut datangnya mempunyai sudut tertentu. Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar

yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Mursal, 2018).

Puncak tertinggi hasil karakterisasi XRD dapat digunakan untuk mengestimasi ukuran kristal dengan menghubungkan ukuran kristal dengan lebar setengah puncak difraksi melalui persamaan Scherrer. Persamaan Scherrer dapat dituliskan sebagai berikut:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (10)$$

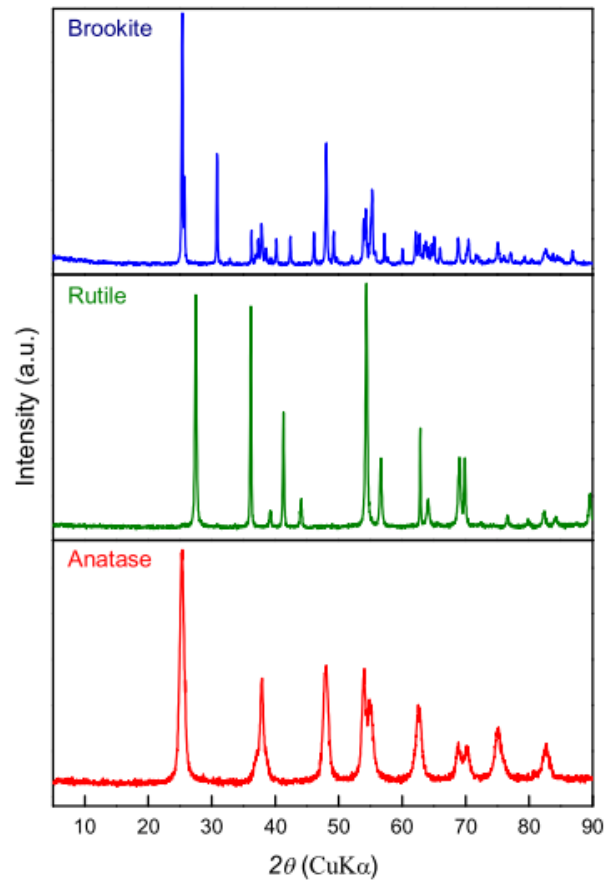
D = ukuran rata-rata kristalin (nm); k = konstanta Scherrer (0,9); λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm); B = lebar setengah puncak maksimum difraksi atau *full width at half maximum* (FWHM) dihitung dalam radian; dan θ = posisi puncak difraksi (Istiqomah dkk., 2019).



Gambar 4. Geometri XRD

Instrumen XRD terdiri atas tiga komponen dasar, yaitu sumber sinar-X, sampel, dan detektor yang terletak pada suatu lingkaran yang sejajar dengan lingkaran fokus. Sudut antara proyeksi sumber sinar-X dan detektor adalah 2θ , sedangkan sudut antara bidang sampel dan sumber sinar-X adalah θ . Lingkaran difraktometer

berpusat pada sampel dimana sumber sinar-X dan detektor terletak pada keliling lingkaran seperti terlihat pada Gambar 4. (Marcian dkk., 2016).



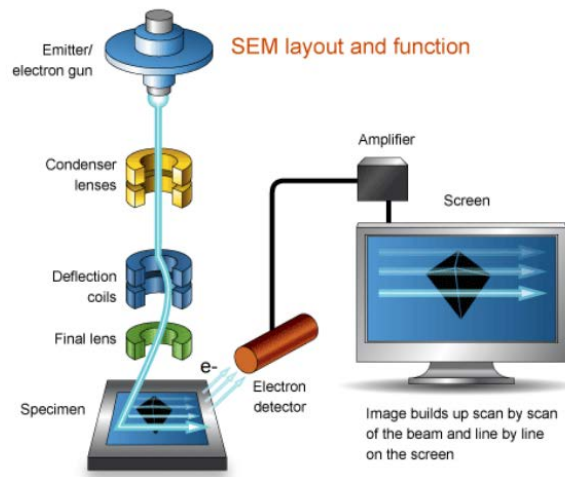
Gambar 5. Pola Difraksi Kristal TiO₂ *Brookite*, *Rutile*, dan *Anatase*

TiO₂ dengan struktur kristal anatase memiliki nilai sudut difraksi 2θ sebesar $25,3^\circ$ pada bidang hkl (101), struktur kristal *rutile* memiliki nilai sudut difraksi 2θ sebesar $27,4^\circ$ pada bidang hkl (110), dan struktur kristal *brookite* memiliki nilai sudut difraksi 2θ sebesar $30,8^\circ$ pada bidang hkl (121) (Kaplan *et al.*, 2016).

2.3.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sebuah mikroskop elektron dengan perbesaran tinggi yang merepresentasikan permukaan suatu material atau

sampel dengan menggunakan pemindaian oleh pancaran elektron (Bahfie dkk., 2022). SEM tergolong metode yang efektif dalam menganalisis bahan organik dan anorganik pada skala nanometer (nm) hingga mikrometer (μm). SEM bekerja pada perbesaran tinggi yaitu dapat mencapai 300.000x bahkan 1.000.000x dalam menghasilkan gambar yang presisi dari berbagai macam material. Analisis menggunakan SEM dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) (Mohammed and Abdullah, 2018). EDS merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada sampel dan sebaran unsur tersebut melalui pancaran elektron yang ditembakkan mesin SEM pada sampel uji (Bahfie dkk., 2022).



Gambar 6. Skema SEM (Mohammed and Abdullah, 2018)

Prinsip kerja SEM adalah adanya interaksi antara berkas elektron terfokus dengan sampel untuk menghasilkan gambar topologi dan komposisi relatif. Setelah kontak dengan sampel, berkas elektron yang terfokus akan menghasilkan elektron sekunder, elektron hamburan balik, dan sinar-X karakteristik yang kemudian dideteksi dengan masing-masing detektor dan akhirnya ditampilkan di monitor. Komponen utama dalam SEM adalah sumber elektron, kolom yang berisi lensa elektromagnetik, detektor elektron, ruang sampel, dan layar komputer (Mutalib *et al.*, 2017)

2.4 Aplikasi TiO₂

Pengaplikasian bahan TiO₂ sangat diperlukan dalam beberapa bidang, salah satunya pada bidang industri. Umumnya, titanium dalam bidang industri digunakan untuk membuat beberapa mesin pemindah panas (*heat exchanger*) dan bejana bertekanan tinggi serta pipa-pipa yang tahan korosi. Alasan penggunaan TiO₂ tak terlepas dari karakteristiknya yang tahan terhadap suhu tinggi dan korosi (Bahfie dkk., 2022). TiO₂ dapat digunakan sebagai semikonduktor pada *dye-sensitized solar cell* (DSSC) karena bersifat inert, tidak berbahaya, murah, tahan korosi kimia, dan fotokorosi serta memiliki karakteristik optik yang baik. Partikel TiO₂ yang digunakan pada DSSC memiliki permukaan yang luas sehingga lebih banyak *dye* yang mampu diabsorpsi dan arus foto yang dihasilkan menjadi lebih besar. Selain itu, struktur nanopartikel TiO₂ yang memiliki nilai keseragaman tinggi menjadikan *dye* terabsorpsi lebih baik (Astuti dan Ningsi, 2017). Kemampuan TiO₂ untuk menginterkalasi ion-Li ke dalam struktur internal kisi kristal menunjukkan TiO₂ mampu mengakomodasi ion-Li selama proses pemakaian baterai sehingga berpotensi sebagai material anoda baterai ion-Li (Agusu dan Yuliana, 2017).

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2023 sampai dengan bulan Januari 2024. Ekstraksi TiO_2 dari pasir besi dengan metode pirometalurgi dilakukan di Laboratorium Mineral Terpadu Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Tanjung Bintang, Lampung. Karakterisasi pasir besi dan TiO_2 menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *X-ray Fluorescence* (XRF), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Tanjung Bintang, Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat gelas (gelas ukur, gelas beaker, labu ukur, erlenmeyer, corong kaca dan pipet tetes), magnet batang, *planetary ball mill* PQ-N2, ayakan 325 mesh, *sieve shaker* AS200Tap, spatula, botol reagen, *furnace Nabertherm*, cawan porselen, *hot plate*, *magnetic stirrer*, termometer, oven, kertas saring, *X-ray Diffraction* (XRD) Merk *Panalytical Xpert 3 Powder*, *X-ray Fluorescence* (XRF) Merk *Panalytical Epsilon 3 XLE*, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Merk *Thermo Scientific Quattro S*.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pasir besi Pantai Mandiri, natrium karbonat, asam sulfat 8 M, dan akuades.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Metode *Sampling*

Metode *sampling* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *random sampling*, yaitu pemilihan lokasi *sampling* secara acak sederhana. Pengumpulan sampel dilakukan dengan membuat plot berukuran 1 x 1 m sebanyak 5 plot di 5 titik yang berbeda. Jarak dari titik 1 dengan titik lainnya adalah 50 meter. Kemudian, diambil sampel dari 5 plot secara acak dan sampel yang telah diperoleh dari 5 plot tersebut dicampurkan menjadi satu (Putra dkk., 2015).

3.3.2 Preparasi

3.3.2.1 Preparasi Sampel

Preparasi pasir besi dilakukan dengan cara separasi magnetik menggunakan magnet batang. Pasir besi yang akan diekstraksi dipisahkan secara fisik dari pengotornya. Pasir besi akan menempel pada magnet sedangkan pengotornya yang tidak bersifat magnet akan tertinggal. Kemudian pasir besi yang diperoleh dihaluskan menggunakan *planetary ball mill* PQ-N2 dengan kecepatan 300 rpm selama 50 menit dan dilakukan pengayakan menggunakan ayakan 325 *mesh* pada *sieve shaker* AS200Tap. Kemudian, dilakukan karakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui kandungan awal sampel (Indrawati dkk., 2013).

3.3.2.2 Preparasi Pelarut Asam Sulfat (H₂SO₄) 8 M

Pelarut H₂SO₄ 8 M sebanyak 100 mL dibuat dengan cara mengencerkan H₂SO₄ 18 M dengan akuades. Dihitung berapa banyak H₂SO₄ 18 M yang diperlukan menggunakan rumus pengenceran berikut.

$$M_1.V_1 = M_2.V_2 \quad (11)$$

Dimasukkan 44,4 mL H₂SO₄ 18 M kedalam labu ukur 100 mL, kemudian tambahkan sedikit akuades dan dihomogenkan. Kemudian, tambahkan kembali akuades sampai tanda tera dan dihomogenkan.

3.3.3 Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO₂) dari Pasir Besi

Sampel pasir besi yang telah berukuran 325 *mesh* dicampurkan dengan natrium karbonat (Na₂CO₃) dengan perbandingan 0,55:1 dan berat totalnya adalah 62 gram (Lasheen, 2008). Selanjutnya, dilakukan proses *roasting* pada *furnace* dengan variasi suhu 600, 700, dan 800°C selama 1 jam. Sampel hasil *roasting* dicuci (*leaching*) menggunakan akuades dan H₂SO₄ 8 M dengan perbandingan antara *solid* dan *liquidnya* sebesar 1:3 diatas pemanas listrik pada suhu 90°C dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan laju 300 rpm. Kemudian, endapan yang diperoleh dicuci kembali menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa asam yang terdapat pada sampel. Selanjutnya, sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C. Kemudian, sampel yang telah kering dikarakterisasi dengan menggunakan XRF, XRD, dan SEM (Indrawati dkk., 2013).

3.3.4 Karakterisasi

3.3.4.1 *X-ray Fluorescence (XRF)*

Karakterisasi menggunakan XRF dilakukan untuk menganalisis senyawa-senyawa yang terdapat dalam pasir besi dan jumlah dari senyawa senyawa tersebut. Pasir besi yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam *sample holder*, kemudian sampel diradiasi dengan sinar-X. Dari data yang diperoleh dapat ditentukan kadar kandungan mineral dalam sampel pasir besi (Silvia dan Zainuri, 2020).

3.3.4.2 *X-ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengidentifikasi fasa kristalin senyawa TiO_2 yang didapatkan dari hasil ekstraksi pasir besi. Sampel yang berupa serbuk dimasukkan ke dalam *sample holder* kemudian diratakan permukaannya dan dipadatkan dengan cara ditekan dengan alat *pressing*. Selanjutnya, tempat sampel tersebut diletakkan pada pemegang tempat sampel. Sampel dikenai sinar-X sehingga terjadi difraksi dengan pola tertentu yang ditunjukkan pada difraktogram (Silvia dan Zainuri, 2020). Kemudian, dianalisis fasa yang terbentuk dan ukuran kristalinnya menggunakan *software High-Score Plus* (Najihah dkk., 2018).

3.3.4.3 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari TiO_2 yang didapatkan. Sampel yang akan dianalisis disiapkan dan direkatkan pada *specimen holder*. Kemudian, sampel dibersihkan dan dimasukkan ke dalam *fine coat*. Kemudian, dimasukkan ke dalam ruang cuplikan dan diamati gambar pada layar SEM dengan mengatur perbesaran yang diinginkan (Widiyastuti, 2016).

3.3.5 Pengolahan Data

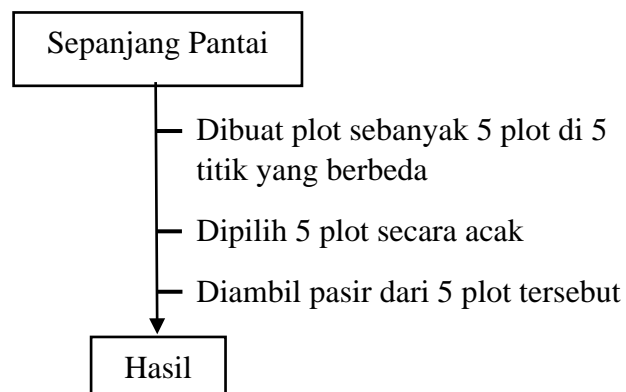
Hasil XRD dianalisa menggunakan *software High-Score Plus* untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Ukuran kristalin dapat diketahui melalui perhitungan menggunakan persamaan Scherrer yaitu:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (12)$$

Dimana D adalah ukuran kristalin TiO_2 , λ adalah panjang gelombang sinar difraksi sinar-X, β adalah nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) yang menunjukkan setengah lebar puncak difraksi maksimum, K adalah konstanta (0,9) dan θ adalah sudut difraksi pada intensitas difraksi maksimum (Istiqomah dkk., 2019).

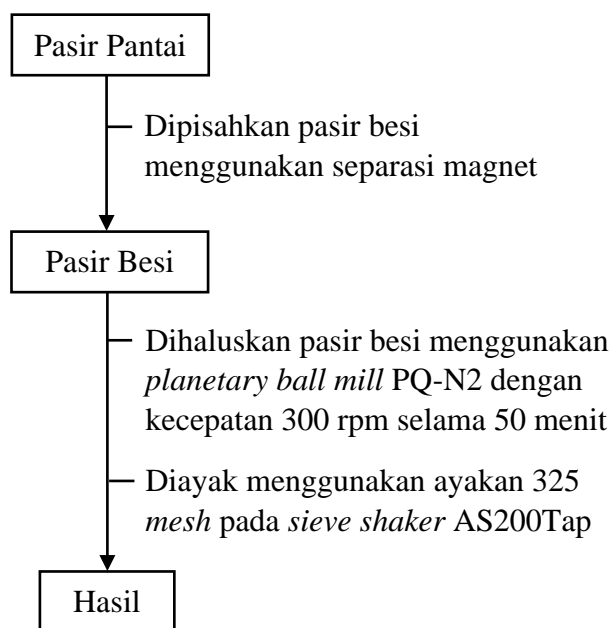
3.3.6 Skema Alur Penelitian

3.3.6.1 Metode Sampling



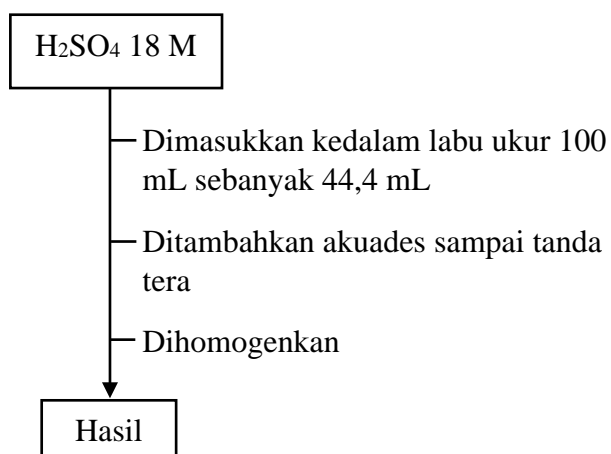
Gambar 7. Skema Alur Kerja *Sampling*

3.3.6.2 Preparasi Sampel



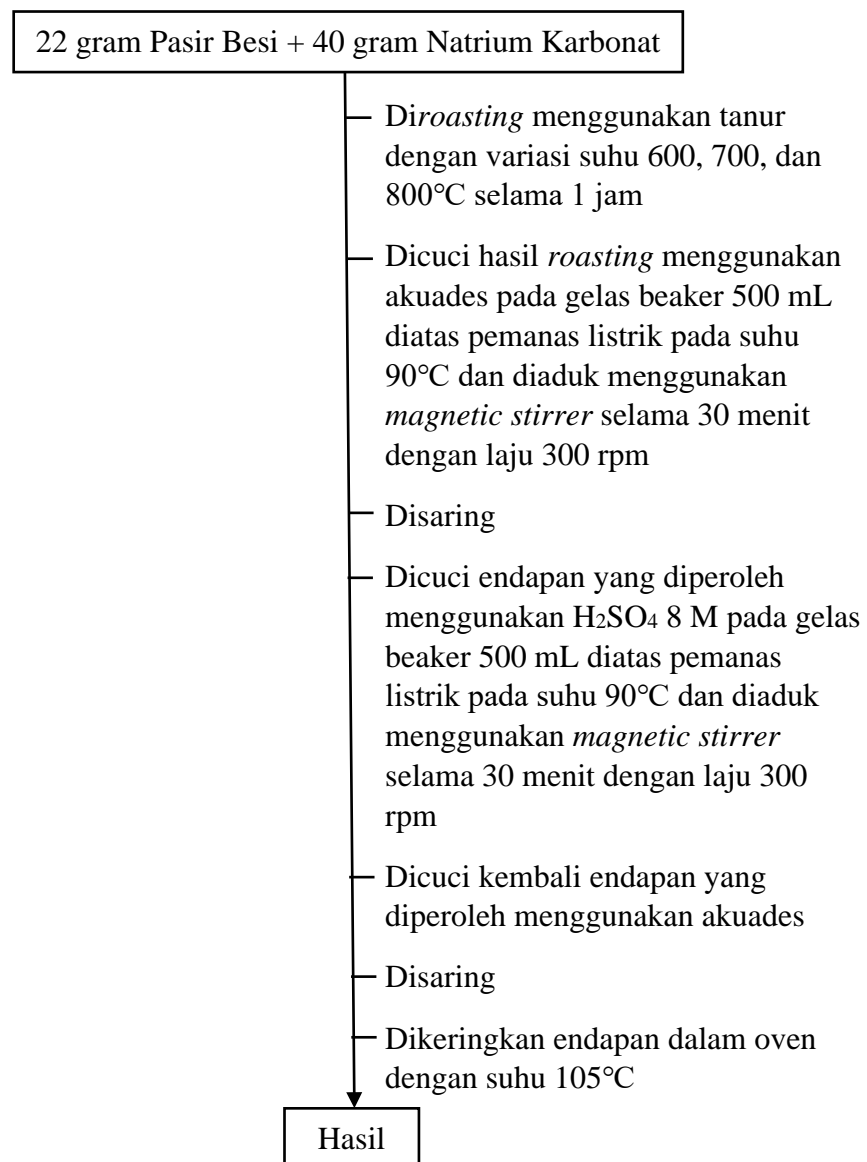
Gambar 8. Skema Alur Kerja Preparasi Sampel

3.3.6.3 Preparasi H_2SO_4 8 M



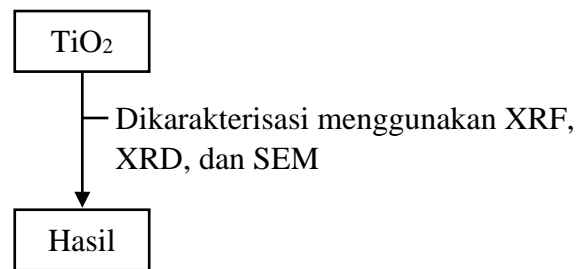
Gambar 9. Skema Alur Kerja Preparasi Pelarut H_2SO_4 8 M

3.3.6.4 Ekstraksi TiO_2 dari Pasir Besi



Gambar 10. Skema Alur Kerja Ekstraksi TiO_2 dari Pasir Besi

3.3.6.5 Karakterisasi



Gambar 11. Skema Alur Kerja Karakterisasi

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pasir besi Pantai Mandiri Pesisir Barat terdiri dari berbagai unsur, unsur yang paling dominan adalah Fe, Si, Ti, Al, Ca, K, dan Mn dengan presentase kandungan berturut-turut adalah 52,854; 20,553; 7,600; 7,449; 6,873; 2,076; dan 0,556%.
2. Hasil dari ekstraksi TiO_2 adalah serbuk berwarna abu-abu dengan rendemen 24,29% pada suhu *roasting* 600°C; 23,27% pada suhu *roasting* 700°C; dan 16,74% pada suhu *roasting* 800°C. TiO_2 yang diperoleh dari ekstraksi pasir besi Pantai Mandiri Pesisir Barat menggunakan metode pirometalurgi memiliki presentase kandungan sebesar 6,970% pada suhu *roasting* 600°C; 8,436 % pada suhu *roasting* 700°C; dan 8,659% pada suhu *roasting* 800°C. Suhu *roasting* yang optimal untuk ekstraksi TiO_2 dari pasir besi Pantai Mandiri adalah 800°C.
3. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa TiO_2 yang diperoleh dari hasil ekstraksi pada suhu *roasting* 800°C memiliki fase anatase dan berstruktur kristal tetragonal dengan $a = b = 3,7840 \text{ \AA}$ dan $c = 9,5150 \text{ \AA}$, serta memiliki nilai sudut α , β , dan γ sebesar 90°. Berdasarkan persamaan Scherrer, diperoleh ukuran kristal TiO_2 sebesar 55,16 nm, ukuran ini menunjukkan bahwa TiO_2 yang diperoleh tergolong nanokristal.

4. Hasil karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan sampel hasil ekstraksi pada suhu *roasting* 800°C memiliki variasi bentuk, ukuran, dan kontras warna yang menandakan bahwa sampel yang diperoleh memiliki keberagaman fase.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya disarankan:

1. Dilakukan proses pengurangan Si pada sampel untuk meningkatkan kemurnian Ti, sehingga presentase kandungan TiO_2 yang diperoleh meningkat.
2. Dilakukan variasi konsentrasi asam sulfat untuk mengetahui konsentrasi optimal asam sulfat dalam mengikat Fe, sehingga pemurnian Ti berjalan dengan baik.
3. TiO_2 yang terdapat didalam pasir besi Pantai Mandiri dapat diekstraksi dan diaplikasikan sebagai sumber nanopartikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusu, L., dan Yuliana. 2017. Fabrikasi Komposit Graphene/TiO₂/PAni sebagai Bahan Elektroda Baterai Lithium-Ion (Li-Ion). *Jurnal Aplikasi Fisika*, 13(1), 33–40.
- Ahmad, R. and Meryam, S. 2013. Titanium Dioxide Nanoparticles as an Antibacterial Agent Against E. coli. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(8), 3569–3574.
- Aliwarga, L., Reynard, R., dan Victoria, A. V. 2019. Pengendapan Titanium pada Larutan Pasir Besi dalam Asam Sulfat. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), 109–118.
- Andani, Y., dan Octova, A. 2020. Eksplorasi Pasir Besi Kawasan Pasia Paneh Nagari Tiku Selatan Kecamatan Tanjung Mutiara sebagai Bahan Baku Industri di Sumatra Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(3), 88–101.
- Astuti, A., dan Ningsi, S. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO₂) menggunakan Metode Sonokimia. *Jurnal Ilmu Fisika*, 9(1), 26–32.
- Atkins, P., Paula, J. de, and Keeler, J. 2018. *Physical Chemistry 11th Edition* (11 ed.). Oxford University Press.
- Bahfie, F., Harahap, E. A., Alfaisy, M. I., dan Arham, L. O. 2022. Pengolahan Pasir Besi untuk Meningkatkan Kadar Titanium (Ti) dengan Metode Pemisahan Magnetik secara Basah. *Jurnal Kelitbangan*, 10(3), 237–246.
- Chambers, M. J., dan Sutarman, T. A. 2012. *Bumi dan Tanah*. PT Balai Pustaka (Persero). <https://books.google.co.id/books?id=Rn15DQAAQBAJ>

- Chen, L., Zhen, Y., Zhang, G., Chen, D., Wang, L., Zhao, H., Meng, F., and Qi, T. 2022. Carbothermic Reduction of Vanadium Titanomagnetite with the Assistance of Sodium Carbonate. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 29(2), 239–247.
- Elsafitri, O., Nasri, M., dan Deswardani, F. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 (Magnetit) dari Pasir Besi Sungai Batanghari Jambi yang Dienkapsulasi dengan Polyethylen Glycol (Peg-4000). *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online*, 8(3), 97–103.
- Ermawati, R., Naimah, S., dan Ratnawati, E. 2011. Monitoring dan Ekstraksi TiO_2 dari Pasir Mineral. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 33(2), 131.
- Fauzi, A. S., dan Nadliroh, K. 2021. Identifikasi Kandungan Kimia pada Pasir Sungai Brantas Ah. *Jurnal Mesin Nusantara*, 2(2), 90–99.
- Filho, W. L., Hunt, J., Lingos, A., Platje, J., Vieira, L. W., Will, M., and Gavriletea, M. D. 2021. The Unsustainable Use of Sand: Reporting on a Global Problem. *Sustainability*, 13(6), 1–16.
- Fuad, I. S., Perwira, A., dan Jayusman, H. 2020. Pengaruh Pemakaian Semen dan Pasir Yang Berbeda Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Desiminasi Teknologi Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang Volume*, 53(9), 1689–1699.
- Gediga, J., Morfino, A., Finkbeiner, M., Schulz, M., and Harlow, K. 2019. Life Cycle Assessment of Zircon Sand. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(11), 1976–1984.
- Giovano, M. B., Muzani Jalaludin, dan Henry Giovano. 2021. Analisis Bentuk Lahan di Sepanjang Bukit Barisan, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. *Jurnal Samudra Geografi*, 4(1), 10–15.
- Hanaor, D. A. H., and Sorrell, C. C. 2011. Review of the Anatase to Rutile Phase Transformation. *Journal of Materials Science*, 46(4), 855–874.
- Hasibuan, S., dan Syafriadiman. 2021. *Buku Ajar Prokduktivitas Kualitas Tanah Dasar*. UR Press Pekanbaru.

- Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M., and Yokayama, T. 2007. *Nanoparticle Technology Handbook 1st Edition*. Elsevier.
- Huang, K.-S., Grumezescu, A. M., Chang, C.-Y., Yang, C.-H., and Wang, C.-Y. 2014. Immobilization and Stabilization of TiO₂ Nanoparticles in Alkaline-solidificated Chitosan Spheres without Cross-linking Agent. *Int j latest sci res technol*, 3(2), 174–178.
- Indrawati, T., Siswanto, dan Taufiqu Rochman, N. 2013. Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO₂) Berbahan Baku Limbah Peleburan Pasir Besi. *Journal UNAIR*, 1–15.
- Istiqomah, I., Putri, A., Patmawati, T., Rohmawati, L., dan Setyarsih, W. 2019. Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO₂) Anatase menggunakan Metode Leaching dari Pasir Mineral Tulungagung. *Akta Kimia Indonesia*, 4(2), 145.
- Kaplan, R., Erjavec, B., Drazic, G., Grdadolnik, J., and Pintar, A. 2016. Simple Synthesis of Anatase/Rutile/Brookite TiO₂ Nanocomposite with Superior Mineralization Potential for Photocatalytic Degradation of Water Pollutants. *Applied Catalysis B: Environmental*, 181, 465–474.
- Karbeka, M., Koly, F. V. L., dan Tellu, N. M. 2020. Karakterisasi Sifat Kemagnetan Pasir Besi Pantai Puntaru Kabupaten Alor-NTT. *Lantanida Journal*, 8(2), 96–188.
- Kartika, D. L., dan Pratapa, S. 2014. Sintesis Fe₂O₃ dari Pasir Besi dengan Metode Logam Terlarut Asam Klorida. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 3(2), B33–B35.
- Kusmiyarti, T. B. 2016. *Agrogeologi dan Lingkungan*. Universitas Udayana.
- Lasheen, T. A. 2008. Soda Ash Roasting of Titania Slag Product from Rosetta Ilmenite. *Hydrometallurgy*, 93(3–4), 124–128.
- Lu, C., and Chen, Z. 2009. High-Temperature Resistive Hydrogen Sensor Based on Thin Nanoporous Rutile TiO₂ Film on Anodic Aluminum Oxide. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 140(1), 109–115.

- Marcian, R., Mahrizal, dan Mufit, F. 2016. Identifikasi Jenis dan Ukuran Bulir Mineral Magnetik pada Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Air Dingin Kota Padang menggunakan Metode X-Ray Diffraction (XRD). *Pillar Of Physics*, 7(April), 35–40.
- Mohammed, A., and Abdullah, A. 2018. Scanning Electron Microscopy (SEM): a Review. *International Conference on Hydraulics and Pneumatics*, 77–85.
- Mursal, I. L. P. 2018. Karakterisasi XRD dan SEM pada Material Nanopartikel serta Peran Material Nanopartikel dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3(2), 214–221.
- Mutalib, M. A., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., and Jaafar, J. 2017. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Najihah, A. I., Istiqomah, Mufida, R. Y., Rohmawati, L., dan Setyarsih, W. 2018. Ekstraksi Nano Kristalin Rutile dari Pasir Besi Pesisir Tulungagung. *Lppm*, 34, 788–793.
- Namira, N., Rahmaniah, R., dan Wahyuni, A. 2021. Identifikasi Unsur Penyusun Tanah Desa Babange Kabupaten Bantaeng Menggunakan Metode X-Ray Fluorescence (XRF). *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 15(3), 280.
- Negishi, N., Takeuchi, K., and Ibusuki, T. 1997. Surface Structure of the TiO₂ Thin Film Photocatalyst. *Journal of Materials Science*, 33(24), 5789–5794.
- Pataya, S. A., Gareso, P. L., dan Juarlin, E. 2016. Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Dioksida (TiO₂) yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating Diatas Substrat Kaca. *Ophthalmology*, 104(11), 1785–1793.
- Pradiptha, B. S., Sholahuddin, A. M. S., Khoironi, A., dan Hotima, S. H. 2022. Pengambilan Keputusan dalam Penentuan Kualitas Bahan Baku Genteng. *Majalah Ilmiah Pelita Ilmu*, 5, 15–26.
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. 2022. *Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun*

2021. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

- Putra, D. S., Irawan, H., dan Zulfikar, A. 2015. Keanekaragaman Gastropoda di Perairan Litoral Pulau Pengujan Kabupaten Bintan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, January 2018, 1–15.
- Qomaruddin, M. 2018. Studi Komparasi Karakteristik Pasir Sungai di Kabupaten Jepara. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 4(1), 6–10.
- Ramadhan, G. B., dan Suparman, L. B. 2018. Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa pada Laston Ac-Wc sebagai Pengganti Agregat Halus. *Jurnal HPJI*, 4(2), 91–104.
- Rasyid, S. 2014. *Teknologi Pengolahan Logam*. Deepublish.
- Rianna, M., Hamid, M., Handayani, F., Sebayang, A. M. S., Rangkuti, W. R., Situmorang, M., Sembiring, T., Setiadi, E. A., Tetuko, A. P., dan Sebayang, P. 2022. Studi dan Karakterisasi Fe_3O_4 yang Disintesis dari Pasir Besi Alam Sumatera Utara. *Journal of Aceh Physics Society*, 11(2), 2022.
- Salomo, Erwin, Zuhendri, dan Zulkarnain. 2017. Pengukuran Induksi Magnetik Total dan Identifikasi Kandungan Elemen Endapan Pasir Besi di Pantai Bagian Selatan Kota Padang Sumatera Barat. *Komunikasi Fisika Indonesia*, April.
- Saputri, E. D., Munir, R., and Natalisanto, A. I. 2022. Investigasi Pola XRD dan Ukuran Kristal pada TiO_2 Terdoping Vanadium menggunakan Aplikasi VESTA. *Progressive Physics Journal*, 3(1), 125.
- 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. *Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 465–468.
- Setiyo, G., Aditama, V., dan Bambang Wedyantadji. 2020. Pengaruh Pasir Pantai Sipelot sebagai Pengganti Agregat 0/5 Campuran Hot Rolled Sheet – Wearing Course (Hrs-Wc). *Jurnal Sondir*, 4(2), 44–52.

- Setyani, A., dan Wibowo, E. A. P. 2017. Pengaruh Pelarut terhadap Karakteristik Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2). *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1), 26.
- Silvia, L., dan Zainuri, M. 2020. Analisis Silika (SiO_2) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam menggunakan Uji XRF dan XRD. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(1), 12.
- Sumantry, T. 2013. Aplikasi XRF untuk Identifikasi Lempung pada Kegiatan Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII*, 279–282.
- Supriyatna, Y. I., Sumardi, S., Astuti, W., Nainggolan, A. N., Ismail, A. W., Petrus, H. T. B. M., and Prasetya, A. 2020. Characterization and a Preliminary Study of TiO_2 Synthesis from Lampung Iron Sand. *Key Engineering Materials*, 849 KEM, 113–118.
- Suseno, T. 2015. Analisis Prospek Pasir Zirkon Indonesia di Pasar Dunia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 11, 61–77.
- Tamanak, M. A., Berhиту, T., Ode, D. G., dan Cahyono, Y. D. G. 2020. Pengaruh Pelapukan terhadap Kekuatan Batuan Andesit. *Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN II) Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)*, 2, 599–604.
- Taruminkeng, S., Mustopa, E. J., dan Hendrajaya, L. 2016. Termodinamika dalam Memahami Proses Pengolahan Mineral. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, V, SNF2016-ERE-37-SNF2016-ERE-42.
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., dan Arsyad, M. 2018. Kajian Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi terhadap Pasir Besi Kabupaten Takalar. *Jurnal Sainsmat*, 7(2), 136.
- Widiyastuti, D. A. 2016. Pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM) Pada Struktur dan Mineral Batuan dari Sungai Aranio Kabupaten Banjar. *Jurnal Sains dan Terapan Politeknik Hasnur*, 5(2), 16–21.
- Yin, W. J., Chen, S., Yang, J. H., Gong, X. G., Yan, Y., and Wei, S. H. 2010. Effective Band Gap Narrowing of Anatase TiO_2 by Strain Along a Soft

Crystal Direction. *Applied Physics Letters*, 96(22).

Yulianti, S., Ramli, Yulkifli, dan Darvina, Y. 2020. Pengaruh Komposisi CoFe_2O_4 terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{PVDF}$ yang Disintesis dengan Metode Sol-gel. *Pillar of Physics*, 13(April), 10–17.