

**EKSTRAKSI TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) DARI PASIR BESI
PANTAI TEMBAKAK PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL
DENGAN METODE HIDROMETALURGI**

(Skripsi)

Oleh

LISA RAHMAWATI



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

ABSTRAK

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

Oleh

LISA RAHMAWATI

Pasir Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat memiliki pasir yang berwarna abu-abu kehitaman di sepanjang pantainya, yang menunjukkan adanya pasir besi. Sampel pasir besi dari Pantai Tembakak dianalisis dengan XRF, diperoleh beberapa kandungan unsur diantaranya Fe 58,294%; Si 18,525%; Ti 8,775%; Al 6,785%; Ca 3,885%; K 1,624%, serta beberapa unsur-unsur minor lainnya dengan kandungan di bawah 0,5%. Titanium dioksida (TiO₂) dapat diperoleh dari ilmenit (FeTiO₃) yang termasuk salah satu kandungan mineral pada pasir besi. Metode ekstraksi hidrometalurgi dengan variasi konsentrasi HCl digunakan untuk mendapatkan TiO₂ dari pasir besi, diperoleh rendemen hasil ekstraksi TiO₂ pada variasi konsentrasi HCl 7 M sebesar 11,3% berwarna abu-abu keunguan, variasi HCl 9 M sebesar 9,6% berwarna abu-abu, dan variasi HCl 12 M sebesar 13,20% berwarna putih. Hasil ekstraksi TiO₂ dianalisis menggunakan XRF, menghasilkan kandungan TiO₂ pada variasi konsentrasi HCl 7 M sebesar 15,033%, variasi HCl 9 M sebesar 16,367%, dan variasi HCl 12 M sebesar 17,421%. Karakterisasi menggunakan XRD pada hasil ekstraksi TiO₂ variasi konsentrasi HCl 12 M menunjukkan TiO₂ memiliki fasa kristal rutil dengan struktur kristal tetragonal yang memiliki parameter kisi $a = b = 4,6260 \text{ \AA}$ dan $c = 2,9810 \text{ \AA}$ dengan sudut kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, serta memiliki ukuran partikel sebesar 33,92 nm yang menunjukkan bahwa partikel TiO₂ yang diperoleh merupakan nanopartikel. Karakterisasi SEM pada hasil ekstraksi TiO₂ variasi konsentrasi HCl 12 M menunjukkan bahwa partikel yang terbentuk teraglomerasi karena memiliki bentuk yang tidak seragam dan saling tumpang tindih, yang mengakibatkan bentuk partikel TiO₂ yang diperoleh dari hasil ekstraksi dalam penelitian ini sulit untuk dikonfirmasi.

Kata Kunci : Pasir Besi, Ekstraksi, Hidrometalurgi, Nanopartikel.

ABSTRACT

EXTRACTION OF TITANIUM DIOXIDE (TiO₂) FROM IRON SAND OF TEMBAKAK BEACH PESISIR BARAT AS NANOPARTICLES BY HYDROMETALLURGY METHOD

By

LISA RAHMAWATI

Tembakak Beach Sand, Pesisir Barat Regency has blackish gray sand along the coast, which indicates the presence of iron sand. Iron sand samples from Tembakak Beach were analyzed using XRF, obtaining several element contents including Fe 58.294%; Si 18.525%; Ti 8.775%; Al 6.785%; Ca 3.885%; K 1.624%, as well as several other minor elements with contents below 0.5%. Titanium dioxide (TiO₂) can be obtained from ilmenite (FeTiO₃), which is one of the mineral contents of iron sand. The hydrometallurgical extraction method with varying HCl concentrations was used to obtain TiO₂ from iron sand, the yield of TiO₂ extraction results at varying 7 M HCl concentrations was 11.3% purplish gray, 9 M HCl variations were 9.6% gray, and 12 M HCl variation of 13.20% is white. TiO₂ extraction results were analyzed using XRF, produces TiO₂ content at 7 M HCl concentration variations of 15.033%, 9 M HCl variations of 16.367%, and 12 M HCl variations of 17.421%. Characterization using XRD on the TiO₂ extraction results varying the concentration of 12 M HCl shows that TiO₂ has a rutile crystal phase with a tetragonal crystal structure which has lattice parameters $a = b = 4.6260 \text{ \AA}$ and $c = 2.9810 \text{ \AA}$ with a crystallographic angle $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, and has a particle size of 33.92 nm which shows that the TiO₂ particles obtained are nanoparticles. SEM characterization of TiO₂ extraction results varying in HCl 12 M concentration shows that the particles formed are agglomerated because they have non-uniform and overlapping shapes, which makes the shape of the TiO₂ particles obtained from the extraction results in this study difficult to confirm.

Key Words: Iron Sand, Extraction, Hydrometallurgy, Nanoparticles.

**EKSTRAKSI TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) DARI PASIR BESI
PANTAI TEMBAKAK PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL
DENGAN METODE HIDROMETALURGI**

Oleh
LISA RAHMAWATI

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
TEMBAKAK PESISIR BARAT SEBAGAI
NANOPARTIKEL DENGAN METODE
HIDROMETALURGI**

Nama Mahasiswa :

Tisa Rahmawati

Nomor Pokok Mahasiswa :

2017011019

Jurusan :

Kimia

Fakultas :

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Zipora Sembiring, M.Si.

NIP. 195901061986032001

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

NIP. 198203272015021002

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

Mulyono, Ph.D.

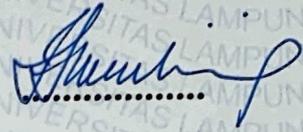
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

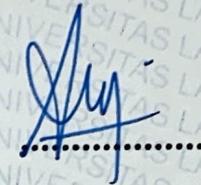
Ketua

: Dr. Zipora Sembiring, M.Si.



Sekretaris

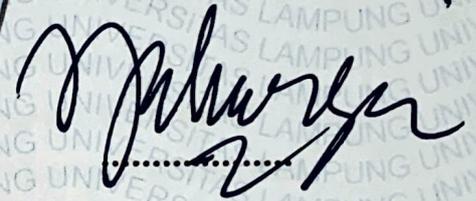
: Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Prof. Ir. Suharso, 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 : Lisa Rahmawati
NPM : 2017011019
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 (TiO₂) dari Pasir Besi Pantai Tembakak Pesisir Barat sebagai Nanopartikel dengan Metode Hidrometalurgi”** 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,



Lisa Rahmawati
NPM. 2017011019

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Lisa Rahmawati, lahir di Kuripan pada tanggal 23 Juli 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, lahir dan dibesarkan oleh pasangan suami isteri Bapak Suyitno dan Ibu Tiwi Sundari. Saat ini penulis bertempat tinggal di Kuripan, Kelurahan Sidodadi, Kecamatan Way Lima, Kabupaten Pesawaran, Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Patria pada tahun 2007-2008, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Wonosari pada tahun 2009-2014. Pada tahun 2015-2017 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi pada Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Gadingrejo, dan melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Swasta Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2018-2020.

Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur penerimaan SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila pada periode 2021 dan periode 2022 sebagai anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK). Selain itu, penulis juga mengikuti organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila pada periode 2022 sebagai anggota Bidang Kominfo. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I tahun 2023 pada bulan Januari-Februari 2023 selama 40 hari di Desa Penengahan, Kecamatan Karya Penggawa, Kabupaten Pesisir Barat. Pada bulan Juli-Agustus 2023, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Perusahaan Umum Daerah Air

Minum (Perumda-AM) Way Rilau Bandar Lampung. Pada bulan Oktober 2023-
Januari 2024 penulis menyelesaikan penelitian, yang dilakukan di Laboratorium
Mineral Terpadu Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung dengan
Judul “Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO_2) dari Pasir Besi Pantai Tembakak
Pesisir Barat sebagai Nanopartikel dengan Metode Hidrometalurgi”.

MOTO

Allah berfirman sebagai berikut: “Aku selalu menuruti persangkaan hamba-Ku kepada-Ku. Apabila ia berprasangka baik maka ia akan mendapatkan kebaikan. Adapun bila ia berprasangka buruk kepada-Ku maka dia akan mendapatkan keburukan.”

(H.R. Tabrani dan Ibnu Hibban).

Apa yang memang ditakdirkan untukmu, pasti akan menjadi milikmu, bahkan jika itu berada di bawah dua gunung. Dan apa yang memang tidak ditakdirkan untukmu, tidak akan pernah menjadi milikmu bahkan jika itu berada tepat di antara dua bibirmu.

(Imam Al-Ghazali)

Hidup itu pilihan, pilihlah dengan tanpa penyesalan.

(Lisa Rahmawati)

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas ridho Allah SWT dengan penuh syukur dan segala kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada :

Orang tua saya tercinta :
Suyitno dan Tiwi Sundari

Serta,
Almamaterku tercinta,
Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah *rabbil'alamin*, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO₂) dari Pasir Besi Pantai Tembakak Pesisir Barat sebagai Nanopartikel dengan Metode Hidrometalurgi” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyelesaian penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, saran, dan kritik dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan 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 yang telah memberikan banyak arahan, ilmu, bimbingan, motivasi, dan saran kepada penulis selama penelitian dan penulisan skripsi hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Bapak Dr. Sudiby, S.T., M.Sc., selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bantuan, arahan, dan saran kepada penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D., selaku Pembahas yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran kepada penulis demi terselesaikannya skripsi ini;

6. Bapak Prof. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc., Ph.D, selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bantuan, semangat, dan saran selama perkuliahan hingga penulisan skripsi ini;
7. Seluruh dosen, laboran, staff, dan karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman, dan bantuan kepada penulis selama perkuliahan;
8. Orang tua tersayang, Suyitno dan Tiwi Sundari atas do'a, kasih sayang, kesabaran, semangat, dukungan, dan pengorbanan yang selalu diberikan kepada penulis hingga saat ini;
9. Kakak-kakakku tersayang, Hendra Fitriadi dan Endah Dwi Nugraheni, yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan dukungan kepada penulis hingga saat ini;
10. Tim penelitianku, Intan Aldara, M. Rafli Akbar, dan Yurita Renaria yang telah bekerja sama dan memberikan banyak bantuan dan dukungan kepada penulis selama penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini;
11. Sahabat-sahabatku, Nadia Mutiara, Dian Safitri Yani, Nabila Azzahra Salsabila, Nadia Anindhita yang selalu memberikan bantuan, dukungan, semangat, dan menjadi tempat untuk berbagi cerita selama perkuliahan hingga saat ini;
12. Sahabat-sahabatku sejak SMA, Fina Fadillah Putri, Vina Nisyah Mareta, Lia Maharani, dan Fani Afifah Putri, yang selalu memberikan banyak keceriaan, dukungan, semangat, dan menjadi tempat untuk berbagi keluh kesah hingga saat ini;
13. Kakak-kakakku selama penelitian, Vinda, Hirson, Anwar, Roy, yang telah menemani, memberikan bantuan, masukan, saran, dan nasihat kepada penulis selama penelitian;
14. Almamater tercinta, Universitas Lampung;
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini

Semoga Allah *subhanahu wa ta'ala* membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca.

Bandar Lampung, 25 April 2024

Penulis

Lisa Rahmawati

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
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 Sungai	5
2.1.2 Pasir Pantai	6
2.1.3 Pasir Gunung	6
2.1.4 Pasir Kuarsa.....	7
2.1.5 Pasir Zirkon	7
2.1.6 Pasir Besi	7
2.2 Titanium Dioksida (TiO ₂).....	8
2.2.1 Pirometalurgi	10
2.2.2 Elektrometalurgi	11
2.2.3 Hidrometalurgi	11
2.3 Aplikasi Titanium Dioksida (TiO ₂)	13
2.4 Karakterisasi TiO ₂	14
2.4.1 X-Ray <i>Flourescence</i> (XRF).....	14
2.4.2 X-Ray <i>Difraction</i> (XRD).....	15
2.4.3 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	18
III. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan.....	22

3.3 Metode Penelitian	22
3.3.1 Teknik Sampling Pasir Besi	22
3.3.2 Preparasi Sampel	22
3.3.3 Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi	23
3.4 Karakterisasi TiO ₂	23
3.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF).....	23
3.4.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	24
3.4.3 Scanning Electron Microscope (SEM).....	24
3.5 Pengolahan Data	25
3.6 Skema Alur Penelitian.....	26
3.6.1 Teknik Sampling Pasir Besi	26
3.6.2 Preparasi Sampel	26
3.6.3 Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Preparasi Sampel Pasir Besi	28
4.2 Karakterisasi Sampel Pasir Besi.....	29
4.3 Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi	30
4.4 Karakterisasi TiO ₂	33
4.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF).....	33
4.4.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	37
4.4.3 Scanning Electron Microscope (SEM).....	44
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Simpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	59
Lampiran 1. Perhitungan Rendemen TiO ₂ Hasil Ekstraksi.....	60
Lampiran 2. Spektrum Hasil Karakterisasi X-Ray Fluorescence (XRF).....	61
Lampiran 3. Referensi Difraktogram X-Ray Diffraction (XRD).....	63
Lampiran 4. Scanning Electron Microscope (SEM).....	64
Lampiran 5. Perhitungan Ukuran Partikel TiO ₂	66
Lampiran 6. Dokumentasi Proses Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fasa TiO ₂ (a) anatase, (b) rutil, dan (c) brookite.....	9
2. Proses terjadinya sinar-X	15
3. Skema kerja XRF	15
4. Skema kerja XRD	16
5. Difraksi pada bidang kristal (bidang Bragg).....	17
6. Difraktogram sampel dari analisis <i>software Match!</i>	18
7. Skema Kerja SEM.....	19
8. Skema Alur Kerja Teknik Sampling Pasir Besi.....	26
9. Skema Alur Kerja Preparasi Sampel.....	26
10. Skema Alur Kerja Ekstraksi TiO ₂ dari Pasir Besi.....	27
11. Hasil Preparasi Sampel Pasir Besi	28
12. Hasil Ekstraksi TiO ₂ dengan Variasi Konsentrasi HCl pada <i>Leaching</i> Asam (a) HCl 7 M (b) HCl 9 M (c) HCl 12 M	33
13. Difraktogram XRD TiO ₂ Hasil Ekstraksi Variasi Konsentrasi HCl 12 M.....	38
14. Difraktogram XRD SiO ₂ dari Pasir Pantai Bajul Mati, Jawa Timur (a) Hasil Ekstraksi SiO ₂ (b) Sampel Pasir Pantai Bajul Mati	39
15. Difraktogram XRD Fe ₂ O ₃ Hasil Ekstraksi dari Tailing Bijih Besi.....	40
16. Struktur Kristal Rutil.....	42
17. SEM TiO ₂ Hasil Ekstraksi Variasi Konsentrasi HCl 12 M (a) Perbesaran 100 µm, (b) Perbesaran 20 µm, (c) Perbesaran 10 µm, (d) EDS Unsur Ti.....	46
18. SEM SiO ₂ Hasil Ekstraksi dari Pasir Pantai Bajul Mati, Jawa Timur	47
19. SEM Fe ₂ O ₃ Hasil Ekstraksi Pasir Besi Daerah Bonto Kanang, Sulawesi Selatan.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Komponen Unsur Pasir Besi Pantai Tembakak Setelah Dilakukan Preparasi Sampel	29
2. Data Komponen Unsur Pasir Besi Pantai Selatan Kulon Progo, Yogyakarta Setelah Dilakukan Preparasi Sampel.....	30
3. XRF Hasil Ekstraksi TiO_2 Variasi Konsentrasi HCl 7 M	34
4. XRF Hasil Ekstraksi TiO_2 Variasi Konsentrasi HCl 9 M.....	35
5. XRF Hasil Ekstraksi TiO_2 Variasi Konsentrasi HCl 12 M	36
6. EDS <i>Mapping</i> Bobot Komponen Unsur dari Hasil Ekstraksi Variasi Konsentrasi HCl 12 M.....	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Lampung memiliki banyak pantai karena sebagian besar wilayahnya dikelilingi oleh lautan. Banyaknya daerah pantai di Lampung memberikan peluang adanya kandungan pasir besi, karena umumnya pasir besi banyak ditemukan di sepanjang pantai dengan karakteristik berwarna abu-abu kehitaman. Pasir besi berwarna kehitaman karena berasal dari batuan gunung berapi, serta adanya pengaruh cuaca, air permukaan, dan gelombang menyebabkan batuan tersebut mengalami pelapukan hingga hancur menjadi butiran mineral pasir. Gelombang dan arus laut dapat memisahkan mineral besi seperti magnetit, ilmenit, serta oksida besi lainnya berdasarkan perbedaan berat jenisnya sehingga mineral yang berat akan terendapkan di pantai, sedangkan mineral yang ringan akan terbawa arus ke laut (Hilman dkk., 2014). Menurut Bahfie dkk (2022), pasir di sepanjang pantai yang dapat tertarik oleh magnet maka pasir tersebut mengandung pasir besi, dan semakin gelap warna pasir besi maka semakin tinggi kandungan mineral besinya.

Salah satu wilayah di Lampung yang memiliki pasir pantai berwarna hitam di sepanjang pantainya adalah wilayah Kabupaten Pesisir Barat. Wilayah ini memiliki luas 2.953,48 Km² (Seksi Neraca Wilayah dan Analisis Statistik, 2015), dengan panjang garis pantai 221,5 Km termasuk daratan dan garis pulau-pulau (Peraturan Bupati Pesisir Barat, 2020), serta memiliki banyak pantai dengan material yang mendominasi adalah pasir berwarna hitam (Jalaludin dkk., 2021). Secara umum, pasir besi mengandung banyak mineral diantaranya magnetit

(Fe_3O_4), ilmenit (FeTiO_3), hematit (Fe_2O_3) yang berpotensi sebagai nanopartikel, serta mineral minor lain seperti alumina, portlandite, dan silika (Zulfalina dan Manaf, 2004). Nanopartikel berperan penting dalam perkembangan teknologi karena memiliki beberapa sifat fisika dan kimia yang lebih unggul dibandingkan dengan material berukuran besar (bulk) (Abdullah dkk., 2008). Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya aplikasi dari teknologi nanopartikel yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti adsorben magnetik untuk pengolahan ion logam Cr (IV) (Larraza *et al.*, 2012), sebagai aplikasi biomedis seperti *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dan biosensor karena memiliki magnetisasi saturasi yang kuat (Anbarasu *et al.*, 2015), dan lain sebagainya. Berdasarkan hal tersebut, maka wilayah Pesisir Barat memiliki potensi yang cukup besar terhadap kandungan nanopartikel dari pasir besi, namun hingga kini penelitian terkait dengan hal tersebut masih minim. Minimnya penelitian tentang pasir besi yang dilakukan di wilayah tersebut menimbulkan suatu permasalahan karena potensi-potensi yang dimiliki wilayah tersebut masih belum diketahui serta dikembangkan dengan baik dan maksimal.

Menurut Ermawati dkk (2011), titanium dioksida (TiO_2) dapat diperoleh dari ilmenit (FeTiO_3) yang termasuk salah satu kandungan mineral yang ada pada pasir besi. TiO_2 memiliki keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, fotokatalitik yang baik, memiliki sifat dielektrik, *biocompatible* yang baik, semikonduktor, sitotoksitasnya yang rendah, stabilitas kimia yang baik (Akakuru *et al.*, 2020). Beberapa aplikasi TiO_2 diantaranya sebagai agen pelemahan sinar radiasi ultraviolet (UV) dalam aplikasi kosmetik pada tabir surya (Ko *et al.*, 2012), sebagai superkapasitor hibrid yang menghasilkan daya dan kepadatan energi yang jauh lebih tinggi dari berbagai superkapasitor hibrida (Kim *et al.*, 2013), dan sebagai bahan elektroda baterai Li-ion serta untuk memperbaiki kapasitas dan stabilitas elektroda baterai Li-ion, dimana TiO_2 sebagai agen yang mengakomodasi ion litium selama proses interkalasi (Agusu dan Yuliana, 2017).

Ermawati dkk (2011) telah melakukan penelitian terkait ekstraksi pasir besi di daerah Pandeglang, Jawa Barat dengan metode *acid leaching* menggunakan pelarut HCl, dan diperoleh kandungan TiO₂ sebesar 64,62%. Selain itu, Supriyatna *et al* (2020) juga telah melakukan penelitian ekstraksi TiO₂ dari pasir besi Kabupaten Lampung Selatan dengan metode *leaching* menggunakan HCl dan diperoleh kandungan TiO₂ sebesar 21,21%.

Ekstraksi TiO₂ dari pasir besi dapat dilakukan menggunakan beberapa metode diantaranya metode pirometalurgi, elektrometalurgi, dan hidrometalurgi (Priharyono dan Gusmarwani, 2022). Metode hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi padat-cair dengan cara *leaching* menggunakan pelarut tertentu (Purwani dan Suyanti, 2016). Sedangkan, metode pirometalurgi merupakan proses ekstraksi yang melibatkan pemanasan dengan temperatur tinggi (Setiawati dkk., 2013). Metode pirometalurgi memiliki beberapa kelemahan diantaranya memerlukan energi yang tinggi, serta dibutuhkan pemanasan kembali hingga besi yang terkandung dapat leleh karena tidak semua kandungan besi dapat dipisahkan dari TiO₂ (Firdaus dkk., 2021). Metode hidrometalurgi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode pirometalurgi yaitu temperatur yang digunakan relatif rendah, reagen yang digunakan murah dan mudah didapatkan, produk yang dihasilkan memiliki struktur nanometer dengan kemurnian yang tinggi (Rasyid, 2014), konsumsi energi yang rendah, dan menghasilkan produk TiO₂ yang cukup berkualitas untuk berbagai aplikasi (Zhang *et al.*, 2011). Beberapa pelarut asam yang dapat digunakan dalam metode hidrometalurgi diantaranya HCl, H₂SO₄, HF, HNO₃, dan H₃PO₄ (Priharyono dan Gusmarwani, 2022). Penggunaan pelarut asam klorida (HCl) akan menghasilkan produk dengan kualitas dan kemurnian yang lebih tinggi, efisiensi tinggi terhadap daur ulang dan regenerasi HCl, kemampuan menghilangkan kotoran yang sangat baik, serta dampak terhadap lingkungan dan jumlah produk limbah lebih rendah (Nguyen *and* Lee, 2019). Oleh karena itu, metode ekstraksi yang digunakan yaitu metode hidrometalurgi menggunakan pelarut HCl.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini dilakukan ekstraksi pasir besi dari Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat dengan metode hidrometalurgi menggunakan HCl untuk mendapatkan nanopartikel TiO₂ yang berperan penting dalam perkembangan teknologi. Karakterisasi TiO₂ dilakukan dengan *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*, dimana XRF dilakukan untuk mengetahui komponen unsur dari sampel, XRD untuk mengetahui ukuran, fasa, dan struktur kristal yang terbentuk, dan SEM untuk mengetahui morfologi permukaan sampel.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada pasir besi di wilayah Pesisir Barat menggunakan XRF.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi HCl terhadap ekstraksi TiO₂ dari pasir besi di wilayah Pesisir Barat.
3. Memperoleh TiO₂ dengan ukuran nanopartikel dari pasir besi melalui proses hidrometalurgi.
4. Menentukan fasa dan struktur kristal dari TiO₂ yang dihasilkan.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Menambah referensi tentang mineral-mineral yang terkandung dalam pasir besi di wilayah Pesisir Barat.
2. Sebagai sumbangsih pengetahuan mata kuliah Material Anorganik dalam proses ekstraksi TiO₂.
3. Memberikan informasi terkait karakteristik nanopartikel TiO₂ dari pasir besi di wilayah Pesisir Barat.
4. Meningkatkan potensi pemanfaatan pasir besi di wilayah Pesisir Barat sebagai sumber nanopartikel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir

Pasir merupakan suatu material yang umumnya berbentuk butiran-butiran berukuran kecil antara 0,0625 - 2 mm. Butiran pasir dapat berupa mineral tunggal, fragmen batuan, atau biogenik. Secara umum, pasir terbentuk karena adanya proses pelapukan fisik dan kimia dari suatu batuan (Ridwan dkk., 2018). Umumnya, pasir ditemukan dalam kondisi masih bercampur dengan kerikil dan batu. Setiap daerah di Indonesia memiliki jenis pasir yang berbeda-beda tergantung pada asal pembentuknya, oleh karena itu setiap jenis pasir memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda-beda sehingga berpengaruh terhadap kegunaan dari masing-masing jenis pasir tersebut (Astutik dkk., 2022). Berikut adalah beberapa jenis pasir :

2.1.1 Pasir Sungai

Pasir sungai merupakan pasir yang diperoleh dari dasar sungai melalui penggalian maupun penambangan di sungai. Setiap sungai memiliki pola aliran yang berbeda-beda, sehingga berpengaruh terhadap karakteristik pasir yang diperoleh (Nurjaman dkk., 2021). Pola aliran sungai yang deras menyebabkan batuan yang memiliki permukaan keras dan tajam lebih mudah terkikis sehingga terbentuk pasir sungai yang umumnya berupa butiran halus dan bulat (Qomaruddin dkk., 2018). Butiran pasir sungai mengandung unsur Fe, Ti, Mg, Si, dan lainnya, serta biasanya ditemukan dalam bentuk mineral magnetit (Fe_3O_4) (Sunaryo dan Widyawidura, 2010).

2.1.2 Pasir Pantai

Pasir pantai merupakan jenis pasir yang diperoleh dari pesisir pantai dan sebagian dari lautan yang dangkal. Pasir pantai terbentuk akibat adanya pengikisan batu yang disebabkan oleh erosi gelombang laut. Butiran pada pasir pantai, umumnya memiliki bentuk yang halus dan bulat (Setiyo dkk., 2020). Kandungan mineral pada pasir pantai diantaranya Si, K, Ca, Fe, dan Ti (Sumari dkk., 2020). Pasir pantai dengan kandungan utama silikon (Si) dibuktikan oleh Alimin dkk (2016) yang melakukan penelitian terhadap pasir pantai Losari Kota Makassar dan dihasilkan senyawa silika (SiO_2) sebesar 63,67%, diikuti oleh Fe_2O_3 14,60%; CaO 8,91%; Al_2O_3 4,96%, dan senyawa lainnya. Sedangkan pasir pantai dengan kandungan utama kalsium (Ca) dibuktikan oleh Silvia dkk (2018) yang melakukan penelitian mengenai pasir pantai di Kabupaten Pacitan, dimana pasir pantai di daerah tersebut mengandung Ca sebesar <90% dan beberapa unsur lainnya yang persentasenya <1%. Kandungan Ca yang tinggi menyebabkan pasir di sepanjang pantai berwarna putih dan merupakan suatu batu kapur atau silika.

2.1.3 Pasir Gunung

Pasir gunung terbentuk akibat gunung api yang meletus, dimana material dari perut gunung akan dilontarkan dengan ukuran yang bervariasi mulai dari pasir hingga bongkahan (Sukandarrumidi, 2016). Umumnya pasir pada material abu vulkanis gunung mengandung SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , dan CaO (Taviana dkk., 2019). Pasir gunung termasuk pasir lahar dingin yang mengandung mineral unsur silika (SiO_2) sebesar 59,4% (Susanti dkk., 2022). Kadar SiO_2 yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan kadar SiO_2 pada abu vulkanik Gunung Merapi yaitu sebesar 45,7%, serta komponen lain diantaranya Fe_2O_3 18,2%; CaO 16,1%; Al_2O_3 14,00%; dan K_2O 3,86% (Kusumastuti, 2012).

2.1.4 Pasir Kuarsa

Di alam, pasir kuarsa tidak ditemukan dalam keadaan murni, melainkan sebagai endapan sedimen yang terjadi setelah melalui proses transportasi, sortasi, dan sedimentasi (Sukandarrumidi, 2016). Pasir kuarsa atau silika diperoleh dari hasil pelapukan batuan, yang memiliki kandungan mineral utama yaitu kuarsa dan feldspar. Hasil pelapukan batuan tersebut tercuci dan terbawa oleh air atau angin sehingga terendapkan di tepi-tepi sungai, danau, atau laut (Kusnaedi, 2010). Pasir kuarsa mempunyai komponen utama silika (SiO_2) sebesar 60-98%, disertai dengan komponen-komponen minor diantaranya Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 , Na_2O dan K_2O (Lesbani, 2011).

2.1.5 Pasir Zirkon

Pasir zirkon merupakan salah satu logam tanah jarang. Pasir zirkon umumnya berasal dari batu granit yang telah mengalami pelapukan dan transportasi. Pasir zirkon memiliki kandungan utama yaitu zirkonium silikat (ZrSiO_4) dan zirkonium dioksida (ZrO_2) yang ditemukan dalam bentuk senyawa dengan hafnium (Eddy, 2007). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Dahlan dkk (2010), pasir zirkon di Kalimantan Tengah mengandung ZrO_2 sebesar 58,95% serta mineral lainnya diantaranya SiO_2 28,21%; Fe_2O_3 1,30%; dan TiO_2 6,68%.

2.1.6 Pasir Besi

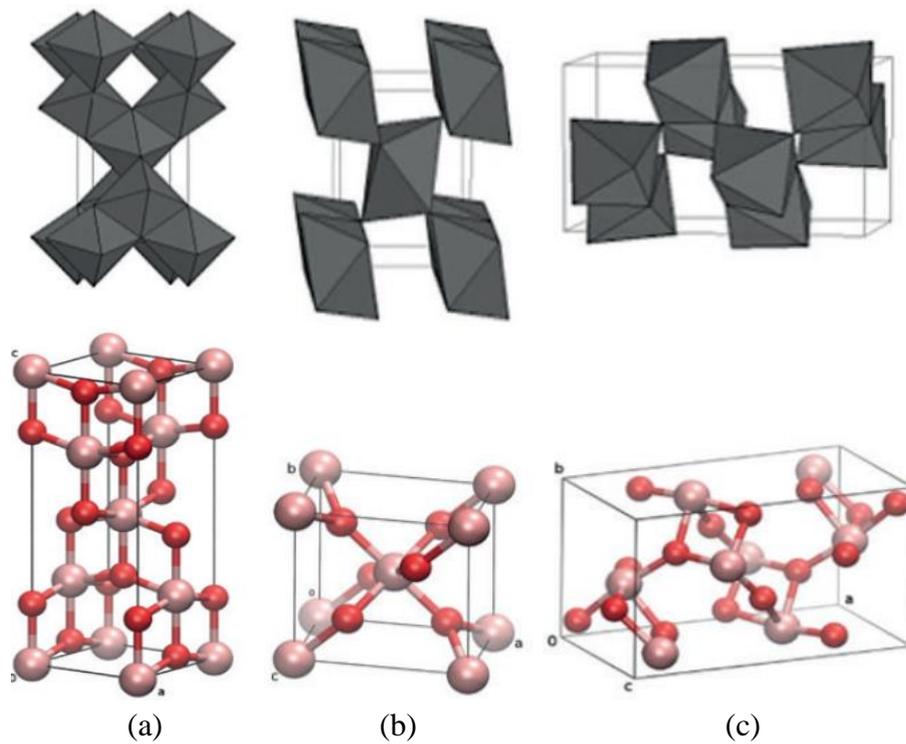
Pasir besi berasal dari batuan gunung berapi, yang disertai oleh adanya faktor cuaca, air permukaan, dan gelombang sehingga mengakibatkan batuan tersebut hancur menjadi butiran mineral pasir akibat pelapukan. Pasir yang terbentuk akan terbawa oleh aliran sungai hingga ke muara dan berakhir di lautan, dan terdeportasi ke bibir pantai yang kemudian mengendap. Gelombang dan arus laut memisahkan mineral besi berdasarkan perbedaan berat jenisnya sehingga mineral

yang berat akan terendapkan di pantai, sedangkan mineral yang ringan akan terbawa arus ke laut. Pasir besi memiliki kandungan utama diantaranya magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), dan Ilmenit (FeTiO_3), serta mineral lainnya yaitu pirhotit (FeSn), pirit (FeS_2), kalkopirit (Cu_3FeS_2), kromit (FeO , Cr_2O_3), almandit [$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$], andradite [$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$], SiO_2 , dan unsur-unsur Mn, Mg, Zn, Na, K, Ni, Cu, Pb, As, Sb, W, Sn, V (Andani dan Octova, 2020).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ermawati dkk (2011), pasir mineral dari Pantai Pesisir Pandeglang, Jawa Barat memiliki kandungan utama Fe_2O_3 sebesar 58,29% dan TiO_2 sebesar 33,49%, serta mineral lainnya berupa SiO_2 , Al_2O_3 , MnO, MgO, CaO, K_2O , P_2O_5 , unsur S, dan Zn. Selain itu, Priharyono dan Gusmarwani (2022) juga telah melakukan analisis kandungan pasir besi dari Pantai Selatan Kulon Progo, dan diperoleh hasil kandungan unsur Fe sebesar 44,07%; Si 31,64%; Ca 9,864%; Al 7,58%; Ti 4,618%; K 1,26%; dan Mn 0,726%.

2.2 Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) dapat diperoleh dari senyawa ilmenit (FeTiO_3) yang merupakan salah satu kandungan mineral dari pasir besi melalui proses ekstraksi. TiO_2 memiliki tiga fasa kristal diantaranya rutil, anatase, dan brookite. Fasa kristal rutil dan anatase lebih banyak ditemukan dalam bentuk struktur kristal tetragonal. Secara termodinamika, struktur kristal anatase lebih stabil dibandingkan rutil (Dastan *and* Chaure, 2014). Rutil stabil pada suhu tinggi dan memiliki *band gap* energi optik 3,0 eV, sedangkan anatase terbentuk pada suhu yang lebih rendah dengan *band gap* energi optik 3,2 eV (Kim *et al.*, 2005).



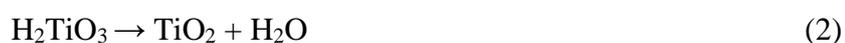
Gambar 1. Fasa TiO₂ (a) anatase, (b) rutil, dan (c) brookite
(Moellmann *et al.*, 2012)

TiO₂ memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, tidak beracun, inert, memiliki aktivitas fotokatalitik yang baik, semikonduktor, ramah lingkungan, tidak larut dalam air, memiliki sifat dielektrik, *biocompatible*, sitotoksitasnya yang rendah, dan stabilitas kimia yang baik. Berdasarkan keunggulan yang dimiliki, maka TiO₂ banyak diaplikasikan sebagai pewarna dalam industri cat, kertas, dan plastik, sebagai penjernih air, penghasil hidrogen dari pemutusan ikatan air, digunakan dalam degradasi senyawa beracun, pembersih dan disinfektan pada permukaan material, aditif pada banyak aplikasi senyawa, penghalang sinar ultraviolet (UV), fotokatalis, adsorben, penyiapan sel energi surya, pembuatan dielektrik tipis *Dynamic Random Access Memory* (DRAM), dan lain sebagainya (Rahman dkk., 2014). Beberapa metode yang dapat digunakan dalam ekstraksi TiO₂ dari pasir besi diantaranya pirometalurgi, elektrometalurgi, dan hidrometalurgi (Priharyono dan Gusmarwani, 2022).

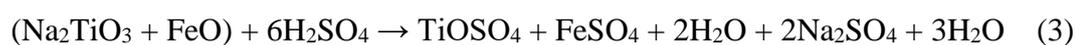
2.2.1 Pirometalurgi

Pirometalurgi merupakan proses ekstraksi menggunakan temperatur tinggi dan melibatkan karbon sebagai reduktor sehingga komponen besi pada ilmenit dapat tereduksi dan dapat dihasilkan *slag* TiO₂ (Setiawati dkk., 2013). Metode ini dilakukan melalui tahapan peleburan, *roasting*/pemanggangan, dan destilasi. Pada tahap peleburan, bijih-bijih dipanaskan pada temperatur tertentu agar logam yang diinginkan dalam bijih tersebut dapat melebur dan langsung terpisah dari bahan-bahan lainnya akibat perbedaan berat jenis dari bahan-bahan yang ada pada bijih-bijih tersebut. Pada proses *roasting* dilakukan untuk menghilangkan gas-gas dari bijih. Pada proses destilasi dilakukan untuk menguapkan logam atau senyawa yang terdapat pada pada bijih-bijih tersebut (Rasyid, 2014).

Indrawati dkk (2013) telah melakukan penelitian terkait ekstraksi TiO₂ yang mengombinasikan pembakaran dan *leaching* menggunakan pelarut H₂SO₄. *Slag* hasil peleburan pasir besi dicampur dengan Na₂CO₃, kemudian dilakukan *roasting* dan *leaching* menggunakan akuades dengan reaksi sebagai berikut:



Selanjutnya dilakukan *leaching* menggunakan pelarut H₂SO₄:



Diperoleh kadar titania sebesar 60% dengan suhu *roasting* optimum 700°C.

Kenaikan suhu di atas 700°C menyebabkan kenaikan kadar Fe pada hasil akhir proses *leaching* karena H₂SO₄ yang digunakan tidak mampu mengendapkan semua Fe pada *slag*.

Agus dkk (2022) juga telah melakukan penelitian terkait ekstraksi bijih mangan dengan metode reduksi yang menggunakan arang sebagai reduktor. Proses pirometalurgi dilakukan dengan suhu tinggi untuk mengekstraksi mangan, dan umumnya akan menghasilkan logam ferromangan. Proses *roasting* dilakukan pada suhu 700°C selama 2 jam dan dihasilkan bijih mangan yang mengandung MnO₂ sebesar 40,09%.

2.2.2 Elektrometalurgi

Elektrometalurgi merupakan proses ekstraksi yang menerapkan prinsip elektrokimia, baik pada temperatur rendah maupun temperatur tinggi. Prinsip kerja elektrometalurgi yaitu energi listrik sebagai sumber panas pada elektrolisa yang digunakan untuk mengendapkan logam pada salah satu elektrodanya. Proses elektrolisa terdiri dari dua tingkatan yaitu *electro winning* dan *electro refinery* (Tarumingkeng dkk., 2016). Supriyatna dkk (2019) telah melakukan penelitian ekstraksi titanium dari terak timah menggunakan tungku busur listrik. Reduktor yang digunakan adalah grafit untuk mereduksi oksida logam menjadi logam murni. Dihasilkan produk titanium tertinggi adalah 79,21% dengan rasio reduktor 1:15 pada waktu proses 30 menit sebagai waktu optimum, semakin besar jumlah grafit yang digunakan maka kadar titanium hasil ekstraksi juga akan semakin meningkat. Xin-miao *et al* (2006) juga telah melakukan penelitian ekstraksi titanium menggunakan metode elektrolisis menggunakan larutan garam CaCl_2 dengan variasi suhu 850-900°C serta potensi elektrolisis 3,1 dan 3,2 V, dan dihasilkan titanium dengan kemurnian tinggi.

2.2.3 Hidrometalurgi

Hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi padat-cair dengan cara *leaching* yang melibatkan pelarut, serta dilakukan pada temperatur yang relatif rendah. Prinsip dasar metode hidrometalurgi adalah pelarutan bijih-bijih menggunakan asam atau basa yang sesuai dengan kandungan logam pada bijih yang digunakan, kemudian logam atau senyawanya dipisahkan dari larutan dengan cara elektrolisa atau pengendapan. Metode ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya temperatur yang digunakan relatif rendah, reagen yang digunakan murah dan mudah didapatkan, produk yang dihasilkan memiliki struktur nanometer dengan kemurnian yang tinggi (Rasyid, 2014), konsumsi energi yang rendah, dan menghasilkan produk TiO_2 yang cukup berkualitas untuk berbagai aplikasi (Zhang *et al.*, 2011).

Ermawati dkk (2011) telah melakukan penelitian terkait ekstraksi TiO_2 dari pasir mineral Pantai Pesisir Pandeglang, Jawa Barat dengan metode *acid leaching* menggunakan pelarut HCl 2%. Pasir mineral dicampur dengan natrium karbonat (Na_2CO_3) dengan variasi suhu kalsinasi yaitu 600°C dan 750°C . Hasil *roasting* yang diperoleh kemudian dilakukan *water leaching*. Selanjutnya, dilakukan proses *acid leaching* menggunakan pelarut HCl teknis dengan konsentrasi 2%, pada suhu $90\text{-}110^\circ\text{C}$ selama 40 menit. Hasilnya ditambah HCl kembali dan disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Kemudian ekstraknya dilarutkan dalam akuades dan disentrifugasi kembali. Diperoleh kandungan TiO_2 sebesar 33,49% sedangkan Fe_2O_3 sebesar 58,29%. Proses *leaching water* dapat meningkatkan kandungan TiO_2 menjadi 47,48%, sedangkan Fe_2O_3 turun menjadi 46,15%. Pada proses *acid leaching* kandungan TiO_2 meningkat menjadi 64,62%.

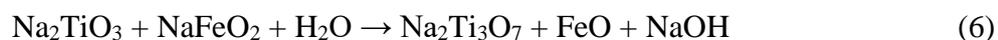
Istiqomah dkk (2019) juga telah melakukan penelitian ekstraksi TiO_2 dari pasir mineral Pantai Popoh Tulungagung dengan metode *leaching* menggunakan pelarut H_2SO_4 . Hasil endapan yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu 600°C selama 2 jam. Diperoleh hasil ekstraksi yang menunjukkan terbentuknya TiO_2 dengan fase kristal anatase yang memiliki struktur kristal tetragonal, serta memiliki ukuran kristal sebesar 2,41 nm, sehingga dapat dikatakan sebagai nanokristal.

Firdaus dkk (2021) melakukan ekstraksi TiO_2 dari pasir besi Lampung menggunakan metode *leaching* dengan pelarut HCl. Pasir besi didekomposisi menggunakan NaHCO_3 , kemudian dilakukan *leaching* menggunakan HCl dengan konsentrasi 2 M, dan dilakukan kalsinasi pada suhu 480°C selama 5 jam. Diperoleh hasil optimum TiO_2 pada *leaching* asam suhu 110°C selama 2 jam yaitu 60,701%.

Ekstraksi TiO_2 juga telah dilakukan oleh Ginting dkk (2023) yang menggunakan pasir besi dari Rancecet, Pandeglang, Banten. Proses fusi kaustik mineral ilmenit (FeTiO_3) menggunakan NaOH dilakukan pada suhu 850°C selama 1 jam, dan terjadi reaksi kimia sebagai berikut :



Kemudian dilakukan *leaching* akuades, yang menghasilkan reaksi berikut :



Proses selanjutnya dilakukan *leaching* asam menggunakan pelarut HCl dengan konsentrasi 6,5 M pada suhu 90°C selama 240 menit, dan terjadi reaksi kimia :



Leaching menggunakan asam klorida, asam asetat, dan asam sitrat dengan konsentrasi yang sama, dihasilkan bahwa penggunaan HCl lebih optimum dibandingkan dengan pelarut asam lainnya karena diperoleh TiO₂ dengan kadar yang lebih tinggi yaitu sebesar 94,189%, sedangkan menggunakan pelarut asam sitrat sebesar 41,480%, dan 37,099% dengan pelarut asam asetat.

2.3 Aplikasi Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium dioksida (TiO₂) memiliki peluang aplikasi yang besar dalam kehidupan diantaranya sebagai bahan fotokatalitik dalam pemurnian air dan udara, penghasil hidrogen dari pemutusan ikatan air, dan sebagai bahan dalam *smart cleaning* (Smith *et al.*, 2010). TiO₂ juga digunakan sebagai agen pelemahan sinar radiasi ultraviolet (UV) dalam aplikasi kosmetik pada tabir surya (Ko *et al.*, 2012), sebagai superkapasitor hibrid yang menghasilkan daya dan kepadatan energi yang jauh lebih tinggi dari berbagai superkapasitor hibrida (Kim *et al.*, 2013), dan sebagai bahan elektroda baterai Li-ion serta untuk memperbaiki kapasitas dan stabilitas elektroda baterai Li-ion, dimana TiO₂ sebagai agen yang dapat mengakomodasi ion litium selama proses interkalasi (Agusu dan Yuliana, 2017).

TiO₂ juga berperan sebagai material fotokatalis yang dapat mempercepat reaksi, hal ini dipengaruhi oleh adanya sumber cahaya, karena TiO₂ memiliki sifat semikonduktor yaitu struktur elektronik yang terkarakterisasi oleh adanya pita valensi (*valance band*) yang terisi elektron dan pita konduksi (*conduction band*) yang kosong, daerah diantara pita tersebut disebut sebagai energi celah pita (*band gap energy*) (Hindryawati, 2020). TiO₂ dengan ukuran nanopartikel dapat

digunakan sebagai adsorben dalam pengolahan limbah zat warna *methylene blue* yang didasarkan pada sifat semikonduktor, kristalinitas, fasa kristal, dan sisi aktif permukaan, dengan diperoleh daya adsorpsi nanopartikel TiO₂ terhadap MB sebesar 81% dan kapasitas adsorpsi sekitar 83-217 mg/g (Thahir dkk., 2019). Nanopartikel TiO₂ juga dapat diaplikasikan sebagai fotoelektroda pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Komalasari dkk., 2014).

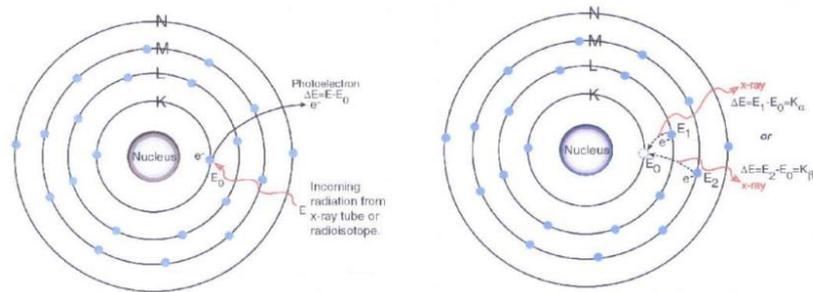
2.4 Karakterisasi TiO₂

2.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

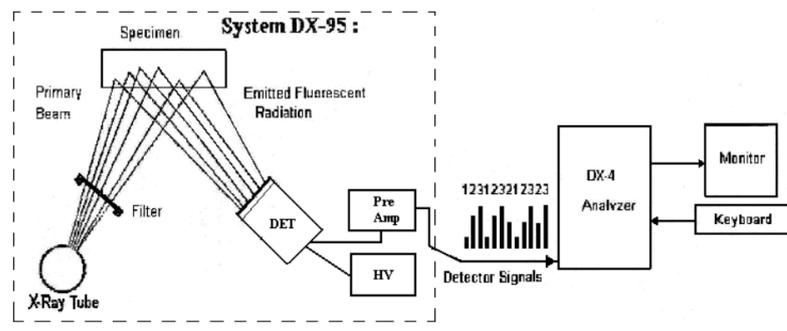
X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode analisis berdasarkan pengukuran tenaga dan intensitas sinar-X suatu unsur di dalam cuplikan hasil eksitasi sumber radioisotop (Zainul, 2021). Energi yang dipancarkan pada pengukuran XRF adalah radiasi fluoresensi. Radiasi fluoresensi memiliki energi yang khas tergantung dari elektron yang tereksitasi dan terdeeksitasi pada atom penyusun suatu material, sehingga dapat dilakukan analisa kualitatif untuk mengidentifikasi unsur-unsur penyusun dari suatu material, dan analisa kuantitatif untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dianalisis dengan berdasarkan pada intensitas dari radiasi fluoresensi yang dipancarkan (Setiabudi dkk., 2012).

Prinsip pengukuran XRF berdasarkan terjadinya proses eksitasi elektron pada kulit atom bagian dalam ketika suatu unsur dikenai sinar-X, kekosongan elektron tersebut akan diisi oleh elektron bagian luar atau elektron dari kulit yang lebih tinggi dengan melepaskan energi yang spesifik untuk setiap unsur. Perbedaan energi dari dua kulit tersebut muncul sebagai sinar-X yang dipancarkan oleh atom dan menunjukkan puncak karakteristik yang merupakan landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedangkan analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Hasil XRF berupa spektrum hubungan energi eksitasi dan intensitas sinar-X. Energi aktivasi menunjukkan

unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kualitas dari unsur tersebut. Semakin tinggi intensitasnya maka semakin tinggi pula persentase unsur tersebut dalam sampel (Sari, 2016).



Gambar 2. Proses terjadinya sinar-X

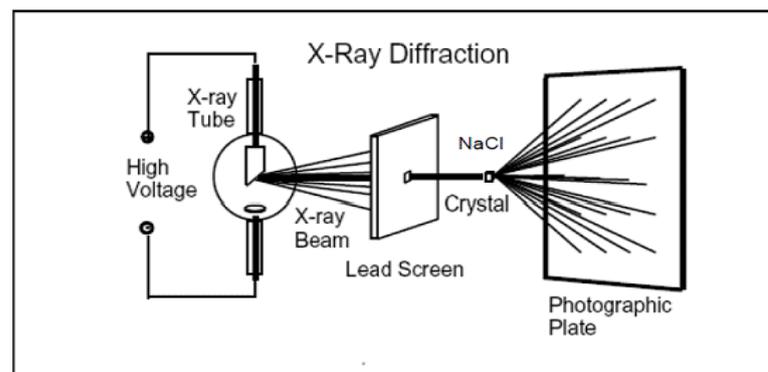


Gambar 3. Skema kerja XRF (Jamaludin dan Adiantoro, 2012)

2.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

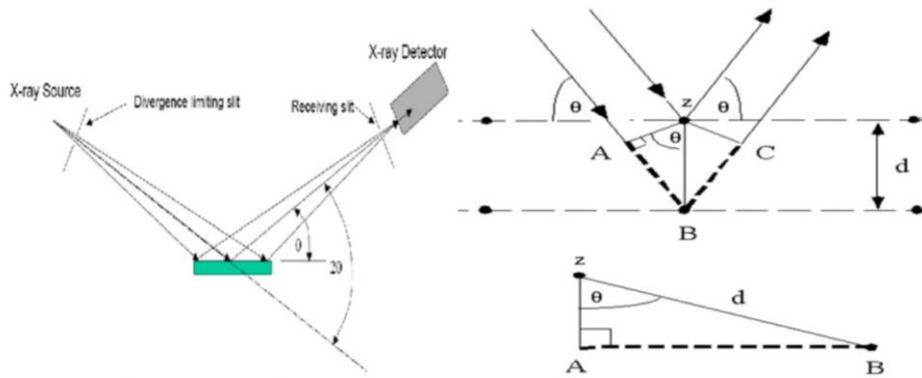
Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi yang tinggi yaitu sekitar 200 eV-1 MeV, dan terletak diantara sinar- γ dan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang antara 400-800 nm. Sinar-X digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material (Zainul, 2021). Radiasi sinar-X dapat terjadi karena transisi elektron dari orbital yang memiliki tingkat energi lebih tinggi menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah (Setiabudi dkk., 2012).

X-Ray Diffraction (XRD) adalah suatu perangkat yang memanfaatkan sifat difraksi sinar-X oleh kristal. Karakterisasi XRD digunakan untuk menentukan fasa, struktur kristal, ukuran butir, konstanta kisi, dan FWHM. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksikan cahaya yang melalui celah kristal. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan, hamburan yang terdifraksi tersebut yang akan dideteksi oleh XRD (Zainul, 2021).



Gambar 4. Skema kerja XRD (Evelyna dkk., 2019).

Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama (berkas difraksi). Hukum Bragg merupakan suatu persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut termasuk dalam berkas difraksi. Berkas yang terdifraksi oleh kristal dapat terjadi apabila pemantulan oleh bidang sejajar atom dapat menghasilkan interferensi konstruktif (Zainul, 2021). Pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakterisasi dari sampel sebagai hasil dari difraksi berkas cahaya oleh kristal pada material. Pola difraksi dinyatakan dalam nilai sudut 2θ , θ merepresentasikan sudut datang cahaya, sedangkan nilai 2θ merupakan besar sudut datang dengan sudut difraksi yang terdeteksi oleh detektor (Setiabudi dkk., 2012).



Gambar 5. Difraksi pada bidang kristal (bidang Bragg) (Sharma *et al.*, 2012).

Partikel dari suatu material dapat diketahui ukuran (ketebalan) kristalnya menggunakan persamaan Scherrer, apabila kristal lebih kecil dari 100 nm.

$$K.\lambda = 2.d.\sin\theta \quad (8)$$

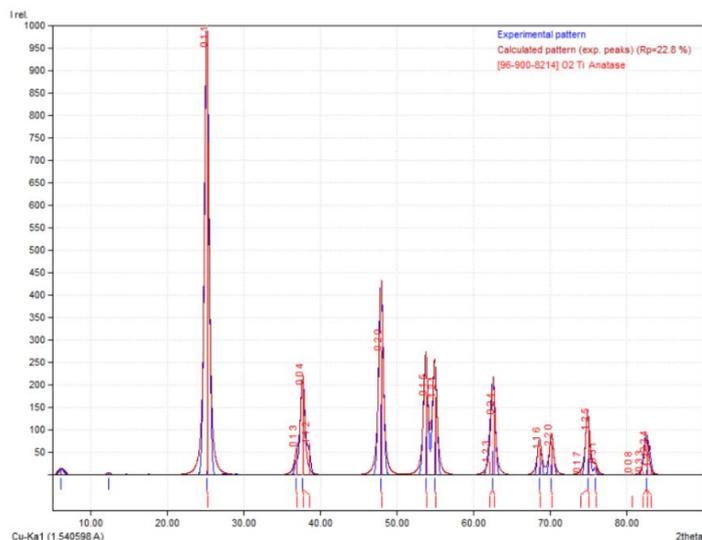
$$D = \frac{K.\lambda}{2.\cos\theta.\Delta\theta} \quad (9)$$

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

dengan K merupakan konstanta faktor bentuk kristal dengan nilai sebesar 0,9 maka persamaan Scherrer dapat dituliskan :

$$D = \frac{0,9\lambda}{\cos\theta.\beta} \quad (\text{Bakti dkk., 2022}) \quad (11)$$

Keterangan β merupakan lebar setengan puncak maksimum / *Full Width Half Maximum* (FWHM), λ merupakan panjang gelombang sinar-X, dan θ merupakan sudut puncak difraksi bidang Bragg, dimana diketahui bahwa semakin kecil nilai FWHM maka ukuran partikel partikel akan semakin besar (Hadiati dkk., 2013).



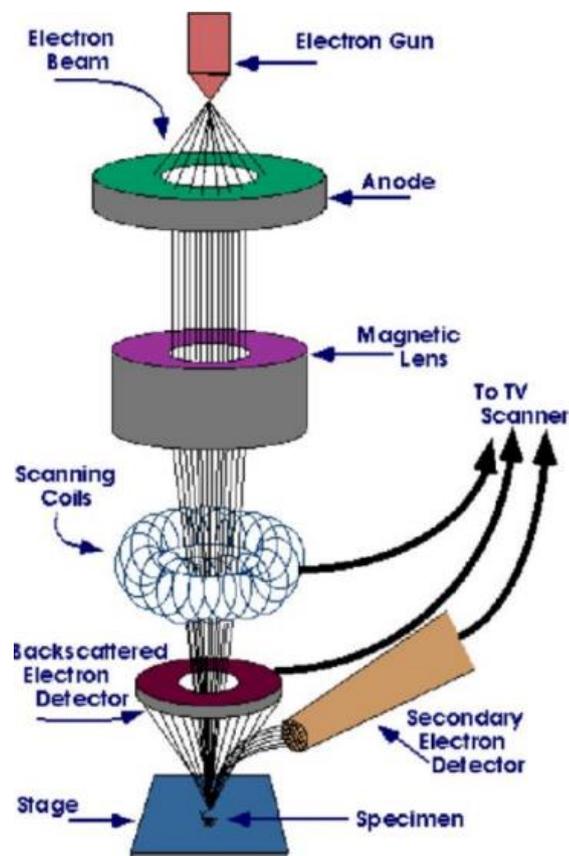
Gambar 6. Difraktogram sampel dari analisis *software Match!*
(Istiqomah dkk., 2019)

Berdasarkan penelitian Istiqomah dkk (2019) mengenai ekstraksi TiO_2 dari pasir mineral Pantai Popoh Tulungagung, diperoleh kandungan TiO_2 yang kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan dianalisis dengan *software Match!*. Difraktogram yang dihasilkan menunjukkan puncak tertinggi terletak pada sudut difraksi 2θ sebesar $25,17^\circ$ dengan orientasi kristal (011), dan diperoleh fasa anatase yang terbentuk secara menyeluruh pada sampel. Selain itu, diketahui parameter kisi dari sampel yaitu nilai $a = b = 3,7845 \text{ \AA}$ dan $c = 9,5143 \text{ \AA}$ yang menunjukkan bahwa fasa anatase yang terbentuk memiliki struktur kristal tetragonal.

2.4.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Mikroskop elektron merupakan mikroskop yang menggunakan elektrostatik dan elektromagnetik untuk mengatur pencahayaan dan tampilan gambar, serta dapat melakukan pembesaran objek dan resolusi hingga dua juta kali (Zainul, 2021). SEM merupakan suatu mikroskop elektron yang digunakan untuk merepresentasikan permukaan objek suatu material, dengan memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) pada permukaan objek dan mendeteksi elektron yang muncul untuk mengambil gambarnya. Hasil interaksi tersebut diperoleh elektron

pantulan yang akan menghasilkan sinyal berisi informasi topografi, morfologi, dan komposisi permukaan objek suatu material. SEM memiliki perbesaran 10 - 3.000.000 kali dan resolusi sebesar 1 -1 nm. SEM dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectrometer (EDS)* sehingga dapat mendeteksi komponen unsur pada suatu sampel yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Oleh karena itu, SEM akan menampilkan hasil pemindaian secara visual serta EDS akan menampilkan analisis elementalnya (Masta, 2020). SEM-EDS merupakan gabungan dua perangkat analisis dalam satu panel analitis untuk menghasilkan gambaran permukaan dengan resolusi yang tinggi. Gambar permukaan sampel yang diperoleh akan dikomputasikan dengan *software* untuk menganalisis komponen material secara kuantitatif dan kualitatif (Zainul, 2021).



Gambar 7. Skema Kerja SEM (Bahfie dkk., 2022)

Prinsip kerja SEM yaitu sampel dimasukkan ke dalam *chamber* kemudian di *vacuum*, pada *chamber* terdapat beberapa komponen, komponen katoda terdiri dari *electron gun* yang berupa lilitan tungsten yang dapat menghasilkan *electron beam* dari filamen. Lilitan tungsten tersebut akan diberikan tegangan sehingga dapat melewati anoda yaitu terjadinya lompatan elektron dari katoda menuju anoda sehingga elektron akan tersebar ke arah spesimen. Elektron yang tersebar akan difokuskan lagi ke titik permukaan sampel yang akan dilakukan *scanning* menggunakan lensa magnetik. Keseluruhan sampel akan dilakukan *scanning* oleh sinar elektron yang terfokus. Elektron yang mengenai spesimen mengakibatkan terjadinya hamburan elektron yang disebut dengan *primary electron*, *primary electron* yang mengenai spesimen disebut dengan *secondary electron* (Bahfie dkk., 2022). *Secondary Electron* (SE) maupun *Back Scattered Electron* (BSE) akan dideteksi oleh *detector*, elektron yang terdeteksi akan diperkuat sinyal dan amplitudonya sehingga dapat menampilkan gambar pada monitor dalam bentuk gelap-terang (Zainul, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2023 sampai dengan bulan Januari 2024 di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung. Preparasi sampel dan ekstraksi TiO₂ dilakukan di Laboratorium Mineral Terpadu BRIN Lampung. Karakterisasi TiO₂ menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Laboratorium Mineral Terpadu BRIN Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi magnet batang, *planetary ball mill* PQ-N2, *sieve shaker* AS200 Tap, ayakan 325 mesh, *muffle furnace* Nabertherm, spatula, cawan porselin, mortar dan alu, batang pengaduk, krusibel, gelas beker, erlenmeyer, kertas saring, gelas ukur, labu ukur, botol reagen, corong kaca, oven, neraca analitik, aluminium foil, *plastic wrap*, *magnetic stirrer*, *hot plate*, *X-Ray Fluorescence* (XRF) Merk *Panalytical Epsilon 3 XLE*, *X-Ray Diffraction* (XRD) Merk *Panalytical Xpert 3 Powder*, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Merk *Thermo Scientific Quatro S*.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pasir besi dari Pantai Tembakak Pesisir Barat, HCl p.a Merck, NaOH, dan akuades.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Teknik Sampling Pasir Besi

Sampel pasir besi yang digunakan berasal dari Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat, pasir yang diambil merupakan pasir yang berada di sepanjang Pantai, pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *simple random sampling*. *Simple random sampling* dilakukan dengan penarikan dari sebuah populasi sehingga setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk terpilih (Purwanza dkk., 2022). Tahapan dalam melakukan teknik *simple random sampling* pasir besi yaitu dibuat 50 plot di sepanjang pantai dengan ukuran setiap plotnya 10 m x 10 m dan jarak antar setiap plot adalah 50 m, sehingga setiap plot memiliki peluang yang sama untuk terpilih. Dipilih sebanyak 5 plot secara acak, dan dilakukan pengambilan sampel dari 5 plot yang telah terpilih. Sampel pasir besi yang telah diambil, kemudian dicampur dan dikeringkan menggunakan panas matahari. Setelah sampel kering kemudian sampel dimasukkan ke dalam karung, dan diambil secara acak di beberapa titik menggunakan pipa.

3.3.2 Preparasi Sampel

Preparasi sampel pasir besi dilakukan dengan cara separasi magnetik menggunakan magnet batang untuk memisahkan sampel dari pengotornya. Separasi magnetik diulangi beberapa kali hingga diperoleh pasir besi yang bebas dari mineral nonmagnetik, karena mineral-mineral yang terdapat pada pasir besi bersifat magnetik. Sampel pasir besi yang mengandung mineral magnetik

kemudian dihaluskan menggunakan *planetary ball mill* dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit, kemudian diayak menggunakan *sieve shaker* dengan ayakan 325 *mesh*. Dilakukan analisis komponen unsur pasir besi Pantai Tembakak menggunakan instrumen XRF (Priharyono dan Gusmarwani, 2022).

3.3.3 Ekstraksi TiO₂ dari Pasir Besi

Sampel pasir besi yang telah dipreparasi selanjutnya didekomposisi dengan penambahan NaOH. Pasir besi sebanyak 20 gr ditambahkan dengan NaOH 40 gr dengan perbandingan 1:2, kemudian dicampurkan dalam cawan porselen dan dipanaskan dalam *muffle furnace* pada suhu 450°C selama 2 jam (Xue *et al.*, 2009). Padatan yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker, dan dilakukan *leaching* akuades pada suhu 80°C selama 30 menit dengan perbandingan berat sampel dan akuades adalah 1:5. Hasil *leaching* akuades disaring, dan endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu ±105°C kemudian ditimbang. Selanjutnya, dilakukan *leaching* asam menggunakan HCl dengan variasi konsentrasi 7 M; 9 M; dan 12 M pada suhu 100°C selama 2 jam, dengan perbandingan berat endapan dan HCl adalah 1:5. Hasil *leaching* asam dicuci menggunakan akuades, kemudian endapan dikeringkan dalam oven pada suhu ±105°C (Firdaus dkk., 2021). Endapan yang telah kering dihaluskan kemudian dikalsinasi pada suhu 600°C selama 2 jam. Hasil kalsinasi ditimbang menggunakan neraca analitik hingga berat konstan (Rohmawati dkk., 2020).

3.4 Karakterisasi TiO₂

3.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

Karakterisasi menggunakan XRF dilakukan untuk mengetahui komponen unsur-unsur kimia yang terdapat pada sampel pasir besi dan hasil ekstraksi TiO₂. Langkah-langkah karakterisasi menggunakan XRF yaitu dengan disiapkannya

sampel hasil ekstraksi yang akan diuji, kemudian diletakkan di dalam sampel *holder*, dipastikan bagian bawah sampel *holder* telah tertutupi seluruhnya oleh sampel karena bagian tersebut yang akan ditembaki oleh sinar-X. Ditutup lid dan dijalankan XRF dengan menekan tombol ON. Sinar-X akan mengenai sampel yang kemudian akan diteruskan ke detektor. Selanjutnya, dilakukan pemotretan hasil dan dianalisis unsur-unsur yang terkandung dalam sampel (Eryani dkk., 2018).

3.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Identifikasi ukuran, fasa, dan struktur partikel dari nanopartikel TiO₂ menggunakan instrumen XRD. Langkah-langkah pengujian dalam menggunakan instrumen XRD yaitu disiapkan sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu, kemudian direkatkan pada sampel *holder*, diperhatikan tebal dan diameter sampel agar tidak melebihi batas sampel *holder*, lalu sampel dimasukkan ke ruang sampel (Lubis dkk., 2020). Parameter pengukuran dimasukkan untuk pengambilan data pada *software* melalui komputer pengontrol yang meliputi penentuan *scan mode*, rentang sudut, kecepatan scan cuplikan, memberi nama cuplikan, serta nomor urut file data. Kemudian diklik "start" pada menu komputer sehingga sampel akan dikenai radiasi oleh sinar-X yang terpancar. Hasil difraksi dan intensitas difraksi dapat dilihat pada komputer, serta hasilnya dapat dicetak. Data yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dengan membandingkan puncak dengan data standar XRD (Eryani dkk., 2018).

3.4.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui topografi, morfologi, dan komposisi permukaan dari nanopartikel TiO₂. Pengujian dengan SEM dilakukan dengan disiapkannya sampel yang akan diuji terlebih dahulu, kemudian diletakkan sampel yang akan diuji pada *specimen holder* menggunakan *carbon double tipe* dengan

bagian *cross section* mengarah vertikal ke atas (lensa objektif). *Carbon double tipe* terbuat dari bahan karbon yang konduktif sehingga dapat menghantarkan elektron yang masuk ke dalam sampel hingga keluar melalui *grounding*. SEM dioperasikan menggunakan standar parameter operasi untuk akuisisi sinyal EDX (Sujatno dkk., 2015).

3.5 Pengolahan Data

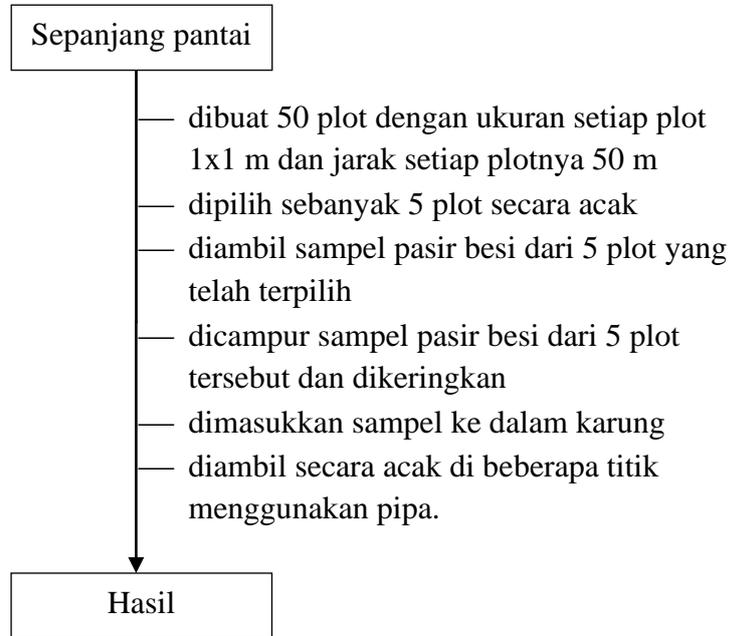
Difraksi sinar-X akan terjadi pada sampel, berkas-berkas dari sinar-X akan dibelokkan dan akan berinterferensi maksimum sehingga dapat diperoleh puncak pada sudut difraksi yang memiliki nilai 2θ tertentu (Kosasih, 2018). Informasi yang diperoleh dari hasil pengujian menggunakan XRD dapat dilakukan perhitungan ukuran partikel TiO_2 yang diperoleh dari hasil ekstraksi menggunakan persamaan Scherrer yang dapat digunakan apabila partikel tersebut lebih kecil dari 100 nm., yaitu :

$$D = \frac{0,9\lambda}{\cos\theta.\beta} \quad (12)$$

Keterangan β merupakan lebar setengan puncak maksimum / *Full Width Half Maximum* (FWHM), λ merupakan panjang gelombang sinar-X, dan θ merupakan sudut puncak difraksi bidang Bragg (Hadiati dkk., 2013). Sudut difraksi yang digunakan merupakan nilai puncak maksimum dari partikel TiO_2 yang diperoleh dari hasil ekstraksi. Perhitungan persamaan Scherrer dapat langsung dihitung berdasarkan informasi yang diperoleh dari hasil pengujian XRD, sehingga dapat diketahui ukuran partikel TiO_2 .

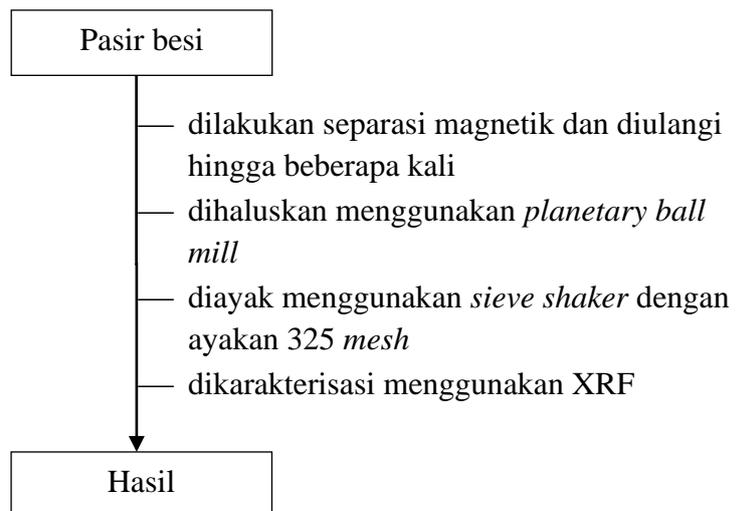
3.6 Skema Alur Penelitian

3.6.1 Teknik Sampling Pasir Besi



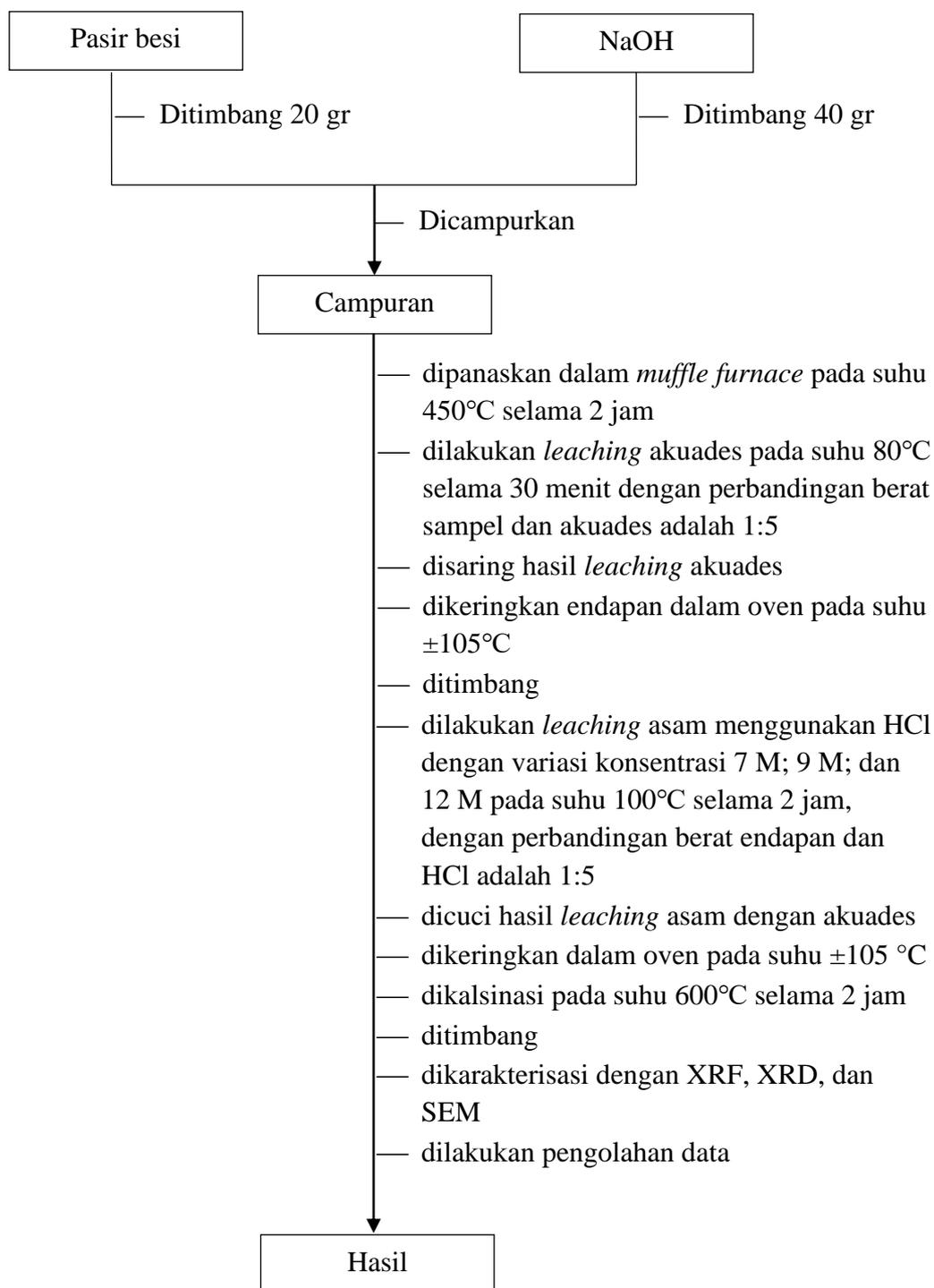
Gambar 8. Skema Alur Kerja Teknik Sampling Pasir Besi

3.6.2 Preparasi Sampel



Gambar 9. Skema Alur Kerja Preparasi Sampel

3.6.3 Ekstraksi TiO₂ dari Pasir Besi



Gambar 10. Skema Alur Kerja Ekstraksi TiO₂ dari Pasir Besi

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pasir besi Pantai Tembakak Pesisir Barat mengandung unsur Fe 58,294%; Si 18,525%; Ti 8,775%; Al 6,785%; Ca 3,885%; K 1,624%, serta beberapa unsur-unsur minor lainnya dengan kandungan di bawah 0,5%.
2. Hasil ekstraksi TiO₂ pada konsentrasi HCl 7 M sebesar 15,033%, HCl 9 M sebesar 16,367%, dan HCl 12 M sebesar 17,421%, maka pengaruh konsentrasi HCl terhadap ekstraksi TiO₂ dari pasir besi menunjukkan bahwa semakin pekat konsentrasi HCl maka kandungan TiO₂ yang diperoleh semakin besar.
3. Ukuran partikel TiO₂ hasil dari ekstraksi pasir besi dengan metode hidrometalurgi sebesar 33,92 nm, yang menunjukkan bahwa partikel TiO₂ yang diperoleh merupakan nanopartikel.
4. Hasil karakterisasi dengan XRD, menunjukkan bahwa TiO₂ memiliki fasa kristal rutil dengan struktur kristal tetragonal yang memiliki parameter kisi $a = b = 4,6260 \text{ \AA}$ dan $c = 2,9810 \text{ \AA}$ dengan sudut kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan reaktor yang mampu melakukan *leaching* dengan suhu, tekanan, dan pH tinggi, dengan tujuan agar dapat menghilangkan unsur-unsur minornya serta dapat menurunkan kandungan unsur Si.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Virgus, Y., dan Khairurrijal. 2008. Review: Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. 1(2), 33–57.
- Acikgoz, M. 2012. A Study of The Impurity Structure for $3d^3$ (Cr^{3+} and Mn^{4+}) Ions Doped into Rutile TiO_2 Crystal. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 86, 417–422.
- Agus, J., Isdar, E., dan Suharyanto, A. 2022. Reduksi Bijih Mangan. *Sainfis: Jurnal Sains Fisika*. 2(2), 39–44.
- Agusu, L., dan Yuliana. 2017. Fabrikasi Komposit Graphene/ TiO_2 /PAni sebagai Bahan Elektroda Baterai Lithium-Ion (Li-Ion). *Jurnal Aplikasi Fisika*. 13(1), 33–40.
- Akakuru, O. U., Iqbal, Z. M., and Wu, A. 2020. *TiO₂ Nanoparticles: Applications in Nanobiotechnology and Nanomedicine*. Wiley-VCH.
- Alimin, Maryono, dan Putri, S. E. 2016. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Losari Kota Makassar Menggunakan XRF dan XRD. *Jurnal Chemica*. 17(2), 19–23.
- Anbarasu, M., Anandan, M., Chinnasamy, E., Gopinath, V., and Balamurugan, K. 2015. Synthesis and Characterization of Polyethylene Glycol (PEG) Coated Fe_3O_4 Nanoparticles by Chemical Co-Precipitation Method for Biomedical Applications. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 135, 536–539.
- Andani, Y., dan Octova, A. 2020. Eksplorasi Pasir Besi Kawasan Pasia Paneh Nagari Tiku Selatan Kecamatan Tanjung Mutiara sebagai Bahan Baku Industri di Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*. 5(3), 88–101.

- Astutik, Y., Widiyanto, D., dan Nugrahaeni, C. P. D. 2022. Klasifikasi Jenis Pasir Material Bangunan Menggunakan Metode *Support Vector Machine* (SVM) Berdasarkan Ekstraksi Ciri Tekstur dan Warna. *Seminar Nasional Mahasiswa Ilmu Komputer dan Aplikasinya*. 780–789.
- 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. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*. 10(3), 237–246.
- Bakti, A. I., Harianto, Y. A., dan Nugraha, M. K. 2022. Karakterisasi Karbon Aktif yang Terbuat dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Na_2CO_3 dan Suhu 1000°C Menggunakan Teknik XRD dan SEM-EDX. *Chem. Prog.* 15(2), 76–82.
- Dahlan, Y., Saleh, N., dan Pramusanto. 2010. Pembuatan Zirkonia Semi Stabil dari Pasir Zirkon Kalimantan Tengah dengan Menggunakan Bahan Penstabil Campuran CaO dan MgO. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 6(3), 146–155.
- Dastan, D., and Chaure, N. B. 2014. Influence of Surfactants on TiO_2 Nanoparticles Grown by Sol-Gel Technique. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*. 2(1), 21–24.
- Eddy, H. R. 2007. Potensi Pasir Zirkon di Provinsi Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 2(1), 42–54.
- El-Hazek, N., Lasheen, T. A., El-Sheikh, R., and Zaki, S. A. 2007. Hydrometallurgical Criteria for TiO_2 Leaching from Rosetta Ilmenite by Hydrochloric Acid. *Hydrometallurgy*. 87(1–2), 45–50.
- Ermawati, R., Naimah, S., dan Ratnawati, E. 2011. Monitoring dan Ekstraksi TiO_2 dari Pasir Mineral. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 33(2), 131–136.
- Eryani, Aprilia, S., dan Mulana, F. 2018. Karakterisasi Bionanofiller dari Limbah Padi sebagai Alternatif Penguatan pada Polimer Komposit. *Jurnal Serambi Engineering*. 3(2), 338–347.
- Evelyna, A., Prakusya, N., Aulia, N. A., Suprana, D. J. D., dan Purwasasmita, B. S. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Nanoselulosa Berbahan Serat Nanas sebagai Komponen Penguat Material Kedokteran Gigi. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*. 8(2), 60–64.

- Fahlepy, M. R., Wahyuni, Y., Andhika, M., Tiwow, V. A., and Subaer. 2019. Synthesis and Characterization of Nanopraticle Hematite (α -Fe₂O₃) Minerals from Natural Iron Sand Using Co-Precipitation Method and its Potential Applications as Extrinsic Semiconductor Materials Type-N. *Materials Science Forum*. 967, 259–266.
- Firdaus, I., Stevani, A., Handayani, Y. N., Febriyanti, N., Marjunus, R., and Manurung, P. 2021. Synthesis and Characterization of TiO₂ from Lampung's Iron Sand Using Leaching Method with Temperature Variation. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 17(2), 37–40.
- Ginting, L. I. Br., Manaf, A., Astuti, W., Supriyatna, Y. I., and Bahfie, F. 2023. Study of Titanium Dioxide (TiO₂) Extraction Process from Ilmenite Banten. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1201(1), 1–7.
- Hadiati, S., Ramelan, A., Variani, V., Hikam, M., Soegijono, B., Saputri, D., dan Iriani, Y. 2013. Kajian Variasi Suhu Annealing dan Holding Time pada Penumbuhan Lapisan Tipis BaZr_{0,15}Ti_{0,85}O₃ dengan Metode Sol Gel. *Jurnal MIPA*. 36(1), 20–27.
- 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*. Pusat Sumber Daya Geologi : Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Hindryawati, N. 2020. *Fotokatalisis dalam Pengolahan Limbah Tekstil*. Deepublish.
- Indrawati, T., Rahman, T. P., Nugroho, D. W., Nofrizal, Ikono, R., Yuswono, Siswanto, dan Rochman, N. T. 2013. Studi Ekstraksi Titania dari Slag Menggunakan Soda Ash pada Variasi Suhu Roasting. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 1(1), 61–64.
- 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), 145–151.

- Izaak, M. P., Gunanto, Y. E., Sitompul, H., and Adi, W. A. 2021. The Optimization of Increasing TiO₂ Purity Through a Multi-level Hydrometallurgical Process. *Materials Today: Proceedings*. 44, 3253–3257.
- Jalaludin, M., Giovano, H., dan Baihaqy, M. 2021. Analisis Bentuk Lahan di Sepanjang Bukit Barisan, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. *Jurnal Samudra Geografi*. 4(1), 10–15.
- Jamaludin, A., dan Adiantoro, D. 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). *Pengelolaan Instalasi Nuklir*. 9–10, 19–28.
- Jameel, Z. N., Haider, A. J., and Taha, S. Y. 2014. Synthesis of TiO₂ Nanoparticles by Using Sol-Gel Method and its Applications as Antibacterial Agents. *Engineering and Technology Journal*. 32(3), 418–426.
- Kim, H., Cho, M. Y., Kim, M. H., Park, K. Y., Gwon, H., Lee, Y., Roh, K. C., and Kang, K. 2013. A Novel High-Energy Hybrid Supercapacitor with an Anatase TiO₂-Reduced Graphene Oxide Anode and an Activated Carbon Cathode. *Advanced Energy Materials*. 3(11), 1500–1506.
- Kim, T. K., Lee, M. N., Lee, S. H., Park, Y. C., Jung, C. K., and Boo, J. H. 2005. Development of Surface Coating Technology of TiO₂ Powder and Improvement of Photocatalytic Activity by Surface Modification. *Thin Solid Films*, 475(1–2), 171–177.
- Ko, H. H., Chen, H. T., Yen, F. L., Lu, W. C., Kuo, C. W., and Wang, M. C. 2012. Preparation of TiO₂ Nanocrystallite Powders Coated with 9 mol% ZnO for Cosmetic Applications in Sunscreens. *International Journal of Molecular Sciences*. 13(2), 1658–1669.
- Komalasari, M., Akbar, T. F., dan Sunendar, B. 2014. Pengaruh Konsentrasi Kitosan pada Sintesis Nanopartikel TiO₂ untuk Aplikasi pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*. 4(1), 13–18.
- Kosasih, D. P. 2018. Analisis Material Isolator Busi Panas dengan Busi Dingin Menggunakan Perangkat Lunak Match Powder Diffraction. *Mesa Jurnal*. 2(2), 18–32.
- Kusnaedi. 2010. *Mengolah Air Kotor untuk Air Minum*. Penebar Swadaya.
- Kusumastuti, E. 2012. Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat). *Jurnal MIPA*. 35(1).

- Lalasarani, L. H., Firdiyono, F., Yuwono, A. H., Harjanto, S., and Suharno, B. 2012. Preparation, Decomposition, and Characterizations of Bangka - Indonesia Ilmenite (FeTiO_3) Derived by Hydrothermal Method Using Concentrated NaOH Solution. *Advanced Materials Research*. 535–537, 750–756.
- Larraza, I., Lopez-Gonzalez, M., Corrales, T., and Marcelo, G. 2012. Hybrid Materials: Magnetite–Polyethylenimine–Montmorillonite, as Magnetic Adsorbents for Cr(VI) Water Treatment. *Journal of Colloid and Interface Science*. 385(1), 24–33.
- Lesbani, A. 2011. Studi Interaksi Vanadium dan Nikel dengan Pasir Kuarsa. *Jurnal Penelitian Sains*. 14(4), 43–46.
- Li, C., Liang, B., Song, H., Xu, J., and Wang, X. 2008. Preparation of Porous Rutile Titania from Ilmenite by Mechanical Activation and Subsequent Sulfuric Acid Leaching. *Microporous and Mesoporous Materials*. 115(3), 293–300.
- Lubis, K., Sebayang, K., Sinuhaji, P., Tarigan, E., dan Haryadi, J. 2020. Nanokristal Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang dan Kemampuannya dalam Menurunkan Kadar Logam Fe pada Air Tercemar. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian*. 4(1), 173–177.
- Mahshid, S., Askari, M., and Ghamsari, M. S. 2007. Synthesis of TiO_2 Nanoparticles by Hydrolysis and Peptization of Titanium Isopropoxide Solution. *Journal of Materials Processing Technology*. 189(1–3), 296–300.
- Manhique, A. J. 2012. *Titania Recovery from Low-grade Titaniferrous Minerals*. University of Pretoria.
- Masta, N. 2020. *Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy*. Universitas Kristen Indonesia.
- Middlemas, S., Fang, Z. Z., and Fan, P. 2013. A New Method for Production of Titanium Dioxide Pigment. *Hydrometallurgy*. 131–132, 107–113.
- Moellmann, J., Ehrlich, S., Tonner, R., and Grimme, S. 2012. A DFT-D Study of Structural and Energetic Properties of TiO_2 Modifications. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 24, 1–8.
- Nguyen, T. H., and Lee, M. S. 2019. A Review on the Recovery of Titanium Dioxide from Ilmenite Ores by Direct Leaching Technologies. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 40(4), 231–247.

- Ningsih, S. K. W. 2016. *Sintesis Anorganik*. UNP Press Padang.
- Nurjaman, B. Z., Roestaman, R., dan Walujodjati, E. 2021. Pengaruh Penggunaan Agregat Abu Batu sebagai Pengganti Agregat Halus Alami Terhadap Sifat-Sifat Beton. *Jurnal Konstruksi*. 19(1), 31–42.
- Peraturan Bupati Pesisir Barat, No. 45 Tahun 2020. 2020. *Rencana Kerja Tahunan Kabupaten Pesisir Barat Tahun 2021*. Berita Daerah Kabupaten Pesisir Barat.
- Priharyono, S. S., dan Gusmarwani, S. R. 2022. Pengambilan Titanium Dioksida (TiO_2) dari Pasir Besi Kulon Progo dengan Metode Hidrometalurgi (Variabel Waktu dan Perbandingan Massa). *Jurnal Inovasi Proses*. 7(1), 1–8.
- Purwani, M., dan Suyanti. 2016. Model Penyusutan Partikel pada Pelindian Titanium dalam Ilmenit Memakai HCl. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2016*. 41–48.
- Purwanza, S. W., Wardhana, A., Mufidah, A., Renggo, Y. R., Hudang, A. K., Setiawan, J., Darwin, Badi'ah, A., Sayekti, S. P., Fadlilah, M., Nugrohowardhani, R. L. K. R., Amruddin, Saloom, G., Hardiyani, T., Tondok, S. B., Priskusanti, R. D., dan Rasinus. 2022. *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Kombinasi*. Media Sains Indonesia.
- Qomaruddin, M., Ariyanto, Umam, K., dan Saputro, Y. A. 2018. Studi Komparasi Karakteristik Pasir Sungai di Kabupaten Jepara. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 4(1), 6–10.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., dan Mudzakir, A. 2014. Review: Sintesis Titanium Dioksida Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. 5(1), 15–29.
- Rao, C. N. R., Kulkarni, G. U., Thomas, P. J., and Edwards, P. P. 2002. Size-Dependent Chemistry: Properties of Nanocrystals. *Chem. Eur. J.* 8(1), 29–35.
- Rasyid, S. 2014. *Teknologi Pengolahan Logam*. Deepublish.
- Ridwan, A., Winarko, S., dan Siswanto, E. 2018. Jobmix Beton Menggunakan Pasir Lumajang dan Penambahan Additive Masterpozzolith 402R. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*. 3(2), 192–197.

- Rohmawati, L., Istiqomah, Wulancahayani, E., Hefdea, A., and Setyarsih, W. 2020. Nanocrystalline Titanium Dioxide Nanotube (TDN) by Hydrothermal Method from Tulungagung Mineral Sand. *Proceedings of the International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS 2019)*. 390, 107–109.
- Sagadevan, S. 2013. Synthesis and Electrical Properties of TiO₂ Nanoparticles Using a Wet Chemical Technique. *American Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 1(1), 27–30.
- Sari, A., dan Suprpto. 2014. Studi Pengaruh Dekomposisi Pasir Besi dengan NaOH Terhadap Pemisahan Titanium. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 1–7.
- Sari, R. K. 2016. Potensi Mineral Batuan Tambang Bukit 12 dengan Metode XRD, XRF, dan AAS. *Eksakta*. 2, 13–23.
- Seksi Neraca Wilayah dan Analisis Statistik. 2015. *Statistik Daerah Kabupaten Pesisir Barat 2015*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Barat.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Upi Press.
- Setiawati, L. D., Rahman, T. P., Nugroho, D. W., Nofrizal, Ikono, R., Suryandaru, Yuswono, Siswanto, dan Rochman, N. T. 2013. Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO₂) dari Pasir Besi dengan Metode Hidrometalurgi. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 465–468.
- Setiyo, G., Aditama, V., dan Wedyantadji, B. 2020. Pengaruh Pasir Pantai Sipelot sebagai Pengganti Agregat 0/5 Campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* (HRS-WC). *Jurnal Sondir*. 4(2), 44–52.
- Sharma, R., Bisen, D. P., Shukla, U., and Sharma, B. G. 2012. X-Ray Diffraction: a Powerful Method of Characterizing Nanomaterials. *Recent Research in Science and Technology*. 4(8), 77–79.
- Silvia, L., Zainuri, M., Suasmoro, Anang Subagyo, B., Sukamto, H., Mashuri, dan Yani Purwaningsih, S. 2018. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai di Kabupaten Pacitan dengan Metode Ekstraksi. *Seminar Nasional Edusainstek*. 16–20.
- Smith, W., Mao, S., Lu, G., Catlett, A., Chen, J., and Zhao, Y. 2010. The Effect of Ag Nanoparticle Loading on The Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanorod Arrays. *Chemical Physics Letters*. 485(1–3), 171–175.

- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, dan Dimiyati, A. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. 9(2), 44–50.
- Sukandarrumidi. 2016. *Bahan Galian Industri*. Gadjah Mada University Press.
- Sumari, Permatasari, S. I., Ilmiyah, L., Fajaroh, F., Yahmin, dan Suryadharma, I. B. 2020. Pengaruh Komposisi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dalam Sintesis ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5) Bersumber Silika Pasir Pantai Bancar, Kabupaten Tuban. *Journal Cis-Trans: Jurnal Kimia dan Terapannya*. 4(2), 27–32.
- Sumari, S., Asrori, M. R., Prakasa, Y. F., Baharintasari, D. R., and Santoso, A. 2023. Silica Extract from Malang Beach Sand via Leaching and Sol-Gel Methods. *International Journal of Advances in Applied Sciences*. 12(1), 74–81.
- Sunaryo, dan Widyawidura, W. 2010. Metode Pembelajaran Bahan Magnet dan Identifikasi Kandungan Senyawa Pasir Alam Menggunakan Prinsip Dasar Fisika. *Cakrawala Pendidikan*. 29(1), 67–79.
- Supriyatna, Y. I., Kambuna, B. N. H., Trinopiawan, K., dan Putra, P. A. 2019. Pengaruh Variasi Waktu dan Reduktor pada Peleburan Titanium dari Terak Timah Menggunakan Tungku Busur Listrik. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 15(3), 189–199.
- 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, 113–118.
- Susanti, R. D., Waruwu, A., Endriani, D., dan Lesmana, I. 2022. Potensi Penggunaan Pasir Lahar Dingin Gunung Sinabung sebagai Campuran Beton. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 23(2), 95–102.
- Tao, T., Qi-yuan, C., Hui-ping, H., Zhou-lan, Y., and Ying, C. 2012. TiO_2 Nanoparticles Prepared by Hydrochloric Acid Leaching of Mechanically Activated and Carbothermic Reduced Ilmenite. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 22(5), 1232–1238.
- Tarumingkeng, S., Mustopa, E. J., dan Hendrajaya, L. 2016. Termodinamika dalam Memahami Proses Pengolahan Mineral. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*. 37–42.

- Taviana, D., Cahyadi, D., Rusli, Sarwono, A., Lasino, Bramantyo, dan Meuna, M. A. 2019. *Material Gunung Sinabung sebagai Bahan Konstruksi*. Penerbit Andi.
- Thahir, R., Wahab, A. W., Nafie, N. La, dan Raya, I. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel TiO₂ sebagai Adsorben Pengolahan Limbah Zat Warna *Methylene Blue*. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 14(1), 19–27.
- Xin-miao, N., Ling-yan, D., Chen-guang, B., Deng-fu, C., and Gui-bao, Q. 2006. Preparation of Ti by Direct Electrochemical Reduction of Solid TiO₂ and its Reaction Mechanism. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 16, 723–727.
- Xu, X., and Deng, Y. 2018. Utilization of Iron Ore Tailing for the Preparation of α -Fe₂O₃ Nanoparticles. *Proceedings of the 4th Annual International Conference on Material Engineering and Application (ICMEA 2017)*. 146, 125–128.
- Xue, T., Wang, L., Qi, T., Chu, J., Qu, J., and Liu, C. 2009. Decomposition Kinetics of Titanium Slag in Sodium Hydroxide System. *Hydrometallurgy*. 95(1–2), 22–27.
- Zainul, R. 2021. *Teknik Karakterisasi Kimia Fisika*. CV. Berkah Prima.
- Zhang, W., Zhu, Z., and Cheng, C. Y. 2011. A Literature Review of Titanium Metallurgical Processes. *Hydrometallurgy*. 108(3–4), 177–188.
- Zulfalina, dan Manaf, A. 2004. Identifikasi Senyawa Mineral dan Ekstraksi Titanium Dioksida dari Pasir Mineral. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 5(2), 46–50.