

**EKSTRAKSI HEMATIT (α -Fe₂O₃) DARI PASIR BESI PESISIR BARAT
SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN METODE KOPRESIPITASI**

(Skripsi)

Oleh

M. RAFLI AKBAR



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

ABSTRAK

EKSTRAKSI HEMATIT (α -Fe₂O₃) DARI PASIR BESI PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN METODE KOPRESIPITASI

Oleh

M. RAFLI AKBAR

Provinsi Lampung sebagai salah satu daerah yang memiliki potensi sumber daya alam berupa pasir besi. Pada penelitian ini, diperoleh pasir besi dari Pantai Tembakak yang terletak di Kabupaten Pesisir Barat menggunakan teknik *random sampling*. Kandungan unsur dominan yang diperoleh pada pasir besi Pantai Tembakak dari karakterisasi menggunakan XRF yaitu unsur Fe, Si, Ti, Al, Ca, dan K, dengan konsentrasi kandungan berturut-turut sebesar 58,294%; 18,525%; 8,775%; 6,785%; 3,885%; 1,624%. Selain itu, pasir besi ini juga mengandung beberapa unsur-unsur lain dengan komposisi di bawah 0,5%. Ekstraksi Fe₂O₃ dari pasir besi dilakukan menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi konsentrasi HCl 8 M, 10 M, dan 12 M, sehingga diperoleh serbuk berwarna merah bata dengan rendemen sebesar 18,94%; 20,38%; dan 22,72%. Sampel hasil ekstraksi dilakukan karakterisasi menggunakan XRF dan didapat kandungan Fe₂O₃ pada variasi konsentrasi HCl 8 M sebesar 87,809%; variasi konsentrasi HCl 10 M sebesar 90,500%; dan variasi konsentrasi HCl 8 M sebesar 91,061%, hal ini menunjukkan bahwa kandungan Fe₂O₃ semakin meningkat seiring dengan pekatnya konsentrasi HCl. Sampel hasil ekstraksi variasi konsentrasi 12 M dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dan SEM. Pada hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa Fe₂O₃ yang diperoleh memiliki fasa hematit dan bentuk struktur kristal heksagonal dengan $a = b = 5,0350 \text{ \AA}$ dan $c = 13,7470 \text{ \AA}$, serta nilai sudut $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan Scherrer, diperoleh ukuran kristal hematit sebesar 56,18 nm, sehingga termasuk kedalam golongan nanopartikel. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan telah homogen dan terbentuk grain (butiran) serta memiliki bentuk partikel yang relatif seragam.

Kata Kunci: Pasir Besi, Fe₂O₃, Kopresipitasi, Nanopartikel

ABSTRACT

EXTRACTION OF HEMATITE (α -Fe₂O₃) FROM WEST COAST IRON SAND AS NANOPARTICLES USING THE COPRECIPITATION METHOD

By

M. RAFLI AKBAR

Lampung Province is one of the areas that has natural resource potential in the form of iron sand. In this research, iron sand was obtained from Tembakak Beach which is located in Pesisir Barat Regency using random sampling technique. The dominant element content obtained in Tembakak Beach iron sand from characterization using XRF is the elements Fe, Si, Ti, Al, Ca, and K with respective concentrations of 58.294%; 18.525%; 8.775%; 6.785%; 3.885%; and 1.624%. Apart from that, iron sand also contains several other elements with a composition below 0.5%. Extraction of Fe₂O₃ from iron sand was carried out using a coprecipitation method with variations in HCl concentrations of 8 M, 10 M, and 12 M, resulting in a brick red powder with a yield of 18.94%; 20.38%; and 22.72%. The extracted samples were characterized using XRF and obtained Fe₂O₃ content at variation in 8 M HCl concentration of 87.809%; variation in 10 M HCl concentration of 90.500%; and variation in 8 M HCl concentration of 91.061%, this shows that the content Fe₂O₃ increases along with the concentration of HCl increases. Sample extracted from variations in concentration of 12 M were characterized using XRD and SEM. The XRD characterization results show that Fe₂O₃ obtained has a hematite phase and has a hexagonal crystal structure with $a = b = 5.0350 \text{ \AA}$ and $c = 13.7470 \text{ \AA}$, and an angle value $\alpha = \beta = 90^\circ$ and $\gamma = 120^\circ$. From the calculation results using the Scherrer equation, obtained a hematite crystal size of 56.18 nm, so it is included in the nanoparticle group. The results of characterization using SEM show that the surface morphology is homogeneous and grains are formed and the particle shape is relatively uniform.

Key words: Iron Sand, Fe₂O₃, Coprecipitation, Nanoparticle

**EKSTRAKSI HEMATIT (α -Fe₂O₃) DARI PASIR BESI PESISIR BARAT
SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN METODE KOPRESIPITASI**

Oleh

M. RAFLI AKBAR

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 Penelitian : **EKSTRAKSI HEMATIT (α -Fe₂O₃) DARI PASIR BESI PESISIR BARAT SEBAGAI NANOPARTIKEL DENGAN METODE KOPRESIPITASI**

Nama Mahasiswa : **M. Raffi Akbar**

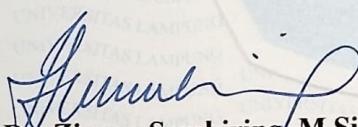
Nomor Pokok Mahasiswa : **2017011024**

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

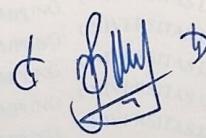
MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing


Dr. Zipora Sembiring, M.Si.
NIP. 1959010619861032001


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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA
a.n Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA

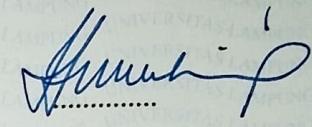

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197205302000032000

MENGESAHKAN

1. Tim Pengudi

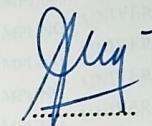
Ketua

: Dr. Zipora Sembiring, M.Si.



Sekretaris

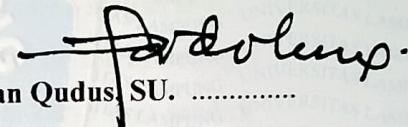
: Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.



Pengudi

Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, SU.

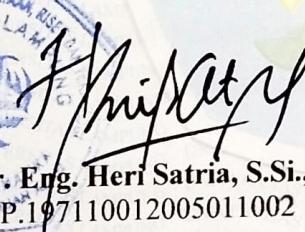


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **16 Mei 2024**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Rafli Akbar
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011024
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya berjudul "**Ekstraksi Hematit (α -Fe₂O₃) dari Pasir Besi Pesisir Barat Sebagai Nanopartikel dengan Metode Kopresipitasi**" 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, 31 Mei 2024
Yang Menyatakan



M. Rafli Akbar
NPM. 2017011024

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap M. Rafli Akbar, lahir di Metro pada tanggal 26 Juli 2002. Penulis merupakan anak pertama dari enam bersaudara, putra dari Bapak Hendrik dan Ibu Herlina. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Maulana Kelurahan Imopuro, Kecamatan Metro Pusat, Kota Metro, Lampung. Penulis telah mengawali pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyah Bustanul Athfal Metro pada tahun 2007-2008. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Pertiwi Teladan Metro pada tahun 2008-2014. Pada tahun 2014-2017, Penulis telah melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 2 Metro. Kemudian, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 4 Metro pada tahun 2017-2020. Pada tahun 2020, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa, penulis aktif dalam berorganisasi. Organisasi yang diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota 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 pada bulan Januari-Februari 2023 selama 40 hari di Desa Batu Keramat, Kecamatan Kota Agung Timur, Kabupaten Tanggamus. Pada bulan Juli-Agustus 2023, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PDAM Way Rilau Kota Bandar Lampung dengan judul “Analisis Kualitas Mata Air Pancuran dengan Uji Parameter Sifat Fisika dan Kimia PDAM Way Rilau Kota Bandar Lampung”.

Penulis juga pernah mengikuti kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) BKP Riset pada bulan Agustus-November 2023 di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Pada bulan Oktober 2023 sampai Januari 2024, penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Proses Mineral Terpadu BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan dengan judul “Ekstraksi Hematit (α -Fe₂O₃) dari Pasir Besi Pesisir Barat Sebagai Nanopartikel dengan Metode Kopresipitasi”.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan
kesanggupannya.” (Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu. Dan
sesungguhnya hal tersebut amat sangat berat, kecuali bagi orang-
orang yang khusyu” (Q.S. Al-Baqarah: 45)

“Jangan pernah menunggu, waktunya tidak akan pernah tepat”
(Napoleon Hill)

“Hidup ini seperti sepeda. Agar tetap seimbang kau harus terus
bergerak” (Albert Einstein)



Segala Puji dan Syukur Kehadirat Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan anugerah, nikmat, kesehatan, rahmat dan karunia-Nya. Dengan rasa penuh syukur yang luar biasa dan bangga kupersembahkan karya sederhanaku sebagai wujud cinta, bakti, dan tanggung jawabku kepada:

Kedua orang tuaku Bapak Hendrik dan Ibu Herlina, yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan, mendukung, memberikan motivasi dan menemani setiap proses yang dijalani untuk mencapai kesuksesan

Adik-adikku tersayang, yang selalu memberikan dukungan, semangat, keceriaan dan motivasi kepadaku dalam menyelesaikan karya ini.

Rasa hormat kepada pembimbing penelitianku:

*Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si.
Bapak Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.*

Terimakasih atas bimbingan, ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam membimbing selama ini

Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah membimbing, mendidik, dan memberikan pengalaman kepadaku selama menempuh pendidikan di kampus

Teman-teman dan sahabat yang telah memberikan semangat dan bantuan, meluangkan waktunya serta bersama-sama dalam suka maupun duka

Serta

*Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Ekstraksi Hematit (α -Fe₂O₃) dari Pasir Besi Pesisir Barat Sebagai Nanopartikel dengan Metode Kopresipitasi”**

Selama penyusunan skripsi ini penulis menyadari keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, sehingga penulis membutuhkan bantuan dari berbagai pihak, baik keluarga, dosen, maupun teman-teman. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si. selaku Pembimbing utama yang telah sabar membimbing, memberikan ilmu, nasihat, semangat, serta saran kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah sabar membimbing, memberikan ilmu, nasihat, kritik dan saran kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, SU. selaku Pembahas yang telah memberikan, kritik, saran, dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
6. Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama masa perkuliahan ini.

8. Bapak dan Ibu Dosen, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan motivasi kepada penulis selama menjalankan perkuliahan.
9. Seluruh staf administrasi, karyawan dan laboran di lingkungan Jurusan Kimia, Dekanat FMIPA, serta Universitas Lampung yang senantiasa membantu dalam sistem akademik, perkuliahan, penelitian, serta penyusunan skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
10. Orangtuaku dan adik-adikku, yang tak pernah berhenti mendoakan dan menyayangiku sehingga mendorong penulis untuk terus berusaha dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa, bimbingan, semangat, dan dukungan.
12. Intan Aldara, Yurita Renaria dan Lisa Rahmawati selaku teman seperbimbingan yang telah bekerja sama, memotivasi, menemani, memberikan dukungan selama penelitian tugas akhir.
13. Siti Salwa, Fitriana Artika Sari, Dyasmin Dwi Larasati, Amelia Maretta, Qori Hikmah dan Muhammad Irfan Hanafi selaku teman terdekat yang selalu mendengarkan keluh kesah, memberikan dukungan dan semangat dalam menjalani perkuliahan, serta memberikan motivasi kepada penulis.
14. Kak Dayu, Kak Cova, Kak Afrillia, dan Kak Belia selaku kakak-kakak dari “*Zipora Research ’19*” atas segala bantuan, saran, motivasi, dan dukungan selama penulis penelitian.
15. Kak Vinda, Kak Roy, Kak Anwar dan Kak Hirson selaku rekan-rekan di laboratorium yang telah memberikan arahan dan masukannya dalam menyelesaikan penelitian.
16. Muhammad Fatih Naban, Raymondo Imanuel, Bunga Sharfina, Arsy Adiarini, Azizah Dwi Kurnia, dan Darin Fatin selaku teman KKN yang telah menemani, berbagi keluh kesah, dan bekerja sama selama 40 hari.
17. Teman-teman Kimia Kelas C yang telah bersama penulis sejak awal perkuliahan. Terima kasih telah bekerja sama selama perkuliahan delapan semester. Semoga sukses selalu.

18. Teman-teman Kimia Angkatan 2020 yang telah menjadi keluarga dan teman bagi penulis di jenjang perkuliahan ini.
19. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu penyusunan dan penggeraan skripsi.
20. Seluruh pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu.
21. Dan yang terakhir, terima kasih tak terhingga kepada "M. Rafli Akbar" selaku diri sendiri yang telah berjuang dan tidak menyerah. Selalu bertahan dalam menghadapi rintangan dan tantangan di dunia perkuliahan selama 4 tahun dan menuntaskan penelitian serta menyelesaikan skripsi ini. Semoga akhir dari perjalanan ini menjadi awal yang baik untuk karir hidupmu maupun bekal untuk masa-masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Besar harapan semoga skripsi ini bermanfaat dan berguna untuk semua pembaca serta dapat memberikan saran yang membangun bagi penulis untuk lebih baik kedepannya.

Bandar Lampung, 31 Mei 2024
Penulis

M. Rafli Akbar

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pasir	6
2.2 Asal Pasir.....	6
2.3 Jenis Pasir	7
2.3.1 Pasir Sungai	7
2.3.2 Pasir Pantai	7
2.3.3 Pasir Kuarsa.....	8
2.3.4 Pasir Zirkon	8
2.3.5 Pasir Silika.....	9
2.3.6 Pasir Besi	9
2.4 Hematit (α -Fe ₂ O ₃).....	10
2.5 Metode Ekstraksi Hematit	11
2.5.1 Metode Hidrotermal	12
2.5.2 Metode Sol-Gel	13
2.5.3 Metode Kopresipitasi.....	14
2.6 Karakterisasi Senyawa Hasil Ekstraksi	16
2.6.1 X- Ray Fluorescence (XRF).....	16
2.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)	18
2.6.3 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	21
2.7 Aplikasi Hematit (α -Fe ₂ O ₃)	24
III. METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Waktu dan Tempat	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Prosedur Penelitian.....	26

3.3.1 Teknik Sampling	26
3.3.2 Preparasi Sampel	26
3.3.3 Ekstraksi Hematit (Fe_2O_3)	26
3.3.4 Pencucian Endapan dengan Akuades	27
3.3.5 Kalsinasi	27
3.3.6 Karakterisasi Nanopartikel Hematit	28
3.3.7 Pengolahan Data	29
3.3.8 Skema Alur Penelitian.....	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Preparasi Pasir Besi	32
4.2 Hasil Karakterisasi Pasir Besi	33
4.3 Ekstraksi Fe_2O_3	35
4.4 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	37
4.5 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	40
4.6 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	44
4.7 Nanopartikel Hematit	45
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Simpulan.....	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil uji XRF pasir besi Desa Bonto Kanang Kabupaten Takalar	18
2. Hasil uji XRF pasir besi Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat.....	33
3. Hasil uji XRF pasir besi Pantai Lansilowo Kabupaten Konawe.....	34
4. Hasil uji XRF variasi konsentrasi HCl 8 M	37
5. Hasil uji XRF variasi konsentrasi HCl 10 M	38
6. Hasil uji XRF variasi konsentrasi HCl 12 M	39
7. Hasil uji EDS variasi konsentrasi HCl 12 M	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kristal α -Fe ₂ O ₃ berbentuk rhombohedral	10
2. Skema dasar XRF.....	17
3. Skema dasar XRD	19
4. Skema hukum bragg.....	20
5. Difraktogram XRD standar hematit	21
6. Skema dasar SEM	22
7. Hasil foto SEM nanopartikel hematit variasi suhu kalsinasi	23
8. Skema alur kerja ekstraksi Fe ₂ O ₃ dari pasir besi Pantai Tembakak Pesisir Barat dengan metode kopresipitasi.	31
9. Hasil preparasi pasir besi Pantai Tembakak.....	32
10. Hasil ekstraksi Fe ₂ O ₃ dari pasir besi menggunakan metode kopresipitasi variasi konsentrasi HCl	36
11. Difraktogram XRD hasil ekstraksi variasi konsentrasi HCl 12 M.....	41
12. Struktur kristal hematit (α -Fe ₂ O ₃).....	42
13. Hasil SEM nanopartikel Fe ₂ O ₃ hasil ekstraksi variasi konsentrasi HCl 12 M	44
14. Hasil spektrum XRF pasir besi Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat...	58
15. Hasil spektrum XRF sampel variasi konsentrasi HCl 8 M	58
16. Hasil spektrum XRF sampel variasi konsentrasi HCl 10 M	59
17. Hasil spektrum XRF sampel variasi konsentrasi HCl 12 M	59
18. Hasil EDS sampel hasil ekstraksi variasi konsentrasi HCl 12 M.....	60
19. Hasil EDS penyebaran unsur sampel variasi konsentrasi HCl 12 M	60
20. Separasi magnetik Pasir Besi Pantai Tembakak.	62
21. Penghalusan sampel menggunakan <i>planetary ball mill</i>	62

22. Hasil preparasi sampel pasir besi	62
23. Hasil pelarutan pasir besi dengan HCl.....	62
24. Hasil proses pengendapan larutan FeCl ₃ dengan NH ₄ OH.	62
25. Pencucian endapan dengan akuades.....	62
26. Hasil pencucian endapan dengan akuades	63
27. Hasil pengeringan sampel menggunakan oven pada suhu 150 °C.....	63
28. Kalsinasi sampel selama 2 jam pada suhu 700 °C menggunakan <i>furnace</i>	63
29. Serbuk Fe ₂ O ₃ hasil ekstraksi	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis, Provinsi Lampung terdapat banyak perairan disekitarnya seperti pantai, laut, ataupun sungai. Hal tersebut, menjadikan Provinsi Lampung sebagai salah satu daerah yang memiliki potensi sumber daya alam berupa pasir besi.

Namun dengan potensi tersebut, pasir besi di Provinsi Lampung belum dieksplorasi dan digarap secara maksimal karena kurangnya publikasi terhadap nilai tambah yang diperoleh dari pasir besi. Provinsi Lampung yang termasuk daerah dengan kandungan pasir besi yang melimpah terdapat diberbagai daerah misalnya di Kecamatan Pesisir Utara seperti Blok Lemong Cahaya, Negeri Malaya, Kotakarang, Way Gedau serta Baturaja dan Kecamatan Pesisir Selatan seperti Tanjung Jati (Soepriadi dkk., 2013).

Umumnya, pasir besi yang merupakan komoditas ekspor dijual dalam keadaan mentah sehingga memiliki nilai ekonomis yang rendah. Sehingga tidak mengherankan apabila pasir besi banyak dieksplorasi tanpa melalui kegiatan investigasi untuk tujuan peningkatan nilai tambah pasir besi itu sendiri dan kurangnya pengaplikasian pasir besi seperti untuk keperluan campuran produk suatu industri. Bahkan pasir besi telah masuk sebagai komoditas ekspor Indonesia dalam skala yang cukup besar, namun sangat disayangkan dan tidak terelakkan karena kurangnya informasi yang tersedia tentang potensi yang terkandung di dalam pasir besi (Zulfalina dan Manaf, 2004).

Pasir besi adalah endapan pasir yang mengandung partikel besi (magnetit), yang terdapat di sepanjang pantai, terbentuk karena proses penghancuran oleh cuaca, air permukaan dan gelombang terhadap batuan asal yang mengandung mineral

besi (Prasetyowati dkk., 2021). Pasir besi merupakan mineral yang banyak mengandung senyawa besi oksida, misalnya magnetit (Fe_3O_4), ilmenit (FeTiO_3), hematit (Fe_2O_3) dan mineral lain seperti alumina, silika dalam jumlah sedikit, dengan variasi kandungan di setiap lokasi yang berbeda (Setiawati dkk., 2013).

Hematit memiliki rumus kimia oksida ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), merupakan mineral yang berwarna merah kecokelatan dan berstruktur kristal heksagonal (rhombohedral). Hematit yang dapat diekstraksi dari pasir besi dapat berpotensi untuk berbagai aplikasi seperti nanopartikel, pigmen baterai, lithium ion, sensor gas, keramik, pigmen, anoda pada sel photo-elektrokimia, medan efek transistor dan katalis. Hematit telah digunakan untuk mendegradasi polutan. Selain itu, hematit stabil di dalam kondisi ruangan, ketahanan terhadap korosi dan sifat semikonduktor yang merupakan fotokatalis (Lubis dkk., 2018).

Beberapa metode yang telah dikembangkan untuk pembuatan Fe_2O_3 antara lain metode sol-gel, kopresipitasi dan hidrotermal. Di antara metode-metode yang telah dikembangkan memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Metode sol-gel memiliki kelebihan mudah mengontrol komposisi dan menghasilkan partikel halus, sedangkan kekurangannya yaitu metode yang rumit, membutuhkan bahan dasar yang relatif mahal, pembentukan gelnya membutuhkan waktu yang lama, dan tingkat kemurnian yang rendah (Duhan *and* Devi, 2010). Metode hidrotermal memiliki kelebihan menghasilkan partikel dengan kristalinitas tinggi, tingkat kemurnian tinggi, dan distribusi ukuran partikel yang homogen, namun metode hidrotermal memiliki kelemahan waktu yang relatif lama, partikel yang dihasilkan tidak seragam dan proses pemanasan membutuhkan waktu yang relatif lama (Sartini dkk., 2013). Metode kopresipitasi memiliki kelebihan menghasilkan produk dengan tingkat kemurnian yang tinggi, proses pengendapan yang sederhana, waktu proses ekstraksi relatif lebih cepat dengan biaya murah, dan memungkinkan untuk memperoleh hasil serbuk dengan ukuran kristal berskala nano (Fahlepy *et al.*, 2018). Kopresipitasi bekerja dengan cara mereaksikan garam dengan hidroksida atau karbonat sehingga didapatkan endapan yang diinginkan dan kemudian dikalsinasi. Metode ini merupakan salah satu metode yang banyak

digunakan dalam mensintesis zat warna karena memiliki kelebihan dalam proses persiapan lebih sederhana, energi yang dibutuhkan lebih rendah dan produk yang didapat murni (Soekansa dkk., 2023).

Pada penelitian Irsyad dkk (2020) telah dilakukan sintesis material senyawa hematit (Fe_2O_3) berbahan dasar dari pasir besi Bonto Kanang Kabupaten Takalar dengan menggunakan metode kopresipitasi. Proses sintesis dilakukan dengan metode kopresipitasi menggunakan pelarut HCl dan pengendapan dengan larutan NH_4OH serta suhu kalsinasi 700 °C. Hasil yang diperoleh yaitu Fe_2O_3 dengan fasa hematit berstruktur kristal heksagonal. Hasil pengukuran ukuran kristal yang diperoleh untuk masing-masing sampel variasi ayakan 100 mesh, 200 mesh, dan 300 mesh berturut-turut yaitu 10 nm, 10 nm, dan 21 nm. Pengaruh variasi ukuran sampel dari 100 mesh; 200 mesh; 300 mesh tidak mempengaruhi senyawa yang dibentuk tetapi mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk namun masih diperlukan konfirmasi lebih lanjut. Berdasarkan hasil yang diperoleh, senyawa hematit dapat disintesis berbahan dasar pasir besi yang berasal dari Bonto Kanang Kabupaten Takalar untuk aplikasi lebih lanjut.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Soekansa dkk (2023) sintesis pigmen merah hematit dari pasir besi alami yang berasal dari daerah Sijunjung, Sumatera Barat. Pasir besi alami yang dimurnikan mengandung partikel magnetik dioksida untuk menghasilkan ion besi (Fe^{3+}) yang dapat digunakan sebagai prekursor untuk sintesis hematit pigmen merah. Sintesis ini dilakukan menggunakan metode kopresipitasi dengan zat pengendap NaOH. Pigmen merah hematit disintesis dengan variasi kelarutan massa 1 gr, 1,5 gr, dan 2 gr yang direaksikan dengan variasi konsentrasi HCl 4 M, 5 M, dan 6 M untuk menghasilkan prekursor dengan kelarutan ion besi tertinggi. Prekursor dengan kelarutan ion besi tertinggi terbentuk dari reaksi antara 1 gr pasir besi murni dan HCl 6 M, hal ini terjadi karena semakin sedikit massa yang akan direaksikan akan meningkatkan persentase kelarutan, dan semakin tinggi konsentrasi HCl dapat meningkatkan kelarutan pasir besi sehingga menghasilkan pigmen merah hematit yang lebih banyak dengan kemurnian lebih tinggi. Pada variasi suhu kalsinasi

yaitu 650 °C; 700 °C; 750 °C; 800 °C, diperoleh serbuk pigmen hematit berwarna merah paling terang dengan pada suhu kalsinasi 800 °C. Hal ini menyebabkan semakin tinggi suhu kalsinasi maka kecerahan pigmen merah hematit sintetik akan semakin meningkat. Dalam penelitian ini, diperoleh Fe_2O_3 dengan puncak difraksi tertinggi yaitu sebesar 33,159° dengan fasa yang terbentuk hematit

Telah dilakukan penelitian oleh Fahlepy *et al* (2019) sintesis nanopartikel hematit dari pasir besi Desa Bonto Kanang Kabupaten Takalar menggunakan metode kopresipitasi. Pasir besi dipisahkan dengan teknik magnetik dan dilarutkan ke dalam larutan HCl sebelum melakukan proses pengendapan. Pengendapan dilakukan dengan meneteskan NH_4OH . Endapan dikeringkan pada suhu 100 °C selama 19 jam, dan kemudian dikalsinasi dengan variasi suhu 500 °C; 600 °C; dan 700 °C masing-masing selama 2 jam. Hasil kandungan pasir besi, menunjukkan bahwa unsur dominan dan komposisi pada sampel adalah unsur Fe dengan konsentrasi sebesar 90,51%. Dalam penelitian ini telah diperoleh Fe_2O_3 dengan fasa hematit dan memiliki struktur kristal heksagonal serta ukuran kristal yang didapat pada variasi suhu kalsinasi 500°C; 600°C; 700°C berturut-turut adalah 29,968 nm; 28,87 nm; dan 39,554 nm.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian mengenai ekstraksi Fe_2O_3 dari pasir besi Pesisir Barat sebagai nanopartikel menggunakan metode kopresipitasi. Selanjutnya, hasil Fe_2O_3 akan dikarakterisasi dengan menggunakan XRD untuk mengetahui penentuan fasa, struktur dan ukuran kristal, XRF untuk menganalisis kandungan elemen yang terdapat dalam sampel, dan SEM untuk mengetahui morfologi permukaan pada sampel.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan Fe_2O_3 dari pasir besi Pesisir Barat dengan metode kopresipitasi.
2. Mengidentifikasi kandungan pasir besi Pesisir Barat menggunakan XRF.

3. Mempelajari pengaruh variasi konsentrasi HCl pada proses ekstraksi Fe₂O₃ dari pasir besi Pesisir Barat dengan metode kopresipitasi.
4. Mengidentifikasi kandungan pasir besi Pesisir Barat menggunakan XRF.
5. Menganalisis struktur, fasa, dan ukuran kristal pada hasil ekstraksi Fe₂O₃ dari pasir besi Pesisir Barat menggunakan XRD.
6. Menganalisis morfologi permukaan dari nanopartikel hematit hasil ekstraksi pasir besi Pesisir Barat menggunakan SEM.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah referensi tentang mineral yang terkandung dalam pasir besi Pesisir Barat.
2. Meningkatkan potensi pemanfaatan pasir besi Pesisir Barat sebagai sumber nanopartikel hematit.
3. Sebagai sumbangsih terhadap ilmu pengetahuan dalam proses ekstraksi Fe₂O₃ dari pasir besi Pesisir Barat menggunakan metode kopresipitasi.
4. Melengkapi data mengenai nanopartikel hematit untuk mendukung pemanfaatannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir

Pasir adalah material yang dibentuk oleh silikon dioksida, tetapi di beberapa pantai tropis dan subtropis umumnya dibentuk dari batu kapur. Butiran pasir umumnya berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter. Pasir memiliki warna sesuai dengan asal pembentukannya. Pasir memiliki fungsi dan berbagai aplikasi, seperti industri pembuatan kaca yang menggunakan unsur pasir kuarsa, pada pengecoran baja pasir silika dimanfaatkan untuk memisahkan kotoran dari baja cair, dalam kegiatan konstruksi bangunan digunakan untuk pembuatan beton, sebagai bahan material bangunan bila dicampurkan dengan perekat semen, sebagai industri kerajinan dan dekorasi. Pasir termasuk dalam kelompok bulk material dan karakteristik bulk ditentukan oleh sifat mekanik dan sifat fisik seperti ukuran bongkah, berat spesifik, kelembaban, mobilitas partikel, *angle of repose* (sudut tumpukan) dan abrasivitas (Hamsi, 2011).

2.2 Asal Pasir

Pasir terbentuk karena adanya proses pelapukan fisik dan kimia pada batuan. Proses pelapukan ini biasanya terjadi secara terpisah, tetapi pada kenyataannya kedua proses ini biasanya berjalan beriringan karena keduanya cenderung saling mendukung dalam proses pelapukan. Pelapukan kimia merupakan faktor penting dalam pembentukan pasir secara keseluruhan, karena proses ini terjadi secara efisien di lingkungan yang lembab maupun panas. Sedangkan pelapukan fisik hanya mendominasi di tempat-tempat yang dingin atau kering. Pelapukan batuan dasar yang menghasilkan pasir biasanya terjadi dibawah tanah. Tanah yang

menutupi batuan dasar membuat lingkungan sekitar batuan menjadi lembab (Tugiman dan Putri, 2020).

2.3 Jenis Pasir

2.3.1 Pasir Sungai

Pasir sungai adalah pasir yang bersumber dari penggalian atau penambangan di sungai. Sungai-sungai yang terjal memiliki aliran yang deras, sehingga deposit dari partikel batu-batuannya akan bervariasi cukup besar pada suatu jarak tertentu, biasanya butir halusnya tidak banyak dan batuan-batuannya cukup bersih. Pada sungai-sungai yang landai, variasi perbedaan ukuran partikel tidak berubah dari tempat yang satu ke tempat yang lain, kebanyakan partikel-partikelnya lebih bulat dan kotor serta tercampur dengan mica dan *small fraction*. Pasir sungai dapat diperoleh dari dasar sungai atau tepi sungai, sehingga umumnya berbutir halus dan berbentuk bulat akibat proses gesekan. Karena butirnya halus maka baik untuk plesteran tembok. Namun karena bentuknya yang bulat, daya rekat antar butir pasir ini menjadi agak kurang baik. Sifat fisik pasir ini terdiri dari butiran halus bulat, jenis pasir sungai yaitu pasir jenis halus yang warnanya putih keabu-abuan. Penggunaan pasir sungai dapat digunakan secara luas untuk semua tujuan kegiatan konstruksi seperti plesteran dan beton (Qomaruddin dkk., 2018).

2.3.2 Pasir Pantai

Pasir pantai umumnya memiliki karakteristik butiran yang halus dan bulat, gradasi (susunan besar butiran) yang seragam serta mengandung garam-garaman yang tidak menguntungkan bagi beton, sehingga banyak disarankan untuk tidak digunakan dalam pembuatan beton. Butiran yang halus dan bulat serta gradasi yang seragam, dapat mengurangi daya lekat antar butiran dan berpengaruh terhadap kekuatan dan ketahanan beton. Akan tetapi masyarakat yang tinggal di

pesisir pantai masih menggunakan pasir pantai sebagai salah satu agregat halus pada beton dengan alasan mudah didapat (Dumyati dan Manalu, 2015).

2.3.3 Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa yang juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan sedimen yang banyak mengandung mineral utama yaitu mineral silika dan feldspar, pasir kuarsa dari proses pelapukan tercuci oleh air dan terbawa angin yang selanjutnya terendapkan di tepi laut, danau dan sungai. Pasir kuarsa di alam ditemukan dengan kemurnian yang cukup bervariasi tergantung dari proses terbentuknya, disamping adanya material pengotor lainnya yang terbawa selama proses pengendapan. Bahan pengisi pasir kuarsa merupakan bahan galian yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2). Pasir kuarsa memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silika trigonal terkristalisasi (silikon dioksida atau SiO_2), dengan skala kekerasan Mohs 7 dan densitas $2,65 \text{ gr/cm}^3$. Bentuk umum kuarsa adalah prisma segienam yang memiliki ujung piramida segienam (Munasir dkk., 2012).

2.3.4 Pasir Zirkon

Pasir zirkon adalah salah satu mineral yang banyak digunakan dalam keramik (55%), industri kimia (18%), industri bahan tahan api (14%), pengecoran logam (10%) dan industri lainnya (3%). Penggunaan pasir zirkon sangat bervariasi, baik sebagai mineral industri (non logam) maupun mineral logam. Pada pasir zirkon sebagian besar digunakan sebagai mineral industri, yaitu untuk keramik, pasir cetak (*foundry sand*), bata tahan api (*refractory*), kimia zirkonium dan lain-lain. Zirkonium silikat adalah produk pengolahan pasir zirkon yang paling banyak digunakan sebagai *opacifier* atau glasir untuk meningkatkan kualitas lantai keramik, keramik saniter, keramik peralatan rumah tangga (Suseno, 2015).

2.3.5 Pasir Silika

Pasir silika mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , dan K_2O . Sifat-sifat fisik pasir silika seperti berwarna putih bening atau warna lain tergantung kepada senyawa pengotornya misalnya warna kuning mengandung besi oksida, warna merah mengandung tembaga oksida. Pasir silika juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar. Pada bidang perindustrian pemakaian pasir silika saat ini cukup pesat, seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan lain-lain (Rahman, 2006).

2.3.6 Pasir Besi

Pasir besi merupakan jenis pasir dengan konsentrasi berat dari logam besi, berwarna abu-abu gelap atau kehitaman. Semakin gelap warna dari pasir, menunjukkan konsentrasi unsur Fe yang makin tinggi. Pasir besi adalah mineral endapan/sedimen yang memiliki ukuran butir 0,074 – 0,075 mm dengan ukuran kasar (5 – 3 mm) dan halus (< 1 mm), densitas $2-5 \text{ gr/cm}^3$, bobot isi 2,99-4,23 g/cm^3 dan derajat kemagnetan 6,40-27,16%. Pasir besi juga termasuk golongan bahan semikonduktor. Kandungan mineral pasir besi tersebut umumnya adalah oksida logam seperti besi, timah dan silika/kuarsa (Hilman dkk., 2014). Selama ini bahan mineral tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal dan dieksport dalam bentuk mentah atau dengan kata lain sumber daya alam tersebut masih belum ditingkatkan nilai tambahnya (Ermawati dkk., 2011).

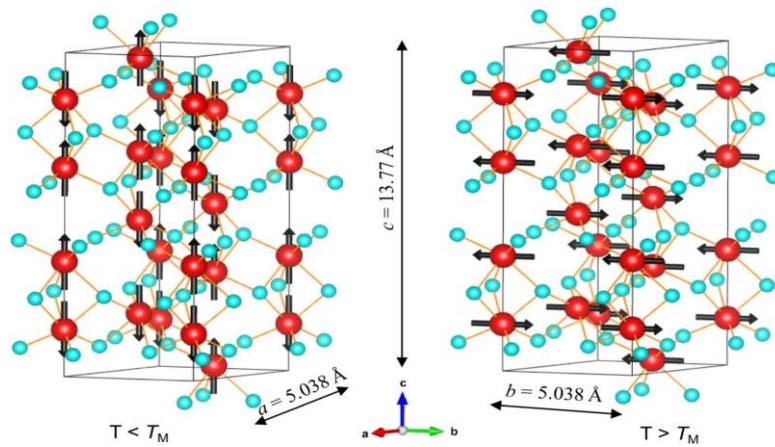
Pasir besi yang berukuran nano memiliki sifat ferimagnetik mempunyai peluang aplikasi yang luas sekali. Pengaplikasian pasir besi yang berukuran partikel nano merupakan alternatif yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri di bidang elektronik yang dalam perkembangan dan kebutuhan semakin meningkat. Pasir besi yang berukuran nano memiliki potensi dalam aplikasi pada penyimpanan informasi dengan densitas yang tinggi, pembentukan gambar

dengan resonansi magnetik, sistem pengiriman untuk obat-obatan, absorben maupun dalam diagnosis medis. Selain itu, juga diaplikasikan dalam mengkover target drug yang bersifat magnetik (Nengsих, 2021).

Pasir besi banyak digunakan sebagai material dasar, akan tetapi pasir besi tidak dapat langsung diolah sebagai bahan dasar suatu produk. Diperlukan suatu proses untuk memisahkan zat yang diinginkan dari pengotornya. Asam klorida pekat adalah asam yang biasa digunakan untuk melarutkan pasir besi. Asam ini berguna untuk mengubah besi oksida menjadi besi klorida, hal ini dilakukan untuk mempermudah sintesis senyawa yang akan digunakan (Sholihah, 2010).

2.4 Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)

Hematit merupakan salah satu jenis oksida besi yang stabil. Banyak penelitian yang dilakukan tentang hematit, dari pembuatan nanopartikel hematit sampai mencari tingkat kemagnetannya. Terdapat banyak kegunaan dari hematit, pembuatan radar, sebagai semikonduktor, sebagai anoda pada baterai Li, bahan baku pembuatan baja dan lain-lain (Ohkoshi *et al.*, 2015). Hematit memiliki struktur heksagonal (rhombohedral) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur kristal $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ berbentuk rhombohedral (Jiang *et al.*, 2021).

Hematit memiliki berbagai macam warna dari yang berwarna hitam untuk baja atau perak abu-abu, merah, coklat sampai coklat kemerahan, atau ada juga yang

menyebut hematit merupakan pasir besi yang berwarna merah kehitam-hitaman. Hematit memiliki titik lebur yang tinggi yaitu sekitar 1350°C. Sifat hematit yang elektronegatif membuat material ini stabil dan tidak mudah bereaksi dengan senyawa lain. Seperti magnet ferrite lainnya, hematit mempunyai sifat mekanik yang kuat dan tidak mudah terkorosi dengan kekerasan 5-6 skala mohs karena memiliki ketahanan kimia yang baik terhadap lingkungan, selain itu hematit mempunyai berat jenis 4.9-5.36 gr/cm² (Septiyan, 2010).

Hematit merupakan mineral yang paling melimpah di permukaan dunia dan penutupnya dangkal. Hematit benar-benar memiliki faktor ketenaran. Cahaya nya dapat berubah dari submetalik ke metalik dengan kerangka batu mulia tiga sisi, variasi hematit berubah dari merah menjadi coklat dan gelap ke abu-abuan. Hematit tidak menarik dan tidak ditarik oleh magnet. Meskipun demikian, banyak jenis hematit mengandung mineral magnetit sehingga dapat ditarik oleh magnet. Hematit yang tidak tercemar memiliki sintesis sekitar 70% besi dan 30% oksigen, sangat mirip dengan mineral lain yang terjadi secara normal (Bahfie dkk., 2022).

Hematit sebagai salah satu oksida besi yang sangat stabil dan memiliki sifat antiferomagnetik dengan struktur rombohedral atau *hexagonal close packed* (hcp). Partikel kristal hematit akan berwarna merah bata ketika berukuran sangat kecil dan akan berwarna hitam mengkilap jika berukuran cukup besar. Tiap sel satuan hematit memiliki bentuk heksagonal dengan $a = b = 5,0356 \text{ \AA}$ dan $c = 13,7489 \text{ \AA}$, dengan enam unit formula per unit sel (Soekansa dkk., 2023).

2.5 Metode Ekstraksi Hematit

Metode – metode yang telah dikembangkan untuk pembuatan nanopartikel hematit adalah sebagai berikut:

2.5.1 Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal adalah metode yang melibatkan air dan tekanan (dari 1 atm – beberapa kilobars) dan temperatur dari 100-1000°C. Hidrotermal yang menggunakan sistem autoclave digunakan pada ekstraksi material pada rentangan tekanan 10-150 kilobar (*Sōmiya and Roy, 2000*). Hidrotermal adalah salah satu metode untuk memproduksi serbuk oksida dan banyak digunakan dalam pembuatan logam oksida. Ekstraksi logam oksida dapat terjadi dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu hidrolisis dari larutan garam menghasilkan logam hidroksida. Tahap kedua yaitu hidroksida akan terdehidrasi menghasilkan oksida logam yang diinginkan (*Ningsih, 2016*).

Hidrotermal dilakukan dalam kondisi tertutup, metode ini digunakan dalam suatu bomb/autoclave yang terbuat dari baja tahan karat untuk menahan tekanan dan temperatur tinggi, sedangkan tempat terjadinya reaksi digunakan suatu wadah yang terbuat dari teflon yang bersifat inert untuk menumbuhkan kristal yang baik dengan teknik hidrotermal, perlu diperhatikan beberapa hal seperti harus ditemukan kombinasi yang tepat antara pelarut, temperatur, dan tekanan sehingga kristal target stabil secara termodinamika, tetapi memiliki kelarutan memiliki kelarutan yang cukup untuk mencapai keadaan super jenuh yang masih dapat ditolerir dan ketidaktepatan stoikiometri akan menyebabkan ketidakmurnian produk yang diperoleh (*Ismunandar, 2006*).

H_2O merupakan pelarut yang paling efektif dalam melarutkan senyawa ionik. Air dapat melarutkan senyawa ionik dalam suhu dan tekanan yang tinggi. Air dapat berperan sebagai transmisi tekanan dan sebagai pelarut untuk prekursor, sehingga bubuk yang dihasilkan dapat berbentuk amorf atau kristal (*Arief, 2011*).

Telah berhasil dilakukan penelitian oleh Sartini dkk (2013) sintesis hematit berpori dari pasir besi dengan metode hidrotermal. Sintesis dilakukan dengan cara mencampurkan pasir besi dengan HCl sebagai pelarut dan NH_4OH sebagai pengendap serta H_3BO_3 sebagai agen pembentuk pori. Proses hidrotermal

dilakukan dengan alat microwave kemudian dilakukan kalsinasi pada suhu 500°C. Sampel hasil sintesis dikarakterisasi dengan SEM-EDX diperoleh bahwa sampel hasil sintesis murni mengandung unsur Fe dan O serta terbentuknya pori pada hematit hasil sintesis dengan ukuran partikel 2×10^3 sampai $3,2 \times 10^3$ nm. Karakterisasi dengan BET diperoleh luas permukaan hematit dengan penambahan H_3BO_3 0,1 M sebesar $78,351 \text{ m}^2/\text{g}$ dan diameter pori 10,034 nm. Semakin besar penambahan konsentrasi H_3BO_3 maka luas permukaan hematit akan semakin besar sehingga ukuran partikel akan semakin kecil. Karakterisasi dengan XRD menunjukkan kristal hematit yang dihitung dengan metode Williamson-Hall berukuran antara 2×10^4 sampai $2,05 \times 10^4$ nm dan karakterisasi dengan VSM menunjukkan hematit hasil sintesis memiliki magnetisasi jenuh sebesar 45,2 emu/g, medan koerdisitas sebesar 0,013 Tesla dan nilai remanen sebesar 22 emu/g yang mengidentifikasi bahwa hematit pada penelitian ini bersifat feromagnetik.

2.5.2 Metode Sol-Gel

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode ekstraksi nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “wet method” karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol). Bahan-bahan yang biasanya digunakan sebagai katalis adalah urea, polyvinyl alcohol atau asam sitrat. Proses sol-gel merupakan proses yang banyak digunakan untuk membuat keramik dan material gelas. Pada umumnya, proses sol-gel, melibatkan transisi sistem dari sebuah liquid “sol” menjadi solid “gel”. Melalui proses sol-gel, maka produksi keramik atau material gelas dalam berbagai jenis dan bentuk dapat dilakukan (Arifani dkk., 2012).

Prinsip dasar sol-gel adalah pembentukan larutan prekursor dari senyawa yang diharapkan dengan menggunakan pelarut organik, terjadinya polimerisasi larutan,

terbentuknya, dan dibutuhkan proses pengeringan dan kalsinasi gel untuk menghilangkan senyawa organik serta membentuk material anorganik berupa oksida. Pada proses sol gel, kontrol pH sangat penting untuk mendapatkan endapan yang akan menghasilkan gel yang homogen dengan menambahkan aditif baik larutan asam atau basa (Ningsih, 2016).

Pada penelitian Arifani dkk (2012) telah dilakukan sintesis multiferoik BiFeO₃ dengan metode sol gel yang berbasis pasir besi Pantai Jolosutro, Blitar. Penelitian ini menggunakan metode sol gel dengan variasi suhu kalsinasi antara 250°C - 500°C dengan waktu penahanan selama 1 jam pada tungku tabung yang dialiri gas nitrogen. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan uji XRD. Multiferoik BiFeO₃ yang disintesis menggunakan metode sol gel memiliki kemurnian 93,13%. Ukuran kristal yang dihasilkan pada rentang suhu kalsinasi tersebut antara 7,2 nm – 62,4 nm. Nilai susebtibilitas bahan semakin meningkat yang mengidentifikasi bahan tersebut bersifat feromagnetik.

2.5.3 Metode Kopresipitasi

Salah satu metode ekstraksi pada reaksi padat-cair yang paling sederhana dan sudah lama digunakan adalah metode kopresipitasi. Proses kopresipitasi melibatkan kation logam dari medium tertentu diendapkan secara bersama dalam bentuk hidroksida, karbonat, oksalat, atau sitrat. Endapan dikalsinasi pada temperatur tertentu sehingga menghasilkan produk dalam bentuk serbuk. Proses kopresipitasi melibatkan kontrol konsentrasi pelarut dan pengendap, temperatur, kecepatan pengadukan dalam pembuatan produk (Ningsih, 2016).

Metode kopresipitasi menggunakan larutan asam untuk melarutkan bahan utama. Penggunaan asam sebagai pelarut karena logam besi dapat bereaksi cepat dengan HCl yang membentuk larutan besi (III) klorida. Larutan yang sudah diaduk sampai homogen perlu ditambahkan larutan pengendap sedemikian rupa sehingga endapannya mempunyai homogenitas yang tinggi. Larutan NH₄OH dapat digunakan sebagai pengendap. Penggunaan NH₄OH yang mengotori endapan

dapat dihilangkan dengan jalan pemanasan (Merdekani, 2013). Hasil endapan yang terbentuk dapat dipengaruhi oleh konsentrasi pelarut dan pengendap, suhu pemanasan, serta durasi pengadukan. Penggunaan metode kopresipitasi dengan variasi konsentrasi larutan garam besi dan larutan pengendap akan mempengaruhi jumlah serbuk dan sifat magnetik dari hasil yang terbentuk (Aji, 2008).

Kopresipitasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membuat preparasi material nanopartikel yang didasarkan pada perbedaan besar harga hasil kali kelarutan (K_{sp}). Suatu zat akan mengendap apabila nilai hasil kali konsentrasi (K_{sp}) ion-ionnya melebihi harga K_{sp} senyawa tersebut. Prinsip kerja metode kopresipitasi adalah dengan mengubah suatu garam logam menjadi endapan dengan menggunakan pengendap basa hidroksida atau karbonat yang kemudian diubah ke bentuk oksidanya dengan cara pemanasan (Febriyani dan Aini, 2023). Metode kopresipitasi merupakan metode yang paling efektif karena metode ini dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang normal. Dalam prosesnya metode ini menggunakan pasangan asam dan basa. Asam berfungsi sebagai pelarut dan basa membawa zat terlarut kebawah sehingga terbentuk endapan yang dikehendaki. Ekstraksi nanopartikel Fe_2O_3 dengan metode kopresipitasi diharapkan memiliki sifat monodispersif, yang artinya partikel Fe_2O_3 terdistribusi secara merata atau seragam (Mairoza dan Astuti, 2016).

Pada penelitian telah dilakukan (Lubis *et al.*, 2018) ekstraksi Fe_2O_3 dari pasir besi Pantai Lampanah, Kecamatan Leungan, Provinsi Aceh menggunakan metode kopresipitasi. Fe_2O_3 dilakukan ekstraksi dari pasir besi menggunakan pelarut asam klorida dan diikuti dengan proses pengendapan bersama menggunakan amonium hidroksida sebagai agen pengendap. Selanjutnya, material yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM. Hasil XRD menunjukkan bahwa besi (III) oksida yang diekstraksi memiliki fasa hematit ($\alpha\text{-}Fe_2O_3$) dengan ukuran kristal rata-rata 27,967 nm. Pada analisis SEM menunjukkan bahwa pasir besi memiliki bentuk tidak beraturan dan hematit ($\alpha\text{-}Fe_2O_3$) yang dihasilkan berbentuk bola beraturan. Reaksi pembentukan hematit yang diekstraksi dari pasir

besi dengan menggunakan pelarut HCl dan agen pengendap NH₄OH dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:



2.6 Karakterisasi Senyawa Hasil Ekstraksi

Nanopartikel hematit hasil ekstraksi dari pasir besi Pantai Tembakak Pesisir Barat akan dikarakterisasi dengan XRF, XRD, dan SEM untuk menganalisis kandungan elemen yang terdapat dalam sampel dan mengetahui ukuran, struktur, dan fasa kristal senyawa Fe_2O_3 yang terbentuk serta untuk menganalisis morfologi permukaan pada sampel.

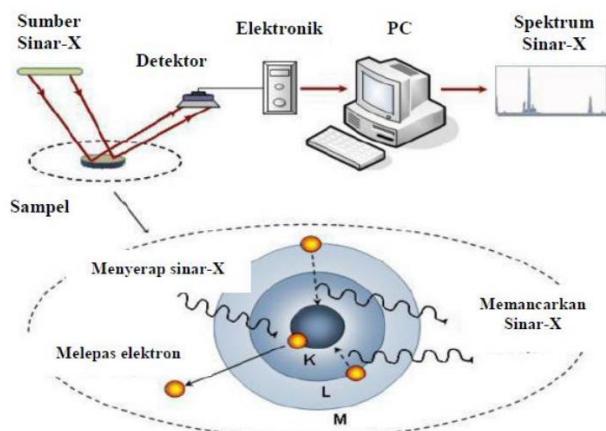
2.6.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF merupakan salah satu metode analisis non-destruktif yang digunakan untuk analisis unsur dalam suatu bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum. Analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Pada analisis kuantitatif, faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu bahan, kondisi kevakuman serta konsentrasi unsur dalam bahan, pengaruh unsur ini memiliki energi karakteristik yang berdekatan dengan energi karakteristik yang dianalisis (Jenkins, 1999).

Prinsip dasar XRF adalah terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Interaksi ini menyebabkan terjadinya efek fotolistrik pada atom-atom di permukaan bahan tersebut. Sinar-X dari tabung

sinar-X (sumber isotop) akan mengenai sampel sehingga akan terjadi pelepasan elektron pada kulit K. Elektron dari kulit L dan M akan mengisi kekosongan elektron pada kulit K yang menyebabkan pelepasan energi berupa foton atau memancarkan sinar-X. Perpindahan elektron ini diikuti dengan timbulnya sinar-x karakteristik sesuai dengan atom yang mengalami proses tersebut. Sinar-X dari sampel akan dikirim ke detektor yang akan didinginkan baik secara elektrik atau dengan cairan nitrogen. Sinyal dari detektor akan diproses dan dikirim ke komputer yang kemudian ditampilkan dalam bentuk spektrum (Girard, 2010).

Skema XRF dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema dasar XRF (Girard, 2010).

Syarat sampel yang dapat dianalisis dengan XRF yaitu apabila sampel berbentuk serbuk, ukuran serbuk tidak boleh melebihi 400 mesh, untuk serbuk padatan, permukaannya yang dilapisi akan meminimalisir efek penghamburan dan sampel harus datar untuk menghasilkan analisis kuantitatif yang optimal. Karakterisasi dengan XRF mememiliki beberapa kelebihan yakni memiliki akurasi yang relatif tinggi, dapat menentukan unsur dalam bahan atau material tanpa adanya standar, dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologis, dan dapat dengan mudah mengidentifikasi komponen utama dalam sampel yang sederhana. Sedangkan beberapa kelemahan yang dimiliki XRF adalah tidak dapat mengetahui senyawa yang terbentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam material yang

akan diteliti dan tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material tersebut (Girard, 2010).

Pada penelitian Fahlepy *et al* (2019) telah dilakukan analisis XRF dari pasir besi Desa Bonto Kanang Kabupaten Takalar. Hasil menunjukkan unsur dominan dalam pasir besi merupakan besi (Fe) dengan senyawa yang terbentuk adalah besi oksida (Fe_2O_3). Dari hasil XRF sampel pasir besi yang diekstraksi pada tahap awal menggunakan beberapa perlakuan yaitu pemisahan magnetik dan penghalusan menunjukkan kandungan unsur dominan sampel adalah Fe dengan tingkat kemurnian 90,51% dari Fe_2O_3 dengan tingkat komposisi 89,07%. Proses ekstraksi awal yang dilakukan mampu meningkatkan kandungan Fe dan menurunkan komposisi pengotor pada sampel. Kehadiran Fe sebagai unsur yang memiliki tingkat kemurnian tertinggi sangat diperlukan, karena pada pasir besi terdapat beberapa senyawa oksida seperti Fe_2O_3 yang ingin diperoleh pada penelitian ini. Hasil karakterisasi dengan XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji XRF pasir besi Desa Bonto Kanang Kabupaten Takalar (Fahlepy *et al.*, 2019)

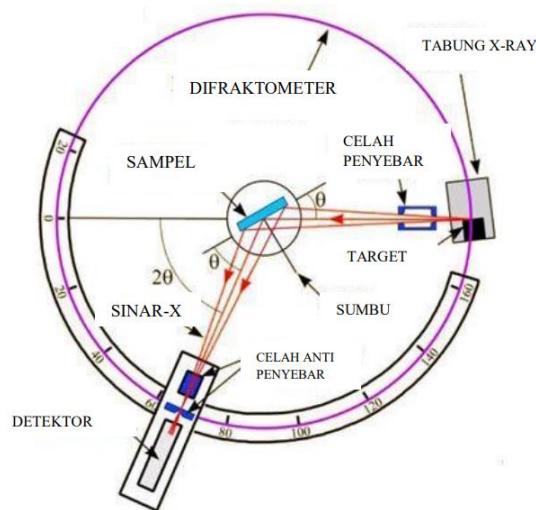
Elemen	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Fe	90,51	Fe_2O_3	89,07
Ti	6,42	TiO_2	7,82
Mn	1,83	MnO	1,66
Ca	0,792	CaO	0,822
Px	0,271	P_2O_5	0,479
Zn	0,112	ZnO	0,091

2.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X merefleksikan atau membelokkan sinar kepada bidang-bidang atom kristal dari material sampel yang diuji sehingga kita dapat mengkarakterisasi

karakteristik pada sampel uji (Suslick, 1998). Karakterisasi XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa dan struktur kristal dengan cara membandingkan jarak d (bidang kristal) dan intensitas puncak difraksi dengan data di literatur.

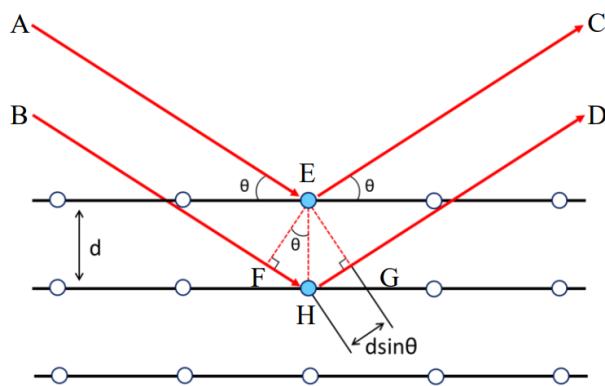
Prinsip dasar XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila seberkas sinar dilewatkan pada permukaan kristal dengan sudut (θ), maka sebagian sinar tersebut akan terhamburkan dan sebagiannya akan diteruskan pada lapisan berikutnya. Sinar yang dihamburkan akan berinterferensi secara konstruktif dan destruktif yang dicatat oleh detektor (Cullity, 1978). Informasi yang dapat diperoleh dari data difraksi sinar-X adalah posisi puncak difraksi memberikan gambaran tentang parameter kisi, jarak antar bidang, struktur kristal dan orientasi dari sel satuan, intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam sel satuan, bentuk puncak difraksi memberikan gambaran mengenai ukuran kristal dan ketidaksempurnaan kisi (Alfarisa dkk., 2018). Skema XRD dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema dasar XRD (Cullity, 1978).

Pada kristalografi, padatan dikarakterisasikan oleh XRD mempunyai ruang kisi dengan distribusi orde 3 dimensi (kubik, rombik, dan lain-lain) atom-atom. Atom tersebut membentuk rangkaian bidang paralel terpisah oleh jarak d , bervariasi sesuai dengan bahan alam. Untuk tiap kristal, bidang-bidang mempunyai jarak pisah d yang spesifik. Bila sebuah berkas sinar-X monokromatik dengan panjang

gelombang λ diradiasikan ke dalam bahan kristal dengan jarak pisah d , sudut θ , difraksi yang terjadi hanya bila jarak lintas oleh sinar dipantulkan dari bidang berikutnya berbeda oleh sebuah bilangan n panjang gelombang untuk menghasilkan pola interferensi konstruktif hanya terjadi bila sudut datang memenuhi kondisi bragg. Skema hukum bragg dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema hukum bragg (Alfarisa dkk., 2018).

Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut, maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal akan menghasilkan puncak difraksi. Karakterisasi XRD memberikan hasil berupa data yaitu intensitas (I) dan besar sudut (2θ). Intensitas menunjukkan kristalinitas sampel, sedangkan 2θ menyatakan besar sudut difraksi. Pola difraksi sinar-X dirumuskan dengan Hukum Bragg pada persamaan 5.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (5)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang (\AA), n adalah bilangan bulat ($1, 2, 3, \dots$), d adalah jarak antar bidang (m), dan θ adalah sudut difraksi.

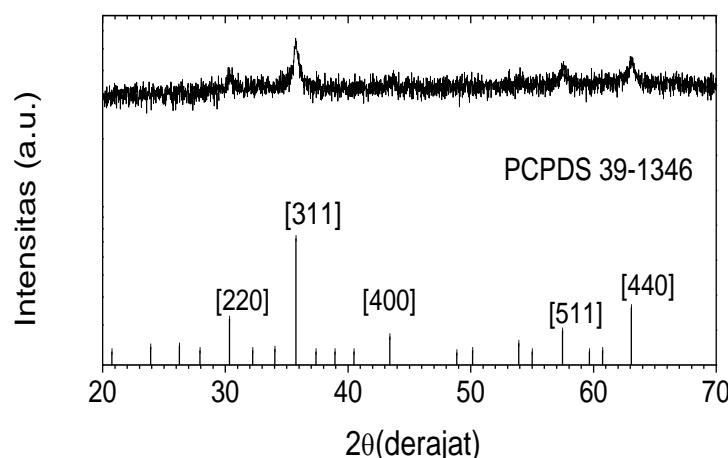
Secara khusus untuk menentukan pengukuran besar kristal nanopartikel dapat dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh dari hasil XRD yaitu menggunakan persamaan Debye Scherrer.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (6)$$

Dengan D adalah besar dari ukuran kristal rata-rata, λ panjang gelombang radiasi sinar-X, K merupakan konstanta Scherrer ($0,94$), dan β adalah besarnya pelebaran pada ketinggian setengah dari puncak maksimum difraksi atau *full width at half maximum*.

maximum (FWHM) atau integral *breadth* dihitung dalam radian, dan θ adalah sudut difraksi (Puspita dkk., 2022).

Pada penelitian Sartini dkk (2013) telah melakukan analisis XRD nanopartikel hematit hasil ekstraksi dari pasir besi. Berdasarkan hasil XRD yang ditunjukkan pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa puncak karakteristik 2θ sesuai dengan standar hematit (JCPDS No. 86-0550) yang mencirikan bahwa produk yang dihasilkan berupa hematit dengan *peak* tertinggi yaitu pada $2\theta = 35,7^\circ$ yang merupakan puncak khas hematit dengan indeks miller masing-masing berada pada (220), (311), (400), (511) dan (440).

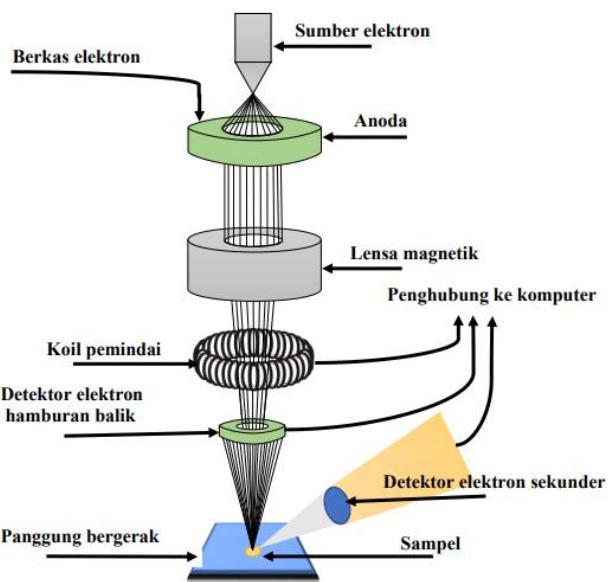


Gambar 5. Difraktogram XRD standar hematit (Sartini dkk., 2013).

2.6.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Elektron Microscopy (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakteristik bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butir, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Prinsip kerja dari SEM berupa suatu sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Berkas elektron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke titik yang diameternya sekitar 0,4 nm sampai 0,5 nm. Permukaan bahan yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron

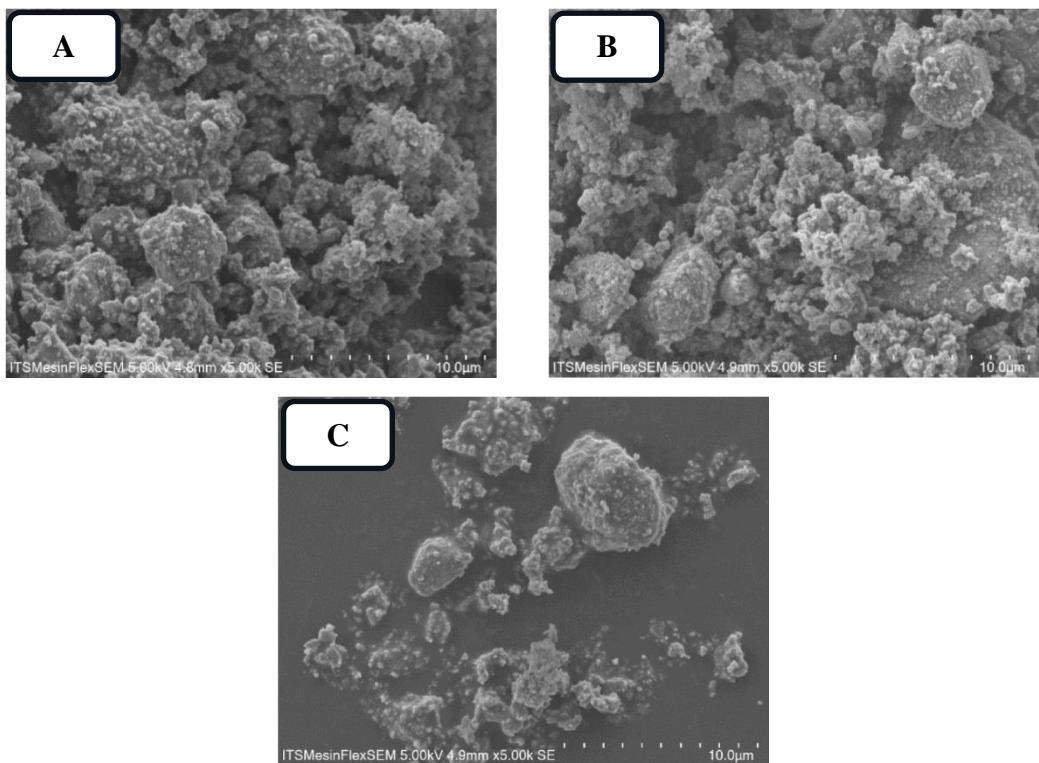
sekunder ke segala arah. *Scanning* pada permukaan bahan yang diinginkan dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan cuplikan ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier kemudian divisualisasikan dalam monitor katoda (Smallman dan Bishop, 2000). Skema dasar SEM dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema dasar SEM (Leamy, 1982).

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa prinsip kerja SEM dimulai dari proses yang pertama pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, dilanjutkan dengan lensa magnetit memfokuskan elektron menuju ke sampel, lalu sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT). Beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM yaitu pantulan inelastis yang didapatkan dari sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan pantulan elastis didapatkan dari sinyal *backscattered electron* (Wijayanto dan Bayuseno, 2016).

Pada Penelitian Fahlepy *et al* (2019) telah melakukan analisis SEM nanopartikel Fe₂O₃ hasil ekstraksi dari pasir besi. Berdasarkan hasil SEM, dapat dilihat bahwa partikel Fe₂O₃ mengalami aglomerasi dan gumpalan partikel mulai terpisah ketika suhu kalsinasi meningkat di mana distribusi ukuran butir tidak seragam. Hal ini dipengaruhi oleh energi panas yang diberikan pada proses kalsinasi berlangsung selama 2 jam. Hasil morfologi SEM nanopartikel hematit variasi suhu kalsinasi 500 °C, 600 °C, dan 700 °C dapat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil foto SEM nanopartikel hematit variasi suhu kalsinasi (a) 500 °C, (b) 600 °C, dan (c) 700 °C (Fahlepy *et al.*, 2019).

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada sampel melalui pancaran elektron yang ditembakkan mesin SEM pada sampel uji. Hakikatnya metode EDS hampir sama dengan metode XRF namun EDS pada mesin SEM dapat dilakukan pada daerah yang relatif kecil (titik) selain itu fungsi lainnya adalah dapat mengetahui sebaran unsur (*maping*) pada sampel. EDS bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa SEM. Prinsip kerja dari EDS adalah menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-

X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (spesimen). Sinar-X tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat, yang dapat menghasilkan intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X (Bahfie dkk., 2022).

2.7 Aplikasi Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)

Aplikasi hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) sangat luas pada industri sekarang ini, hematit dalam bentuk alpha ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang berukuran nano dapat digunakan untuk berbagai kegunaan aplikasi. Aplikasi hematit jenis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ pada industri banyak digunakan dalam industri elektronika seperti untuk pembuatan bahan baku katoda pada pembuatan baterai lithium, sensor gas etanol, maupun superkapasitor. Pada pemanfaatan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dalam industri baterai litium, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ digunakan sebagai bahan kimia campuran untuk pembuatan katoda lithium besi fosfat (LiFePO_4). Aplikasi lain dari hematit digunakan dalam dunia biomedis dan dapat dijadikan pigmen besi oksida yang berfungsi sebagai salah satu komponen dasar pembuatan cat. Sehingga dengan banyaknya kegunaan dari hematit dalam bentuk alpha, maka pengolahan pasir besi primer jenis hematit untuk dijadikan dalam bentuk $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mempunyai nilai ekonomis yang tinggi (Prasetyo dkk., 2014).

Sartini dkk (2013) telah berhasil dilakukan sintesis hematit berpori dari pasir besi dengan metode hidrotermal dan diaplikasikan sebagai bahan elektroda baterai Li-Ion. Pengujian elektroda hematit dilakukan dengan menggunakan metode voltametri siklik untuk mengetahui reversibilitas elektroda hematit dengan terbentuknya puncak oksidasi dan reduksi. Pengujian dilakukan dengan sistem tiga elektroda yaitu elektroda hematit sebagai elektroda kerja, elektroda pembanding Ag/AgCl dan elektroda bantu yaitu kawat Pt. Ketiga elektroda dimasukkan ke dalam sel elektrokimia dengan menggunakan larutan asam sulfat sebagai larutan elektrolit yang berfungsi sebagai medium penghantar di mana transfer muatan terjadi melalui pergerakan ion-ion elektrolit tersebut.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2023 sampai dengan Januari 2024 di Laboratorium Proses Mineral Terpadu Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Karakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *X-ray Fluorescence* (XRF), dan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Mineral Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ayakan 325 mesh, batang magnet, neraca analitik, Erlenmeyer, *muffle furnace Nabertherm*, *sieve shaker AS200 Tap*, oven, *planetary ball mill PQ-N2*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, *crussible*, batang pengaduk, cawan penguap, corong kaca, pipet tetes, lemari asam, *X-ray Diffraction* (XRD) Merk *Panalytical Xpert 3 Powder*, *X-Ray Fluorescence* (XRF) Merk *Panalytical Epsilon 3 XLE* dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Merk *ThermoScientificic Quatro S*.

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir besi Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat, indikator pH universal, kertas saring *whattman 42*, akuades, NH₄OH p.a dan HCl 8 M, 10 M, dan 12 M.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Teknik Sampling

Pada penelitian ini teknik sampling yang digunakan yaitu teknik *random sampling*. Teknik tersebut dilakukan pemilihan lokasi sampling secara acak sederhana yang digunakan untuk memilih sampel dari populasi dengan cara sedemikian rupa sehingga setiap anggota populasi mempunyai peluang yang sama besar untuk diambil sebagai sampel. Pengumpulan sampel dilakukan pembuatan plot dengan ukuran panjang 1 meter dan lebar 1 meter sebanyak 50 plot pada 5 titik yang berbeda disepanjang pantai. Jarak antara titik satu dengan titik lainnya adalah 50 meter. Diambil sampel sebanyak 5 plot secara acak (Putra dkk., 2015).

3.3.2 Preparasi Sampel

Pasir pantai Pesisir Barat dikeringkan di bawah sinar matahari. Kemudian, dilakukan separasi magnet dengan menggunakan batang magnet untuk memisahkan pengotor yang terkandung di dalam kemudian pasir besi dihaluskan dengan menggunakan *ball mill* dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit. Kemudian dilakukan pengayakan menggunakan *sieve shaker* dengan ayakan 325 mesh. Selanjutnya, hasil yang diperoleh akan diuji menggunakan XRF. Pengujian XRF sebelum dilakukan ekstraksi bertujuan untuk mengetahui komponen yang terkandung dalam pasir besi (Irsyad dkk., 2020).

3.3.3 Ekstraksi Hematit (Fe_2O_3)

Sebanyak 50 gram sampel pasir besi dilarutkan dengan 150 mL HCl variasi konsentrasi 8 M, 10 M, dan 12 M sambil dipanaskan menggunakan *hotplate magnetic stirrer* pada suhu 110°C selama 30 menit dengan kecepatan 300 rpm. Larutan yang diperoleh disaring menggunakan kertas saring. Kemudian, ditambahkan NH₄OH 25% pada larutan filtrat sambil dipanaskan di atas *hotplate* pada suhu 80°C dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan 300 rpm

sampai diperoleh larutan dengan pH 6 dan terbentuk endapan cokelat. Selanjutnya, dicuci endapan menggunakan akuades dan disaring menggunakan kertas saring. Endapan dikeringkan pada suhu 150°C selama 3 jam menggunakan oven. Kemudian, dikalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam menggunakan *muffle furnace*. Serbuk yang diperoleh dikarakterisasi dengan XRF, XRD, dan SEM. (Irsyad dkk., 2020).

3.3.4 Pencucian Endapan dengan Akuades

Pencucian dengan akuades dilakukan dengan tahap sebanyak 100 mL akuades dimasukkan ke dalam gelas beaker. Endapan yang diperoleh dari proses pengendapan dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berisi akuades dan diaduk menggunakan batang pengaduk dan didiamkan hingga larutan mengendap. Disiapkan labu Erlenmeyer, corong kaca dan kertas saring untuk menyaring endapan yang terbentuk pada larutan sehingga akan menghasilkan filtrat dan endapan. Dilakukan pencucian endapan kembali menggunakan akuades sampai diperoleh filtrat tidak berwarna atau bening (Setiawati dkk., 2013).

3.3.5 Kalsinasi

Kalsinasi sampel dilakukan dengan tahap sampel hasil pengeringan ditimbang dan selanjutnya sampel dikalsinasi pada suhu 700°C dengan waktu tahan selama dua jam menggunakan *muffle furnace*. Kemudian, sampel yang sudah dikalsinasi selama dua jam dikeluarkan dari dalam *furnace* dan didinginkan hingga suhu pada sampel setara dengan suhu ruangan (Khafifudin, 2017).

3.3.6 Karakterisasi Nanopartikel Hematit

3.3.6.1 Karakterisasi *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Karakterisasi sampel hasil preparasi pasir besi dan sampel hasil ekstraksi menggunakan XRF dilakukan dengan tahapan menekan tombol *power* untuk menghidupkan *Uninterruptible Power Supply (UPS)* dan tombol “ON” pada UPS. Komputer dinyalakan dan tekan tombol “*Power*” pada alat XRF dan ditunggu sekitar satu menit. Selanjutnya, kunci pada alat XRF diputar searah jarum jam sebesar 90° dan alat XRF ditunggu sampai hidup selama 2 jam hingga siap digunakan. Cover alat XRF dibuka dan masing masing sampel diletakkan pada sampel holder. Kemudian, cover alat XRF ditutup dan proses analisis bahan secara otomatis akan berjalan (Brouwer, 2010).

3.3.6.2 Karakterisasi *X-ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi menggunakan XRD dalam penelitian ini yaitu melalui tahap serbuk sampel dimasukkan ke dalam holder. Cover pintu XRD dibuka dan holder diletakkan pada sampel holder XRD untuk diradiasi dengan sinar-X. Tombol *swin* dan *swout* diarahkan ke atas untuk menyalakan UPS. Sistem “ON” pada display UPS dipilih kemudian diklik “ENTER”. Lalu, *Yes-Confirm* pada *display* UPS dipilih kemudian diklik “ENTER”. Tombol *chiller* pada XRD diarahkan ke bawah. Komputer dihidupkan dan lampu pada alat XRD dinyalakan. Kemudian, tekan tombol *power on* untuk menghidupkan alat XRD dan pintu cover dipastikan tertutup. Selanjutnya, kunci pada alat XRD diputar kemudian tunggu sejenak hingga muncul 30 kV dan 10 mA pada alat XRD dan hasil analisis XRD diolah dengan *software High-Score Plus (HSP)* (Ermrich and Opper, 2011).

3.3.6.3 Karakterisasi Scanning Elektron Microscopy (SEM)

Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel. Proses preparasi diawali dengan menyiapkan serbuk hematit ditempelkan pada sampel holder yang terbuat dari karbon berperekat dan diletakkan pada plat sampel alat SEM dan direkatkan dengan isolasi pengantar listrik. Sampel diamati dengan perbesaran 1000, 5000, dan 10.000 kali. Pengamatan ukuran sampel disesuaikan dengan morfologinya dan dilakukan pada beberapa gambar yang mewakili.

3.3.7 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini digunakan persamaan Schererr yang menunjukkan puncak difraksi sebenarnya mempunyai lebar terbatas yang dihasilkan dari ketidak-sempurnaan, baik karena sumber radiasi atau sampel. Hal yang dapat diperhatikan adalah bahwa sebagaimana dimensi kristal memasuki skala nano, pelebaran puncak dengan mengecilnya ukuran kristal. Sehingga dikenal bahwa lebar puncak difraksi memungkinkan penentuan ukuran kristal. Hubungan keterbalikan antara ukuran kristal dengan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dapat dinyatakan melalui persamaan Schererr berikut:

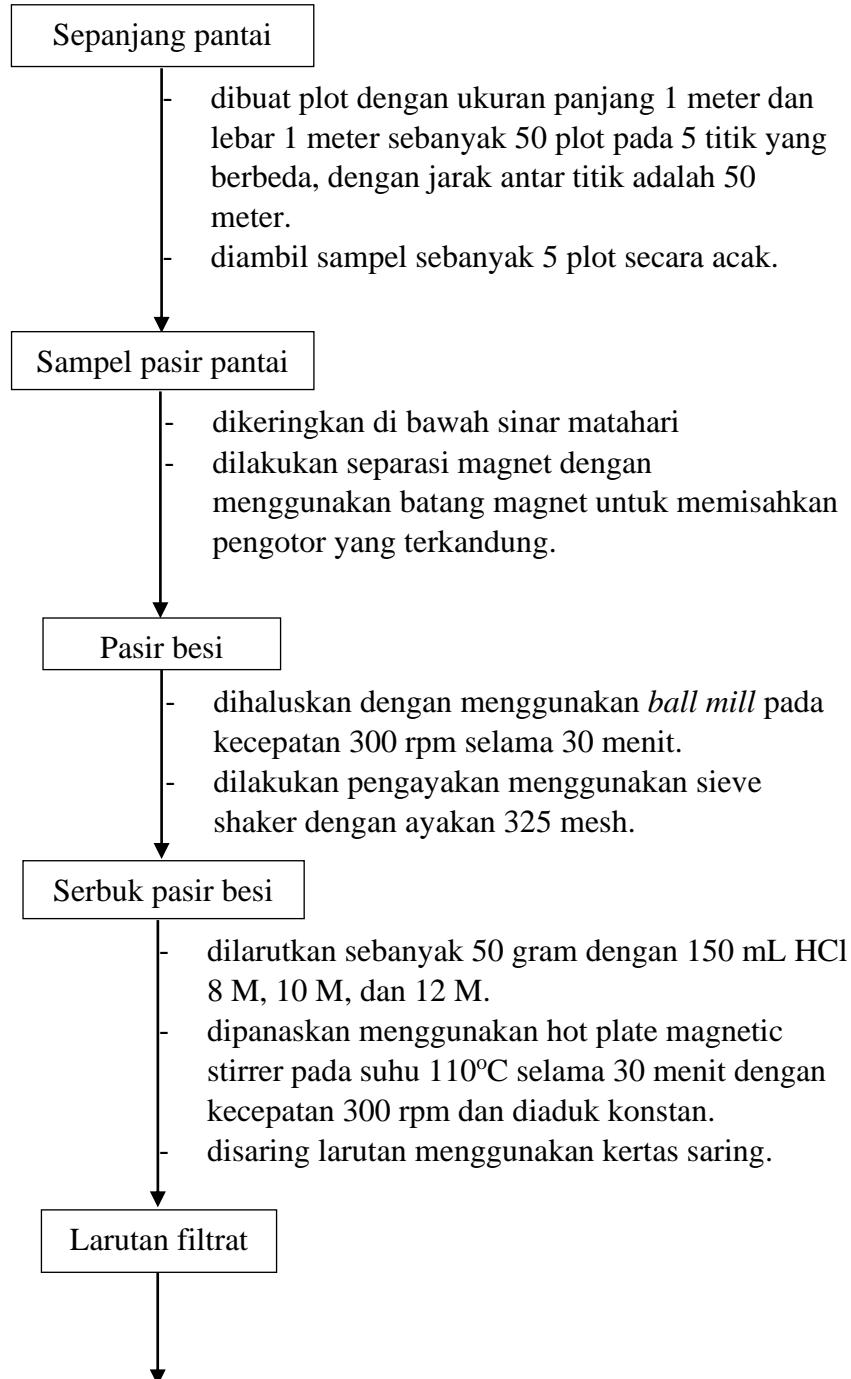
$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (7)$$

Keterangan:

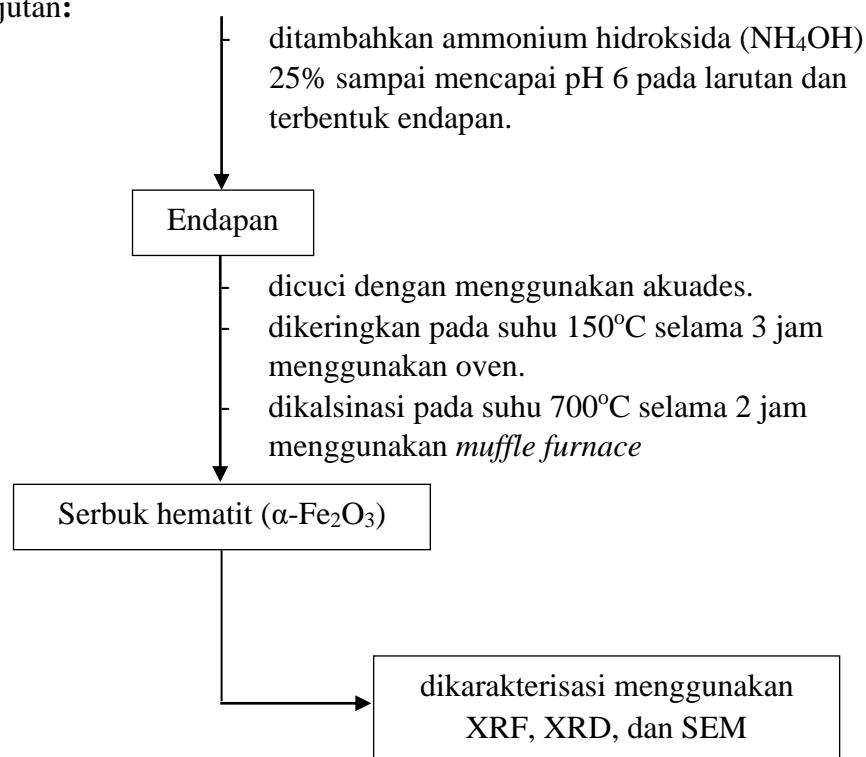
D = Ketebalan/ukuran kristal (nm), K = Konstanta faktor bentuk kristal (0,94), λ = panjang gelombang sinar-X (nm); β = Lebar setengah puncak (FWHM), dan θ adalah sudut puncak pada Bragg ($^{\circ}$) (Puspita dkk., 2022).

3.3.8 Skema Alur Penelitian

Skema alur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.



Skema lanjutan:



Gambar 8. Skema alur kerja ekstraksi Fe_2O_3 dari pasir besi Pantai Tembakak Pesisir Barat dengan metode kopresipitasi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Ekstraksi Fe_2O_3 dari pasir besi Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat dengan variasi konsentrasi HCl 8 M, 10 M, dan 12 M menghasilkan serbuk berwarna merah bata dengan rendemen yang diperoleh berturut-turut sebesar 18,94%; 20,38%; dan 22,72%.
2. Hasil karakterisasi XRF pasir besi Pantai Tembakak Kabupaten Pesisir Barat diperoleh kandungan unsur dominan sampel pasir besi adalah unsur Fe 58,294%; Si 18,525%; Ti 8,775%; Al 6,785%; Ca 3,885%, K 1,624%; dan beberapa unsur minor lainnya dengan komposisi di bawah 0,5%.
3. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi XRF setelah proses ekstraksi yaitu senyawa oksida Fe_2O_3 dengan kandungan sebesar 87,809% pada konsentrasi HCl 8 M; 90,500% pada konsentrasi HCl 10 M; dan 91,061% pada konsentrasi HCl 12 M, sehingga pengaruh konsentrasi HCl terhadap ekstraksi Fe_2O_3 menunjukkan bahwa semakin pekat konsentrasi HCl maka kandungan Fe_2O_3 yang diperoleh akan semakin banyak.
4. Hasil karakterisasi XRD menghasilkan puncak tertinggi 2θ sebesar $33,1657^\circ$ dengan fasa yang terbentuk adalah hematit dan struktur kristal berupa heksagonal serta parameter kisi yang didapat yaitu $a = b = 5,0350 \text{ \AA}$ dan $c = 13,7470 \text{ \AA}$. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan Scherrer diperoleh ukuran kristal $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 56,18 nm, sehingga menunjukkan bahwa hematit yang didapat merupakan nanopartikel.

5. Hasil analisis SEM morfologi permukaan hasil ekstraksi telah homogen dan terbentuknya grain (butiran) serta memiliki distribusi bentuk partikel yang relatif seragam.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan melakukan pengaplikasian lebih lanjut terhadap nanopartikel hematit dalam perkembangan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. P. 2008. *Kajian Sifat Magnetik Magnetit (Fe_3O_4) Hasil Penumbuhan dengan Metode Presipitasi Berbahan Dasar Pasir Besi*. Institut Teknologi Bandung Press. Bandung.
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., dan Toruan, P. L. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*. 2(2): 53–57.
- Arief, M. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Proses Pengendapan Kimia Basah dan Hidrotermal Untuk Aplikasi Fotokatalis*. Universitas Indonesia. Depok.
- Arifani, M., Baqiya, M. A., dan Darminto. 2012. Sintesis Multiferoik $BiFeO_3$ Berbasis Pasir Besi dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 1(1): 1–4.
- Bahfie, F., Harahap, E. A., Alfarisy, M. I., dan Arham, L. O. (2022). Pengolahan Pasir Besi Untuk Meningkatkan Kadar Titanium (Ti) dengan Metode Pemisahan Magnetik Secara Basah. *Jurnal Kelitbangen*, 10(3), 237–246.
- Brouwer, P. 2010. *Theory of X-Ray Fluorescence, Getting Acquainted With the Principles*. PANalytical. Netherland.
- Cullity, B. D. 1978. *Elemen of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company Inc. USA.
- Duhan, S., dan Devi, S. 2010. Synthesis and Structural Characterization of Iron Oxide-silica Nanocomposites Prepared by the Solgel Method. *International Journal of Electronics Engineering*. 2(1): 89–92.
- Dumyati, A., dan Manalu, D. F. 2015. Analisis Penggunaan Pasir Pantai Paciran Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Journal of Architecture and Civil*. 2(1): 8–17.
- Ermawati, R., Naimah, S., dan Ratnawati, E. 2011. Monitoring dan Ekstraksi TiO_2 dari Pasir Mineral. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*. 33(2): 131–136.

- Ermrich, M., and Opper, D. 2011. *X-ray Powder Diffraction for the Analyst*. John Wiley and Sons Inc. Netherlands.
- Fahlepy, M. R., Tiwow, V. A., dan Subaer. 2018. Characterization of Magnetite (Fe_3O_4) Minerals From Natural Iron Sand of Bonto Kanang Village Takalar for Ink Powder (Toner) Application. *Journal of Physics: Conference Series*. 997(1): 1–7.
- Fahlepy, M. R., Wahyuni, Y., Andhika, M., Tiwow, V. A., and Subaer. 2019. Synthesis and Characterization of Nanoparticle Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 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.
- Fatmaliana, A., Rahwanto, A., dan Jalil, Z. 2016. Synthesis And Characterization Of Hematit (Fe_2O_3) Extracted From Iron Ore By Precipitation Method. *Jurnal Natural*. 16(1): 15–17.
- Febriyani, S., dan Aini, S. 2023. Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) dari Bijih Besi dengan Penambahan Asam Laurat. *Natural Science: Jurnal Penelitian Bidang IPA Dan Pendidikan IPA*. 9(1): 57–69.
- Fouda, M. F. R., El-Kholy, M. B., Moustafa, S. A., Hussien, A. I., Wahba, M. A., and El-Shahat, M. F. 2012. Synthesis and Characterization of Nanosized Fe_2O_3 Pigments. *International Journal of Inorganic Chemistry*. 2012(1): 1–9.
- Girard, J. E. 2010. *Principles of Environmental Chemistry*. Jones and Bartlett Publisher. USA.
- Hamsi, A. 2011. Analisa Pengaruh Ukuran Butir dan Tingkat Kelembaban Pasir Terhadap Performansi Belt Conveyor Pada Pabrik Pembuatan Tiang Beton. *Jurnal Dinamis*. 2(8): 14–20.
- Hilman, P. M., Suprapto, 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. Bandung.
- Irsyad, A., Junaedi, S., dan Malago, J. D. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Hematite Berbahan Dasar Pasir Besi Bonto Kanang Takalar Kabupaten Takalar. *Jurnal Ilmu Fisika : Teori Dan Aplikasinya*. 2(2): 55–58.

- Ismunandar. 2006. *Padatan Oksida Logam Struktur, Sintesis, dan Sifat-sifatnya*. ITB Press. Bandung.
- Jenkins, R. 1999. *X-Ray Fluorescence Spectrometry*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Jiang, Z., Liu, Q., Roberts, A. P., Dekkers, M. J., Barrón, V., Torrent, J., and Li, S. 2021. The Magnetic and Color Reflectance Properties of Hematite: From Earth to Mars. *Reviews of Geophysics*. 60(1): 1–70.
- Khafifudin, B. 2017. *Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Titanium Dioksida Anatase dengan Metode Sonikasi Variasi Suhu dan Waktu Kalsinasi*. Universitas Islam Negeri Maulana Ibrahim. Malang.
- Khoiroh, L. M., Sholekah, A. D. A., dan Yulianti, E. 2021. Structure and Morphology Properties of Nanoparticle Hematite Pigment from Lathe Waste. *International Journal of Chemistry*. 13(1): 21–29.
- Leamy, H. J. 1982. Charge Collection Scanning Electron Microscopy. *Journal of Applied Physics*. 53(6): 51–52.
- Lestari, D. U. 2014. Sintesis Pigmen Merah Hematit (α -Fe₂O₃) dari Pasir Besi dengan Metode Kopresipitasi dan Hidrotermal. *Asian Journal of Science, Technology, Engineering, and Art*. 1(2): 255–265.
- Lubis, S., Maulana, I., dan Masyithah. 2018. Synthesis And Characterization of TiO₂/ α -Fe₂O₃ Composite Using Hematite From Iron Sand For Photodegradation Removal of Dye. *Jurnal Natural*. 18(1): 38–43.
- Mairoza, A., dan Astuti. 2016. Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄ dari Batuan Besi Menggunakan Asam Laurat Sebagai Zat Aditif. *Jurnal Fisika Unand*. 5(3): 283–286.
- Merdekani, S. 2013. Sintesis Partikel Nanokomposit Fe₃O₄/SiO₂ dengan Metode Kopresipitasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir PTNBR - BATAN*. 1–6.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya*. 2(1): 20–29.
- Nengsih, S. 2021. Sintesis Pasir Besi Menjadi Nanopartikel Magnetit Melalui Penerapan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Amina*. 3(3): 112–122.
- Ningsih, S. K. W. 2016. *Sintesis Anorganik*. UNP Press. Padang.

- Ohkoshi, S. I., Namai, A., Imoto, K., Yoshikiyo, M., Tarora, W., Nakagawa, K., Komine, M., Miyamoto, Y., Nasu, T., Oka, S., and Tokoro, H. 2015. Nanometer Size Hard Magnetic Ferrite Exhibiting High Optical Transparency and Nonlinear Optical Magnetoelectric Effect. *Scientific Reports.* 5(14414): 1–9.
- Prasdiantika, R., Agustin, N. C., dan Rohman, A. 2019. Identification of Iron Oxides and Effects of Magnetic Materials Washing for Sand Iron Jomblo Beach Using Sonochemical Methods. *Jurnal Presipitasi.* 16(3): 140–151.
- Prasetyo, A. B., Prasetyo, P., dan Matahari, I. 2014. Pembuatan α -Fe₂O₃ dari Hasil Pengolahan Bijih Besi Primer Jenis Hematit Untuk Bahan Baku Baterai Lithium. *Majalah Metalurgi.* 29(3): 1–23.
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, P. E., Ariswan, A., dan Warsono, W. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan Metode Kopresipitasi pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH₄OH. *Jurnal Sains Dasar.* 10(2): 57–61.
- Puspita, E., Luh, A. M., Marzuki, N., Ramlan, dan Masno, G. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Pasir Besi Sungai Musi Sumatera Selatan Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Penelitian Sains.* 24(3): 160–165.
- Putra, D. S., Irawan, H., dan Zulfikar, A. 2015. Keanekaragaman Gastropoda Di Perairan Litoral Pulau Penguan Kabupaten Bintan. *Journal of Chemical Information and Modeling.* 1(1): 3–14.
- 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, F. 2006. Pengaruh Kehalusan Serbuk Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Mortar. *Jurnal Info Teknik.* 7(2): 56–66.
- Sartini, Nurdin, M., dan Agus, L. 2013. Sintesis Hematit Berpori dari Pasir Besi dengan Metode Hidrotermal Sebagai Bahan Elektroda Baterai Li – Ion. *Jurnal Progres Kimia Sains.* 3(2): 97–107.
- Septiyana, K. D., Priyono, Rochman, N. T., Yuswono, Rahman, T. P., Nugroho, D. W., Ikono, R., Nofrizal, dan Maulana, N. N. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Hematit (α -Fe₂O₃) dari Bijih Besi Alam Melalui Metode Presipitasi. *Youngster Physics Journal.* 1(4): 95–100.
- Septiyan, I. 2010. *Pengaruh Milling Terhadap Peningkatan Kualitas Pasir Besi Sebagai Bahan Baku Industri Logam.* Universitas Islam Negeri Syarif

Hidayatullah. Jakarta.

- Setiawati, L. D., Rahman, T. P., Nugroho, D. W., Nofrizal, Ikono, R., Suryandaru, Yuswono, Siswanto, dan Rochman, N. T. 2013. Ekstraksi Titanium Dioksida (TiO_2) dari Pasir Besi dengan Metode Hidrometalurgi. *Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 465–468.
- Sholihah, L. K. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Partikel Nano Fe_3O_4 yang Berasal dari Pasir Besi dan Fe_3O_4 Bahan Komersial (Aldrich). *Jurnal ITS*. 1–15.
- Smallman, R. E., dan Bishop, J. R. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga.
- Soekansa, A. F., Sudirman, N., dan Aini, S. 2023. Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Merah Hematit ($\alpha-Fe_2O_3$) dari Pasir Besi Kabupaten Sijunjung, Sumatera Barat, Indonesia. *Jurnal Periodic*. 12(1): 9–13.
- Soepriadi, Seraphine, N., dan Novihapsari, D. M. 2013. Potensi Endapan Pasir Besi Di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 8(1): 15–25.
- Sōmiya, S., and Roy, R. 2000. Hydrothermal Synthesis of Fine Oxide Powders. *Bulletin of Materials Science*. 23(6): 453–460.
- Suseno, T. 2015. Analisis Prospek Pasir Zirkon Indonesia Di Pasar Dunia. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*. 11(1): 61–77.
- Suslick, K. S. 1998. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. J. Wiley and Sons. New York.
- Tugiman, dan Putri, Y. 2020. Kajian Laboratorium Penggunaan Pasir Pantai Panjang Bengkulu Sebagai Bahan Tambahan Agregat Halus Pada Hotmix AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *Majalah Teknik Simes*. 14(2): 11–23.
- Wijayanto, S. O., dan Bayuseno, A. P. 2016. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1): 33–39.
- Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C., and Kim, W. S. 2015. Recent Progress On Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Surface Functional Strategies and Biomedical Applications. *Science and Technology of Advanced Materials*. 16(2). 1–43.

- Zanur, H., Putra, A., dan Astuti. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dari Bijih Besi Di Jorong Kepalo Bukik Kabupaten Solok Selatan Menggunakan Metode Presipitasi. *Jurnal Fisika Unand.* 6(2): 149–155.
- Zulfalina, dan Manaf, A. 2004. Identifikasi Senyawa Mineral dan Ekstraksi Titanium Dioksida dari Pasir Mineral. *Indonesia Journal of Materials Science.* 5(2): 46–50.