

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT
 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ BERBASIS PASIR BESI
SUNGAI BATANGHARI**

SKRIPSI



**CRISMELI
F1C319007**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2024**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan ini adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, Januari 2024
Yang Menyatakan



CRISMELI
F1C319007

RINGKASAN

Telah dilakukan penelitian $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan menggunakan variasi perbandingan massa. Dibuat nanopartikel Fe_3O_4 dengan menggunakan metode kopresipitasi dan disintesis dengan TiO_2 menggunakan metode *solid state reaction*. Metode kopresipitasi dilakukan pada pasir besi yang dilarutkan dengan HCl, kemudian larutan disaring, diperoleh filtrat dan diendapkan dengan menambahkan NH_4OH kemudian dilakukan proses pencucian pada pasir besi dan dioven menggunakan menggunakan suhu 100°C . Pada metode *solid state reaction* dilakukan kalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam kemudian digerus. Tujuan dilakukannya penelitian ini mengetahui pengaruh perbandingan massa terhadap pengujian yang dilakukan. Variasi perbandingan massa yang digunakan yaitu 3:1, 2:1, 1:1, 1:2 dan 1:3. Karakterisasi yang dilakukan, adalah *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrofotometer UV-Vis dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Alat *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan pada seluruh sampel untuk melihat struktur kristal dan ukuran kristal sampel. Dari hasil XRD diperoleh bahwa penambahan TiO_2 tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap ukuran kristal dan cenderung didominasi oleh fasa TiO_2 . Setelah mendapatkan ukuran kristal terkecil dari sampel penggabungan Fe_3O_4 dan TiO_2 , maka sampel Fe_3O_4 murni dan TiO_2 murni dan perbandingan massa 1:1 dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil Spektrofotometer UV-Vis nilai energi gap Fe_3O_4 murni, TiO_2 murni dan perbandingan massa 1:1 berturut-turut sebesar 3,67 eV, 3,36 eV dan 3,50 eV. Dapat ditarik kesimpulan bahwa Fe_3O_4 didoping dengan TiO_2 akan diperoleh nilai energi gap $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ berada diantara energi gap Fe_3O_4 dengan TiO_2 . Hasil SEM diperoleh morfologi berbentuk bulat dengan persebaran partikel tidak merata sehingga terjadi aglomerasi. Selain itu, diperoleh ukuran partikel Fe_3O_4 , TiO_2 dan perbandingan massa 1:1 dengan ukuran rata-rata partikel berturut-turut sebesar 148,006 nm, 184,72 nm dan 181,79 nm. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan yang digunakan pada proses fotokatalis.

SUMMARY

Fe₃O₄/TiO₂ research has been carried out using various mass ratios. Fe₃O₄ nanoparticles were made using the coprecipitation method and synthesized with TiO₂ using the solid state reaction method. The coprecipitation method was carried out on iron sand which was dissolved in HCl, then the solution was filtered, the filtrate is obtained and precipitated by adding NH₄OH, then the iron sand was washed and placed in an oven using a temperature of 100°C. In the solid state reaction method, calcination was carried out at a temperature of 500°C for 3 hours then crushed. The aim of this research was to determine the effect of mass comparison on the tests carried out. The variations in mass ratio used are 3:1, 2:1, 1:1, 1:2 and 1:3. The characterization carried out was X-Ray Diffraction (XRD), UV-Vis Spectrophotometer and Scanning Electron Microscopy (SEM). An X-Ray Diffraction (XRD) tool was used on all samples to see the crystal structure and crystal size of the samples. Based on the XRD results it was found that the addition of TiO₂ did not show a significant change in crystal size and tended to be dominated by the TiO₂ phase. After obtaining the smallest crystal size from the sample combining Fe₃O₄ and TiO₂, the pure Fe₃O₄ and pure TiO₂ samples with a mass ratio of 1:1 were characterized using a UV-Vis Spectrophotometer and Scanning Electron Microscopy (SEM). The UV-Vis Spectrophotometer results show the gap energy values of pure Fe₃O₄, pure TiO₂ and a mass ratio of 1:1 respectively of 3.67 eV, 3.36 eV and 3.50 eV. It can be concluded that when Fe₃O₄ is doped with TiO₂, the gap energy value of Fe₃O₄/ TiO₂ will be obtained between the gap energies of Fe₃O₄ and TiO₂. The SEM results showed that the morphology was round in shape with uneven particle distribution, resulting in agglomeration. In addition, the Fe₃O₄, TiO₂ particle sizes and mass ratios of 1:1 were obtained with an average particle of 148.006 nm, 184.72 nm and 181.79 nm. It was hoped that this research can be used as a material used in photocatalyst.

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT
Fe₃O₄/TiO₂ BERBASIS PASIR BESI
SUNGAI BATANGHARI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Program Studi Fisika



**CRISMELI
F1C319007**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2024**

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "**Sintesis Dan Karakterisasi Nanokomposit Fe_3O_4/TiO_2 Berbasis Pasir Besi Sungai Batanghari**" yang disusun oleh **CRISMELI, NIM F1C319007** telah dipertahankan di depan tim penguji pada bulan Desember 2023 dan dinyatakan lulus.

Susunan Tim Penguji :

Ketua : Nurhidayah, S.Pd., M.Sc.
Sekretaris : Frastica Deswardani, S.Si., M.Sc.
Anggota : 1. Dr. Sri Purwaningsih, S.Si., M.Si.
2. Muhammad Ficky Afrianto, S.Si., M.Si.
3. Linda Handayani, S.Pd., M.Si.

Disetujui :

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Nurhidayah, S.Pd., M.Sc
NIP. 198708012015042002

Fracia Deswardani, S.Si., M.Sc
NIP. 199112122019032028

Diketahui :

Dekan Fakultas Sains dan
Teknologi Universitas Jambi

Ketua Jurusan MIPA
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jambi



Drs. Jefri Maulana, M.Sc., D.I.T.
NIP. 19680521993031004

Dr. Yusnaidar, S.Si., M.Si.
NIP. 196809241999032001

RIWAYAT HIDUP



CRISMELI Lahir di Tangerang, 31 Desember 1999, merupakan anak kedua dari empat bersaudara, putri dari Bapak Rasman Sianturi dan Alm. Ibu Bunga br. Hutauruk. Penulis memulai pendidikan di TK Pelita Kasih pada tahun 2005-2006. Kemudian melanjutkan Sekolah Dasar di SDN 013857 Kisaran pada tahun 2006-2012. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah di SMP Negeri 2 Kisaran pada tahun 2012-2015. Pada tahun 2018 penulis lulus dari SMA N 4 Kisaran, dan terdaftar sebagai Mahasiswa di Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi melalui jalur penerimaan SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam ruang lingkup Program studi seperti Anggota Himpunan Mahasiswa Fisika Universitas Jambi. Penulis telah menyelesaikan magang di PDAM Tirta Mayang Kota Jambi pada semester 7. Setelah itu penulis menyusun tugas akhir skripsi yang dibimbing oleh Ibu Nurhidayah, S.Pd., M.Sc selaku pembimbing utama dan Ibu Frastica Deswardani, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing pendamping dengan judul skripsi **“Sintesis Dan Karakterisasi Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ Berbasis Pasir Besi Sungai Batanghari”**

PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Dan Karakterisasi Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ Berbasis Pasir Besi Sungai Batanghari”**.

Dalam penulisan tugas akhir ini, tidak lepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya untuk semua pihak yang telah memberikan motivasi dan masukkan dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai, terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
2. Bapak Ir. Bambang Hariyadi, M.Si., Ph.D. selaku Wakil Dekan Bagian Akademik, Kerjasama dan Sistem Informasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
3. Ibu Dr. Yusnaidar, S.Si., M.Si. selaku ketua jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
4. Ibu Nurhidayah, S.Pd., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
5. Ibu Nurhidayah, S.Pd., M.Sc. dan Ibu Frastica Deswardani, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang membimbing dalam penulisan ini.
6. Tim Fotokatalis Ibu Nurhidayah, S.Pd., M.Sc, Ibu Frastica Deswardani, S.Si., M.Sc, Ibu Tika Restianingsih, S.Si., M.Sc dan Ibu Rista Mutia Anggraini, S.Pd., M.Sc yang telah mengajak dan membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini.
7. Ibu Jesi Pebralia, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama proses perkuliahan.
8. Bapak Mardian Peslinof, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Magang yang telah membimbing selama proses perkuliahan.
9. Seluruh Bapak/Ibu dosen Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi yang telah banyak membantu dan membimbing saat masa perkuliahan.
10. Kedua orang tua penulis, Bapak Rasman Sianturi dan Alm. Ibu Bunga br. Hutauruk yang tercinta yang senantiasa selalu mendoakan, memberikan dukungan dan semangat serta menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan pendidikan S1. Skripsi ini menjadi salah satu

bukti kerja keras kalian dan saya harap dapat menjadi suatu kebanggaan yang bisa saya berikan kepada kalian

11. Abang dari penulis Hendi Pangihutan Sianturi, kedua adik tersayang Elysa Margaret Sianturi dan Samuel Parningotan Sianturi yang selalu mendukung dan memberikan *support* kepada penulis dalam menempuh pendidikan hingga saat ini.
12. Amang boru, Namboru, Brian, Garsiano dan Greace yang telah menerima penulis menjadi salah satu bagian dari keluarga.
13. Terkhusus untuk Rodearni Ananda Putri Purba, Astri, Shapira dan Fajar yang telah menjadi sahabat, keluarga serta memberi semangat dalam melakukan segala hal dan tindakan suka maupun duka selama masa perkuliahan. Renta W. br. Manurung yang telah membantu selama proses penelitian.
14. Teman-teman Fisika 2019 yang telah memberi semangat dan dukungan kepada penulis, serta seluruh mahasiswa Program Studi Fisika yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
15. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa disebutkan satu persatu, baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
16. Kepada Idol saya BTS, Min Yoongi, semua musik dan video dari BTS, yang menemani penulis, memberi motivasi dan semangat karena karya dan tingkah laku mereka.
17. Crismeli yang mampu melewati hari demi hari. Terima kasih sudah kuat dalam menjalani perjalanan hidup yang bisa mengangkat derajat keluargamu dengan menempuh pendidikan S1 sampai selesai di perantauan. Kamu selalu kuat dengan motivasi yang kamu pegang, "Setiap detik yang kamu lalui adalah perjuangan". Terima kasih telah membuktikan bahwa *all is well*.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan agar kedepannya dapat menjadi lebih baik. Penulis mengucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Jambi, Januari 2024

Penulis

CRISMELI
F1C319007

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pasir Besi	5
2.2 Magnetit (Fe_3O_4)	5
2.3 TiO_2 (Titanium Diokasida)	6
2.4 Metode Kopresipitasi	8
2.5 Metode <i>Solid State Reaction</i>	8
2.6 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	9
2.7 Spektrofotometer UV-VIS (Ultra Violet-Visible)	12
2.8 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Metode Penelitian	20
3.4 Teknik Analisa Data	23
3.5 Diagram Alir Penelitian	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Penelitian	27
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian	28
V. PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Identitas Sampel	22
2. Parameter Kisi dan Ukuran Kristal	38
3. Rasio Fasa	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pasir Besi	5
2. Magnetit (Fe_3O_4)	6
3. Struktur Kristal TiO_2 (a) <i>Rutile</i> ; b) <i>Anatase</i> ; c) <i>Brookite</i>	7
4. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom dan sinar datang	10
5. Struktur Kristal Kubik	11
6. Struktur Kristal Tetragonal	12
7. Skema spektrofotometer UV-Vis	13
8. Energi Gap	16
9. Prinsip Kerja SEM	17
10. Struktur morfologi Fe_3O_4	18
11. Citra SEM Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$	18
12. a) Ekstrak Pasir Besi Sungai Batanghari, (b) Hasil Sintesis Magnetit Dengan Metode Kopersipitasi	27
13. TiO_2	28
14. Sampel (a) Sebelum dikalsinasi; (b) Setelah dikalsinasi	28
15. Pola XRD Fe_3O_4 , TiO_2 , FT ₁ , FT ₂ , FT ₃ , FT ₄ dan FT ₅	29
16. Grafik Fe_3O_4	30
17. Struktur Kristal Fe_3O_4 berbentuk Kubik	31
18. Struktur Kristal TiO_2 berbentuk Tetragonal	31
19. Grafik TiO_2	32
20. Grafik FT ₁	33
21. Grafik FT ₂	34
22. Grafik FT ₃	35
23. Grafik FT ₄	36
24. Grafik FT ₅	37
25. Struktur Kristal FT ₁ , FT ₂ , FT ₃ , FT ₄ dan FT ₅	38
26. Spektrum Transmitasi Fe_3O_4 , TiO_2 dan FT ₃	40
27. Energi Gap Fe_3O_4	41
28. Energi Gap TiO_2	42
29. Energi Gap FT ₃	42
30. Hasil SEM a) Fe_3O_4 dan b) Histogram pola distribusi partikel Fe_3O_4	43
31. Hasil SEM a) TiO_2 dan b) Histogram pola distribusi partikel TiO_2	44
32. Hasil SEM a) FT ₃ dan b) Histogram pola distribusi partikel FT ₃	45

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki wilayah perairan lebih luas dibandingkan dengan daratan. Sehingga pasir besi banyak ditemui disepanjang pantai dan sungai di Indonesia, seperti Jambi, Kalimantan Barat, Riau, Bangka Belitung, dan Sulawesi Utara. Provinsi Jambi merupakan salah satu provinsi yang berpeluang untuk menghasilkan pasir besi yang diperoleh dari Sungai Batanghari. Sungai Batanghari merupakan sungai terpanjang di Sumatera. Pasir Sungai Batanghari memiliki kandungan Besi (Fe), Silika (Si), Nikel (Ni), Magnesium (Mg) dan Seng (Zn) (Handerson dan Sinuraya, 2020).

Kegunaan dari pasir besi masih belum optimal untuk dimanfaatkan. Selain dapat digunakan sebagai bahan material untuk bangunan, pasir besi juga dapat diolah menjadi bahan nanopartikel. Pasir besi dalam ukuran nanopartikel memiliki banyak peluang untuk diaplikasikan pada bidang industri, medis, dan elektronik. Teknologi nano merupakan proses pengecilan ukuran bahan/materi menjadi bentuk nanometer (10^{-9} m) (Fajaroh, 2018). Salah satu pemanfaatan pasir besi yaitu untuk menghasilkan nanopartikel Fe_3O_4 (*Magnetite*).

Pasir besi mengandung mineral yaitu magnetit. Magnetit merupakan mineral yang mengandung unsur besi (Fe) dan Oksigen (O_2), dengan rumus kimia yaitu Fe_3O_4 . Magnetit memiliki sifat yang dapat ditarik oleh magnet. Magnetit termasuk dalam golongan semikonduktor metal oksida. Penelitian Safitri (2019) berhasil mensintesis nanopartikel Fe_3O_4 dari pasir besi Sungai Batanghari dengan menggunakan metode kopresipitasi. Sintesis Fe_3O_4 dilakukan dengan menggunakan variasi suhu sinterring, yaitu pada suhu 300°C , 400°C dan 500°C . Ukuran kristal terkecil sebesar 6,94 nm pada suhu 300°C . Energi gap terkecil diperoleh pada suhu 500°C yaitu 1,8 eV.

Nanopartikel Fe_3O_4 dapat diperoleh dari pasir besi dengan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi berdasarkan pada pengendapan melalui senyawa organik yang digunakan, sehingga metode ini menjadi lebih sederhana, menghasilkan ukuran butir yang relatif sama. Penelitian Prasetyowati et al., (2021) berhasil mensintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) berbasis pasir besi Pantai Glagah, Kulon Progo dengan menggunakan metode kopresipitasi, dengan variasi konsentrasi NH_4OH (10%, 15%, 20%, dan 25%). Hasil karakterisasi XRD menunjukkan variasi konsentrasi NH_4OH tidak mempengaruhi nilai parameter kisi dan struktur kristal, tetapi mempengaruhi ukuran kristal Fe_3O_4 . Hasil SEM dan EDX menunjukkan bahwa struktur morfologi permukaan sampel Fe_3O_4

dengan NH_4OH 15% cukup homogen serta memiliki komposisi Fe sebanyak 49,33%, O sebanyak 27,90% dan sisanya merupakan unsur pengotor.

Pada 2019, Riyanto dan Wibowo memanfaatkan Fe_3O_4 dalam proses penjernihan air dan berpotensi sebagai absorben logam berat Co(II) pada limbah cair. Menurut Suprihatin et al., (2021) Fe_3O_4 dapat digunakan dalam proses fotokatalis yang bersifat *non-biodegradable* menjadi *biodegradable*, sehingga penggunaan Fe_3O_4 dapat meningkatkan kinerja pada fotodegradasinya. Namun, Fe_3O_4 memiliki persentase fotodegradasi yang relatif rendah. Ghazali et al., (2012) memperoleh fotodegradasi Fe_3O_4 terhadap zat warna *remazol red* sebesar 3,72%. Untuk meningkatkan fotodegradasi perlu dilakukan pendopongan Fe_3O_4 dengan bahan semikonduktor yang memiliki kemampuan sebagai fotokatalis.

Semikonduktor yang telah banyak diamati kemampuannya sebagai fotokatalis adalah TiO_2 . TiO_2 memiliki karakteristik yang baik diantaranya bersifat *inert*, tidak beracun, memiliki luas permukaan yang besar, dan mudah diperoleh (Agartan et al., 2015). TiO_2 memiliki energi gap sekitar 3,33 eV (Listanti et al., 2018). Nilai energi gap Fe_3O_4 diharapkan dapat diperkecil setelah dikombinasikan dengan TiO_2 yang memiliki energi gap relatif kecil. Pada proses fotokatalis energi gap yang kecil mempunyai spektrum penyerapan cahaya tampak yang lebih luas (Aliah dan Karlina, 2015). Hal ini membantu menghasilkan spektrum yang diserap lebih optimal, sehingga proses fotokatalis dapat terealisasi dengan baik.

Fe_3O_4 dan TiO_2 dapat digabung membentuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dan berpotensi diaplikasikan sebagai fotokatalis pada proses penjernihan air. Pada 2021, Pradipta et al., melakukan sintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan metode *sol gel*. Material nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ memiliki energi gap (Eg) 3,22 eV. Hasil karakterisasi XRD dari partikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ menunjukkan adanya puncak-puncak difraksi dengan fase anatase. Sedangkan hasil SEM menunjukkan bentuk morfologi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ berbentuk bulat dan kubus dengan rongga-rongga pori. Pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan metode *sol-gel* menggunakan beberapa teknik dan bahan baku yang digunakan mahal (Putri dan Nandiyanto, 2019).

Selain menggunakan metode *sol-gel* pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dapat dilakukan dengan metode *solid stated reaction*. Metode *solid stated reaction* merupakan suatu cara yang dilakukan dengan menggabungkan padatan dengan padatan lainnya dengan suhu yang tinggi. Metode *solid state reaction* memiliki kelebihan, yaitu proses yang sederhana, ekonomis dan mudah untuk dilakukan. Metode ini merupakan metode pencampuran padatan tanpa

menggunakan medium pelarut (Chandra dan Yudanto, 2022). Pada penelitian sebelumnya tidak memiliki variasi komposisi antara Fe_3O_4 dan TiO_2 .

Maka dari itu penelitian ini dilakukan dengan variasi massa Fe_3O_4 dan TiO_2 dengan menggunakan metode *solid state reaction*. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang telah disintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui struktur kristal, ukuran kristal dan parameter kisi. Selanjutnya nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ diuji dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan sifat optik dan energi gap dari sampel untuk mengetahui $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dapat berpotensi sebagai fotokatalis. Sampel juga dikarakterisasi untuk melihat morfologi permukaan dan ukuran partikel dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*.

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Provinsi Jambi merupakan salah satu provinsi yang berpeluang untuk menghasilkan pasir besi yang diperoleh dari Sungai Batanghari. Salah satu pemanfaatan pasir besi yaitu untuk menghasilkan nanopartikel Fe_3O_4 (*Magnetite*). Fe_3O_4 dapat dimanfaatkan dalam proses penjernihan air, dan sebagai absorben logam berat pada limbah. Nanopartikel Fe_3O_4 (magnetit) ditambakkankan dengan material TiO_2 . Penelitian ini dilakukan dengan memberikan variasi massa pada Fe_3O_4 dan TiO_2 . Oleh sebab itu rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi perbandingan massa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap hasil karakterisasi XRD?
2. Bagaimana pengaruh variasi perbandingan massa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap hasil karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis?
3. Bagaimana hasil karakterisasi SEM $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi pengaruh variasi perbandingan massa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap hasil karakterisasi XRD.
2. Mengidentifikasi pengaruh variasi perbandingan massa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap hasil karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis.
3. Mengidentifikasi hasil karakterisasi SEM $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat membantu pemahaman terhadap pemanfaatan pasir besi yang terkandung dalam pasir Sungai Batanghari. Pasir besi dapat

diaplikasikan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada bidang industri, medis dan elektronik.

2. Bagi Mahasiswa

Mahasiswa mampu untuk meningkatkan kemampuan dalam melakukan proses sintesis pasir besi dan pemahaman dalam analisis hasil karakterisasi yang digunakan.

3. Bagi Pembaca

Dapat digunakan sebagai referensi penelitian fisika material. Sebagai acuan untuk peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian dengan menggunakan variabel lain sehingga memberikan wawasan bagi pembaca.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Besi

Wilayah pesisir memiliki ketersediaan bahan alam yang sangat melimpah, salah satunya adalah pasir besi. Namun, pemanfaatan pasir besi masih belum optimal. Pasir besi banyak digunakan sebagai bahan baku pabrik baja dan sebagai material bahan bangunan. Padahal pasir besi dapat diolah menjadi bahan yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, misalnya pembuatan nanopartikel. Pemanfaatan pasir besi dapat menghasilkan nanopartikel Fe_3O_4 (Magnetit). Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu bentuk oksida besi yang memiliki sifat magnetik yang kuat. Pasir yang mengandung mineral magnetit ini biasanya disebut pasir besi atau pasir hitam (Purnawan et al., 2018). Pasir besi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pasir Besi (Khairil, 2019)

Kandungan mineral yang dominan dalam pasir besi adalah magnetit (Fe_3O_4) yang biasanya ditemukan pada daerah pantai, sungai dan pegunungan vulkanik. Kandungan mineral pasir besi tersebut biasanya adalah oksida logam seperti besi, timah dan silika/kuarsa. Telah diketahui dari penelitian sebelumnya bahwa endapan pasir besi, dapat memiliki mineral-mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Mineral-mineral tersebut mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan industri (Widianto et al., 2018).

2.2 Magnetit (Fe_3O_4)

Ilmuwan pertama yang mengkaji tentang magnet adalah Willian Gilbert (1540-1603), mempublikasikan bukunya "*On The Magnet*" pada tahun 1600. Magnetit (Fe_3O_4) merupakan oksida besi campuran yang terbentuk dari reaksi antara oksida besi (II) dan besi (III) dimana hasil pencampuran ini memberikan

sifat yang unggul dibandingkan oksida besi (II) dan oksida besi (III) masing-masing (Widiyanto et al., 2018). Magnetit merupakan salah satu oksida besi yang menunjukkan kemagnetan paling kuat diantara oksida besi yang lain seperti maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Saragi et al., 2018). Kegunaan magnetit cukup banyak digunakan, diantaranya sebagai biosensor, localizer dalam terapi hyperthermia, pelindung korosi, pembuatan baja dan sebagai absorben logam-logam berat pada limbah. Daya serapnya yang besar terhadap logam didukung oleh luas permukaannya yang besar serta kemampuan merespon medan magnet sehingga memudahkan proses pemisahan absorben dari larutan (Ngatijo et al., 2020). Pasir besi yang sudah disintesis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Magnetit (Fe_3O_4)

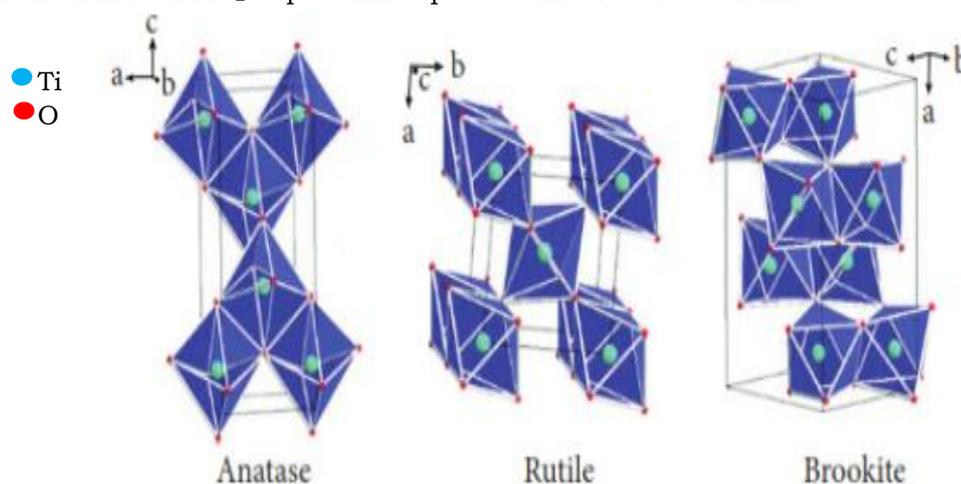
Magnetit (Fe_3O_4) adalah material mineral berupa padatan senyawa kimia homogen dan non-organik, dimana material tersebut memiliki bentuk teratur (sistem kristal) dan terbentuk secara alami. Nanopartikel magnetit telah menjadi material menarik yang dikembangkan karena sifatnya yang terkenal dan sangat potensial dalam aplikasinya dalam berbagai bidang (Puspitarum et al., 2019). Sintesis nanopartikel magnetit telah dikembangkan dengan berbagai metode, baik konvensional (seperti kopresipitasi) maupun inovatif (misalkan sol-gel, hidrotermal dan elektrokimia). Menurut Mufarriha et al., (2015) semakin tinggi massa Fe_3O_4 , perbandingan antara fase Fe_3O_4 dengan fase TiO_2 semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak Fe_3O_4 digabung dengan TiO_2 terbentuk permukaan Fe_3O_4 yang teraglomerasi dan semakin besar massa Fe_3O_4 pada sintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ maka perbandingan komposisi Fe/Ti dalam berat atom juga semakin besar.

2.3 TiO_2 (Titanium Dioksida)

Titanium dioksida (TiO_2) disebut Titania atau Titanium (IV) Oksida. Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu material yang memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki sifat optik yang baik. Senyawa ini telah

banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti fotokatalis, elektroda dalam sel surya. TiO_2 adalah material fotokatalis yang memiliki daya oksidasi yang kuat, photostabilitas yang tinggi dan selektivitas redoks (Greenwood and Earnshaw, 1997). Sifat fisis dan kimia dari TiO_2 bergantung pada ukuran, morfologi dan struktur kristalnya. TiO_2 memiliki tiga bentuk kristal yaitu sebagai berikut : *anatase*, *rutile*, dan *brookite* (Pawar et al., 2018).

TiO_2 merupakan salah satu bahan semikonduktor yang memiliki struktur semikonduktor yang dikarakterisasi oleh pita valensi yang terisi elektron dan pita konduksi yang kosong, yang dipisahkan oleh celah yang disebut sebagai energi gap. Semikonduktor TiO_2 bersifat fotoaktif dan dapat mengabsorpsi cahaya dengan Panjang gelombang berkisar 360-380 nm (Nirmalasari et al., 2022). Hal ini menyebabkan bahan tersebut dapat menyerap energi radiasi sebesar energi gap yang dimiliki, sehingga dapat meningkatkan reaksi oksidasi dan reduksi yang diinduksi oleh cahaya (Pradipta et al, 2021). Struktur kristal TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Struktur Kristal TiO_2 (a) *Rutile*; (b) *Anatase*; (c) *Brookite* (Pawar et al., 2018)

Gambar 3 menunjukkan struktur kristal TiO_2 yang dimana pada atom biru menunjukkan Ti dan O ditunjukkan oleh atom lebih kecil berwarna merah. TiO_2 adalah material semikonduktor yang baik digunakan untuk aktivitas fotodegradasi karena mempunyai energi gap yang besar yaitu 3,2 eV yang mampu menguraikan zat warna dan bersifat stabil terhadap temperatur (Batista et al., 2010). TiO_2 memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben sekaligus fotokatalis (Fauzi et al., 2019). TiO_2 memiliki sifat listrik yang baik. TiO_2 memiliki beberapa keuntungan diantaranya mudah proses sintesisnya, tidak beracun, murah, memiliki kestabilan fisik dan kimia, memiliki aktifitas tertinggi

sehingga titanium (IV) oksida sering menjadi semikonduktor yang dipakai untuk aktifitas fotokatalitik dekomposisi air (Ningsih, 2022).

2.4 Metode Kopresipitasi

Banyak metode yang telah dilakukan oleh peneliti untuk pembuatan Fe_3O_4 yang halus dan homogen, diantaranya metode kopresipitasi, solvothermal, *sol-gel*, *solid state*, sonokimia, dan lain-lain. Metode kopresipitasi dianggap sebagai metode yang paling sederhana, ekonomis dan paling efisien tinggi (Ngatijo et al., 2020). Metode kopresipitasi merupakan proses kimia yang membawa suatu zat terlarut sehingga terbentuk endapan yang diinginkan. Metode ini digunakan untuk mensintesis pasir besi menjadi nanopartikel magnetik, dan dilakukan pada suhu rendah (kurang dari 100°C), waktu yang relatif lebih cepat, peralatan yang sederhana, dan dengan memanfaatkan bahan alam yang melimpah seperti batuan besi (Hariyati, 2022).

Metode berdasarkan pada pengendapan melalui senyawa organik yang digunakan, sehingga metode ini menjadi lebih sederhana, menghasilkan distribusi ukuran butir yang relatif sama dan dapat dilakukan pada kondisi lingkungan normal atau pada suhu ruang dan waktu sintesis yang lebih singkat (Elsafitri et al., 2020). Metode kopresipitasi menggunakan larutan asam untuk melarutkan bahan utama. Penggunaan asam sebagai pelarut bertujuan agar logam besi dapat bereaksi cepat dengan HCl yang membentuk besi (II) dan gas H_2 (Prihastuti et al., 2021).

2.5 Metode Solid State Reaction

Beberapa penelitian telah berhasil mensintesis pasir besi dari bahan alam dengan berbagai metode seperti *solid state reaction* (SSR), hidrotermal, *sol-gel* dan kopresipitasi. Metode yang sering digunakan adalah *solid state reaction* karena pengerjaannya lebih mudah. Proses sintesis bahan dengan menggunakan metode *solid state reaction* lebih sederhana dibandingkan dengan metode lain. Pada metode ini dilakukan penggerusan sebagai langkah awal untuk mensintesis suatu bahan. Keunggulan dari metode ini yaitu peralatan yang digunakan sederhana dan pengolahannya yang mudah serta dapat menjaga kemurnian fasa (Arsita dan Astuti, 2016).

Metode ini digunakan karena berpotensi menghasilkan partikel dengan range ukuran mikrometer hingga nanometer, proses sintesis satu tahap juga dapat menghasilkan partikel tunggal maupun multikomponen, prosesnya juga relatif cepat dan dapat diterapkan pada bidang industri (Permatasari et al., 2017). Pada penelitian yang dilakukan oleh Ningsih et al., (2019) telah berhasil mensintesis material pasir besi dengan metode *solid state reaction* dengan

variasi lama penggerusan dan diperoleh nilai resistivitas dan konstanta dielektrik yang cukup besar.

Metode *solid state reaction* adalah cara yang dilakukan dengan mereaksikan (menggabungkan) padatan dengan padatan lainnya. Maka dari itu perlu dilakukannya perbandingan variasi massa pada bahan yang akan digunakan. Sampel yang telah diperoleh dari hasil perbandingan variasi massa dilakukan uji karakterisasi. Reaksi ini melibatkan pemanasan campuran dua atau lebih padatan untuk membentuk produk yang juga berupa padatan. Metode *solid state reaction* digunakan untuk menumbuhkan kristal tunggal yang lebih murni yang dibutuhkan pada karakterisasi (Jefriyanto, 2018).

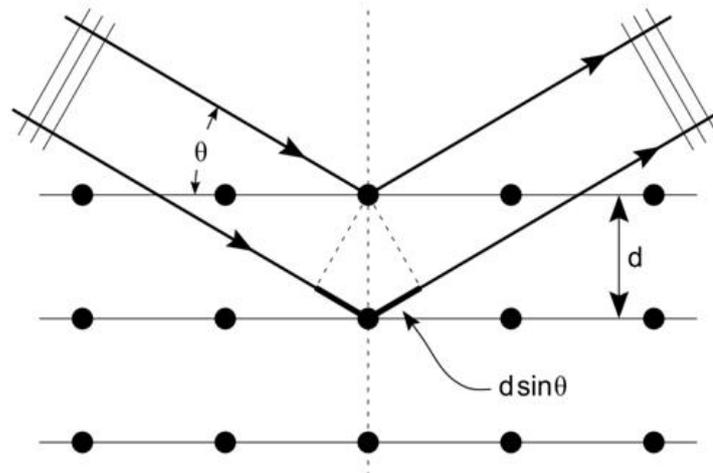
Kristalisasi merupakan suatu pembentukan partikel padatan didalam sebuah fasa homogen dan merupakan salah satu proses pemurnian dengan hasil produk berupa padatan. Dalam proses terbentuknya kristal, dimulai dengan proses nukleasi (*Nucleation*) dan pertumbuhan kristal (*crystal growth*). Pertumbuhan kristal adalah proses pembentukan molekul-molekul yang telah terbentuk setelah proses reaksi kimia. Proses nukleasi dan pertumbuhan kristal terjadi pada keadaan yang sangat jenuh. Kejenuhan ini dapat diperoleh dengan mengubah suhu, menghilangkan pelarut, atau dengan agen pendamping reaksi untuk menambah berat kristal (*drawing-out agent*). Selanjutnya material akan mencapai titik kesetimbangan melalui nukleasi dan pertumbuhan nukleasi (Arianti, 2019).

Sementara itu, pertumbuhan kristal dari inti yang berhasil mencapai ukuran cluster dari kristal. Nukleasi dan pertumbuhan kristal akan terus menerus terjadi secara bersamaan saat keadaan jenuh masih terjadi. Keseimbangan kristalisasi tercapai jika larutan induk (*mother liquor*) dalam keadaan jenuh (Perry, 1997). Distribusi ukuran kristal dipengaruhi oleh kecepatan pembentukan inti kristal dan kecepatan pembesaran kristal. Salah satu fenomena pertumbuhan kristal yaitu menggunakan metode Monte Carlo yang berpendapat bahwa pertumbuhan kristal dipengaruhi suhu, jenis pelarut dan waktu kristalisasi (Ahmadi dan Estiasih, 2021).

2.6 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X atau *X-Ray diffraction* (XRD) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal, ukuran kristal dan parameter kisi. Kristal merupakan susunan atom-atom atau kumpulan atom yang teratur dan berulang dalam ruang tiga dimensi. Sampel berupa serbuk padatan kristalnya memiliki ukuran yang kecil dengan butiran kristalnya sekitar 10^{-7} – 10^{-4} m. Prinsip kerja dari XRD berdasarkan pada senyawa yang terdiri dari susunan atom-atom yang membentuk bidang tertentu. Jika sebuah bidang

memiliki bentuk yang tertentu, maka partikel cahaya yang datang dengan sudut tertentu hanya menghasilkan pola pantulan maupun pembiasan yang khas (Setiabudi et al., 2012). Sebagai gambaran, bayangan sebuah objek membentuk pola yang sama seandainya cahaya berasal dari sudut datang yang sama seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom dan sinar datang (Alfarisa et al., 2018)

Penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal, dapat digunakan persamaan Bragg seperti pada Persamaan 1.

$$n\lambda = 2d \sin \theta ; n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan (Alfarisa et al., 2018). Lebar tiap puncak hasil difraksi sinar X menunjukkan ukuran butir Kristal. Untuk menentukan ukuran butir dapat menggunakan persamaan Scherrer, oleh karena itu diperlukan nilai FWHM (*Full Width High Maximum*) tiap puncak (Didik dan Wahyudi, 2020). Untuk mengetahui jarak antar bidang difraksi yang saling sejajar dapat ditentukan dengan persamaan 2:

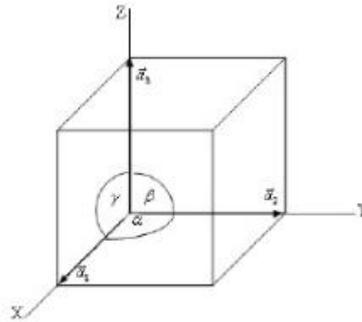
$$d_{hkl} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (2)$$

dengan d_{hkl} adalah jarak antara bidang kisi, untuk menghitung ukuran kristal digunakan persamaan Scherrer seperti pada persamaan 3.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

dimana D adalah ukuran kristal (nm), K adalah konstanta bernilai 0,94, λ adalah panjang gelombang Bragg (1,504 Å), β adalah nilai FWHM (*Full-Width*

Half Maximum)/lebar grafik (Rad) dan θ adalah sudut Bragg. Prinsip XRD yaitu didasarkan pada difraksi sinar-X, hamburan cahaya dengan panjang gelombang λ saat melewati kisi kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar bidang kristal sebesar d . Untuk mengetahui parameter kisi suatu kristal yang memiliki simetrik kubik dengan $a=b=c$ dan $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, Pola struktur kristal berbentuk kubik dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Struktur Kristal Kubik

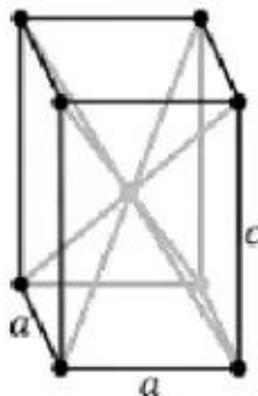
Terdapat tiga kisi pada sistem kubik yaitu, kisi kubik sederhana (simple cubic), kisi kubik pusat badan (Body-centered) (bcc) dan kisi kubik pusat muka (face-centered) (fcc). Sudut berkas dari bidang (hkl) dapat dihitung menggunakan Persamaan 4. Arah suatu bidang dapat dinyatakan dengan parameter numeriknya, yang selanjutnya dibuat menjadi bilangan bulat terkecil. Bilangan ini disebut indek Miller, yang biasanya dinyatakan dengan simbol (h k l).

$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (4)$$

Untuk mengetahui parameter kisi suatu kristal yang memiliki simetrik tetragonal, dengan $a=b \neq c$ dan $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. Maka sudut berkas dari bidang (hkl) dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (5)$$

Struktur kristal tetragonal pada sumbu a dan b mempunyai satuan panjang sama. Sedangkan sumbu c berlainan, dapat lebih panjang atau lebih pendek. Tetragonal memiliki ratio (perbandingan sumbu) $a = b \neq c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b tapi tidak sama dengan sumbu c.



Gambar 6. Struktur Kristal Tetragonal

Perhitungan rasio fasa hasil XRD dapat dihitung dengan metode Hanawalt:

$$\% \text{ Rasio fasa yang dicari} = \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \quad (6)$$

XRD adalah metode yang efektif untuk menentukan komposisi fasa dari kristal yang belum diketahui. Hasil pengujian XRD diolah dan analisis. Adapun cara pengolahan data hasil XRD, sebagai berikut:

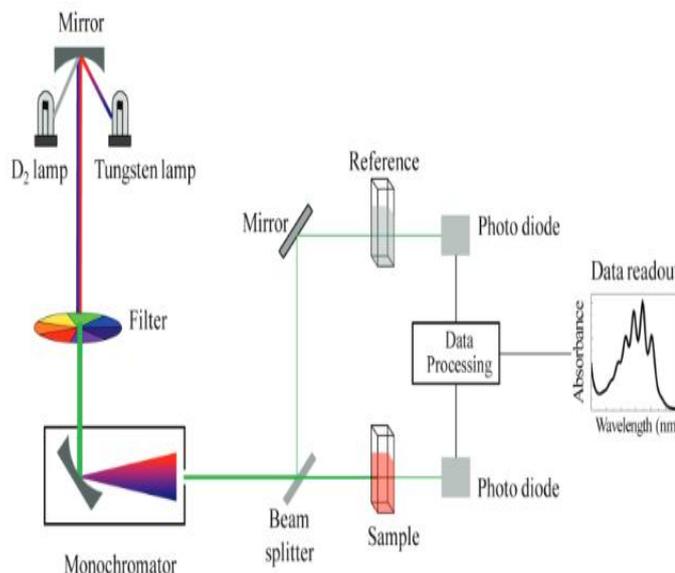
1. Data yang diperoleh di submit ke *software High Score Plus*. *Software* ini memberikan nilai FWHM, struktur kristal serta sudut 2θ yang digunakan untuk menentukan jarak antar bidang serta parameter kisi.
2. Untuk menentukan ukuran kristal, parameter kisi dan jarak antar bidang digunakan Ms. Excel. Ms. Excel dapat digunakan untuk mengolah data. Untuk mengolah data tersebut juga dimasukkan beberapa formula pada Ms. Excel.
3. Setelah data yang diolah sudah selesai, untuk membuat grafik pada tiap sampel diplot menggunakan *software ORIGIN*. *Software ORIGIN* juga dapat menentukan 2θ dan nilai FWHM.

2.7 Spektrofotometer UV-VIS (Ultra Violet-Visible)

Menurut Suhartati (2017) Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat dengan panjang gelombang 190-380 dan sinar tampak dengan panjang gelombang 380-780 dengan menggunakan instrument spektrofotometer. Prinsip dari spektrofotometri UV-Vis adalah mengukur jumlah cahaya yang diabsorpsi atau ditransmisikan oleh molekul-molekul di dalam larutan. Ketika panjang gelombang cahaya ditransmisikan melalui larutan, sebagian energi cahaya tersebut diserap (diabsorpsi).

Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas, atau uap. Untuk mendapatkan spektrum UV-

Vis yang baik perlu diperhatikan pula konsentrasi sampel. Skema Spektrofotometri UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema spektrofotometer UV-Vis (Suhartati, 2017)

Spektrofotometer UV-Vis mempunyai dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V yang disebut pemecah sinar. Sinar pertama melewati larutan blanko dan sinar kedua secara serentak melewati sampel. Sumber sinar polikromatis, untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar Visibel atau sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator pada spektrometer UV-Vis digunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik.

Sampel yang biasanya digunakan untuk spektrofotometer UV-Vis yaitu berbentuk cairan (larutan encer) walaupun penyerapan gas dan bahkan padatan juga dapat diukur. Sampel biasanya diletakan di sebuah sel transparan yang disebut kuvet. Apabila radiasi atau cahaya putih dilewatkan melalui larutan berwarna, maka radiasi dengan panjang gelombang tertentu diadsorpsi secara selektif dan radiasi lainnya diteruskan (transmisi).

Untuk mengetahui nilai energi gap dimulai dengan penentuan nilai transmitansi maksimum dan minimum, ketebalan sampel dan koefisien serap sampel. Kemudian nilai energi gap ditentukan menggunakan metode Tauc Plot. Pengukuran energi gap bertujuan untuk mengetahui besarnya selisih energi sampel yang disintesis (sampel) dengan data energi celah optik kristal pada literatur sehingga dapat dijadikan parameter keberhasilan proses sintesis

sampel. Prosedur pengukuran energi celah optik dapat dilakukan dengan beberapa pilihan bergantung pada ketersediaan instrumen yang digunakan. Namun, yang paling umum digunakan adalah metode Tauc Plot. Metode ini banyak digunakan karena instrumen yang dibutuhkan untuk mendapatkan data sederhana yaitu berupa data transmitansi dan untuk mengolah datanya cukup umum dengan hasil yang cukup akurat (Fahyuan, 2018).

Pada tahun 1966 Tauc mengusulkan metode untuk memperkirakan energi celah pita semikonduktor amorf menggunakan spektrum serapan optik. Usulannya dikembangkan lebih lanjut oleh Davis dan Mott. Metode Tauc plot didasarkan pada asumsi bahwa koefisien serapan bergantung pada energi α . Hal tersebut menunjukkan bahwa serapan optik bergantung pada perbedaan antara energi foton dan celah pita yang dinyatakan dengan persamaan.

$$(\alpha h\nu)^n = B(h\nu - E_g) \quad (7)$$

dengan α adalah koefisien serap (m^{-1}), h merupakan konstanta Plank ($6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$), B adalah konstanta, E_g adalah celah pita energi (eV).

Metode Tauc Plot merupakan sebuah metode penentuan celah pita optik dengan grafik linear hubungan E_g (eV) pada sumbu-x dan $(\alpha h\nu)^n$ sumbu-y. Metode Tauc plot merupakan penarikan garis lurus antara perkalian energi serap ($h\nu$) dengan koefisien yang diserap $(\alpha h\nu)^n$, hingga memotong sumbu energi dan di peroleh nilai celah pita energi gap. Dimana setelah dibuat grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^n$ ditarik garis yang bersinggungan dengan titik belok pada kurva, serta nilai $h\nu$ dari sumbu horizontal adalah nilai energi celah pita (Widiatannur et al, 2020). Penentuan energi gap dilakukan dengan menarik garis lurus yang menyinggung bagian linear kurva (Dandara et al, 2019).

Pengukuran transmitansi dilakukan pada panjang gelombang 200-800 nm, yaitu dimulai dari cahaya ultraviolet sampai cahaya tampak. Prosedur penentuan energi gap sampel dengan metode Tauc Plot dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan sampai didapatkannya energi gap. Prosesnya dimulai dengan menentukan nilai transmitansi maksimum dan minimum, kemudian nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai indeks bias dan ketebalan kristal menggunakan persamaan Swanepoul. Nilai indeks bias dan ketebalan sampel ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N = 2n_2 \frac{T_M - T_m}{T_M \times T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (8)$$

Indeks bias dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \quad (9)$$

dengan n_s menyatakan indeks bias kaca (1.51), T_M adalah tranmitansi maksimum, dan T_m adalah transmitansi minimum. Hasil perhitungan indeks bias digunakan untuk persamaan:

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)} \quad (10)$$

dengan d ketebalan sampel (m), λ adalah panjang gelombang pada serapan maksimum ke-1 (m), dan λ panjang gelombang pada serapan maksimum ke-2 (m). setelah ketebalan diketahui maka koefisien doping untuk masing-masing panjang gelombang dapat diketahui:

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \quad (11)$$

dengan koefisien serapan (m^{-1}), d ketebalan sampel (m), dan transmitansi (T) setiap pengukuran pada panjang gelombang tertentu. Setelah koefisien serapan diketahui, kemudian menentukan $h\nu$ dengan persamaan:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (12)$$

dengan E energi, h konstanta plank ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s), c kecepatan cahaya (3×10^8 m/s) dan λ panjang gelombang, dengan mensubsitusikan

$$\lambda = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{V_0} \quad (13)$$

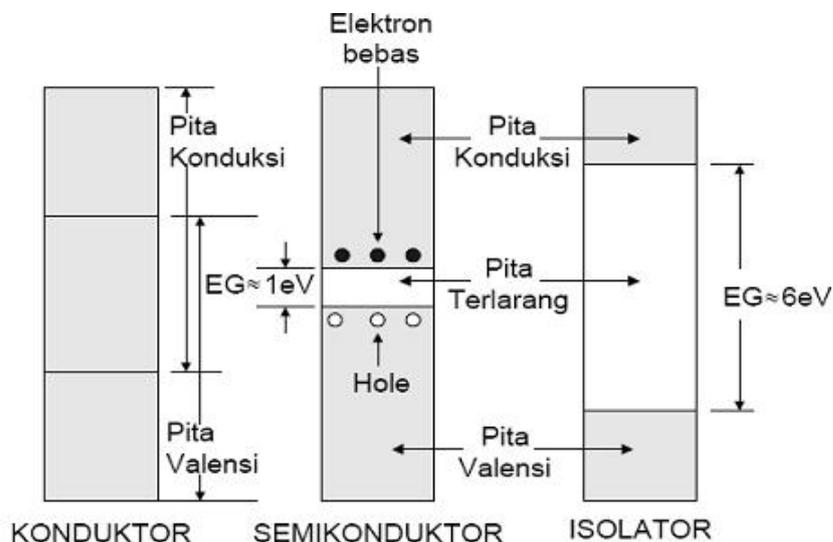
Apabila panjang gelombang minimum λ_{\min} dinyatakan dalam meter dan V_0 dalam volt maka:

$$Eg = \frac{1240 \text{ eV nm}}{\lambda} \quad (14)$$

Hasil perhitungan penentuan koefisien serap bersama dengan nilai energi serap untuk masing-masing panjang gelombang digunakan untuk membuat grafik sesuai dengan persamaan pada hukum Tauc Plot (Bilalodin, 2012). Sinar ultraviolet (UV) mempunyai rentang panjang gelombang dari 100-400 nm, sedangkan sinar tampak (Vis) 400-750 nm, sinar dimulai dari tidak berwarna-ungu-merah (Suhartati, 2017).

Semikonduktor adalah sebuah material dengan konduktivitas yang berada diantara isolator dan konduktor. Energi gap merupakan energi yang diperlukan suatu elektron untuk dapat tereksitasi. Terdapat dua pitaenergi, yaitu pita valensi dan pita konduksi. Pita valensi adalah pita energi yang mungkin diisi oleh elektron dari zat padat hingga komplit/penuh, sedangkan pita konduksi adalah pita energi yang merupakan tempat lain yang akan diisi

oleh elektron setelah pita valensi penuh. Skema Spektrofotometri UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Energi Gap

Hasil pengujian UV-Vis diolah dan analisis. Adapun cara pengolahan data hasil UV-Vis, sebagai berikut:

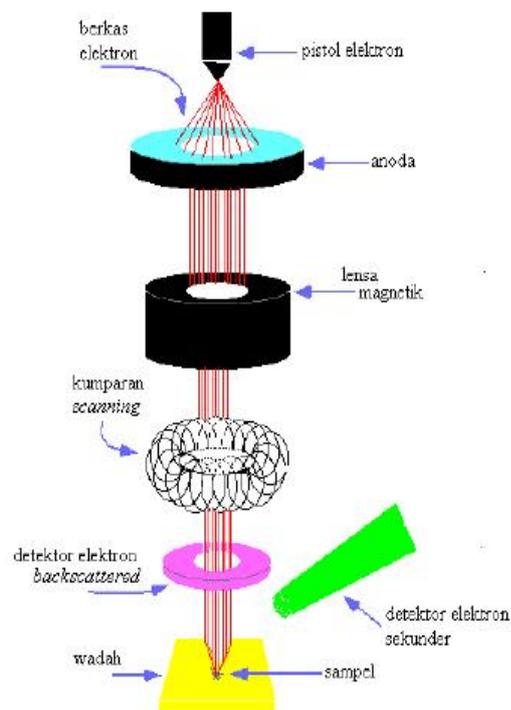
1. Data yang diperoleh dari hasil pengujian yaitu panjang gelombang dan nilai persentase Transmittan. Data yang telah diperoleh dapat langsung diplot. Data ini harus diolah terlebih dahulu menggunakan Ms. Excel.
2. Data yang ada pada Ms. Excel diolah, proses awal dimulai dengan menentukan nilai transmitasi maksimum dan minimum, selanjutnya nilai yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai indeks dan ketebalan sampel. Nilai ketebalan sampel digunakan untuk menghitung koefisien serap. Setelah perhitungan koefisien serap diperoleh dengan nilai energi serap, maka selanjutnya membuat grafik.
3. Untuk membuat grafik digunakan *software* ORIGIN dengan memplot nilai koefisien serap diperoleh dengan nilai energi serap.
4. Setelah diplot grafik maka langkah selanjutnya adalah menentukan energi gap, dengan cara menarik garis lurus pada garis yang landai, dan kemudian ditentukan nilai energi gap pada sumbu X.

2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan teknik karakterisasi material yang digunakan untuk melihat morfologi permukaan serta ukuran partikel (Charurvedi dan Dave, 2012). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk mengamati benda dengan resolusi tinggi (Yusuf et al., 2021).

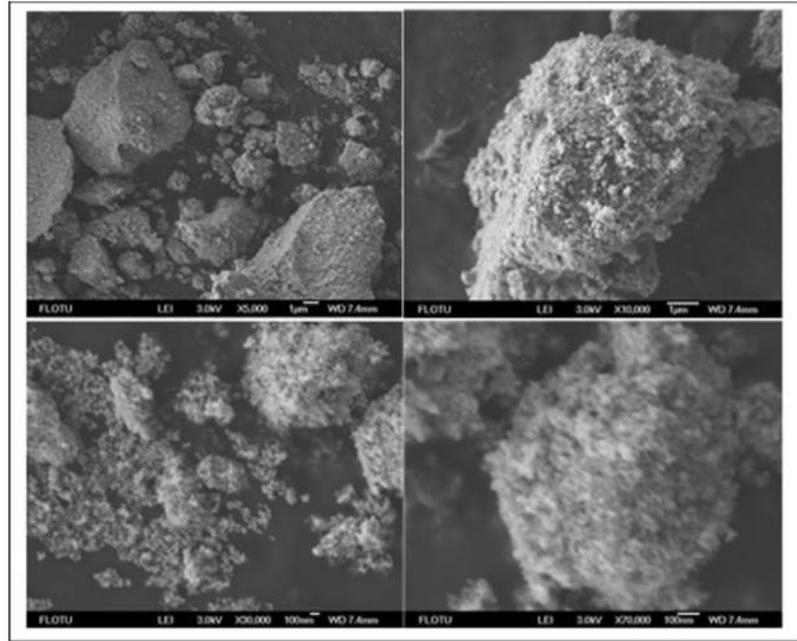
SEM adalah suatu metode yang digunakan untuk meneliti bentuk maupun struktur mikro permukaan dari suatu objek yang tidak bisa dilihat oleh mata atau mikroskop optik dengan menggunakan mikroskop elektron (Jores et al., 2004). Rentang pembesarannya yang besar dan gambarnya dalam tiga dimensi membuat hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan SEM ini menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisa.

Prinsip kerja dari SEM terdiri dari electron gun, rangkaian lensa magnetik, tempat spesimen, *scanning coils (deflection coils)*, dan detektor. Electron gun untuk menghasilkan electron beam dari filamen. Lensa magnetik digunakan dengan tujuan untuk memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan objek. Sinar elektron yang terfokus untuk memindai atau *scanning* secara keseluruhan pada objek yang diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai objek, maka terjadi hamburan elektron dari permukaan objek dan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT. Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 9.



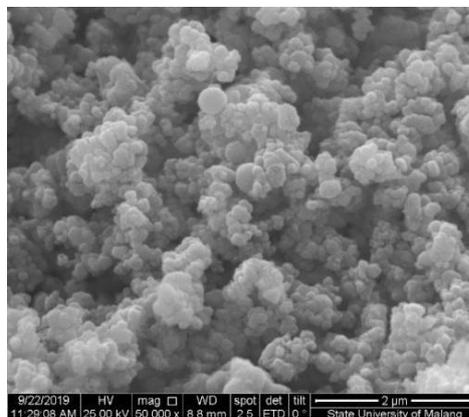
Gambar 9. Prinsip Kerja SEM (Fujishima, 2015)

Struktur morfologi Fe_3O_4 menggunakan SEM dapat ditunjukkan pada Gambar 10. Gambar 10 merupakan struktur morfologi Fe_3O_4 dengan perbesaran 5.000 kali, 10.000 kali, dan 20.000 kali.



Gambar 10. Struktur morfologi Fe_3O_4 (Thangaraj et al., 2016)

Terlihat bahwa partikel Fe_3O_4 cenderung berkumpul membentuk gumpalan. Gambar diatas menunjukkan bahwa permukaan partikel-partikel terkumpul memiliki tingkat yang bervariasi. Analisis menggunakan SEM bertujuan untuk menentukan morfologi permukaan pada nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$. Hasil analisa SEM disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Citra SEM Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (Pradipta et al., 2021)

Gambar 11 merupakan hasil citra SEM Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan perbesaran 50.000 kali. Hasil citra SEM menunjukkan bentuk morfologi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang berbentuk bulat dan kubus dengan rongga-rongga pori. Hasil citra SEM juga menunjukkan bahwa terjadi aglomerasi pada material $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$. Untuk menentukan diameter ukuran partikel dapat digunakan persamaan:

$$d = \sqrt{\frac{L. Area}{\pi}} \quad (15)$$

Hasil pengujian SEM diolah dan analisis menggunakan *software Image J*. Adapun cara pengolahan data hasil SEM, sebagai berikut:

1. Diawali dengan memilih gambar hasil SEM untuk diukur, lalu diukur ulang skala line di *Image-J*, pilih *analyse*, kemudian *set scale* lalu ok.
2. Pilih butir yang akan diukur baik horizontal, vertical dan sisi miring bagian kiri dan sisi miring bagian kanan. Setiap ukuran di Ctrl+D dan Ctrl +M. Untuk menyimpan file hasil pengukuran klik *save as* lalu olah data di excel.
3. Data partikel yang telah diperoleh kemudian diplot menggunakan ORIGIN untuk membuat grafik histogram.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Tugas Akhir Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi pada Juli hingga September 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Magnet, berfungsi untuk mengekstrak pasir Sungai Batanghari.
2. Neraca digital, berfungsi untuk menimbang pasir Sungai Batanghari.
3. *Hot Plate*, berfungsi untuk memanaskan pasir besi dan HCl.
4. *Magnetik Stirrer*, berfungsi untuk mengaduk pasir besi dan HCl.
5. Gelas ukur, berfungsi untuk mengukur volume HCl dan NH₄OH.
6. Gelas kimia, berfungsi sebagai wadah bahan kimia
7. Pipet tetes, berfungsi untuk mengambil cairan HCl dan NH₄OH.
8. Kertas saring, berfungsi untuk penyaringan ekstrak Pasir besi.
9. Mortar berfungsi untuk menghaluskan nanopartikel magnetit Fe₃O₄.
10. Cawan, berfungsi untuk meletakkan hasil sintesis nanopartikel magnetit Fe₃O₄.
11. Oven, berfungsi untuk menguapkan air yang digunakan untuk mencuci endapan.
12. XRD XPERT Pro PANalytical PW 3040/60, berfungsi untuk menganalisis struktur kristal, ukuran kristal dan parameter kisi.
13. UV-Vis (SPECORD 210 Plus), untuk menentukan sifat optik dan energi gap dari sampel.
14. SEM ThermoScientific Type Prisma E, berfungsi untuk menganalisis morfologi permukaan dan ukuran kristal.

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini :

1. Pasir besi dari Sungai Batanghari, Dusun Pasir Raya Desa Sungai Duren, Kec. Jambi Luar kota, Kab. Muaro Jambi, Jambi.
2. Ammonium solution (NH₄OH) 25%.
3. HCl (Asam Klorida) 12 M.
4. Titanium dioksida (TiO₂).
5. *Aquades*.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu: tahap pengambilan pasir Sungai Batanghari, Pembuatan Nanopartikel Fe₃O₄ dari Pasir Besi Sungai Batanghari dengan metode kopresipitasi dan pembuatan nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ dengan Metode *Solid State Reaction*. Penelitian ini dilakukan untuk

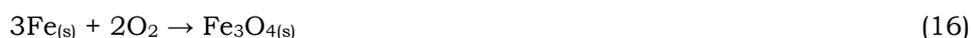
mengetahui pengaruh variasi massa pada Fe_3O_4 dan TiO_2 dengan metode *solid state reaction*. Hasil dari sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, UV-Vis dan SEM.

a. Pengambilan Pasir Besi di Sungai Batanghari

Pengambilan pasir besi dilakukan di Dusun Pasir Raya Desa Sungai Duren, Kec. Jambi Luar kota, Kab. Muaro Jambi, Jambi. Pasir Sungai Batanghari yang diambil memiliki ciri khas berwarna kehitam-hitaman. Pasir yang telah diambil dari sungai dan masih basah kemudian dikeringkan. Setelah pasir kering kemudian disaring untuk mendapatkan ukuran pasir yang lebih kecil dan seragam. Selanjutnya pasir yang telah disaring didekatkan pada magnet permanen, agar pasir besi dapat terpisah dari pasir non-besi. Proses penarikan pasir besi dilakukan berulang hingga 15 kali. Selanjutnya pasir besi akan disaring menggunakan ayakan 120 mesh dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran pasir yang lebih halus dari sebelumnya. Kemudian digerus dengan mortar, sehingga diperoleh pasir besi yang berukuran seragam. Pasir yang telah diayak selanjutnya dicuci dengan aquades sebanyak 2 kali pencucian.

b. Pembuatan Nanopartikel Fe_3O_4 dari Pasir Besi Sungai Batanghari

Pasir besi mengandung unsur besi (Fe) dan Oksigen (O_2), dengan rumus kimia yaitu Fe_3O_4 . Adapun persamaan reaksi pembentukan Fe_3O_4 sesuai dengan persamaan 16 :



Pasir besi yang telah diperoleh akan digunakan sebanyak 40 gram yang dilarutkan kedalam HCl (12 M) sebanyak 38 ml pada suhu 55°C dan diaduk sekitar 60 menit dengan menggunakan *magnetik stirrer*. Pasir besi yang ditambahkan akan bereaksi dengan HCl dan membentuk besi (II) klorida serta hidrogen.



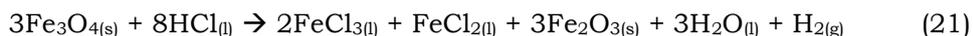
Kemudian hidrogen membentuk gas hydrogen yang selanjutnya dilepaskan.



Proses pelepasan gas hidrogen terdapat adanya gelembung-gelembung gas pada larutan. Ion Fe^{3+} akan tereduksi menjadi Fe^{2+} yang lebih mudah larut. Saat ion tersebut bereaksi dengan hidrogen maupun saat ion bereaksi dengan pasir besi.



Penggunaan HCl bertujuan untuk melarutkan Fe_3O_4 serta membantu mempercepat proses reaksi yang akan membentuk FeCl_3 , FeCl_2 dan Fe_2O_3 . Proses ini sesuai dengan Persamaan 21.



Pasir besi yang telah ditambahkan HCl akan bereaksi dan menghasilkan FeCl_3 , FeCl_2 , Fe_2O_3 , H_2O dan H_2 . Larutan yang telah terbentuk akan disaring menggunakan menggunakan kertas saring. FeCl_3 dan FeCl_2 merupakan filtrat dari proses penyaringan dan Fe_2O_3 merupakan residu. Hasil yang telah disaring berupa filtrat. Tahapan akhir dengan menambahkan NH_4OH untuk mengendapkan filtrat, filtrat ditambahkan sebanyak 73 ml NH_4OH dan diaduk selama 15 menit, kemudian didiamkan selama 1 jam, hingga diperoleh endapan. Endapan tersebut kemudian dicuci dengan menggunakan aquades sebanyak 7 kali. Proses ini disesuaikan dengan Persamaan 22.



Tujuan ditamapkannya NH_4OH untuk mendapatkan partikel Fe_3O_4 dalam ukuran nano. Endapan kemudian di oven pada suhu 100°C selama 2 jam, agar kadar air yang terdapat dari hasil endapan dapat menguap. Hasil sintesis Fe_3O_4 yang diperoleh berupa serbuk.

c. Pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan Metode *Solid State Reaction*

Selanjutnya Pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan variasi perbandingan massa Tabel 1. Kemudian sampel yang telah digabung digerus selama 2 jam hingga homogen. Kemudian sampel dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Setelah proses kalsinasi, sampel digerus kembali agar sampel yang menggumpal menjadi lebih halus.

Tabel 1. Identitas Sampel

Nama sampel	Perbandingan massa $\text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{TiO}_2$
Fe_3O_4	-
FT ₁	3:1
FT ₂	2:1
FT ₃	1:1
FT ₄	1:2
FT ₅	1:3
TiO_2	-

Pada setiap 1 nilai perbandingan pada sampel mewakili 2,5 gr. Pada sampel FT₁ perbandingan yang digunakan 3 :1 yaitu dengan komposisi bahan Fe₃O₄ sebanyak 7,5 gr dan 2,5 gr TiO₂. Perbandingan 2:1 pada sampel FT₂ memiliki komposisi sebanyak 5 gr dan 2,5 gr TiO₂. Sampel FT₃ menggunakan perbandingan 1:1 dengan komposisi bahan yang sama antara Fe₃O₄ dan TiO₂ sebanyak 2,5 gr pada tiap bahan. Pada perbandingan 1:2 sampel FT₄ memiliki komposisi sebanyak 2,5 gr Fe₃O₄ dan 2,5 gr TiO₂. Sampel FT₅ menggunakan perbandingan 1:3 dengan komposisi bahan Fe₃O₄ sebanyak 2,5 gr dan TiO₂ sebanyak 7,5 gr.

3.4 Teknik Analisa Data

Karakterisasi XRD

XRD adalah metode yang efektif untuk menentukan komposisi fasa dari kristal yang belum diketahui. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, dan ukuran kristal. Hasil keluaran dari karakterisasi menggunakan XRD adalah dalam bentuk data 2θ dan intensitas. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi.

Struktur kristal dianalisa pada rentang sudut 2θ yaitu $20^\circ - 80^\circ$. Untuk menghitung ukuran kristal digunakan persamaan Scherrer seperti pada persamaan 3. Data yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan XRD adalah difraktogram. Difraktogram menunjukkan puncak-puncak difraksi pada sudut-sudut tertentu. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan XRD, kemudian data yang diperoleh akan dibandingkan dengan data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) yang berfungsi sebagai acuan kebenaran data sampel yang dibuat. Puncak difraksi Fe₃O₄ yang diperoleh akan dicocokkan dengan JCPDS no. 19-0629. Puncak difraksi TiO₂ yang diperoleh nantinya akan dicocokkan dengan JCPDS no. 21-1272. Hasil XRD akan dianalisis menggunakan *software High Score Plus*.

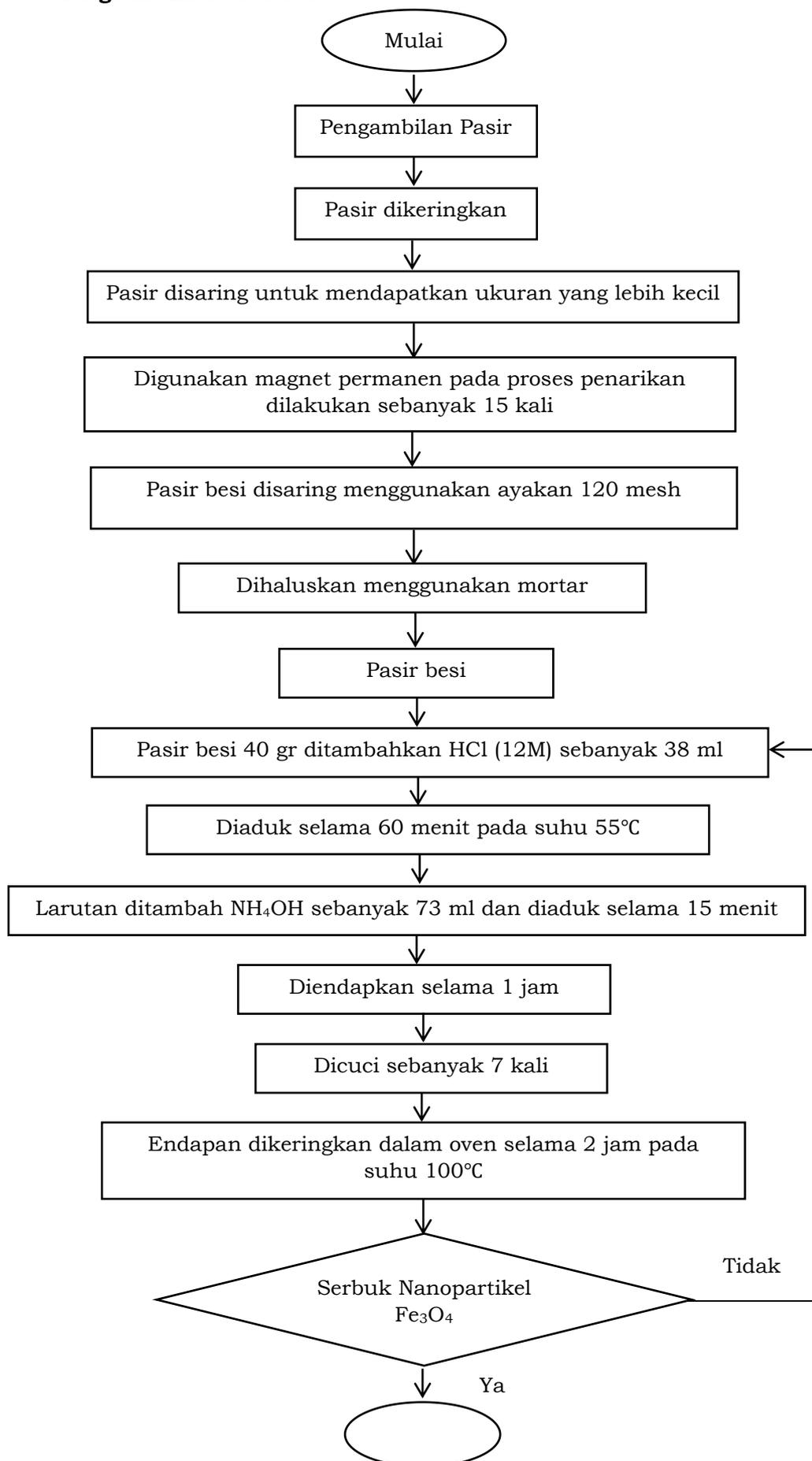
Karakterisasi UV-Vis

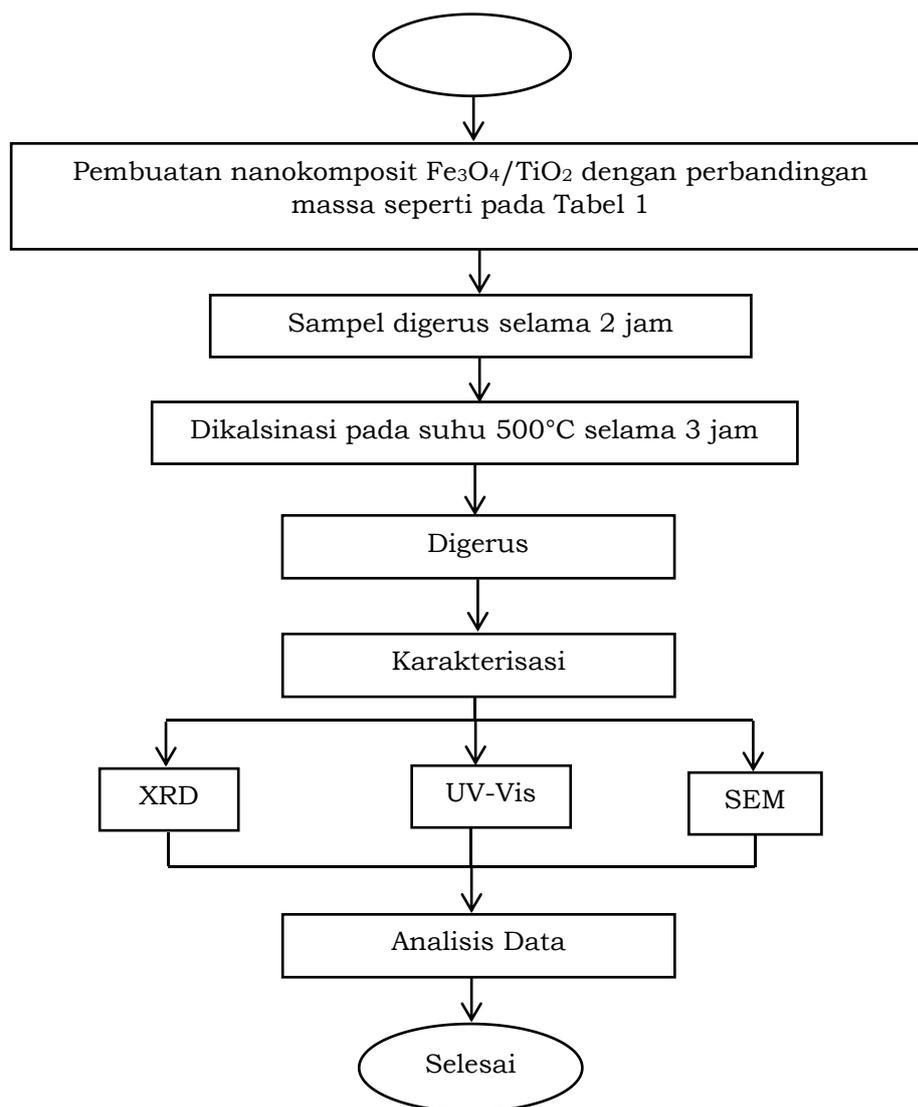
Karakterisasi dengan menggunakan UV-Vis dilakukan menentukan besarnya energi gap yang dihasilkan oleh semikonduktor hasil sintesis. Pada penelitian ini menggunakan metode Tauc Plot. Metode Tauc Plot merupakan metode untuk menentukan energi gap, dimana E_g berupa grafik. Grafik yang dibuat adalah grafik hasil antara energi yang diserap ($h\nu$) sebagai sumbu X dengan pangkat yang ditentukan $(ah\nu)^n$ sebagai sumbu Y. Perhitungan energi gap menggunakan perangkat lunak ORIGIN.9.0. Nilai energi gap merupakan nilai perpotongan garis antar sumbu X dan Y sesuai dengan persamaan Tauc Plot pada Persamaan 7.

Karakterisasi SEM

SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan ukuran partikel dalam skala mikro dan nano. SEM memiliki resolusi yang lebih besar dari mikroskop optik lain. Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur benda padat. Pada tahap ini dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat struktur morfologi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$. Hasil SEM akan dianalisis menggunakan *software ImageJ*.

3.5 Diagram Alir Penelitian



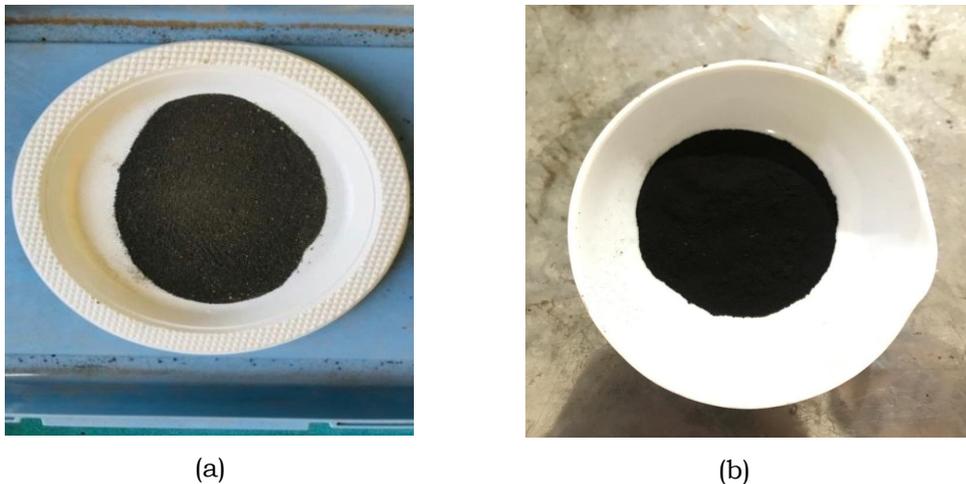


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah pasir besi yang berasal dari pasir besi Sungai Batanghari. Ciri fisik dari pasir besi yang diperoleh berupa butiran pasir dengan warna hitam mengkilat. Pasir besi yang telah dilakukan penarikan sebanyak 15 kali, kemudian dicuci dengan aquades sebanyak 2 kali dengan tujuan agar dapat mengurangi unsur pengotor dari pasir besi yang masih terikat pada saat penarikan. Sintesis nanopartikel Fe_3O_4 telah dilakukan dengan metode kopresipitasi. Untuk memperoleh nanopartikel Fe_3O_4 pasir besi diolah dengan cara, diekstrak pasir besi dari pasir besi Sungai Batanghari. Pasir besi dilarutkan dengan HCl berkonsentrasi tinggi, dengan tujuan agar logam besi dapat bereaksi cepat dengan HCl yang membentuk FeCl_3 , FeCl_2 dan Fe_2O_3 .

Menurut Wulandari, et al (2021), hasil sintesis yang diperoleh berwarna hitam sebagai indikator terbentuknya besi oksida Fe_3O_4 . Larutan berwarna hitam menunjukkan Fe_3O_4 telah terbentuk. Hasil pelarutan ekstrak pasir besi berwarna hitam pekat menunjukkan adanya kandungan besi. Larutan garam besi yang telah terbentuk kemudian diaduk dengan NH_4OH selama 15 menit dan kemudian diendapkan selama 1 jam, dan di oven selama 2 jam pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ dengan tujuan membuang kandungan air (H_2O) yang terdapat pada sampel. Hasil sintesis pasir besi ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. a) Ekstrak Pasir Besi Sungai Batanghari, (b) Hasil Sintesis Magnetit Dengan Metode Kopresipitasi

Berdasarkan gambar 12 telah dilakukan pengamatan terhadap pasir besi, sehingga dapat disimpulkan bahwa ekstrak pasir besi dan hasil sintesis memiliki perbedaan. Magnetit yang telah disintesis terlihat lebih hitam pekat dan lebih halus dibandingkan dengan ekstrak pasir besi. Pada penelitian ini

dilakukan variasi massa terhadap nanopartikel Fe_3O_4 dan TiO_2 . Material TiO_2 yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. TiO_2

Magnetit (Fe_3O_4) digabung dengan TiO_2 dengan metode *solid state reaction*, dan digerus selama 2 jam. Kemudian sampel dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 500°C . Sampel yang belum dikalsinasi berwarna keabu-abuan dan sampel yang telah dikalsinasi berwarna kecoklatan. Sampel yang diperoleh akan dikarakterisasi begitupun dengan Fe_3O_4 dan TiO_2 murni. Karakterisasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dilakukan dengan menggunakan *X-Ray diffraction* (XRD), Spektrofotometer UV-Vis dan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Hasil sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Sampel (a) Sebelum dikalsinasi; (b) Setelah dikalsinasi

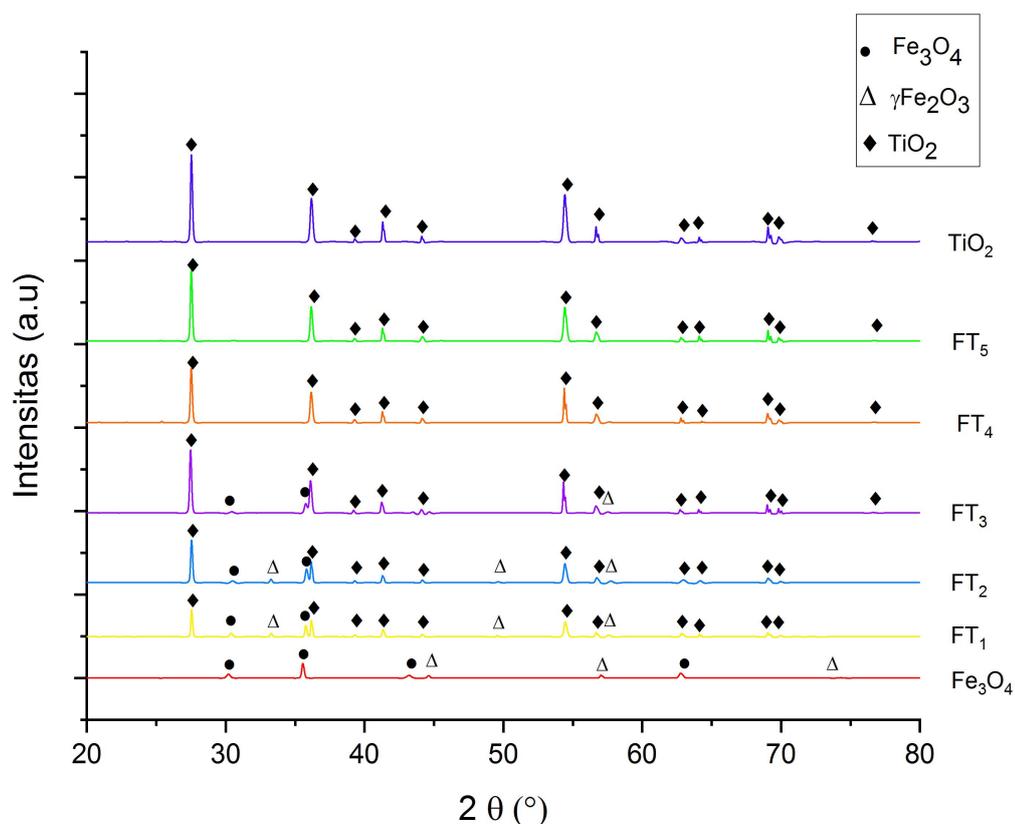
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

1. Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, dan ukuran kristal. Hasil keluaran dari karakterisasi menggunakan XRD adalah dalam bentuk data 2θ dan intensitas. 2θ merupakan sudut antara sinar datang dengan sinar pantul, sedangkan intensitas merupakan jumlah banyaknya X-Ray yang didifraksikan oleh Kisi-kisi yang dibentuk oleh atom-atom penyusun kristal. Hasil XRD dianalisis menggunakan *software High Score Plus* dan akan diplot dengan menggunakan

software ORIGIN 9.0. Dari data 2θ dan intensitas kemudian diplot dan akan membentuk difraktogram.

Karakterisasi XRD dilakukan pada 7 sampel, yaitu Fe_3O_4 , TiO_2 , FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5 . Variabel kontrol yang digunakan dalam karakterisasi adalah panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ 0.154 nm dan sudut penembakan sinar dari $20,00^\circ$ hingga $80,00^\circ$. Hasil karakterisasi keseluruhan sampel dapat dilihat pada Gambar 15. Hasil karakterisasi disesuaikan dengan JCPDS no. 19-0629 untuk fasa Fe_3O_4 dan JCPDS no. 04-0551 untuk TiO_2 fasa *rutile*. Berdasarkan gambar 15 pada Fe_3O_4 , FT_1 , FT_2 , FT_3 terdapat fasa lain yaitu Maghemit ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disesuaikan dengan JCPDS no. 39-1346.

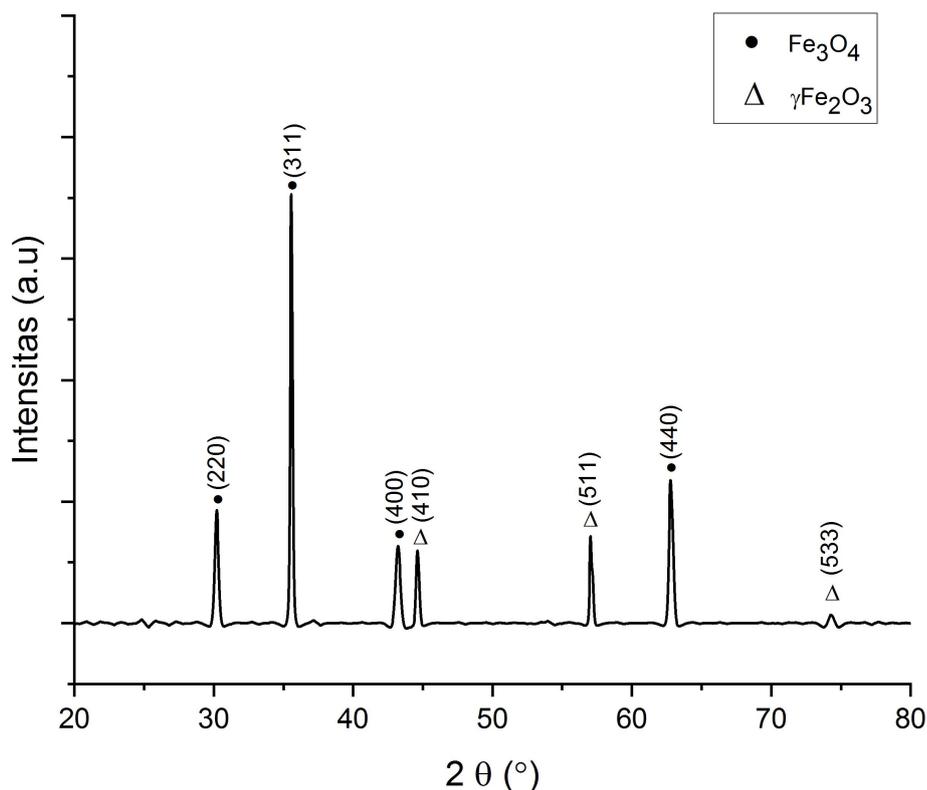


Gambar 15. Pola XRD Fe_3O_4 , TiO_2 , FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5

Berdasarkan Gambar 15 fasa-fasa yang muncul dari kurva difraksi, yaitu Fe_3O_4 , $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan TiO_2 . Pada grafik Fe_3O_4 terlihat bahwa puncak difraksi didominasi oleh fasa Fe_3O_4 , namun terdapat dua puncak yang menunjukkan fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$. Maghemit ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang muncul disebabkan oleh Fe_3O_4 yang mudah teroksidasi dengan udara sehingga dapat berubah menjadi fasa lain (Kustomo, 2020). Grafik TiO_2 murni menunjukkan puncak-puncak difraksi milik TiO_2 dengan fasa *rutile*. Sampel FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5 merupakan hasil penggabungan antara Fe_3O_4 dengan TiO_2 dengan variasi massa sesuai Tabel 1. Pada sampel FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5 menunjukkan fasa TiO_2 yang lebih

dominan daripada Fe_3O_4 . Hal ini ditunjukkan dengan puncak-puncak difraksi yang muncul, dengan membandingkan Gambar 15 terlihat intensitas puncak pola difraksi Fe_3O_4 menurun dengan adanya penggabungan TiO_2 .

Kurva difraksi Fe_3O_4 murni ditunjukkan pada gambar 16. Fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ yang terdapat didalam sampel hanya dalam skala kecil karena sampel yang diperoleh dari proses sintesis didominasi warna hitam pekat yang menunjukkan ciri dari Fe_3O_4 . Pada sampel Fe_3O_4 menunjukkan puncak-puncak yang memperlihatkan pola difraksi yang didominasi oleh magnetit.

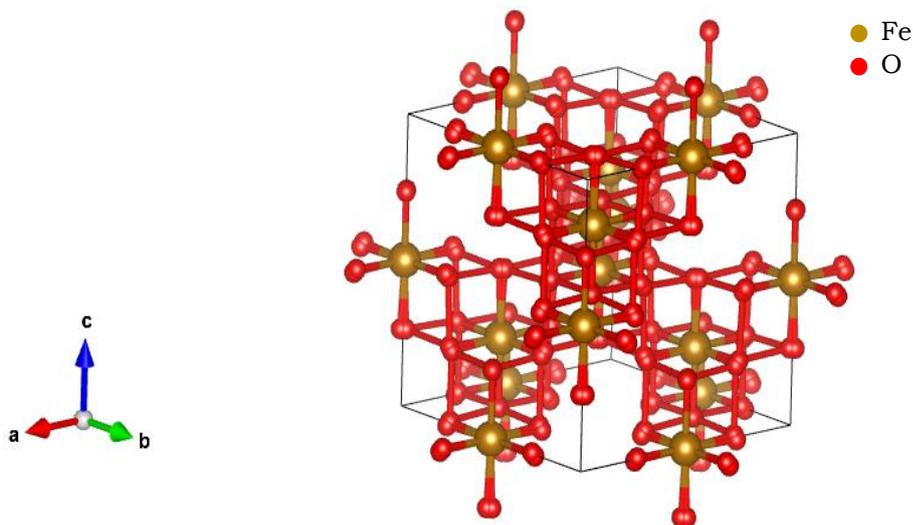


Gambar 16. Grafik Fe_3O_4

Berdasarkan Gambar 16 menunjukkan bahwa Fe_3O_4 memiliki pola difraksi dengan intensitas tinggi pada 2θ adalah 30.18° ; 35.54° ; 43.18° dan 62.73° yang berturut-turut memiliki puncak difraksi hkl (220), (311), (400) dan (440). Adanya puncak-puncak tersebut menunjukkan bahwa struktur kristal Fe_3O_4 memiliki struktur kubik spinel. Selain itu hasil analisa XRD pada gambar 13 juga diperoleh puncak lain yang menunjukkan adanya fasa selain Fe_3O_4 . Puncak yang diidentifikasi, yaitu fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ terdapat pada posisi 2θ adalah 44.57° ; 57.05° ; dan 74.23° . Memiliki difraksi hkl berturut-turut (410), (511) dan (533).

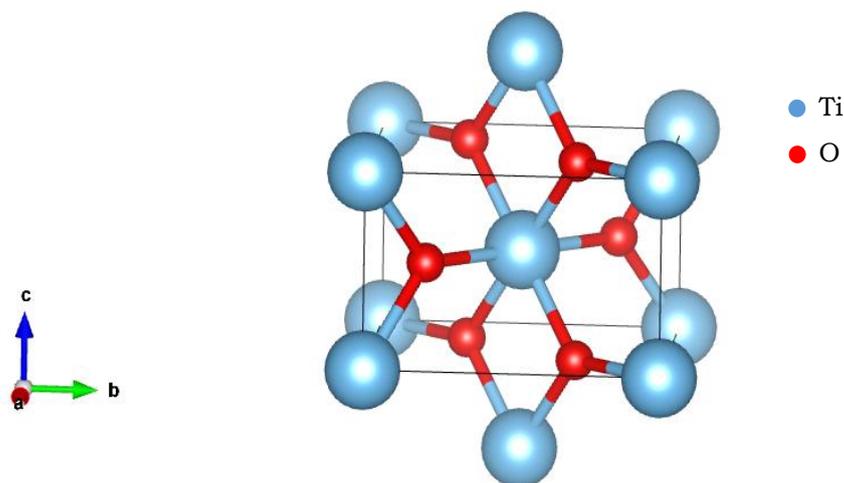
Hasil pengujian XRD fasa Fe_3O_4 memiliki struktur kristal bentuk kubik. Struktur kristal kubik pada sampel Fe_3O_4 dapat dilihat pada gambar 17.

Parameter kisi suatu kristal yang memiliki simetri kubik dengan $a=b=c$ dan $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$.



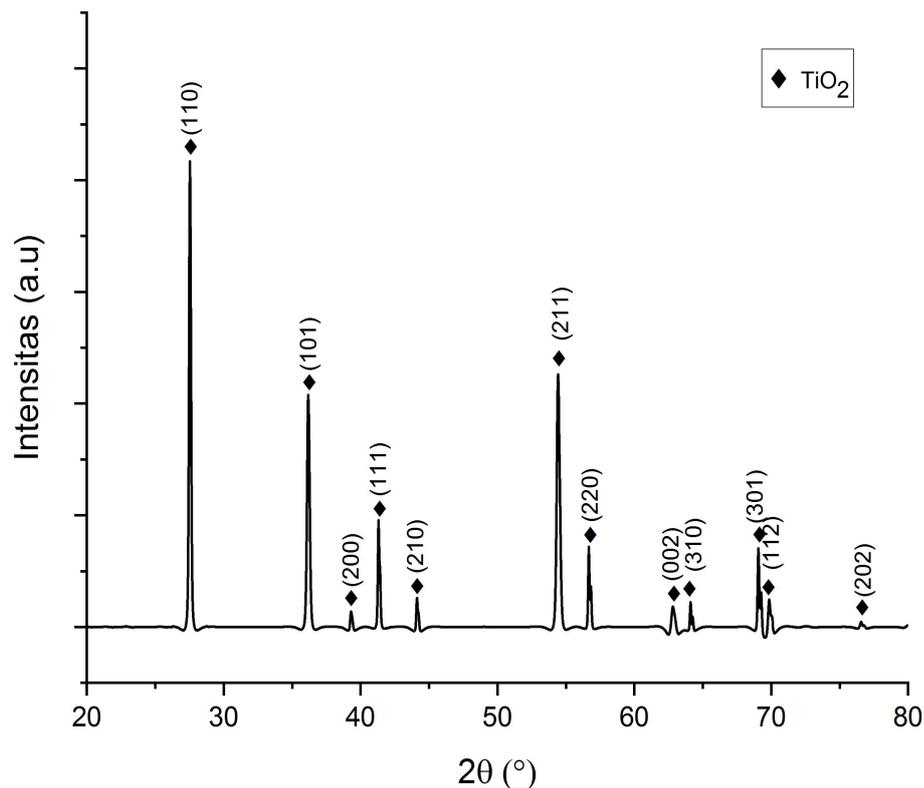
Gambar 17. Struktur Kristal Fe_3O_4 berbentuk Kubik

Selain itu dilakukan juga karakterisasi terhadap TiO_2 murni. Hasil pengujian XRD yang telah dianalisis diperoleh fasa TiO_2 yang telah disesuaikan dengan data JCPDS, dengan begitu struktur kristal yang terbentuk dari TiO_2 *rutile* yaitu tetragonal. Struktur kristal tetragonal pada sampel TiO_2 dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Struktur Kristal TiO_2 berbentuk Tetragonal

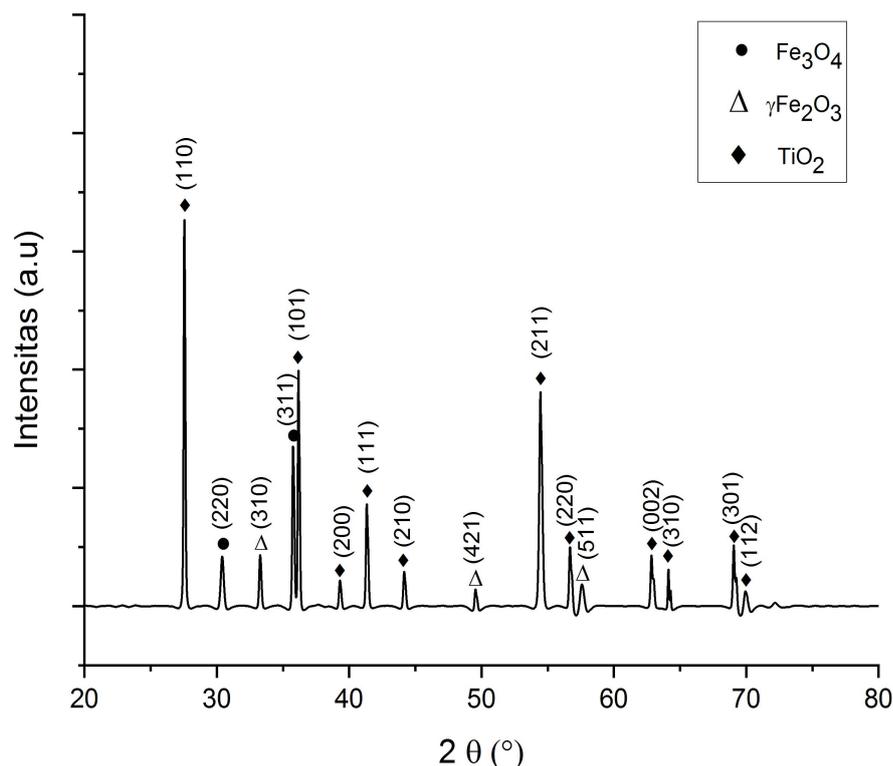
Gambar 18 menunjukkan struktur kristal TiO_2 berbentuk Tetragonal yang dimana pada atom warna biru menunjukkan atom Ti dan warna merah menunjukkan atom O. Untuk melihat fasa yang muncul pada sampel TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik TiO₂

Berdasarkan gambar 19 dapat dilihat bahwa puncak tertinggi terdapat pada bidang (110). Hasil uji XRD dari sampel TiO₂ menunjukkan puncak-puncak TiO₂ yang telah disesuaikan dengan data JCPDS no. 04-0551. Pola difraksi menunjukkan puncak dengan intensitas tinggi pada 2θ adalah 27.52° ; 36.15° ; 39.27° ; 41.31° ; 44.11° ; 54.38° ; 56.68° ; 62.82° ; 64.09° ; 69.06° ; 69.86° dan 76.63° yang berturut-turut memiliki puncak difraksi hkl (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (301), (112) dan (202).

Sampel FT₁ merupakan gabungan kedua bahan yaitu, Fe₃O₄ dan TiO₂. Penggabungan kedua bahan dilakukan dengan variasi massa 3:1, dengan komposisi bahan sebanyak 7,5 gr Fe₃O₄ dan 2,5 gr TiO₂. Sampel yang telah digabung dan digerus selama 2 jam hingga serbuk tercampur rata. Hasil uji XRD pada sampel FT₁ dapat dilihat pada Gambar 20.



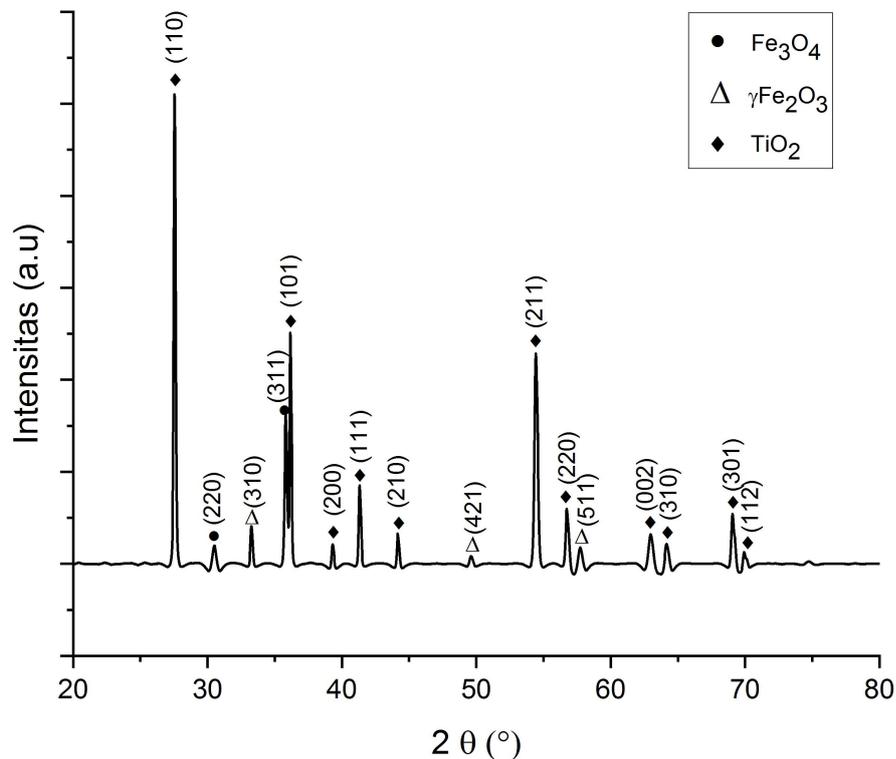
Gambar 20. Grafik FT₁

Berdasarkan hasil pengujian XRD yang dilakukan diperoleh puncak Fe_3O_4 pada posisi 2θ adalah 30.39° dan 35.79° . Indeks hkl dari puncak berturut-turut (220) dan (311). Keberadaan fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ pada posisi 2θ adalah 33.26° ; 49.53° ; dan 57.48° . Indeks hkl dari puncak-puncak $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ berturut-turut (310), (421) dan (511). Puncak TiO_2 dapat dilihat pada posisi 2θ adalah 27.54° ; 36.15° ; 39.29° ; 41.32° ; 44.14° ; 54.39° ; 56.70° ; 62.97° ; 64.10° ; 69.07° dan 69.87° . dengan indeks hkl (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (301) dan (112).

Pada sampel FT₁ fasa TiO_2 lebih dominan dibandingkan dengan fasa Fe_3O_4 . Hal ini dikarenakan TiO_2 *rutile* lebih stabil pada temperatur tinggi. TiO_2 merupakan bahan semikonduktor yang memiliki kestabilan fisik dan kimia yang baik serta memiliki daya hampur yang kuat sebagai bubuk (Nasution dan Aida, 2018). Fasa TiO_2 yang digunakan menunjukkan puncak-puncak dari pola difraksi yang terbentuk menyerupai TiO_2 , sedangkan fasa Fe_3O_4 menurun setelah digabung dengan TiO_2 . Pada Gambar 20 terlihat intensitas TiO_2 yang lebih tinggi dari pada Fe_3O_4 . Menurut Pradipta et al., (2021) Fe memiliki intensitas yang rendah dan Ti memiliki intensitas yang tinggi, sehingga menunjukkan bahwa TiO_2 memiliki intensitas lebih tinggi daripada Fe_3O_4 .

Selain pada sampel FT₁, sampel gabungan pada FT₂ juga menunjukkan fasa-fasa yang sama, yaitu Fe_3O_4 , $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan TiO_2 . Sampel gabungan ini terdiri dari 5 gr Fe_3O_4 dan 2,5 gr TiO_2 . Dengan seiring berkurangnya massa Fe_3O_4

maka kemunculan fasa Fe_3O_4 semakin menurun. Sedangkan fasa TiO_2 tetap dominan, hasil Uji XRD dapat dilihat pada Gambar 21, yaitu grafik FT₂.



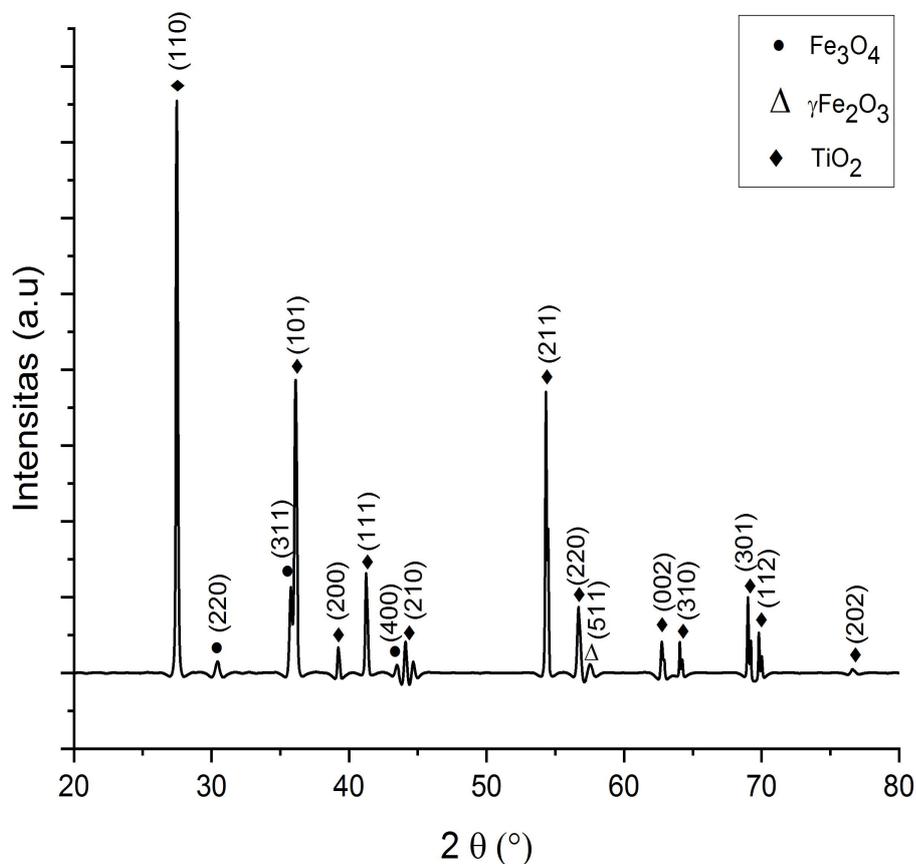
Gambar 21. Grafik FT₂

Berdasarkan Gambar 21 menunjukkan hasil Uji XRD diperoleh puncak Fe_3O_4 pada posisi 2θ adalah 30.47° dan 35.80° . Nilai hkl dari puncak-puncak berturut-turut (220) dan (311). Selain itu keberadaan fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ yang teridentifikasi terdapat pada posisi 2θ adalah 33.24° ; 49.62° ; dan 57.68° . Nilai hkl dari puncak-puncak $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ berturut-turut (310), (421) dan (511). Puncak TiO_2 dapat dilihat pada posisi 2θ adalah 27.53° ; 36.15° ; 39.28° ; 41.30° ; 44.14° ; 54.38° ; 56.68° ; 62.93° ; 64.10° ; 69.07° dan 69.85° , dengan nilai hkl (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (301) dan (112). Hasil difraktogram pada sampel FT₂ menunjukkan perbedaan jika dibandingkan dengan difraktogram pada Fe_3O_4 dan FT₁, yaitu intensitas dari puncak $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ semakin menurun dan terjadi pergeseran 2θ .

Pada sampel FT₂ fasa TiO_2 lebih dominan dibandingkan dengan fasa Fe_3O_4 . Fasa TiO_2 yang digunakan menunjukkan puncak-puncak dari pola difraksi yang terbentuk semakin menyerupai TiO_2 , sedangkan fasa Fe_3O_4 semakin menurun setelah digabung dengan TiO_2 . Hal ini salah satunya disebabkan oleh massa Fe_3O_4 yang digunakan semakin berkurang.

Pada sampel FT₃ digunakan massa yang sama antara kedua bahan yaitu 2,5 gr pada tiap bahan dengan perbandingan 1:1. Pada grafik hasil analisis

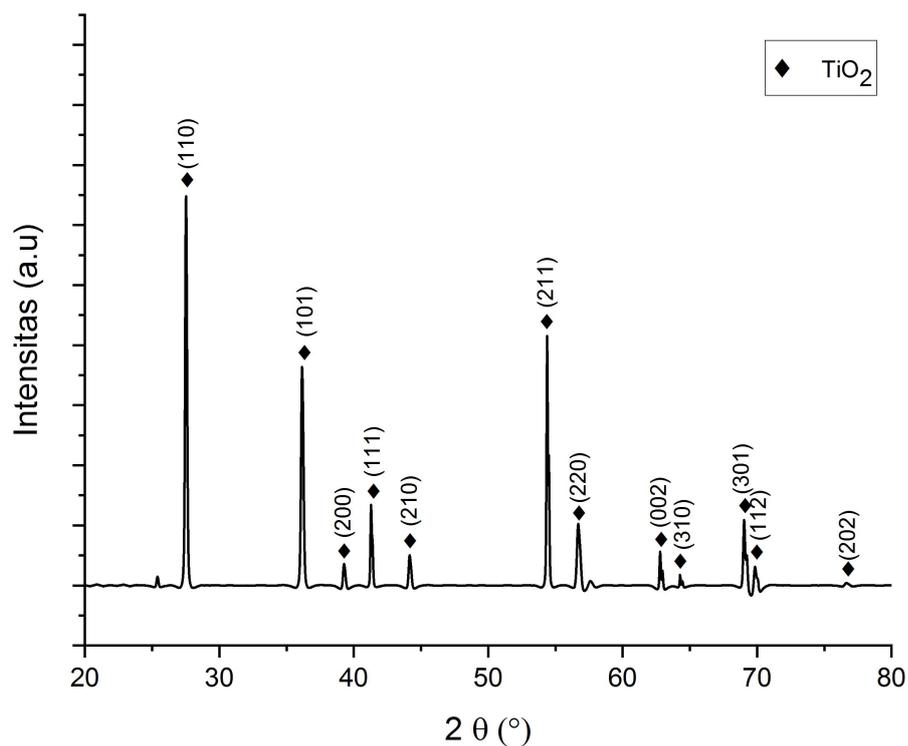
masih terdapat satu puncak yang menunjukkan $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$. Grafik Hasil Pengujian XRD pada sampel FT₃ dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik FT₃

Hasil pengujian XRD yang dilakukan diperoleh fasa yang muncul pada sampel FT₃ yaitu Fe₃O₄, $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan TiO₂. Grafik FT₃ menunjukkan fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ yang semakin berkurang, hal ini dikarenakan bahan Fe₃O₄ yang digunakan semakin sedikit. Fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ terdapat pada posisi 2θ adalah 57.46° dengan nilai hkl dari puncak $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ adalah (511). Fasa Fe₃O₄ teridentifikasi pada posisi 2θ adalah 30.40° ; 35.73° dan 43.46° yang memiliki puncak difraksi hkl (220), (311) dan (400). Fasa TiO₂ yang didominasi terdapat pada posisi 2θ adalah 27.46° ; 36.08° ; 39.22° ; 41.23° ; 44.07° ; 54.31° ; 56.62° ; 62.76° ; 64.05° ; 69.00° ; 69.80° dan 76.59° yang memiliki puncak difraksi hkl (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (301), (112) dan (202).

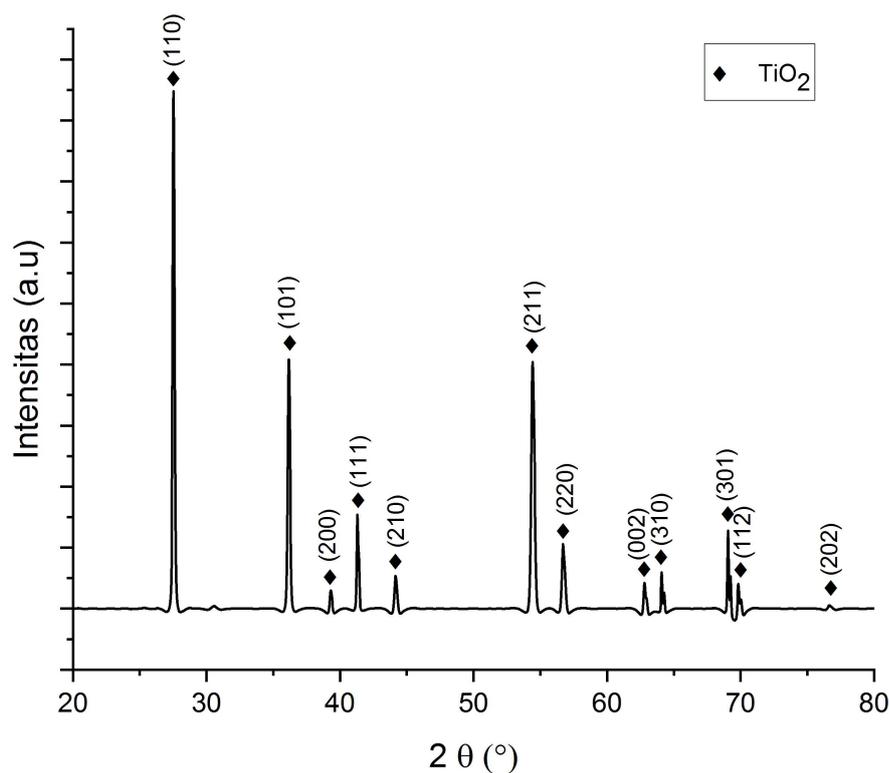
Hasil difraktogram pada sampel FT₃ menunjukkan perbedaan jika dibandingkan dengan difraktogram FT₁ dan FT₂, yaitu intensitas dari puncak Fe₃O₄ dan $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ semakin menurun. Penurunan intensitas pada fasa Fe₃O₄, disebabkan oleh variasi perbandingan massa. Dimana semakin bertambahnya massa TiO₂, maka keberadaan fasa Fe₃O₄ dan $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ pun semakin menurun.



Gambar 23. Grafik FT₄

Untuk sampel FT₄ pada Gambar 23 fasa yang muncul hanya milik fasa TiO₂. Dimana pada sampel FT₄ perbandingan massa yang digunakan yaitu 1:2 dengan komposisi bahan 2,5 gr Fe₃O₄ dan 5 gr TiO₂. Grafik hasil uji XRD sampel FT₄ dapat dilihat pada gambar 17. Pola difraksi menunjukkan puncak dengan intensitas tinggi pada 2θ adalah 27.51° ; 36.13° ; 39.26° ; 41.29° ; 44.10° ; 54.37° ; 56.67° ; 62.79° ; 64.08° ; 69.05° ; 69.85° dan 76.64° yang berturut-turut memiliki puncak difraksi hkl (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (301), (112) dan (202). Puncak-puncak difraksi tersebut merupakan ciri khas TiO₂ *rutile* sesuai dengan JCPDS no.04-0551.

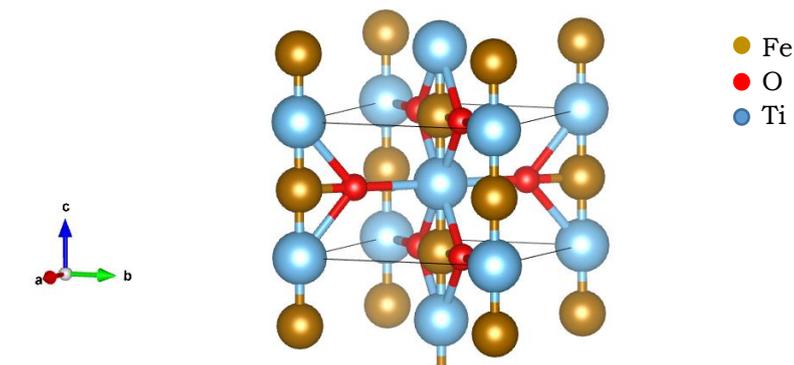
Keberadaan TiO₂ meningkat seiring bertambahnya massa TiO₂ pada sampel. Hal ini menyebabkan dominasi TiO₂ terhadap Fe₃O₄ semakin meningkat. Pada grafik XRD terlihat tidak ada puncak milik Fe₃O₄ namun intensitas puncak difraksi TiO₂ pada sampel FT₄ masih lebih rendah daripada TiO₂ murni, yang mana hal tersebut menandakan masih adanya fasa Fe₃O₄ pada sampel. Berdasarkan Gambar 15 puncak kristal Fe₃O₄ cenderung lebih rendah dibandingkan dengan TiO₂ murni. Hal ini menyebabkan, saat Fe₃O₄ digabung TiO₂ keberadaan puncak difraksi Fe₃O₄ mengalami kesulitan untuk dideteksi oleh XRD.



Gambar 24. Grafik FT₅

Sampel gabungan FT₅ digunakan perbandingan masa yaitu 1:3, dengan komposisi bahan 2,5 gr Fe₃O₄ dan 7,5 gr TiO₂. Hasil uji XRD pada sampel FT₅ dapat dilihat pada gambar 18. Pola difraksi yang muncul pada FT₅ didominasi oleh fasa TiO₂. Adanya puncak-puncak tersebut menunjukkan bahwa struktur kristal TiO₂ pada FT₅ merupakan struktur tetragonal. Fasa TiO₂ yang teridentifikasi pada 2θ adalah 27.51°; 36.13°; 39.28°; 41.29°; 44.14°; 54.38°; 56.68°; 62.81°; 64.09° 69.05°; 69.84° dan 76.64° yang berturut-turut memiliki puncak difraksi hkl (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (301), (112) dan (202). Berdasarkan Gambar 24 terlihat puncak difraksi Fe₃O₄ juga tidak muncul sedangkan intensitas puncak TiO₂ meningkat.

Sampel gabungan FT₁, FT₂, FT₃, FT₄ dan FT₅ memiliki struktur kristal seperti gambar 25. Gambar 25 menunjukkan struktur kristal FT₁, FT₂, FT₃, FT₄ dan FT₅ berbentuk tetragonal yang dimana pada atom warna biru menunjukkan atom Ti, atom warna merah menunjukkan atom O dan atom warna emas menunjukkan atom Fe.



Gambar 25. Struktur Kristal FT₁, FT₂, FT₃, FT₄ dan FT₅

Setelah ditentukan nilai hkl dari tiap-tiap sampel selanjutnya akan ditentukan parameter kisi dari seluruh sampel. Pada sampel Fe₃O₄ memiliki struktur kristal berbentuk spinel, nilai parameter kisinya yaitu $a=b=c$ dan $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, maka sudut berkas dari bidang (hkl) dapat dihitung menggunakan Persamaan 4. Sedangkan pada sampel FT₁, FT₂, FT₃, FT₄, FT₅ dan TiO₂ memiliki struktur kristal tetragonal dimana nilai $a=b \neq c$ dan $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ maka sudut berkas dari bidang (hkl) dapat dihitung menggunakan Persamaan 5. Ukuran kristal dan parameter kisi dari ketujuh sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Kisi dan Ukuran Kristal

Sampel	2 θ ($^\circ$)	d [Å]	Parameter Kisi		Ukuran Kristal (nm)
			a	c	
Fe ₃ O ₄	35,54	2,52	8.357	-	42.549
FT ₁	27,54	3,23	4.56	2.93	83.476
FT ₂	27,53	3,23	4.56	2.93	66.766
FT ₃	27,46	3,24	4.58	2.93	66.756
FT ₄	27,51	3,24	4.58	2.93	66.763
FT ₅	27,51	3,24	4.58	2.93	66.763
TiO ₂	27,52	3,24	4.58	2.93	66.765

Dari Tabel 2 dapat dilihat pada ukuran kristal Fe₃O₄ memiliki ukuran kristal paling kecil diantara sampel yang lain yaitu 42.549 nm. Sedangkan pada sampel FT₁ memiliki ukuran kristal paling besar yaitu 83.476 nm. Sampel FT₂ menggunakan massa Fe₃O₄ yang lebih banyak dari pada TiO₂ dengan ukuran kristal yang diperoleh menyerupai ukuran kristal TiO₂. Hal ini dikarenakan TiO₂ lebih mendominasi sampel FT₂. Hal ini dapat dinyatakan dari struktur kristal dan parameter kisi yang terdapat pada sampel menyerupai TiO₂. Sampel FT₃, FT₄ dan FT₅ memiliki ukuran kristal kisaran 66.7 nm. Hal ini dapat dinyatakan ketika massa Fe₃O₄ berkurang maka ukuran kristal berada pada kisaran 66,7 yang nilai ukuran kristalnya sama dengan TiO₂. Parameter kisi sampel Fe₃O₄

diperoleh 8.376 untuk $a=b=c$. Sedangkan pada sampel TiO_2 dan sampel gabungan nilai $a=b$ berada pada 4.56 dan 4.58, pada nilai c memiliki nilai parameter kisi yang sama yaitu 2,93. Menurut Ihwani, (2022) variasi massa tidak terlalu mempengaruhi parameter kisi kristal. Parameter kisi pada sampel FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5 ditentukan dari intensitas tertinggi dari tiap sampel.

Berdasarkan uji XRD ditemukan fasa lain pada sampel. Untuk mengetahui persentase rasio pada tiap fasa dapat dihitung menggunakan Metode Hanawalt pada persamaan 6. Rasio fasa yang telah dihitung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rasio Fasa

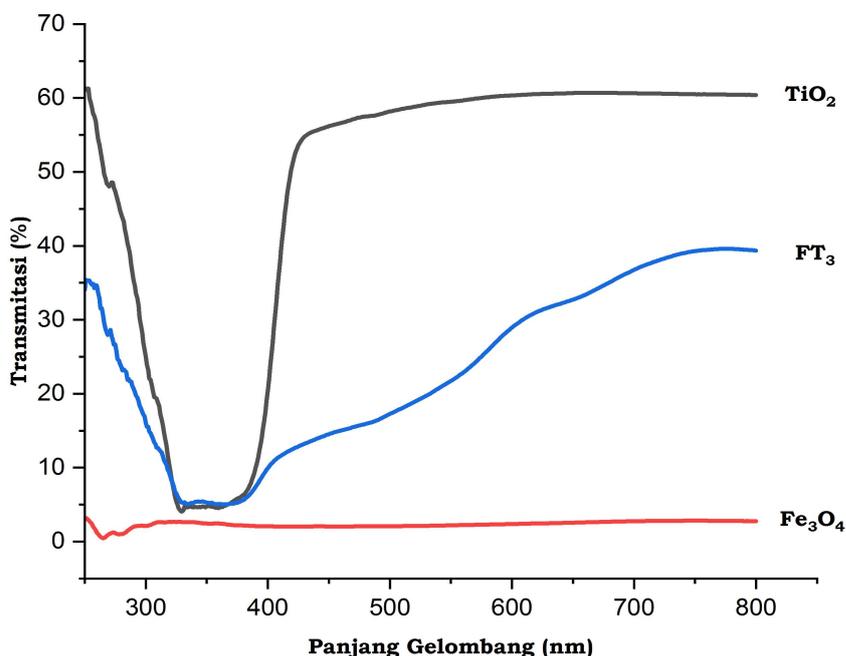
Sampel	Rasio Fe_3O_4	Rasio $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	Rasio TiO_2
Fe_3O_4	82.28 %	17.71 %	-
FT_1	13.75 %	5.48 %	80.75 %
FT_2	11.59 %	3.92 %	84.47 %
FT_3	6.22 %	0.43 %	93.21%
FT_4	-	-	100 %
FT_5	-	-	100 %
TiO_2	-	-	100 %

Dari persentase rasio fasa yang diperoleh dapat dinyatakan pada sampel Fe_3O_4 fasa Fe_3O_4 masih dominan yaitu sebesar 82,28% dan fasa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 17.71%. Sedangkan pada sampel gabungan, yaitu sampel FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5 persentase rasio fasa sudah didominasi oleh TiO_2 . Seiring dengan penambahan komposisi bahan TiO_2 maka persentase rasio fasa pada Fe_3O_4 dan $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ juga semakin berkurang. Begitupun pula dengan semakin banyak massa Fe_3O_4 yang digunakan persentase rasio fasa pada $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ juga semakin meningkat. Pada sampel FT_4 dan FT_5 diperoleh persentase rasio fasa sebesar 100%, hal ini dikarenakan pada puncak yang muncul hanya ada fasa TiO_2 . Sampel TiO_2 murni memiliki persentase rasio fasa 100%.

Hasil karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui kristalinitas dari fotokatalis yang dihasilkan. Kinerja fotokatalis yang baik memiliki ukuran kristal nanometer, dalam rentang 10-100 nm ukuran kristal ini dianggap optimal karena luas permukaan yang besar untuk reaksi fotokatalitik (Cheng et al., 2022). Rasio fase pada fotokatalis mempengaruhi kinerja fotokatalis dalam suatu proses katalisis. Rasio fasa yang optimal (memiliki persentasi yang lebih tinggi) dapat menjadi faktor untuk meningkatkan efisiensi fotokatalisis. Pada sampel gabungan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ memiliki rasio fasa yang lebih tinggi dari pada Fe_3O_4 . Sehingga sampel FT_1 , FT_2 , FT_3 , FT_4 dan FT_5 dapat dimanfaatkan pada proses fotokatalis.

2. Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV- Vis (*Ultra Violet-Visible*)

Spektrofotometer UV- Vis digunakan untuk menentukan nilai energi gap. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian sampel dengan panjang gelombang 200-800 nm. Panjang gelombang 200-400 merupakan ranah *ultra violet* dan panjang gelombang 400-800 nm merupakan jangkauan untuk cahaya tampak. Data yang diperoleh berupa data transmisi yang diolah dengan menggunakan persamaan *swaneapol* untuk menentukan nilai indeks dan ketebalan sampel yang digunakan untuk menentukan nilai energi gap dengan menggunakan Metode Tauc Plot. Data transmisi variasi sampel yang diuji adalah Fe_3O_4 , TiO_2 dan FT_3 . Kurva grafik dari seluruh sampel dapat dilihat pada Gambar 26.

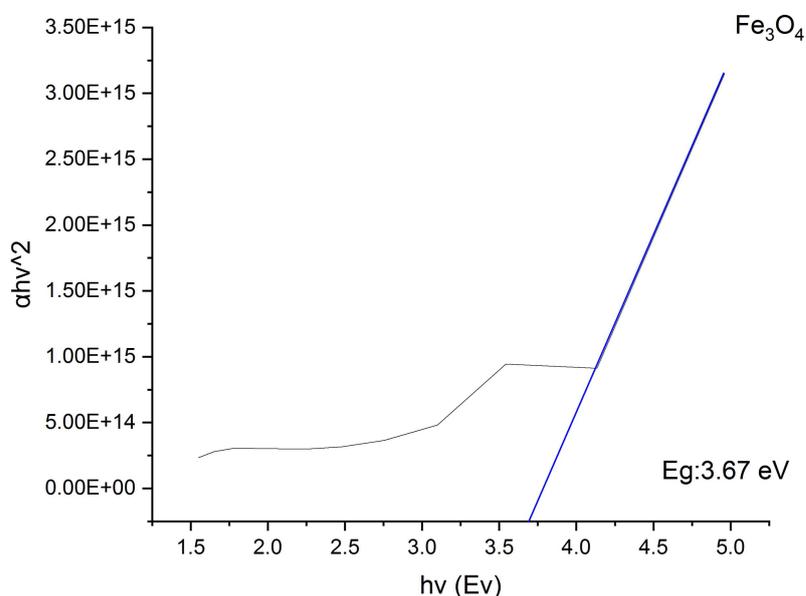


Gambar 26. Spektrum Transmisi Fe_3O_4 , TiO_2 dan FT_3

Gambar 26 merupakan grafik hasil panjang gelombang dengan data transmisi pada tiap sampel yang di plot pada ORIGIN. Data transmisi terdiri dari data transmisi maksimum dan minimum (TM_1 , TM_2 , Tm_1 dan Tm_2). Nilai transmisi yang telah diperoleh akan dihitung menggunakan persamaan 8. Hasil yang diperoleh dari persamaan 8 akan menentukan indeks bias dengan menggunakan persamaan 9. Selanjutnya dihitung nilai ketebalan sampel dengan persamaan 10. Selanjutnya menentukan koefisien serapan untuk menentukan energi gap dengan menggunakan metode Tauc Plot pada persamaan 7. Metode Tauc Plot adalah cara yang dilakukan dengan menarik garis linear antara sumbu y dan x. Penarikan garis lurus antara perkalian energi serap ($h\nu$) dengan koefisien yang diserap $(\alpha h\nu)^n$, hingga memotong sumbu energi dan di peroleh

nilai energi gap. Setelah dibuat grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^n$ ditarik garis yang bersinggungan dengan titik belok pada kurva.

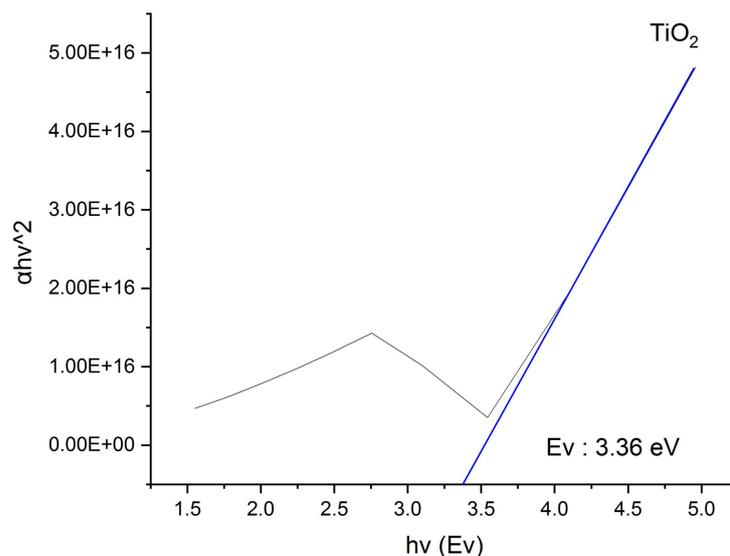
Perhitungan nilai energi gap seluruh sampel dapat dilihat pada lampiran. Dari grafik diatas menunjukkan nilai dari transmisi meningkat seiring dengan bertambahnya jangkauan panjang gelombang. Kurva transmisi dari gambar terlihat bahwa ketiga sampel mentransmisikan cahaya tampak yang lebih besar dibandingkan dengan cahaya *ultra violet*. Untuk menentukan energi gap diawali dengan penentuan nilai transmisi dari sampel. Energi gap dapat ditentukan dengan mengolah data menggunakan perangkat lunak Ms. Excel. Setelah itu diplot grafik untuk melihat nilai energi gap sampel. Gambar 27 menunjukkan besar energi gap yang diperoleh pada sampel Fe_3O_4 .



Gambar 27. Energi Gap Fe_3O_4

Berdasarkan grafik dari Gambar 27 sumbu X merupakan nilai energi gap ($h\nu$) sedangkan sumbu Y menyatakan koefisien serap ($\alpha h\nu^2$) yang dipengaruhi oleh nilai transmisinya. Nilai transmisi yang akan digunakan pada perhitungang yaitu $\text{TM}_1= 3,2$; $\text{TM}_2= 2,83$; $\text{Tm}_1= 2,04$ dan $\text{Tm}_2= 2,07$. Telah dihitung nilai energi gap pada sampel dan diperoleh energi gap Fe_3O_4 sebesar 3,67 eV. Perhitungan nilai energi gap Fe_3O_4 murni dapat dilihat pada lampiran.

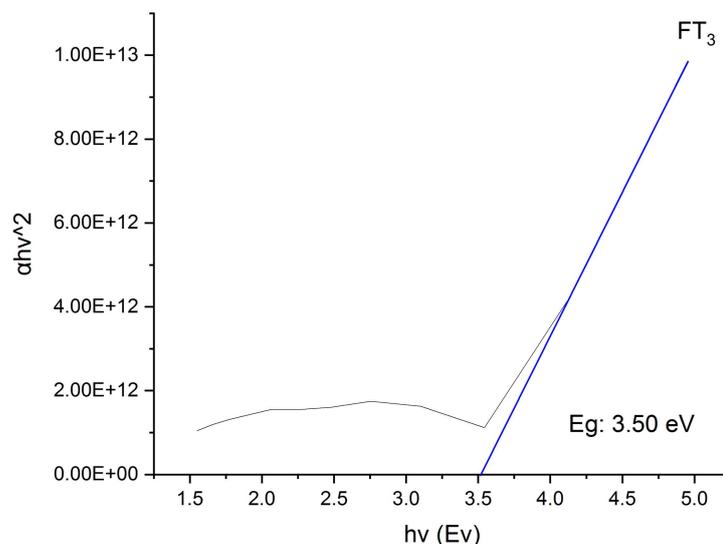
Material TiO_2 pada penelitian ini digunakan sebagai bahan dopingan Fe_3O_4 . Penambahan dopingan TiO_2 bertujuan untuk memperkecil nilai energi gap Fe_3O_4 setelah dilakukakannya pendopingan kedua bahan. Grafik penentuan energi gap TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Energi Gap TiO_2

Grafik dari Gambar 28 Nilai transmitasi yang digunakan pada perhitungang yaitu $\text{TM}_1 = 61,05$; $\text{TM}_2 = 60,67$; $\text{Tm}_1 = 4,74$ dan $\text{Tm}_2 = 20,38$. Dari hasil penelitian diperoleh nilai energi gap TiO_2 yang telah di plot pada ORIGIN sebesar 3,36 eV. Perhitungan nilai energi gap TiO_2 murni dapat dilihat pada lampiran. Semakin kecil energi gap diperoleh maka spektrum cahaya menjadi lebih luas dari cahaya tampak hingga *ultra violet*.

Pada penelitian ini dilakukan pendopongan bahan Fe_3O_4 dengan TiO_2 , yang diharapkan mampu menurunkan nilai energi gap Fe_3O_4 . Pengamatan yang dilakukan menunjukkan penurunan nilai energi gap setelah dopingan dengan Fe_3O_4 murni. Dopingan bahan yang digunakan menggunakan perbandingan massa yang mana padat tiap-tiap sampel digunakan 2,5 gr. Nilai energi gap FT_3 dapat dilihat pada Gambar 29.

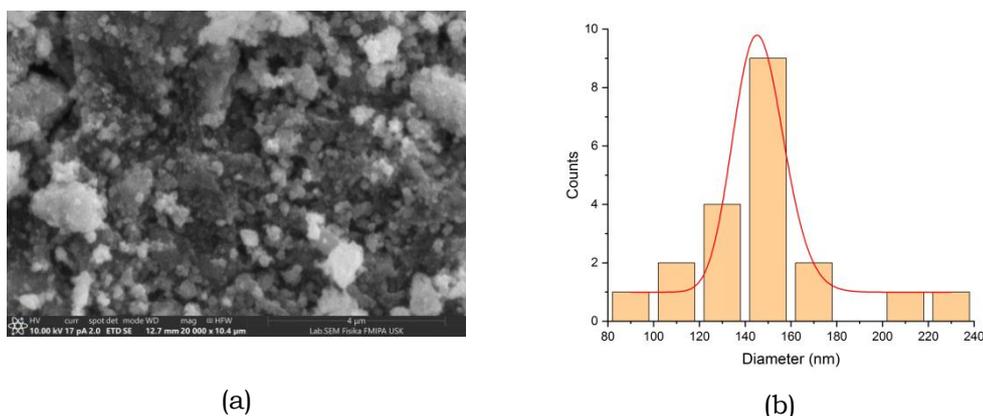


Gambar 29. Energi Gap FT_3

Berdasarkan Gambar 29 Nilai transmitasi yang akan digunakan pada perhitungang yaitu $TM_1= 39,36$; $TM_2= 39,29$; $Tm_1= 5,28$ dan $Tm_2= 9,92$. Nilai energi gap FT_3 sebesar 3,50 eV berada diantara nilai energi gap Fe_3O_4 dan TiO_2 , Fe_3O_4 yang dikombinasikan dengan TiO_2 memiliki nilai energi gap berturut-turut sebesar 3,67 eV dan 3,36 eV. Penambahan TiO_2 pada Fe_3O_4 dapat menurunkan energi gap FT_3 . Semakin kecil energi gap, maka semakin mudah fotokatalis menangkap foton dengan tingkat energi yang lebih kecil. Efisiensi energi gap pada semikonduktor antara 0-4 eV (Aminullah et al, 2019). Sampel FT_3 termasuk bahan semikonduktor yang dapat dimanfaatkan pada fotokatalis.

3. Karakterisasi dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Analisis Scanning Elektron Microscopy (SEM) dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dan ukuran partikel. Perbesaran yang digunakan pada sampel yaitu dengan perbesaran 20.000 kali. Hasil SEM Fe_3O_4 dengan perbesaran 20.000 ditunjukkan pada gambar 30.



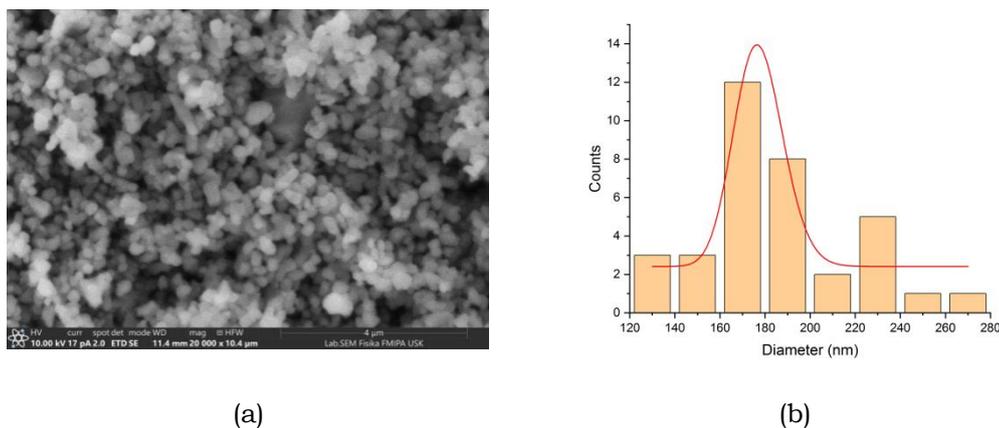
Gambar 30. Hasil SEM a) Fe_3O_4 dan b) Histogram pola distribusi partikel Fe_3O_4

Berdasarkan Gambar 30 (a) hasil analisis SEM pada perbesaran 20.000 terlihat bahwa permukaan partikel masih bertumpuk-tumpuk yang artinya banyak gumpalan-gumpalan yang belum teratur. Hal ini dapat dinyatakan dari penelitian sebelumnya oleh Panji et al. (2023), di mana struktur magnetit yang diperoleh tidak beraturan dan cenderung membentuk agregat. Hasil uji SEM juga menunjukkan partikel yang saling menempel satu sama sehingga terjadi aglomerasi. Aglomerasi merupakan proses bergabungnya partikel-partikel kecil menjadi struktur yang lebih besar (Desiati et al., 2018). Untuk mengetahui ukuran partikel dari sampel maka data akan diolah pada *software Image-J*.

Pola distribusi ukuran partikel Fe_3O_4 pada Gambar 30 (b) menunjukkan distribusi ukuran partikel Fe_3O_4 berada pada rentang 80-240 nm. Ukuran partikel pada rentang 140-160 nm menunjukkan frekuensi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada area tersebut diperoleh mayoritas ukuran partikel

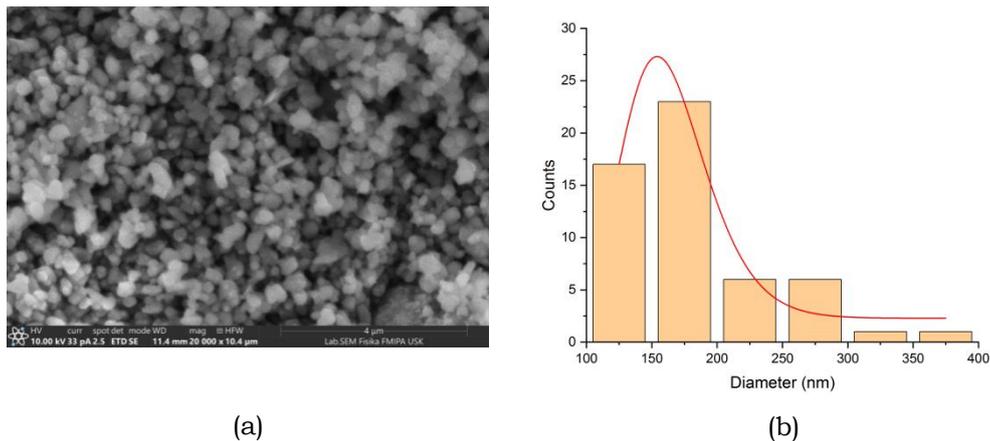
berada pada rentang nilai tersebut, yang sesuai dengan hasil perhitungan. Ukuran rata-rata partikel pada sampel Fe_3O_4 , yaitu 148,006 nm.

Selain pengujian pada Fe_3O_4 telah dilakukan pengujian terhadap sampel TiO_2 . Hasil analisis SEM diperoleh morfologi permukaan dan ukuran butir. Hasil SEM menunjukkan struktur permukaan TiO_2 seperti bola-bola kecil dan terdapat partikel yang teraglomerasi. Berdasarkan Ningsih et al (2017), kecenderungan partikel untuk beraglomerasi disebabkan oleh partikel yang berukuran kecil. Ukuran partikel tidak seragam dan distribusi ukuran partikel TiO_2 dapat dilihat pada gambar 31 (a).



Gambar 31. Hasil SEM a) TiO_2 dan b) Histogram pola distribusi partikel TiO_2

Pola distribusi ukuran partikel TiO_2 pada Gambar 31 (b) berada pada rentang 120-280 nm. Ukuran partikel pada rentang 160-180 nm menunjukkan frekuensi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada area tersebut diperoleh mayoritas ukuran partikel. Ukuran rata-rata partikel pada sampel TiO_2 , yaitu 184,72 nm. Sampel gabungan Fe_3O_4 dan TiO_2 yang dikarakterisasi dengan SEM dilakukan pada sampel FT_3 dengan perbandingan 1:1 ditunjukkan pada Gambar 32 (a). Hasil SEM FT_3 menunjukkan morfologi partikel yang berbentuk bulat dan teraglomerasi. Hasil SEM FT_3 memiliki kemiripan bentuk yang sama dengan TiO_2 , selain itu persebaran partikel tampak tidak merata. Hasil SEM dan distribusi ukuran partikel FT_3 dapat dilihat pada gambar 32.



Gambar 32. Hasil SEM a) FT₃ dan b) Histogram pola distribusi partikel FT₃

Berdasarkan gambar 32 (b) pola distribusi ukuran partikel FT₃ berada pada rentang 100-400 nm. Distribusi partikel pada rentang 150-200 nm memiliki frekuensi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada area tersebut diperoleh mayoritas ukuran partikel. Ukuran rata-rata partikel pada sampel FT₃, yaitu 181,79 nm. Pada sampel FT₃ ukuran partikel tidak jauh berbeda dengan TiO₂, sehingga bentuk partikel TiO₂ pada sampel menjadi lebih dominan dibandingkan dengan Fe₃O₄.

Menurut Li et al., (2020) Ukuran partikel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat fotokatalisnya. Ukuran partikel merupakan faktor penting pada kinerja bahan dalam proses fotokatalis. Ukuran dan bentuk katalis mempengaruhi morfologi permukaannya dan kemudian menghasilkan kinerja fotokatalis yang bervariasi. Ketika ukuran partikel meningkat, konstanta laju fotokatalis juga menurun secara eksponensial. Menurut Kaur et al (2023), Ukuran partikel fotokatalis dengan ukuran nanometer (1-100 nm) dianggap efektif karena memiliki luas permukaan yang besar, meningkatkan peluang interaksi dengan cahaya dan memfasilitasi reaksi fotokatalitik.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Variasi perbandingan massa mempengaruhi ukuran kristal serta intensitas pada setiap sampel. Semakin banyak massa TiO_2 yang digunakan maka ukuran kristal semakin menyerupai ukuran kristal TiO_2 dan intensitas tiap sampel didominasi oleh TiO_2 . Hasil XRD dianalisa pada rentang sudut 2θ $20^\circ - 80^\circ$. Pada penelitian ini ukuran kristal terkecil setelah Fe_3O_4 digabung dengan TiO_2 diperoleh pada perbandingan massa 1:1 yaitu 66,756 nm.
2. Hasil uji Spektrofotometer UV- Vis pada FT_3 menunjukkan pengaruh perbandingan massa terhadap nilai energi gap yang diperoleh. Nilai energi gap FT_3 yang diperoleh sebesar 3,50 eV yang berada diantara nilai energi gap Fe_3O_4 dan TiO_2 berturut-turut sebesar 3,67 eV dan 3,36 eV.
3. Karakteristik bentuk morfologi FT_3 yang dihasilkan dari analisis SEM yaitu berbentuk padatan bulat dengan persebaran partikel yang tidak merata sehingga terjadi aglomerasi.

5.2 Saran

Penelitian ini perlu dilakukan pembaharuan bahan dopingan lain yang memiliki kemampuannya semikonduktor yang baik sebagai fotokatalis. Serta dilakukannya karakterisasi lain seperti, Uji FTIR, SEM-EDX dan TEM.

DAFTAR PUSTAKA

- Agartan, L.D. Kapusuz, J. Park dan A. Ozturk. 2015. *Effect of Initial Water Content and Calcination Temperature on Photocatalytic Propertires of TiO₂ Nanopowders Synthesized by The Sol-Gel Process. Ceramics International*. Vol 41(10A):12788-12797.
- Ahmadi, K dan T. Estiasih. 2021. Kristalisasi Pelarut Suhu Rendah pada Pembuatan Fraksi Kaya Vitamin E Mengandung Tokotrienol dari Distilat Asam Lemak Minyak Savit. *J. Teknol dan Industri Pangan*. Vol 22 (2) : 142-147.
- Alfarisa, S., D. A. Rifai dan P. L. Toruan. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*. Vol. 2 (2) : 54.
- Aliah, H dan Y. Karlina. 2015. Semikonduktor Tio₂ Sebagai Material Fotokatalis Berulang. *Jurnal Fisika FST UIN SGD Bandung*. Vol 10(1): 185-189.
- Aminullah M.W., H. Setiawan., A. Huda., H. Samaulah., S. Haryati dan M.D. Bustan. 2019. Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor Dalam Menurunkan Energi Band Gap dan Terhadap Konversi Gelombang Mikro. *Jurnal EECCIS*. Vol. 13 (2) : 65-70.
- Andika, D. R., A. L. Anindya., V. V. Tanuwijaya dan H. Rachmawati. 2018. Teknik Pengamatan Sampel Biologi dan Non-konduktif Menggunakan Scanning Electron Microscopy. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*.
- Arianti. F. D. 2019. Desain Spesifikasi Crystallizer Tipe Swenson-Walker Pada Pabrik Natrium Nitrat (NaNO₃) Proses Sintesis Kapasitas 40.000 Ton/Tahun. *Skripsi*.
- Arsita, Y., dan Astuti. 2016. Sintesis Komposit TiO₂/Karbon Aktif Berbasis Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*) dengan Menggunakan Metode *Solid State Reaction*. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 5 (3) : 268-270.
- Batista, A. P. L., Carvalho, H. W., Luz, G. H. P., Martins, P. F. Q., Goncalves, M., and Oliviera, L. C. O. 2010. *Preparation of Cu/SiO₂ and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue. Journal of Environmental Chemisty*. (8): 63-67.
- Bilalodin, Sunardi dan Muhtar. E. 2013. Analisis Kandungan Senyawa Kimia dan Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Ambal. *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol 16 (50) : 29-31.
- Chandra, S.A dan S. D. Yudanto. 2022. Peningkatan Fasa Ca₃Co₄O₉ Melalui Proses Penggerusan Mekanik. *Jurnal Rekayasa Energi (JRE)*. Vol. 01 (01): 19-24.
- Charurvedi and P. Dave. 2012. *Microscopy in Nanotechnology, Formatex*.
- Cheng, R., J. Xia., J. Wen., P. Xu dan X. Zheng. 2022. Fotokatalis yang Mengandung Logam Nano untuk Menghilangkan Senyawa Organik yang Mudah Menguap: Doping, Kinerja, dan Mekanisme. *Review Nanomaterials*. Hal 2-20.
- Dandara, M. E., R. K. Pingak dan A. Z. Johannes. 2019. Estimasi Celah Energi Senyawa Hasil Ekstrak Daun Sirsak (*Annona Muricata L.*) Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika*. Vol. 4 (1) : 48-51.
- Desiati, R. D., E. Sugiarti dan S. Ramandhany. 2018. Analisa Ukuran Partikel Serbuk Komposit Nicral Dengan Penambahan Reaktif Elemen Untuk Aplikasi Lapisan Tahan Panas. *Metalurgi*. Vol. 33 (01) : 27-34.

- Didik, L. A dan M. Wahyudi. 2020. Penentuan Ukuran Butir Kristal $\text{CuCr}_{0,98}\text{Ni}_{0,02}\text{O}_2$ dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). *Indonesian Physical Review*. Vol 3 (1) : 7-9.
- Elsafitri, O., Nasri, MZ dan F. Deswardani. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 (*Magnetite*) Dari Pasir Besi Sungai Batanghari Jambi Yang Dientkapsulasi Dengan *Polyethylene Glycol* (PEG-4000). *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online (JPFT)*. Vol 8 (3).
- Fahyuan, H. D. 2018. Uji Uv-Vis Lapisan TiO_2/N_2 Untuk Menentukan *Band Gap Energy*. *JoP*. Vol. 3 (2) : 6 – 10.
- Fajaroh. F. 2018. Sintesis Nanopartikel dengan Prinsip Kimia Hijau. *Prosiding SNKP*. Hal : 24-32.
- Fauzi, W. A., I N. Simpen, dan I W. Sudiarta. 2019. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit- TiO_2 Serta Pemanfaatannya Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Kimia*.
- Fujishima, A, et.al. 2015. *Newfotovoltaic device based on Titanium Oxide*. *Nature* (London). Ghozali, A. I., W. Sugiyo dan Latifa 2012. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Red Menggunakan Katalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Core Shell Nanostruktur. *Journal of Chemical Science*. Vol 1(1):79-84.
- Greenwood, N.N and A. Earnshaw. 1997. *Chemistry of the Elements 2nd ed*. Oxford : Butterworth – Heinemann.
- Handerson, W dan S. Sinuraya. 2020. Analisa Sifat Magnetik Dan Identifikasi Kandungan Pasir Sungai Kampar Provinsi Riau. *Komunikasi Fisika Indonesia (KFI)*. Vol 17(2) : 92-93.
- Hariani, P. L., M. Faisal., R. Syarofi, Masri and S. Budidaya. 2013. *Synthesis and Properties of Fe_3O_4 Nanoparticles by Co-precipitation Method to Removal Procion Dye*. *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol 3(3): 336-340.
- Hariyati, L. 2022. Perbandingan Karakterisasi Morfologi Fe_3O_4 terhadap Fe_3O_4 Merck melalui Metode Kopresipitasi. *Jurnal Insitusi Politeknik Ganesha Medan Juripol*. Vol (5) 2 : 458-459.
- Ihwani, S.A. 2022. Pengaruh Fraksi-X Selenium Pada Struktur Dan Parameter Kisi $\text{Pb}(\text{S},\text{Se})$ Masif Preparasi Teknik Bridgman. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*. Vol 09 (02) : 1-13.
- Jefriyanto, W. 2018. Analisis Karakteristik Paduan Logam Oksida Fe_2O_3 Dan Slag Nikel. *J. Neutrino*. Vol 1 (1) : 33-34.
- Jores, K., W. Mehnert., M. Drecusler., H. Bunyes., C. Johan dan K. Mader. 2004. *Investigation on the stricter of solid lipid nanoparticules and oil-loaded solid nanoparticles by photon correlation spectroscopy, field flow fractionasition and transmission electron microscopy*. *J Control Release*. Vol 95 (2): 217–227.
- Kuar, A., M. Kaur, V. Singh dan P. Vyas. 2023. Nanokomposit Ferit dengan TiO_2 , SiO_2 dan Carbon Quantum Dots sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik dan Mikroba. *Article*.
- Khairil. 2019. *Buku Ajar Bahan Bakar dan Tanur*. Syiah Kuala University Pres Darussalam : Banda Aceh.
- Kustomo. 2020. Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan *Scanning-Electron-Microscope*.–*Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol 9 (3): 149.

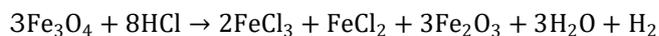
- Listanti, A., A. Taufiq., A. Hidayat dan S. Sunaryono. 2018. Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano TiO₂ Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol-Gel. *JPSE*. Vol. 3 (1) : 8 – 15.
- Listiorini., H. D. Fahyuan dan dan Ngatijo. 2018. Pengaruh Doping Al Terhadap Band Gap Energy Lapisan Tipis ZnO. *JoP*. Vol. 4 (1) : 24 – 29.
- Mufarriha, U., N. Mufti dan A. Fuad. 2015. Pengaruh Massa Fe₃O₄ Terhadap Karakteristik Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ Core-Shell Sebagai Fotokatalis Degradasi Rhodamin B.
- Ngatijo., D. R. Gusti1., A. H. Fadhilah., R. Khairunnisah. 2020. dsorben Magnetit Terlapis Dimerkaptosilika untuk Adsorpsi Anion Logam [AuCl₄]- dan [Cr₂O₇]-. *Jurnal Riset Kimia*. Vol. 11 (2) :113.
- Ningsih,N., S. Yasni dan S. Yuliani. 2017. Sintesis Nanopartikel Ekstrak Kulit Manggis Merah dan Kajian Sifat Fungsional Produk Enkapsulasinya. *J. Teknol dan Industri Pangan*. Vol 28 (1) : 27-35.
- Ningsih, F., Fitriyaningsih dan L. A. Didik. 2019. Analisis Pengaruh Lama Penggerusan Terhadap Resistivitas dan Konstanta Dielektrik pada Pasir Besi yang Disintesis dari Kabupaten Bima. *Indonesian Physical Review*. Vol 2 (3) : 92–93.
- Ningsih, A.R. 2022. Fotodegradasi Methylene Blue Dengan TiO₂/Resin dan Sumber Cahaya UV-C. Thesis.
- Nirmalasari, I., R. A. Nugrahani dan Budiyanto. 2022. Peningkatan efisiensi *dye sensitized solar cell* (DSSC) dari antosianin kulit manggis (*Garcinia magostana*) menggunakan papain. *Chimica et Natura Acta*. Vol 10(2): 88-93.
- Panji, H. A. Dewanto., A. Sasongko., F. Qulub.,Y. Triana dan A.W.Y.P. Parmita. 2023. Studi Pengaruh Temperatur Kalsinasi dalam Pembentukan Nanomagnetit dengan Metode Green Synthesis Ekstrak Daun Nanas. *SPECTA Journal of Technology*. Vol. 7(2): 584 – 592.
- Pawar, M., Sendogdular, S.T., and Gouma, P. 2018. A Brief Overview of TiO₂ Photocatalyst for Organic Dye Remediation: Case Study of Reaction Mechanisms Involved in Ce-TiO₂ Photocatalysts System. *Journal of Nanomaterials*.
- Permatasari E P., M. P. Rindi., A. Purwanto. 2017. Pembuatan Katoda Baterai *Lithium Ion Iron Phospate (LiFePO₄)* dengan Metode *Solid State Reaction*. 2017. *Article*.
- Perry, Robert H, Green, Don W. 1997. *Perry's Chemical Engineers', 7th ed.* The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Pradipta, A. R., R. Enriyani., L. Rahmatia dan A. Utami. 2021. Sintesis Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ Sebagai Fotokatalis yang Dapat Diambil Kembali Dalam Fotoreduksi Limbah Ion Perak (I). *Warta AKAB*. Vol 45 (1) : 32-39.
- Prasetyowati, R., D. Widiawati., P. E. Swastika., Ariswan dan Warsono. 2021. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo Dengan Metode Kopresipitasi Pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH₄OH. *J. Sains Dasar*. Vol 10 (2) : 57 – 61.
- Prihastuti, H., Nuryoto., A. Irawan, T. Kurniawan. 2021. Pengaruh Penggunaan Asam Terhadap Pemisahan Logam dari Abu Layang Batubara Sebagai Bahan Dasar Sintesis Zeolit. *J. Kartika Kimia*. Vol 4(1) :14-15.

- Purnawan, S., I. Setiawan, H. A. Haridhi dan M. Irham. 2018. *Granulometric Analysis at Lampulo Fishing Port (LFP) Substrate*, Banda Aceh, Indonesia, *In IOP Conference Series. Earth and Environmental Science* : Jakarta.
- Puspitarum, D. L., G. Safitri., H. Ardiyanti dan M. S. Anrokhi. 2019. Karakterisasi Dan Sifat Kemagnetan Pasir Besi di Wilayah Lampung Tengah. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol. 7 (2) : 236-237.
- Putri, D. B. D. A., A. B. D. Nandiyanto. 2019. Evaluasi Ekonomi Dari Produksi Nanopartikel Magnesium Oksida Melalui Metode Sol-Gel *Combustion*. *STRING*. Vol 4 (2) : 161-163.
- Riyanto, C. A dan N. A. Wibowo. 2019. Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Dan Aplikasinya Dalam Adsorpsi Ni(Ii) Dan Co(Ii). *Jurnal Kimia dan Kemasan*. Vol 41 (1) : 26-30.
- Safitri, I. 2019. Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Struktur dan Sifat Optik Nanopartikel Fe₃O₄ Pasir Besi Sungai Batanghari. *Skripsi*.
- Saragi. T., B. Permana., M. Saputri., L. Safriani., I. Rahayu dan Risdiana. 2018. Karakteristik Optik Dan Kristal Nanopartikel Magnetit. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*. Vol. 2 (01) : 53.
- Setiabudi, A., R. Hardian dan A. Muzakir. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI Press : Bandung.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrofotometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung : Anugerah Utama Rahaja.
- Suprihatin, I. E ., N. D. Murdani dan I. W. Suarsa. 2021. Bentonit-Fe₃O₄ Sebagai Fotokatalis Dalam Proses Fotodegradasi *Naphthol Blue Black* Dengan Iradiasi Uv. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*. Vol 15 (1):59-66.
- Thangaraj, B., Z. Jia., L. Dai, D. Liu dan W. Du. 2016. *Lipase NS81006 immobilized on Fe₃O₄ magnetic nanoparticles for biodiesel production*. *Ovidius University Annals of Chemistry*. Vol 27 (1) : 16.
- Widianto, E., Kardiman, N. Fauji. 2018. Karakterisasi Pasir Besi Alam Pantai Samudera Baru dan Pemanfaatannya sebagai Filler pada Sistem Penyaring Elektromagnetik. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*. Volume 2 (1) : 15-16.
- Widiatannur, U., T. Usman dan W. Rahmalia. 2020. Sintesis Komposit Berbasis TiO₂-kitosan Menggunakan Metode Hidrotetal. *Journal of Chemical Process Engineering*. Vol 5 (2) : 2655-2967.
- Wulandari, I. O., L. B. Rahayu., I. Riva'i., H. Sulistyarti dan Akhmad Sabarudin. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ termodifikasi Biokompatibel Polimer serta Potensinya sebagai Penghantar Obat. *The Indonesian Green Technology Journal*.
- Yusuf, Y., Almukarrama., H A. Permatasari., I. K Januariyasa., M. F. Muarif., R. M. Anggraini dan R. Wati. 2021. *Karbonat Hidroksiapatit dari Bahan Alam*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Reaksi Kimia

1. Reaksi pelarutan 40 gr Fe_3O_4 dalam larutan HCl 37% = 12,063 M



Massa Fe_3O_4 yang digunakan untuk mereaksikan dengan HCl sebanyak 40 gram. Volume HCl yang digunakan dapat ditentukan menggunakan perhitungan konsep mol yaitu sebagai berikut:

- a. Menghitung mol Fe_3O_4

$$\text{mol} = \frac{m}{M_r}$$

Ket : m = Massa

M_r = Massa molekul Relatif

$M_r \text{ Fe}_3\text{O}_4 = 232 \text{ gr/mol}$

Sehingga,

$$\text{mol Fe}_3\text{O}_4 = \frac{40 \text{ gr}}{232 \text{ gr/mol}} = 0,172 \text{ mol}$$

- b. Menghitung mol HCl

$$\text{mol HCl} = \frac{\text{Koef. HCl}}{\text{Koef. Fe}_3\text{O}_4} \times \text{mol Fe}_3\text{O}_4$$

$$= \frac{8}{3} \times 0,172 \text{ mol}$$

$$= 0,458 \text{ mol HCl}$$

- c. Menghitung Volume HCl yang digunakan

Dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Mol} = \text{Volume} \times \text{Molaritas}$$

Sehingga, $V = \frac{\text{mol}}{M}$

$$= \frac{0,458}{12} = 0,038 \text{ L}$$

$$= 38 \text{ ml}$$

Maka HCl yang digunakan sebanyak 38 ml untuk melarutkan 40 gr Fe_3O_4 . Reaksi Pengendapan garam besi dalam larutan NH_4OH 25% = 6,285 M



Mol gram besi yang terbentuk dihitung menggunakan perbandingan koefisien FeCl_3 dengan koefisien Fe_3O_4 pada reaksi pelarutan, atau dapat menggunakan perbandingan koefisien FeCl_2 dengan koefisien Fe_3O_4 .

- a. Perbandingan Koefisien FeCl_3 : Koefisien $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 2 : 3$

$$\begin{aligned} \text{Mol FeCl}_3 &= \frac{\text{Kof. FeCl}_3}{\text{Kof. Fe}_3\text{O}_4} \times \text{mol Fe}_3\text{O}_4 \\ &= \frac{2}{3} \times 0,172 \text{ mol} = 0,114 \text{ mol} \end{aligned}$$

- b. Menghitung massa gram besi yang terbentuk

$$\begin{aligned} \text{Massa FeCl}_3 &= \text{mol} \times \text{Mr FeCl}_3 \\ &= 0,114 \text{ mol} \times 162,5 \text{ gr/mol} \\ &= 18,525 \text{ gram} \end{aligned}$$

- c. Menghitung mol NH_4OH

Mol NH_4OH dihitung dari perbandingan koefisien FeCl_3

Koefisien NH_4OH : Koefisien $\text{FeCl}_3 = 8 : 2$

$$\begin{aligned} \text{Mol NH}_4\text{OH} &= \frac{\text{Kof. NH}_4\text{OH}}{\text{Kof. FeCl}_3} \times \text{mol FeCl}_3 \\ &= \frac{8}{2} \times 0,114 \text{ mol} = 0,456 \text{ mol} \end{aligned}$$

- d. Menghitung Volume NH_4OH

$$\begin{aligned} \text{Vol. NH}_4\text{OH} &= \frac{\text{Mol NH}_4\text{OH}}{\text{Molaritas NH}_4\text{OH}} \\ &= \frac{0,456}{6,285} \\ &= 0,0725 \text{ L} = 73 \text{ ml} \end{aligned}$$

Lampiran 2. Perhitungan Hasil XRD

1. Ukuran Kristal dengan Intensitas 100%

Perhitungan ukuran kristal menggunakan *Scherrer*, yaitu :

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

Dengan :

D = Ukuran Kristal

β = FWHM (rad)

K = 0,94

λ = 0,154

θ = Posisi Puncak (rad)

a. FWHM Fe_3O_4 = 0.2047 = 0.00357 rad

$$2\theta = 35.5468^\circ$$

$$\theta = 17.7734^\circ$$

$$\theta = 0.3102\text{rad}$$

$$\cos \theta = 0.952$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \\ &= \frac{0,94 \times 0.154}{0.00357 \times \cos(17.7734)} \\ &= 42.549 \text{ nm} \end{aligned}$$

b. FWHM FT_1 = 0.1023 = 0.00178 rad

$$2\theta = 27.5437^\circ$$

$$\theta = 13.7718^\circ$$

$$\theta = 0.2403\text{rad}$$

$$\cos \theta = 0.971$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \\ &= \frac{0,94 \times 0.154}{0,00178 \times \cos(13.7718)} \\ &= 83.476 \text{ nm} \end{aligned}$$

c. FWHM FT_2 = 0.1279 = 0.00223 rad

$$2\theta = 27.5345^\circ$$

$$\theta = 13.7673^\circ$$

$$\theta = 0.2402\text{rad}$$

$$\cos \theta = 0.971$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \\ &= \frac{0,94 \times 0.154}{0,00223 \times \cos(13.7673)} \\ &= 66.766 \text{ nm} \end{aligned}$$

d. FWHM $FT_3 = 0.1279 = 0.00223 \text{ rad}$

$$2\theta = 27.4608^\circ$$

$$\theta = 13.7304^\circ$$

$$\theta = 0.2396 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0.971$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,94 \times 0.154}{0,00223 \times \cos(13.7304)}$$

$$= 66.756 \text{ nm}$$

e. FWHM $FT_4 = 0.1279 = 0.00223 \text{ rad}$

$$2\theta = 27.5115^\circ$$

$$\theta = 13.7557^\circ$$

$$\theta = 0.2400 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0.971$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,94 \times 0.154}{0,00223 \times \cos(13.7557)}$$

$$= 66.763 \text{ nm}$$

f. FWHM $FT_5 = 0.1279 = 0.00223 \text{ rad}$

$$2\theta = 27.5137^\circ$$

$$\theta = 13.7569^\circ$$

$$\theta = 0.2401 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0.971$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,9 \times 0.15406}{0,00223 \times \cos(13.7569)}$$

$$= 66.763 \text{ nm}$$

g. FWHM $TiO_2 = 0.1279 = 0.00223 \text{ rad}$

$$2\theta = 27.5234^\circ$$

$$\theta = 13.7617^\circ$$

$$\theta = 0.2401 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0.971$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \\
 &= \frac{0,94 \times 0,154}{0,00223 \times \cos(13,7617)} \\
 &= 66,765 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Jarak antar bidang

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Fe}_3\text{O}_4 &= \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \sin(17,77)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \times 0,305} \\
 &= 2,52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ FT}_1 &= \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \sin(13,77)} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \times 0,238} \\
 &= 3,23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ FT}_2 &= \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \sin(13,76)} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \times 0,2387} \\
 &= 3,23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ FT}_3 &= \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \sin(13,73)} \\
 &= \frac{1 \times 1,5406}{2 \times 0,2375} \\
 &= 3,24
 \end{aligned}$$

$$5. \text{ FT}_4 = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$= \frac{1 \times 1.5406}{2 \sin(13,75)}$$

$$= \frac{1 \times 1.5406}{2 \times 0.2376}$$

$$= 3.24$$

$$6. \text{ FT}_5 = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$= \frac{1 \times 1.5406}{2 \sin(13,75)}$$

$$= \frac{1 \times 1.5406}{2 \times 0.2376}$$

$$= 3.24$$

$$7. \text{ TiO}_2 = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$= \frac{1 \times 1.5406}{2 \sin(13,77)}$$

$$= \frac{1 \times 1.5406}{2 \times 0.238}$$

$$= 3.24$$

3. Perhitungan Rasio fasa

$$\% \text{ Rasio fasa yang dicari} = \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\%$$

a. Rasio Fasa Fe₃O₄

$$\% \text{ Rasio fasa yang dicari} = \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\%$$

$$= \frac{626,545}{761,452} \times 100\% = 82,28\%$$

Rasio Fasa Fe₂O₃

$$\% \text{ Rasio fasa yang dicari} = \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\%$$

$$= \frac{134,907}{761,452} \times 100\% = 17,71\%$$

b. Rasio Fasa Fe₃O₄ (FT₁)

$$\% \text{ Rasio fasa yang dicari} = \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\%$$

$$= \frac{345,712}{2513,291} \times 100\% = 13,75\%$$

Rasio Fasa Fe₂O₃

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{137,921}{2513,291} \times 100\% = 5.48 \% \end{aligned}$$

Rasio Fasa TiO₂

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{2029,658}{2513,291} \times 100\% = 80.75 \% \end{aligned}$$

c. Rasio Fasa Fe₃O₄ (FT₂)

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{358,739}{3094.46} \times 100\% = 11.59 \% \end{aligned}$$

Rasio Fasa Fe₂O₃

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{121,529}{3094.46} \times 100\% = 3.92 \% \end{aligned}$$

Rasio Fasa TiO₂

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{2614,192}{3094.46} \times 100\% = 84.47 \% \end{aligned}$$

d. Rasio Fasa Fe₃O₄ (FT₃)

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{275,104}{4342,288} \times 100\% = 6.33 \% \end{aligned}$$

Rasio Fasa Fe₂O₃

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{19,326}{4342,288} \times 100\% = 0.45 \% \end{aligned}$$

Rasio Fasa TiO₂

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{4047,858}{4342,288} \times 100\% = 93.21\% \end{aligned}$$

e. Rasio Fasa FT₄

Rasio Fasa TiO₂

$$\begin{aligned} \% \text{ Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{3933,968}{3933,968} \times 100\% = 100 \% \end{aligned}$$

f. Rasio Fasa FT₅

Rasio Fasa TiO₂

$$\begin{aligned} \text{\% Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{4537,968}{4537,968} \times 100\% = 100\% \end{aligned}$$

g. Rasio Fasa TiO₂
Rasio Fasa TiO₂

$$\begin{aligned} \text{\% Rasio fasa yang dicari} &= \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas semua fasa}} \times 100\% \\ &= \frac{5970,638}{5970,638} \times 100\% = 100\% \end{aligned}$$

4. Perhitungan : Parameter kisi

a. Sampel Fe₃O₄ sampel puncak (311)

$$\begin{aligned} a &= d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \\ &= 2,52\sqrt{3^2 + 1^2 + 1^2} \\ &= 8,357 \text{ \AA} \end{aligned}$$

b. Sampel FT₁ dan FT₂ sampel puncak (110)

*) menentukan a=b

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1^2 + 1^2}{a^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(3,23)^2} = \frac{2}{a^2}$$

$$a^2 = 2(3,23)^2$$

$$a = \sqrt{20,86}$$

$$a = 4,56$$

*) menentukan c

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{0^2 + 0^2}{a^2} + \frac{1^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(1,47)^2} = \frac{4}{c^2}$$

$$c^2 = 4(1,47)^2$$

$$c = \sqrt{8,46}$$

$$c = 2,93$$

c. Sampel FT₃, FT₄, FT₅ dan TiO₂ sampel puncak (110)

*) menentukan a=b

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1^2 + 1^2}{a^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(3,24)^2} = \frac{2}{a^2}$$

$$a^2 = 2(3,24)^2$$

$$a = \sqrt{20,99}$$

$$a = 4,58$$

*) menentukan c

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{0^2 + 0^2}{a^2} + \frac{1^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(1,47)^2} = \frac{4}{c^2}$$

$$c^2 = 4(1,47)^2$$

$$c = \sqrt{8,46}$$

$$c = 2,93$$

Lampiran 3. Perhitungan Nilai Energi Gap

$$Eg = h\nu$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$Eg = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$Eg = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{\lambda}$$

$$Eg = \frac{1,986 \times 10^{-26} \text{ Jm}}{\lambda}$$

$$Eg = \frac{1,986 \times 10^{-26} \text{ eVm}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ x } \lambda}$$

$$Eg = \frac{1,239 \times 10^{-7} \text{ eVm}}{\lambda}$$

$$Eg = \frac{123,9 \times 10^{-9} \text{ eVm}}{\lambda}$$

$$Eg = \frac{123,9 \text{ eVm}}{\lambda}$$

$$Eg = \frac{1240 \text{ eVm}}{\lambda}$$

λ (nm)	% T	hv (Ev)	d (m)	α	ahv	ahv ²
250	3.2	4.96	-1.02846E-07	1.13E+07	56095766	3.14673E+15
300	2.12	4.13333	-1.02846E-07	7.31E+06	30199051	9.11983E+14
350	2.44	3.54286	-1.02846E-07	8.67E+06	30727690	9.44191E+14
400	2.07	3.1	-1.02846E-07	7.07E+06	21929871	4.80919E+14
450	2.04	2.75556	-1.02846E-07	6.93E+06	19102073	3.64889E+14
500	2.09	2.48	-1.02846E-07	7.17E+06	17775761	3.15978E+14
550	2.2	2.25455	-1.02846E-07	7.67E+06	17284212	2.98744E+14
600	2.37	2.06667	-1.02846E-07	8.39E+06	17339566	3.00661E+14
650	2.56	1.90769	-1.02846E-07	9.14E+06	17436203	3.04021E+14
700	2.75	1.77143	-1.02846E-07	9.84E+06	17423895	3.03592E+14
750	2.83	1.65333	-1.02846E-07	1.01E+07	16723288	2.79668E+14
800	2.75	1.55	-1.02846E-07	9.84E+06	15245908	2.32438E+14

Diperoleh nilai : Transmittansi Maksimum (TM) yaitu $TM_1 = 3,2$ dan $TM_2 = 2,83$. Transmittansi Minimum (Tm) yaitu $Tm_1 = 2,04$ dan $Tm_2 = 2,07$.

1. Menentukan Nilai Indeks Bias dengan Menggunakan Persamaan Swanepoel

$$N = 2n_s \frac{TM_1 - Tm_2}{TM_1 \times Tm_2} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_1 = 2 \cdot 1,51 \frac{3,2 - 2,07}{3,2 \times 2,07} + \frac{1,51^2 + 1}{2}$$

$$N_1 = 3,02 \frac{1,13}{6,624} + \frac{3,2801}{2}$$

$$N_1 = 2,155237085$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}}$$

$$n_1 = \sqrt{2,155237085 + \sqrt{2,155237085^2 - 1,51^2}}$$

$$n_1 = \sqrt{3,693076}$$

$$n_1 = 1,921738$$

$$N = 2n_s \frac{TM_2 - Tm_1}{TM_2 \times Tm_1} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 2 \cdot 1,51 \frac{2,83 - 2,04}{2,83 \times 2,04} + \frac{1,51^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 3,02 \frac{0,79}{5,7732} + \frac{3,2801}{2}$$

$$N_2 = 2,05330435$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{2,05330435 + \sqrt{2,05330435^2 - 1,51^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{3,444691693}$$

$$n_2 = 1,855988$$

2. Perhitungan Ketebalan Fe₃O₄

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)}$$

$$d = \frac{250 \text{ nm} \cdot 750 \text{ nm}}{2(250 \text{ nm} \cdot 1,921738 - 750 \text{ nm} \cdot 2,05330435)}$$

$$d = -102,846 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

2. TiO₂

λ (nm)	% T	h ν (Ev)	d (m)	α	Ahv	ahv ²
250	61.05	4.96	-9.28923E-08	4.43E+07	219544669	4.81999E+16
300	24.94	4.13333	-9.28923E-08	3.46E+07	143120172	2.04834E+16
350	4.74	3.54286	-9.28923E-08	1.68E+07	59346364	3.52199E+15
400	20.38	3.1	-9.28923E-08	3.25E+07	100601691	1.01207E+16
450	56.19	2.75556	-9.28923E-08	4.34E+07	119508501	1.42823E+16
500	58.17	2.48	-9.28923E-08	4.37E+07	108482214	1.17684E+16
550	59.5	2.25455	-9.28923E-08	4.40E+07	99168868	9.83446E+15
600	60.35	2.06667	-9.28923E-08	4.41E+07	91220376	8.32116E+15
650	60.67	1.90769	-9.28923E-08	4.42E+07	84312029	7.10852E+15
700	60.64	1.77143	-9.28923E-08	4.42E+07	78280310	6.12781E+15
750	60.51	1.65333	-9.28923E-08	4.42E+07	73023425	5.33242E+15
800	60.41	1.55	-9.28923E-08	4.41E+07	68431863	4.68292E+15

Diperoleh nilai : Transmittansi Maksimum (TM) yaitu TM₁ = 61,05 dan TM₂ = 60,67. Transmittansi Minimum (Tm) yaitu Tm₁ = 4,74 dan Tm₂ = 20,38.

1. Menentukan Nilai Indeks Bias dengan Menggunakan Persamaan Swanepoel

$$N = 2n_s \frac{TM_1 - Tm_2}{TM_1 \times Tm_2} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_1 = 2 \cdot 1,51 \frac{61,05 - 20,38}{61,05 \times 20,38} + \frac{1,51^2 + 1}{2}$$

$$N_1 = 3,02 \frac{40,67}{1244,199} + \frac{3,2801}{2}$$

$$N_1 = 1,738767$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}}$$

$$n_1 = \sqrt{1,738767 + \sqrt{1,738767^2 - 1,51^2}}$$

$$n_1 = \sqrt{2,600863}$$

$$n_1 = 1,612719$$

$$N = 2n_s \frac{TM_2 - Tm_1}{TM_2 \times Tm_1} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 2 \cdot 1,51 \frac{60,67 - 4,74}{60,67 \times 4,74} + \frac{1,51^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 3,02 \frac{55,93}{287,5758} + \frac{3,2801}{2}$$

$$N_2 = 2,227403317$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{2,227403317 + \sqrt{2,227403317^2 - 1,51^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{3,864848136}$$

$$n_2 = 1,9659217$$

2. Perhitungan Ketebalan TiO₂

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)}$$

$$d = \frac{250 \text{ nm} \cdot 650 \text{ nm}}{2(250 \text{ nm} \cdot 1,612719 - 650 \text{ nm} \cdot 1,9659217)}$$

$$d = -92,89225 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

3. FT₃

λ (nm)	% T	h ν (Ev)	d (m)	α	ah ν	ah ν^2
250	34.02	4.96	-5.57323E-06	6.33E+05	3138876.13	9.85254E+12
300	15.99	4.13333	-5.57323E-06	4.97E+05	2055802.14	4.22632E+12
350	5.28	3.54286	-5.57323E-06	2.99E+05	1057745.16	1.11882E+12
400	9.92	3.1	-5.57323E-06	4.12E+05	1276301.1	1.62894E+12
450	14.53	2.75556	-5.57323E-06	4.80E+05	1323194.3	1.75084E+12
500	17.26	2.48	-5.57323E-06	5.11E+05	1267490.65	1.60653E+12
550	21.73	2.25455	-5.57323E-06	5.52E+05	1245428.69	1.55109E+12
600	28.93	2.06667	-5.57323E-06	6.04E+05	1247766.36	1.55692E+12
650	32.72	1.90769	-5.57323E-06	6.26E+05	1193923.49	1.42545E+12
700	36.75	1.77143	-5.57323E-06	6.47E+05	1145561.62	1.31231E+12
750	39.29	1.65333	-5.57323E-06	6.59E+05	1089016.94	1.18596E+12
800	39.36	1.55	-5.57323E-06	6.59E+05	1021448.43	1.04336E+12

Diperoleh nilai : Transmittansi Maksimum (TM) yaitu $TM_1 = 39,36$ dan $TM_2 = 39,29$. Transmittansi Minimum (Tm) yaitu $Tm_1 = 5,28$ dan $Tm_2 = 9,92$.

1. Menentukan Nilai Indeks Bias dengan Menggunakan Persamaan Swanepoel

$$N = 2n_s \frac{TM_1 - Tm_2}{TM_1 \times Tm_2} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_1 = 2 \cdot 1,51 \frac{39,36 - 9,92}{39,36 \times 9,92} + \frac{1,51^2 + 1}{2}$$

$$N_1 = 3,02 \frac{29,94}{390,4512} + \frac{3,2801}{2}$$

$$N_1 = 1,8678$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}}$$

$$n_1 = \sqrt{1,8678 + \sqrt{1,8678^2 - 1,51^2}}$$

$$n_1 = \sqrt{2,967}$$

$$n_1 = 1,72251$$

$$N = 2n_s \frac{TM_2 - Tm_1}{TM_2 \times Tm_1} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 2 \cdot 1,51 \frac{39,92 - 5,28}{39,92 \times 5,28} + \frac{1,51^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 3,02 \frac{34,64}{210,7776} + \frac{3,2801}{2}$$

$$N_2 = 2,135155355$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{2,135155355 + \sqrt{2,135155355^2 - 1,51^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{3,644720984}$$

$$n_2 = 1,9091152$$

2. Perhitungan Ketebalan FT₃

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)}$$

$$d = \frac{800 \text{ nm} \cdot 750 \text{ nm}}{2(800 \text{ nm} \cdot 1,72251 - 750 \text{ nm} \cdot 1,9091152)}$$

$$d = -5573,22565 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Lampiran 4. Perhitungan Ukuran Partikel

1. Perhitungan Ukuran Partikel

$$d = \sqrt{\frac{L. Area}{\pi}}$$

2. Rata-Rata Ukuran Partikel

$$Mean = \frac{Jumlah\ Seluruh\ Diameter}{Banyak\ partikel}$$

1. Fe₃O₄

$$Mean = \frac{Jumlah\ Seluruh\ Diameter}{Banyak\ partikel}$$

$$Mean = \frac{2960,12\ nm}{20}$$

$$Mean = 148,006\ nm$$

2. TiO₂

$$Mean = \frac{Jumlah\ Seluruh\ Diameter}{Banyak\ partikel}$$

$$Mean = \frac{6465,276\ nm}{36}$$

$$Mean = 184,7222\ nm$$

3. FT₃

$$Mean = \frac{Jumlah\ Seluruh\ Diameter}{Banyak\ partikel}$$

$$Mean = \frac{8917,014\ nm}{54}$$

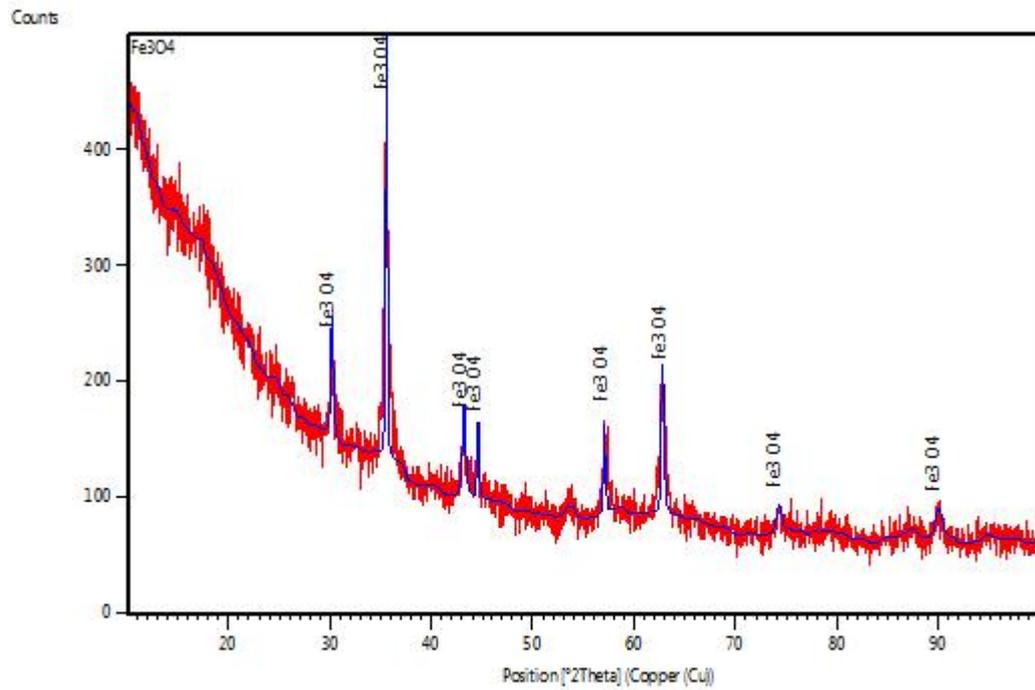
$$Mean = 181,7966\ nm$$

3. JCPDS no. 04-0551 (TiO₂, rutile)

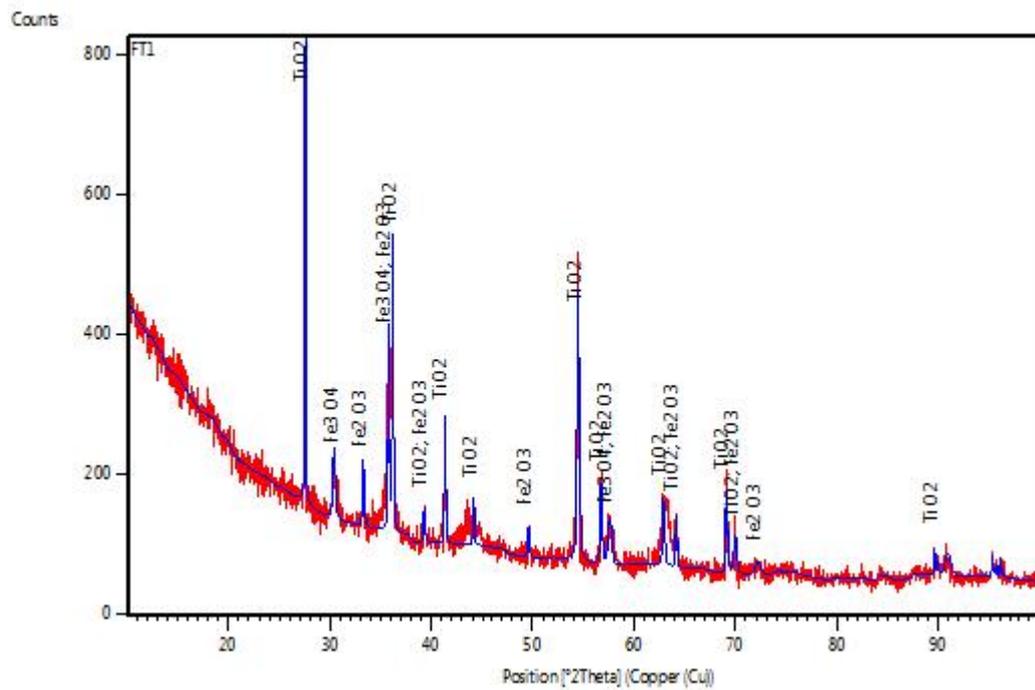
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	0	3.24500	27.464	100.0
2	1	0	1	2.48900	36.056	41.0
3	2	0	0	2.29700	39.188	7.0
4	1	1	1	2.18800	41.226	22.0
5	2	1	0	2.05400	44.052	9.0
6	2	1	1	1.68700	54.337	50.0
7	2	2	0	1.62400	56.631	16.0
8	0	0	2	1.48000	62.728	8.0
9	3	1	0	1.45300	64.030	6.0
10	3	0	1	1.36000	68.999	16.0
11	1	1	2	1.34700	69.761	7.0
12	3	1	1	1.30500	72.352	1.0
13	2	0	2	1.24300	76.590	3.0
14	2	1	2	1.20000	79.870	1.0
15	3	2	1	1.17000	82.352	4.0
16	4	0	0	1.14850	84.242	4.0
17	4	1	0	1.11400	87.494	1.0
18	2	2	2	1.09330	89.589	4.0
19	3	3	0	1.08270	90.708	4.0
20	4	1	1	1.04240	95.287	5.0
21	3	1	2	1.03610	96.054	4.0
22	4	2	0	1.02730	97.151	3.0
23	1	0	3	0.96420	106.050	2.0
24	4	0	2	0.90710	116.247	3.0
25	5	1	0	0.90070	117.569	3.0
26	2	1	3	0.88920	120.059	5.0
27	5	0	1	0.87730	122.812	6.0
28	3	3	2	0.87390	123.636	5.0
29	4	2	2	0.84370	131.847	5.0
30	3	0	3	0.82900	136.618	5.0
31	5	2	1	0.81960	140.052	8.0

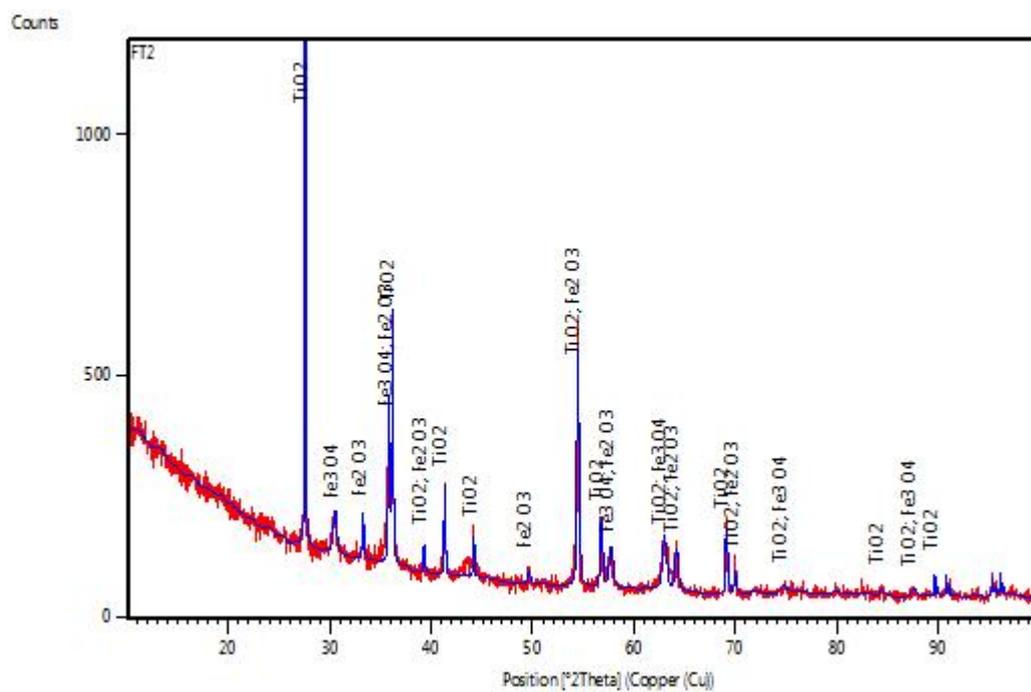
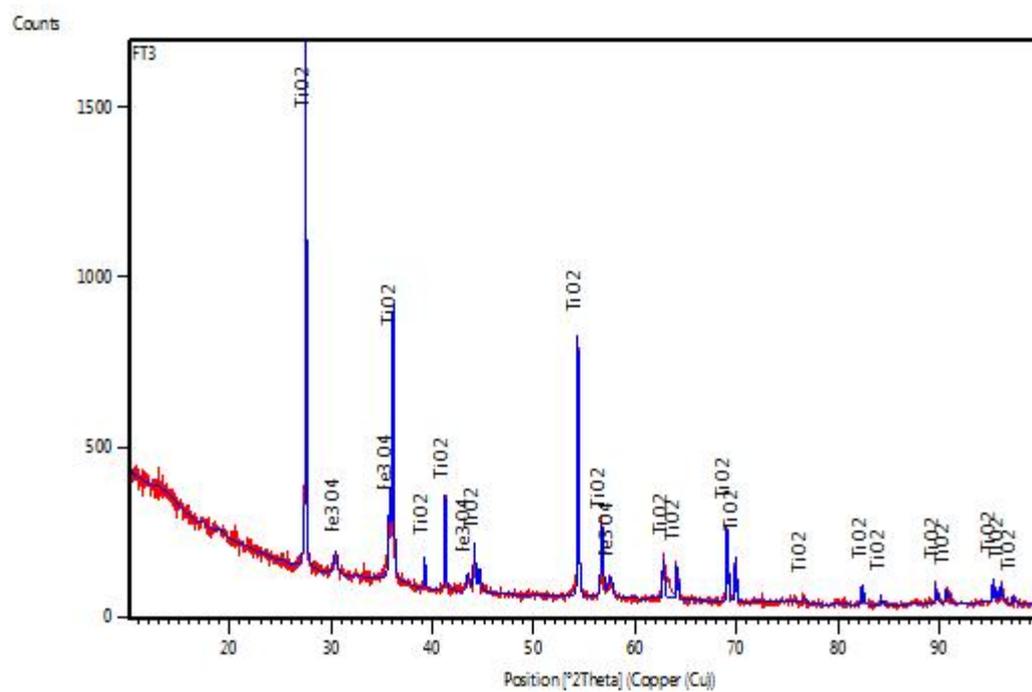
Lampiran 6. Data Uji XRD

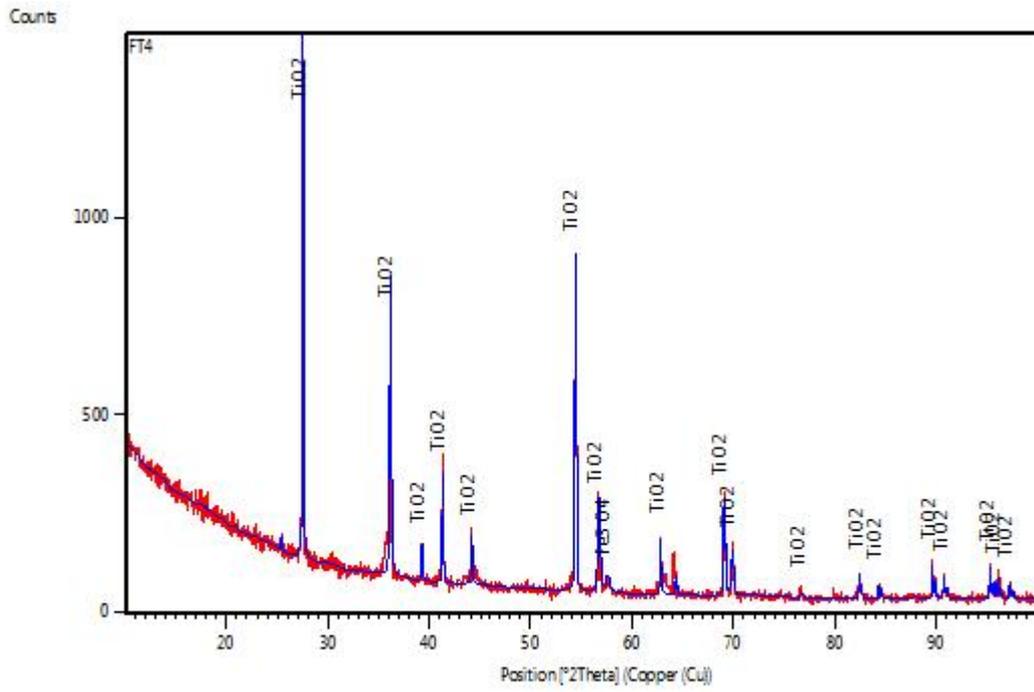
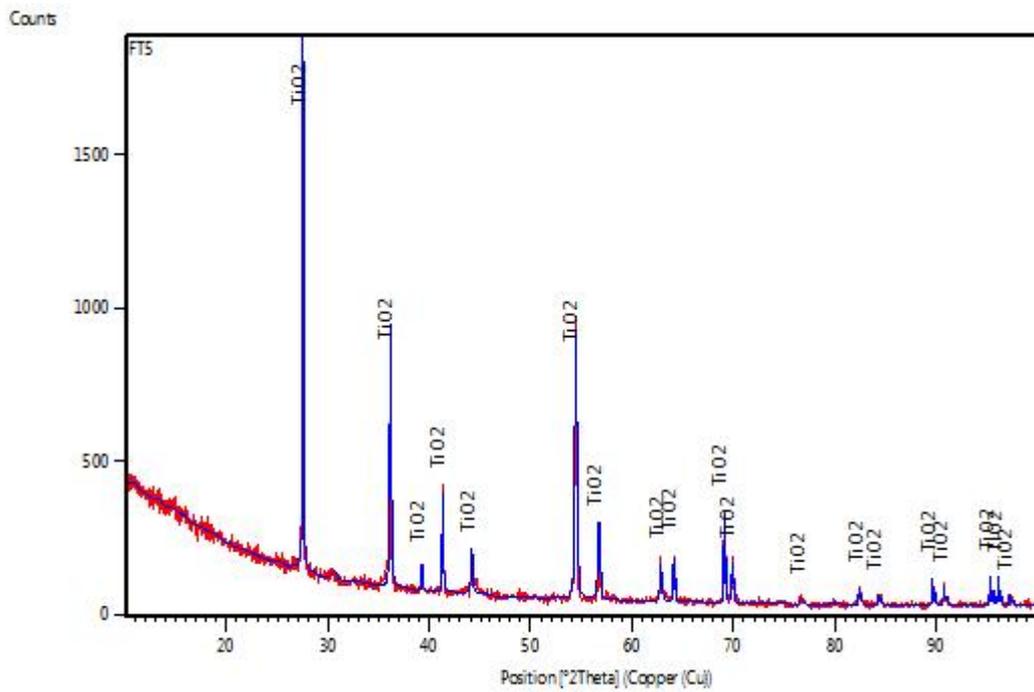
1. Fe₃O₄

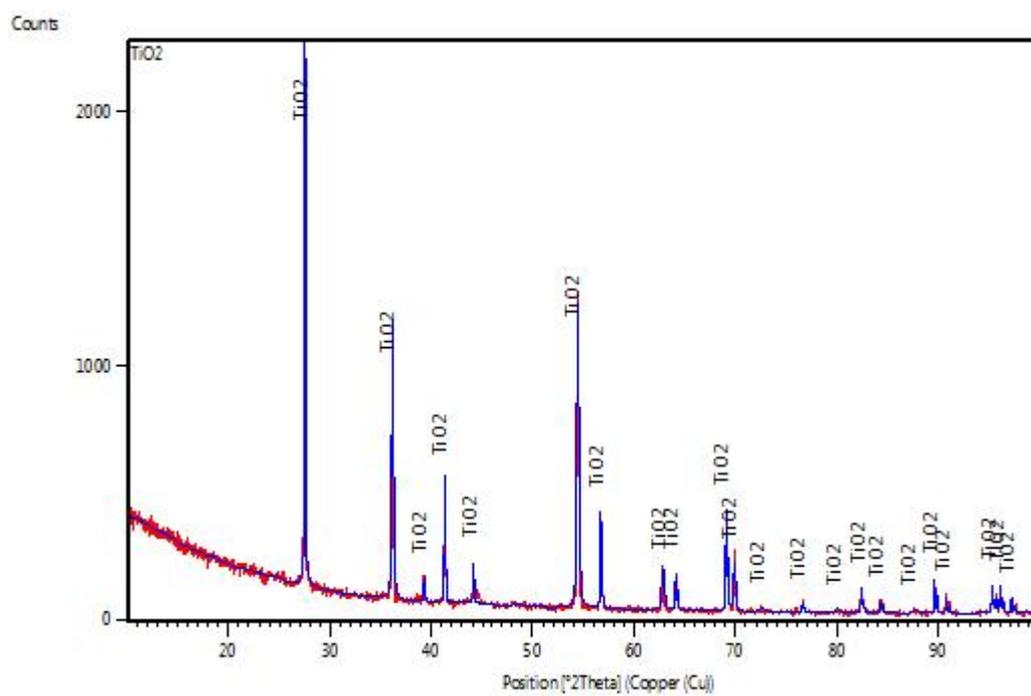


1. FT₁



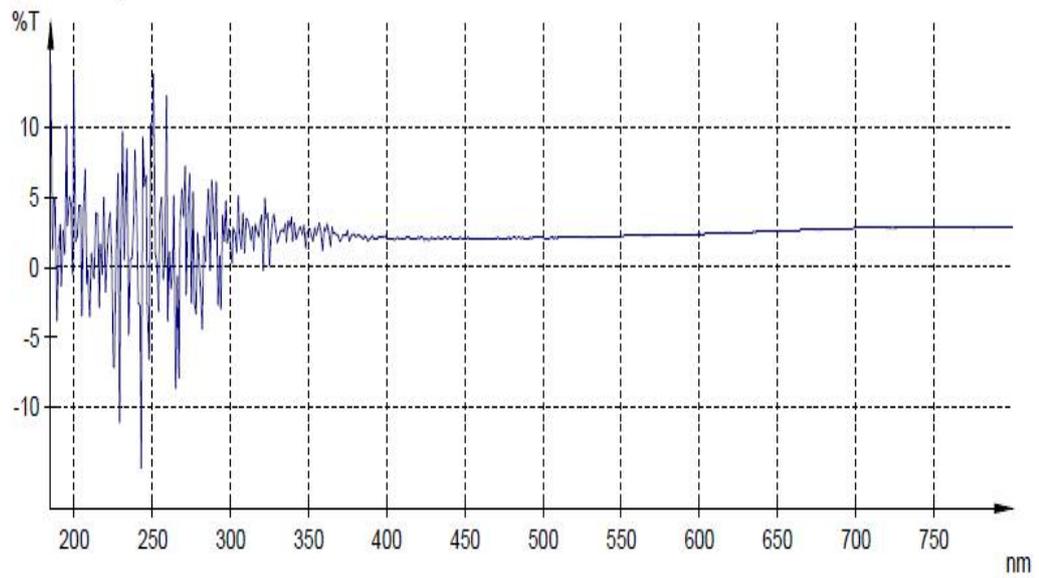
2. FT₂3. FT₃

4. FT₄5. FT₅

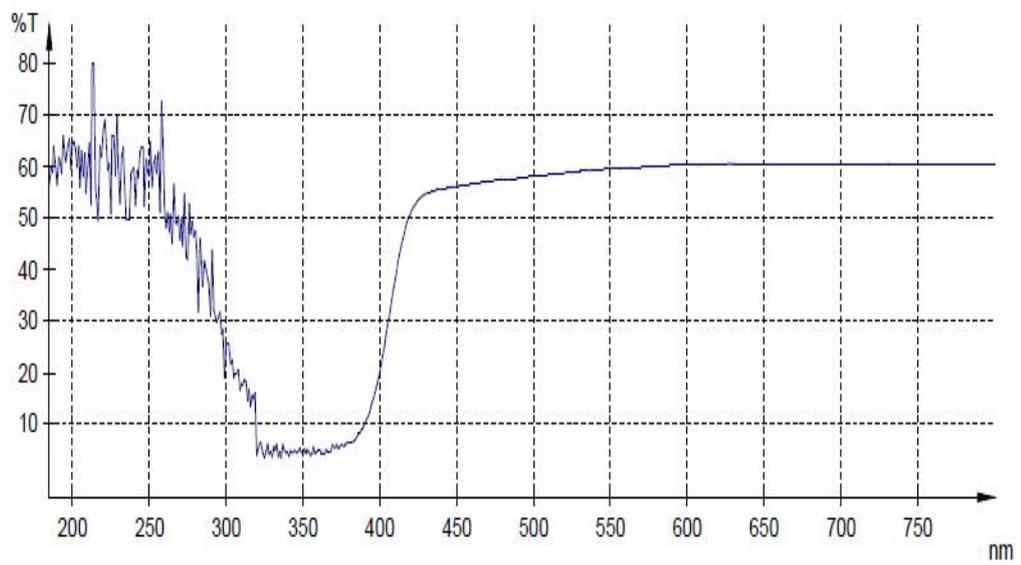
6. TiO_2 

Lampiran 7. Data Uji UV-Vis1. Fe_3O_4

Org. data - Graphic

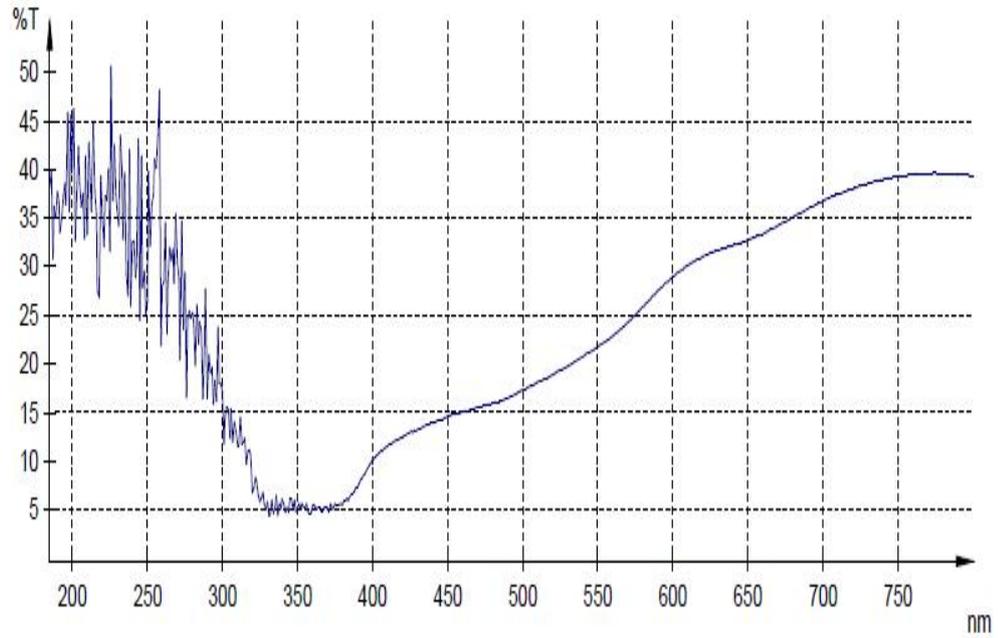
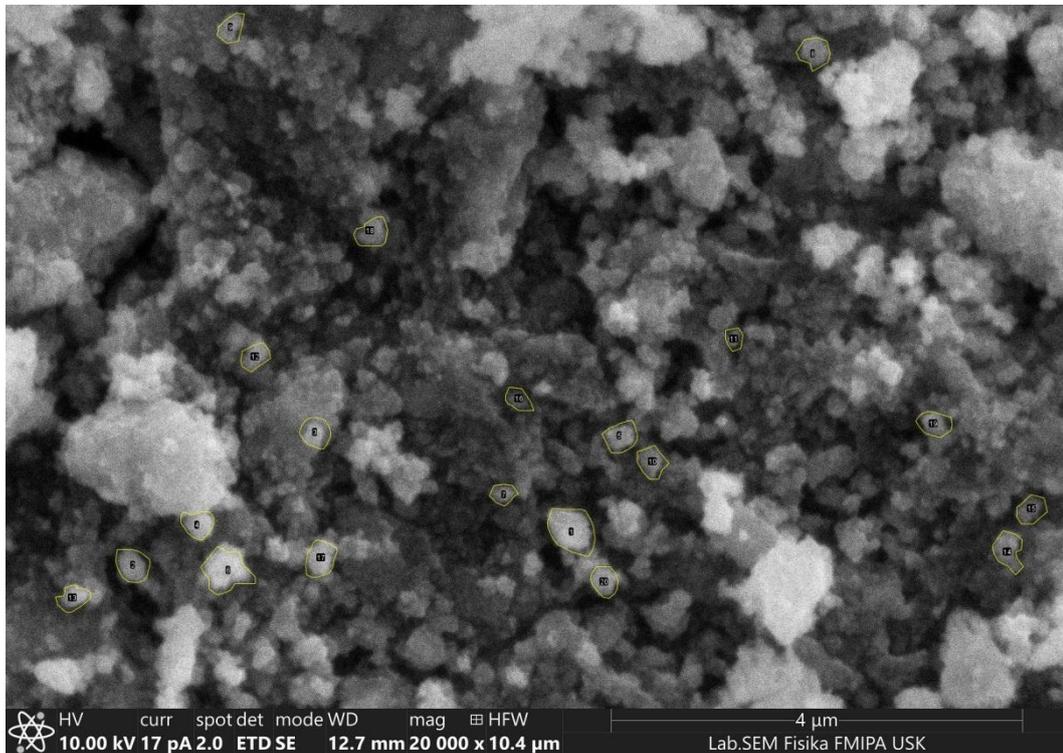
2. TiO_2

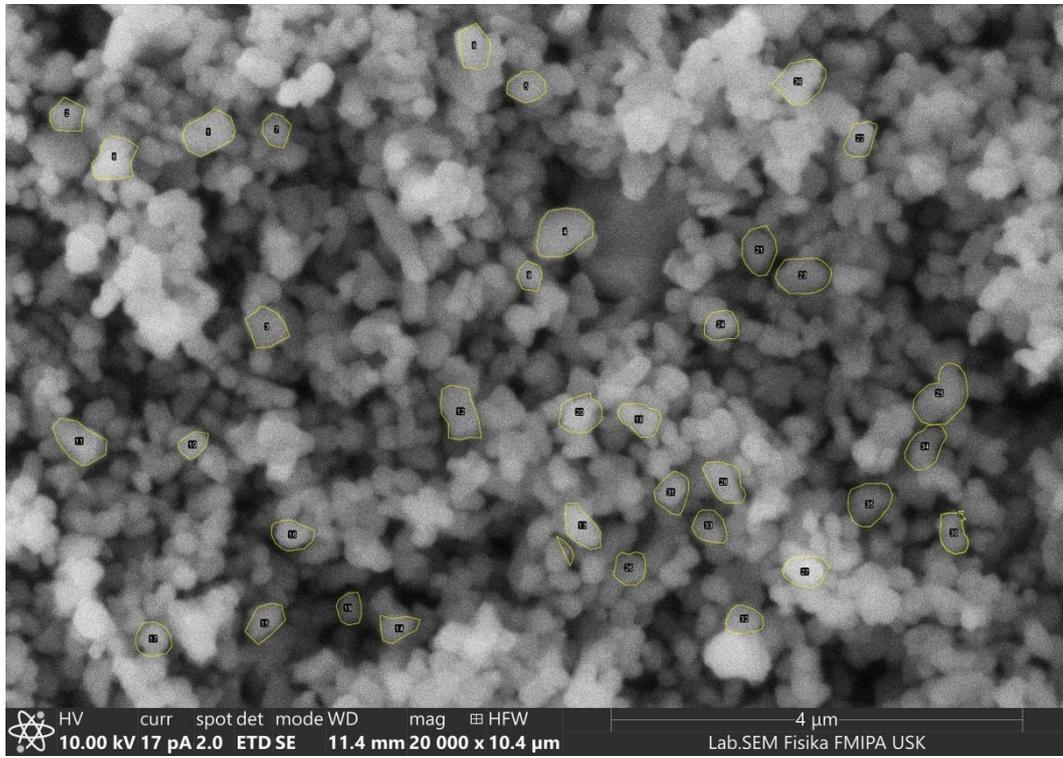
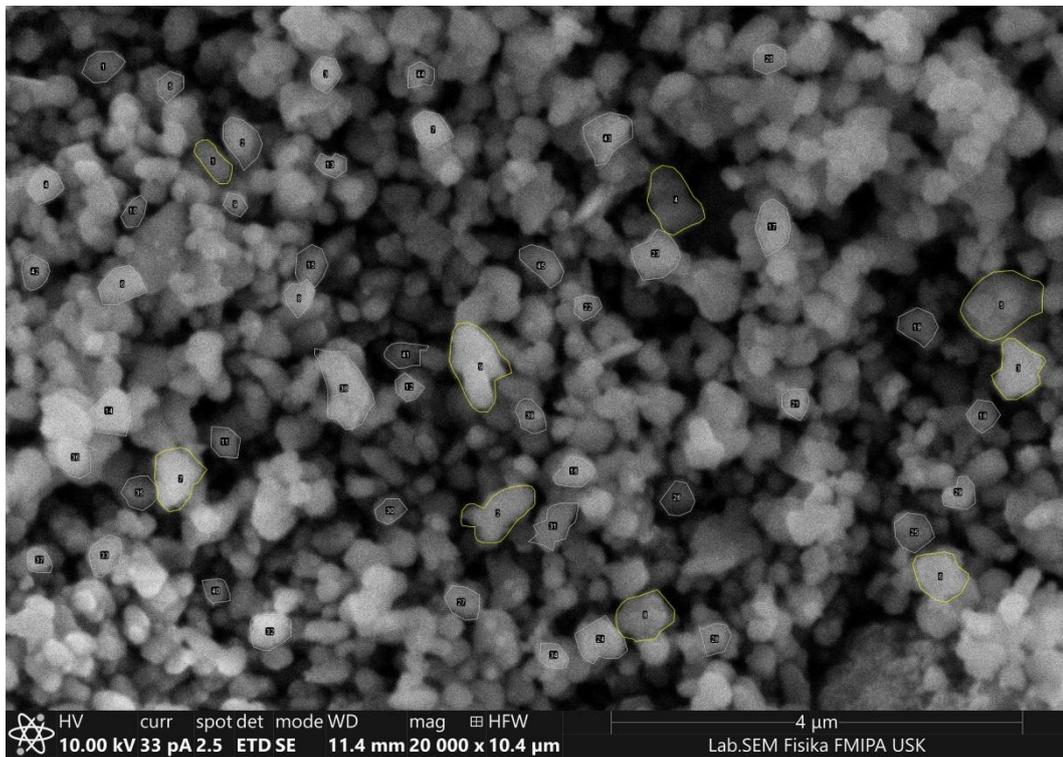
Org. data - Graphic



3. FT₃

Org. data - Graphic

**Lampiran 8.** Data Uji SEM1. Fe₃O₄

2. TiO₂3. FT₃

Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian

**Pengambilan Pasir Sungai
Batanghari**



Pengeringan Pasir



Penyaringan Pasir



**Penarikan pasir besi sebanyak
15 kali Pengulangan**



Setelah penarikan 15 kali



Pengayakkan Pasir



Penimbangan Pasir Besi 40 gr



Pengadukan Pasir besi dengan HCl di Hotplate



Penyaringan Filtrat



Pengendapan selama 1 jam



Pencucian filtrat



Endapan dikeringkan



Pasir besi digerus



Pembuatan Fe_3O_4 dan TiO_2



Pembuatan Fe_3O_4 dan TiO_2 setelah digerus selama 2 jam



Setelah di *Furnace*



Oven



Furnace



Hotplate



Neraca Digital



Magnet



Stirrer



TiO₂



Aquadest



NH_4OH



HCl

