

**SINTESIS NANOPARTIKEL HEMATIT ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) DENGAN VARIASI KONSENTRASI
EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L*)**

SKRIPSI

Oleh:
NIDAYANTI
NIM. 18630007



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**SINTESIS NANOPARTIKEL HEMATIT (α -Fe₂O₃) DENGAN VARIASI KONSENTRASI
EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L*)**

SKRIPSI

**Oleh:
NIDAYANTI
NIM. 18630007**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana MALIK Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS NANOPARTIKEL HEMATIT ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) DENGAN VARIASI KONSENTRASI
EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L*)

SKRIPSI

Oleh:
NIDAYANTI
NIM. 18630007

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal:

Pembimbing I

Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 20190201 2 008

Pembimbing II

Lulu'atul Hamidatu Ulva, M.Sc
NIDT. 19900906 202321 2 033



Mengetahui
Ketua Program Studi Kimia

Rachmawati Wahidiah, M.Si
NIP. 19810811 200301 2 010

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS NANOPARTIKEL HEMATIT ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) DENGAN VARIASI KONSENTRASI
EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L*)

SKRIPSI

Oleh:
NIDAYANTI
NIM. 18630007

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal:

Pembimbing I

Pembimbing II

Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 201903 2 008

Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIP. 19900906 202321 2 033

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia

Rachmawati Ningsih, M. Si
NIP. 19810811 200801 2 010
**SINTESIS NANOPARTIKEL HEMATIT (α -Fe₂O₃) DENGAN VARIASI KONSENTRASI
EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L*)**

SKRIPSI

Oleh:
NIDAYANTI
NIM.18630007

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi Dan Dinyatakan Diterima
Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal:**

Penguji Utama	: Elok Kamilah Hayati, M.Si : NIP. 19790620 200604 2 002	(.....)
Ketua Penguji	: Susi Nurul Khalifah, M.Si : NIP. 19851020 201903 2 012	(.....)
Sekretaris Penguji	: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si : NIP. 19831226 201903 2 008	(.....)
Anggota Penguji	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M,Sc : NIP. 19900906 202321 2 033	(.....)

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia

Rachmaati Ningsih, M.Si

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nidayanti

NIM : 18630007

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : "Sintesis Nanopartikel Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L*)"

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 22 April 2024

Yang membuat pernyataan



Nidayanti
NIM.18630007

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nidayanti

NIM : 18630007

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : "Sintesis Nanopartikel Hematit (α -Fe₂O₃) dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L*)"

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 22 April 2024

Yang membuat
pernyataan

Nidayanti
NIM.18630007

MOTTO

“Tidak perlu membandingkan hasil kita dengan orang lain, cukup kita syukuri apa yang sudah didapat dan terus berusaha.”

&

“Jalani saja apa yang sudah ada didepan mata, jangan dulu memikirkan hari esok.”

(Orang Tua Nida)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya. Bapak Dalil dan Ibu Watikem yang telah memberikan kasih sayang, doa serta dukungan baik berupa moril maupun materil. Semoga senantiasa diberikan kesehatan dan keberkahan agar selalu bisa menjadi *support system* utama saya dalam menjalani hari-hari yang akan datang.

Teman-teman Mayonas terimakasih banyak walaupun dengan jarak yang berjauhan selalu memberikan motivasi kepada saya. Terimakasih teman-teman Bu Jams *Family* yang selalu menjadi tempat bercerita dan berkeluh kesah. Semoga kalian semua selalu dalam lindungan Allah Swt. Terimakasih kepada Mas Audi yang telah banyak membantu baik berupa moril dan materil dan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini.

Untuk kedua adik saya, Kasimai Jaenudi dan Hanisa Citrawati yang selalu menjadi alasan saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Semoga senantiasa diberikan kelancaran dan keberkahan dalam proses menuntut ilmu. Terakhir, terimakasih untuk diri saya sendiri karena tetap mau berjuang sampai penyusunan skripsi ini selesai. Semoga proses selanjutnya dipermudah dan diperlancar oleh Allah Swt.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur *alhamdulillah* penulis haturkan kehadirat Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains

dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus menyelesaikan tugas akhir/skripsi ini dengan baik.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si dan Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberikan pengarahan dan pengalaman yang berharga.
5. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si dan Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si selaku dosen penguji skripsi yang telah banyak memberikan saran dan masukan demi perbaikan naskah skripsi.
6. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik berupa materil maupun moril.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Malang, 22 April 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN.....	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
مستخلص البحث.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Besi Oksida sebagai Pigmen	5
2.2 Limbah Bubut Besi	7
2.3 Daun Pepaya (<i>Carica Papaya Linn</i>)	7
2.4 Sintesis Hematit Menggunakan Metode Presipitasi	10
2.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya pada Sintesis Hematit.....	12
2.6 Pandangan Islam terhadap Pengolahan Limbah Besi	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Rencana Penelitian	15
3.4 Tahapan Penelitian.....	15
3.5 Cara Kerja	16
3.5.1 Preparasi Sampel.....	16
3.5.2 Pembuatan Prekursor (Fe^{3+}).....	16
3.5.3 Ekstraksi Daun Pepaya dengan Metode Infusa	16
3.5.4 Sintesis Hematit dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya	16
3.5.5 Karakterisasi Hasil Sintesis.....	17
3.6 Analisis Data	18
3.6.1 Analisis Hasil X-Ray Diffraction (XRD)	18

3.6.2	Analisis Hasil <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	18
3.6.3	Analisis Hasil Scanning Electron Microscopy (SEM).....	18
3.6.4	Analisis Hasil Color Reader.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		20
4.1	Hasil Pembuatan Prekursor Ferri.....	20
4.2	Karakteristik Hasil Ekstrak Daun Pepaya	21
4.3	Karakteristik Hematit Hasil Sintesis	24
4.4	Karakteristik Pigmen Hematit.....	30
4.8	Pandangan Islam Tentang Penelitian yang Dilakukan.....	31
BAB V PENUTUP		34
5.1	Kesimpulan	34
5.2	Saran	34
DAFTAR PUSTAKA.....		35
DAFTAR LAMPIRAN		41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kristalografi Hematit	6
Tabel 2.2 Sintesis Nanopartikel dengan beberapa Metode dan Bahan Alam	11
Tabel 4.1 Interpretasi bilangan gelombang spektra FTIR.....	23
Tabel 4.2 Data ukuran kristal hematit.....	27
Tabel 4.3 Struktur kristal hematit.....	28
Tabel 4.4 Hasil analisis warna pigmen hematit.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kristal hematit berbentuk rombohedral (Machala, dkk., 2011)	6
Gambar 2.2 Daun Pepaya (Anitha, dkk., 2018).....	7
Gambar 2.3 (a) Geometri koordinasi oktahedral kompleks besi-katekol; R=H; (b) Koordinasi Fe ³⁺ oleh katekol, yang menyebabkan reduksi besi dan pembentukan semikuinon; dan Reduksi Fe ³⁺ menyebabkan pembentukan kuinon dan Fe ²⁺ (Perron & Brumaghim, 2009).	9
Gambar 2.4 Analisis FTIR daun Carica papaya L	10
Gambar 2.5 Pola XRD hematit yang diperoleh dari prekursor ferrihidrit (Supattarasakda, dkk., 2013).....	10
Gambar 2.6 Pengamatan hasil karakterisasi FE-SEM nanopartikel (a) perbesaran rendah, (b) perbesaran tinggi (Supattarasakda, dkk., 2013).....	11
Gambar 2.7 Pola XRD dari AgNPs dengan konsentrasi trisodium sitrat 0,10 M	12
Gambar 2.8 Hasil karakterisasi FE-SEM dari AgNPs dengan 0,10 M dan 0,125 M konsentrasi trisodium sitrat	13
Gambar 4.1 Sampel prekursor; (a) sebelum diuji, dan (b) setelah diuji secara kualitatif dengan reagen NaOH	20
Gambar 4.2 Ekstrak daun pepaya, (a) sebelum diuji, (b) setelah diuji dengan FeCl ₃	21
Gambar 4.3 Reaksi antara FeCl ₃ dengan tanin.....	21
Gambar 4.4 Interpretasi spektra FTIR prekursor.....	22
Gambar 4.5 Interpretasi spektra FTIR; (a) ekstrak daun pepaya, (b) prekursor sebelum kalsinasi, dan (c) prekursor setelah kalsinasi	22
Gambar 4.6 Penambahan ekstrak daun pepaya	24
Gambar 4.7 Visualisasi hasil sintesis sebelum kalsinasi dengan variasi ekstrak daun pepaya (a)20%, (b) 30%, (c) 40%; dan setelah kalsinasi (d) 20%, (e) 30%, (f) 40%.....	25
Gambar 4.8 Difraktogram dari hasil sintesis hematit.....	26
Gambar 4.9 Pelebaran beberapa puncak tertinggi pada hematit (a) standar senyawa, sampel dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya (b) 20%, (c) 30%, dan (d) 40%.....	27

ABSTRAK

Nidayanti. 2024. **Sintesis Nanopartikel Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L.*)**. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si.; Pembimbing II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.

Kata kunci: Hematit, nanopartikel, daun pepaya

Limbah bubut besi mengandung unsur besi yang tinggi yaitu sebesar 97,11%, sehingga berperan sebagai prekursor dalam sintesis hematit. Hematit merupakan salah satu besi oksida yang mempunyai kestabilan paling tinggi. Pigmen hematit memiliki karakter unggul dalam stabilitas kimia, daya tahan dan daya tutup baik, kuat dalam pewarnaan, *nontoxicity* sehingga dapat digunakan sebagai pigmen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode presipitasi dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya 20%, 30% dan 40%. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD, *Coloreader*, FTIR dan SEM. Tujuan penelitian ini yaitu mengkaji adanya pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya terhadap karakteristik pigmen hematit. Hasil XRD memperoleh fasa hematit dengan berstruktur rhombohedral, selain itu variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya tidak berpengaruh signifikan terhadap ukuran kristal yang diperoleh. Ukuran kristal yang diperoleh berturut-turut sebesar 39,05 nm; 32,02 nm; 36,10 nm. Nilai warna meliputi L^* , a^* , b^* dan C^* yang dihasilkan sesuai rentang standar pigmen hematit. Akan tetapi pada nilai warna H^0 sedikit melampaui rentang standar pigmen hematit. Variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya menunjukkan semakin banyak konsentrasi ekstrak yang digunakan, maka pigmen yang dihasilkan semakin merah gelap. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus Fe-O pada bilangan gelombang 518 dan 432 cm^{-1} . Hasil SEM diperoleh morfologi berbentuk oval, dengan ukuran rata-rata partikel pada masing-masing variasi secara berturut-turut yaitu sebesar 2,1 nm; 41,0 nm; 8,1 nm.

ABSTRACT

Nidayanti. 2023. **Synthesis Nanoparticles Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) with Various Concentrations of Papaya Leaf Extract (*Carica Papaya L.*)**. Thesis. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si.; Advisor II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.

Keywords: *Hematite, nanoparticle, papaya leaf*

Lathe iron waste contains high iron elements, namely 97.11%, which can potentially be a precursor in hematite synthesis. Hematite is an iron oxide with high stability, high durability, good covering ability, strong coloring power, and non-toxic properties that can be used as a pigment. The method used in this research was precipitation with varying concentrations of papaya leaf extract, namely 20%, 30%, and 40%. The synthesis results were characterized using XRD, Colorreader, FTIR, and SEM instruments. This research examines the effect of varying papaya leaf extract concentrations on hematite pigment characteristics. The results of XRD characterization show that the synthesized product is hematite with a rhombohedral structure, which has a crystal size of 32 – 39 nm. Color grades include L^* , a^* , b^* , and C^* , produced according to the standard range of hematite pigments. Variations in the concentration of papaya leaf extract show that the greater the concentration of the extract, the darker the red pigment produced. FTIR characterization results show the presence of Fe-O groups at wave numbers 518 and 432 cm^{-1} . The SEM results are aggregate, with average particle sizes for each variation of 2.1, 41.0, and 8.1 nm, respectively.

مستخلص البحث

نيديانتي، ٢٠٢٤. تخليق جسيمات الهيماتيت النانوية ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) مع اختلافات في تركيز مستخلص أوراق البابايا (*carica papaya L*). بحث جامعي. برنامج دراسة الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، مالانج. المشرفة الأولى: ليليك مفتاح الخير، الماجستير؛ المشرفة الثانية: لولوة الحميدة العليا، الماجستير
الكلمة الرئيسية: الهيماتيت، الجسيمات النانوية، أوراق البابايا

تحتوي نفايات مخرطة الحديد على عنصر حديد عالي بنسبة ١١.٧٩٪، لذلك فهي بمثابة مقدمة في تخليق الهيماتيت. الهيماتيت هو أحد أكاسيد الحديد التي تتمتع بأعلى ثبات. صبغة الهيماتيت لها شخصيات متفوقة في الاستقرار الكيميائي والمتانة وقوة إغلاق جيدة، قوية في التلوين، عدم السمية بحيث يمكن استخدامها كصبغة. الطريقة المستخدمة في هذا البحث هي طريقة الترسيب مع اختلافات في تركيز مستخلص أوراق البابايا ٠.٢٪ و ٠.٣٪ و ٠.٤٪. تم توصيف النتائج التجميعية باستخدام أدوات XRD و coloreader و FTIR و SEM. كان الغرض من هذا البحث هو فحص تأثير الاختلافات في تركيز مستخلص أوراق البابايا على خصائص صبغة الهيماتيت. حصلت نتائج XRD على طور الهيماتيت مع بنية المعينية السطوح، إلى جانب أن الاختلافات في تركيز مستخلص أوراق البابايا لم يكن لها تأثير كبير على حجم البلورات التي تم الحصول عليها. كان حجم الكريستال الذي تم الحصول عليه ٥٠.٩٣ نانومتر على التوالي؛ ٢٠.٢٣ نانومتر؛ ١٠.٦٣ نانومتر. تشمل درجات الألوان L و a و b و C التي يتم إنتاجها وفقا للنطاق القياسي لأصباغ الهيماتيت. ومع ذلك، فإن قيمة اللون H^0 تتجاوز قليلا النطاق القياسي لأصباغ الهيماتيت. تظهر الاختلافات في تركيز مستخلص أوراق البابايا أنه كلما زاد تركيز المستخلص المستخدم، كلما كان الصباغ أعمق. تظهر نتائج توصيف FTIR وجود مجموعات Fe-O عند الأرقام الموجية ٨١٥ و cm^{-1} ٢٣٤. حصلت نتائج SEM على مورفولوجيا بيضاوية الشكل بمتوسط حجم الجسيمات في كل تباين على التوالي يصل إلى ١.٢ نانومتر. ٠.١٤ نانومتر؛ ١.٨ نانومتر.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah bubuk besi adalah limbah yang diperoleh dari proses kerajinan industri besi, yang menghasilkan serpihan (serbuk) besi yang sulit terurai dalam lingkungan sehingga dapat membahayakan kesehatan. Limbah bubuk besi termasuk bahan beracun berbahaya, di mana hal tersebut sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 101/2014 yang menyatakan bahwa limbah bubuk besi termasuk ke dalam Bahan Beracun Berbahaya (B3) karena mengandung besi yang diperoleh dari proses industri (Ukas dan Arman, 2020). Apabila limbah bubuk besi tersebut tidak diolah dengan baik dan benar, maka akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan, sebagaimana firman Allah Swt. dalam QS. Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Kata *zhahara* pada mulanya berarti *terjadinya sesuatu di permukaan bumi*. Sehingga karena dia di permukaan, maka menjadi nampak dan terang serta diketahui dengan jelas. Setelah kata *zhahara* terdapat kata *al-fasad*, menurut al-Ashfahani *al-fasad* bermakna *keluarnya sesuatu dari keseimbangan, baik sedikit maupun banyak*. Beberapa ulama kontemporer memahami kata *al-fasad* dalam arti kerusakan lingkungan, karena ayat di atas mengaitkan *al-fasad* tersebut dengan kata darat dan laut. Kerusakan lingkungan yang dilakukan manusia mengakibatkan gangguan keseimbangan di darat dan laut. Semakin banyak kerusakan lingkungan, maka semakin besar pula dampak buruknya terhadap manusia itu sendiri, karena pada dasarnya Allah Swt. telah menciptakan alam semesta dalam satu sistem yang sangat serasi dan sesuai dengan kehidupan manusia (Shihab, 2002).

Bubuk besi mengandung unsur Fe yang sangat tinggi yaitu sebanyak 97% (Khoiroh, dkk., 2021), sehingga bubuk besi dapat berpotensi sebagai prekursor sintesis hematit. Adapun upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan, yang disebabkan oleh limbah bubuk besi yaitu dengan mengolahnya menjadi hematit. Besi oksida hematit mempunyai aplikasi teknologi diantaranya yaitu sebagai pigmen, elektrokatalisis, fotokatalisis, sensor, bahan biomedis, adsorben dan pelapis antikorosi (Bagheri, dkk., 2013). Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) merupakan oksida besi yang mempunyai kestabilan paling tinggi dibandingkan dengan oksida besi fasa lainnya (Abusalem dkk., 2019).

Nanopartikel hematit memiliki banyak keunggulan dibandingkan hematit yang berukuran lain. Nanopartikel ini mempunyai luas permukaan yang besar dan tingkat reaktifitas yang tinggi, sehingga hematit dengan ukuran partikel semakin kecil maka kestabilannya juga semakin meningkat dalam kekuatan pewarnaan (Fouda, dkk., 2012). Nanopartikel tersebut berukuran 1-100 nm (Abusalem dkk., 2019). Nanopartikel hematit bersifat tidak beracun, *biocompatible*, dan sifat kimia aktif pada permukaannya, sehingga nanopartikel berpotensi dibidang pigmentasi. Pigmen hematit memiliki kelebihan yaitu tidak beracun, dan mempunyai stabilitas kimia yang baik, serta tahan terhadap suhu tinggi sehingga mempunyai karakteristik pigmen yang lebih unggul (Khalil, dkk., 2017). Selain itu, pigmen juga berfungsi untuk menambah warna, memberi daya tutup dan anti korosi kayu (Septityana dkk., 2013). Menurut Chabib (2017) dalam penelitiannya yang telah mensintesis pigmen hematit menggunakan limbah bubuk besi menghasilkan pigmen hematit berwarna merah cerah.

Metode presipitasi termasuk metode yang paling banyak digunakan karena prosesnya yang sederhana, mudah dan biayanya terjangkau (Zanur, 2017). Berdasarkan penelitian Zanur (2017) tentang sintesis dan karakterisasi pigmen hematit dengan metode presipitasi dengan struktur yang dihasilkan yaitu rombohedral. Metode sintesis nanopartikel memiliki beberapa kelemahan, salah satunya yaitu penggunaan pelarut yang beracun dan menghasilkan produk buangan yang berbahaya (Drummer, dkk., 2021). Penggunaan agen reduktor seperti etilen glikol ($C_2H_6O_2$), hidrazin hidrat (H_6N_2O), dimetil formadida (DMF) dan natrium borohidra ($NaBH_4$) dapat menghasilkan limbah yang berpotensi menjadi polutan bagi lingkungan (Nasrollahzadeh, dkk., 2019). Oleh karena itu, saat ini telah dikembangkan metode menggunakan ekstrak daun pepaya, dapat diartikan sebagai sintesis suatu senyawa dengan menggunakan bahan alam, yaitu ekstrak tumbuhan. Metode tersebut bertujuan agar meminimalisir efek dari bahan kimia beracun yang biasanya digunakan dalam sintesis besi oksida (Kharissova, dkk., 2019). Ekstrak tumbuhan dapat digunakan sebagai agen reduktor dalam proses sintesis besi oksida, sehingga dapat menggantikan agen pereduksi dari bahan berbahaya (Peralta-Videa, dkk., 2016).

Penggunaan ekstrak tanaman dalam sintesis nanopartikel telah banyak dilakukan (Muliadi, dkk., 2015). Ekstrak tanaman diyakini berperan sebagai reduktor dalam sintesis nanopartikel. Selain itu, sifat dari ekstrak tanaman dapat mempengaruhi jenis nanopartikel yang disintesis, dan sumber ekstrak tanaman menjadi faktor penting yang dapat mempengaruhi morfologi nanopartikel yang disintesis (Mukunthan dan balaji, 2012). Ekstrak daun pepaya dapat digunakan sebagai agen reduktor pada sintesis besi oksida (Balana dkk., 2015). Hal tersebut dikarenakan tanaman pepaya mudah ditemukan dilingkungan daerah tropis (Balavijayalakshmi dan Ramalakshmi, 2017). Berdasarkan penelitian Bhuiyan dkk (2020) bahwasanya terdapat puncak yang intens dan tajam menunjukkan bahwa nanopartikel Fe_2O_3 terbentuk dengan metode reduksi menggunakan ekstrak daun pepaya yang bersifat kristalin. Selain itu, bentuknya agak bulat dengan ukuran rata-rata 21,59 nm.

Rajendran dan Kandasamy (2017) telah melakukan penelitian tentang sintesis besi oksida dengan variasi konsentrasi (5%, 10%, 15%, dan 20%) ekstrak daun turi sebagai agen pereduksi, hasil yang didapatkan yaitu semakin meningkatnya jumlah ekstrak daun turi yang digunakan, mengakibatkan meningkatnya laju reduksi dan reduksi prekursor menjadi nanopartikel. penelitian Savaranakumar, dkk., (2017) berhasil mensintesis hematit yang menghasilkan struktur kristal rhombohedral dengan ruang grup R3c, serta ukuran rata-rata dari nanopartikel 600-300 nm yang menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi agen reduktor.

Berdasarkan pernyataan diatas, salah satu cara untuk mengurangi limbah bubut besi yaitu dengan memanfaatkan kembali limbah bubut sebagai prekursor dengan menggunakan metode presipitasi. Penelitian ini akan mensintesis hematit dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya (20%, 30%, dan 40%). Metode yang digunakan adalah metode presipitasi (suhu 90 °C) dan dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infa Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Color Reader*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya terhadap struktur dan warna pada hematit?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya terbaik terhadap morfologi serta gugus fungsi dari hematit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya terhadap struktur dan warna hematit.
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ekstrak daun pepaya terhadap morfologi serta gugus fungsi dari hematit.

1.4 Batasan Masalah

Menghindari luasnya objek kajian dalam penelitian ini maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Limbah besi yang digunakan adalah limbah bubut besi yang diperoleh dari industri kerajinan Kota Malang.
2. Ekstrak daun pepaya yang digunakan adalah daun pepaya bangkok yang diambil dari perkebunan Kota Malang.
3. Metode sintesis yang digunakan adalah metode presipitasi pada suhu 90 °C dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 750 °C selama 3 jam.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh setelah dilakukannya penelitian ini yaitu dapat mengurangi limbah bubut besi, mengurangi pencemaran lingkungan, dan menambah nilai ekonomis dari limbah bubut besi, dan daun pepaya, serta mengurangi limbah kimia karena agen reduktor yang digunakan yaitu ekstrak daun pepaya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Oksida sebagai Pigmen

Besi oksida merupakan senyawa kimia yang tersusun dari besi dan oksigen. Menurut Abdulkadir et al (2013) terdapat 16 senyawa besi oksida yang telah ditemukan dalam bentuk oksida dan oksihidroksida, dimana terdapat lima polimorf dari senyawa FeOOH diantaranya yaitu goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$), lepodocrocite ($\gamma\text{-FeOOH}$), akaganite ($\beta\text{-FeOOH}$), feroxyhyte ($\delta\text{-FeOOH}$), dan ferrihydrite FeOOH ; Empat dari senyawa Fe_2O_3 (yaitu, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, maghemite $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$, dan $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$), $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{FeHO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Fe_3O_4 (magnetit), dan FeO (wusite) beberapa di antaranya tidak hanya berbentuk kristal, tetapi juga menunjukkan sifat fotolitik, listrik dan magnet.

Hematit adalah oksida besi yang paling stabil dalam kondisi lingkungan dengan struktur rombohedral dan antiferromagnetik di bawah transisi suhu transisi morin atau *Morin Transition* (T_M) sekitar 260 K. Sifat magnetik hematit tergantung pada kristalinitas, struktur subpartikel, substitusi kation, morfologi, dipol-dipol (Tadic dkk., 2019), tekanan, ukuran partikel, dan intensitas magnet (Saragi dkk., 2017). Selain itu, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dapat digunakan di berbagai bidang, seperti katalis, pigmen, elektrokatalisis, fotokatalisis, sensor elektrokimia, sensor gas, sel surya, dan bahan elektroda (Al-Hakkani dkk., 2021).

Besi oksida yang melimpah dapat diolah menjadi pigmen agar meningkatkan nilai jual dan membantu memajukan industri dalam negeri. Menurut Septityana dkk (2013) pigmen merupakan komponen dasar yang penting dalam pembuatan cat yang berfungsi untuk pewarna dan daya penutup pada cat. Pigmen berperan untuk menambah warna, serta memberikan daya tutup dan anti korosi. Adapun industri yang memerlukan pigmen diantaranya yaitu cat, gelas, keramik, tekstil, plastik, dan coating (Septityana dkk., 2013).

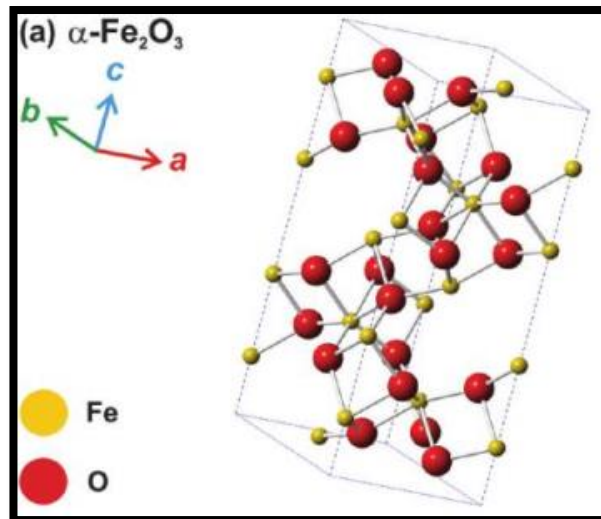
Struktur nano hematit diantaranya yaitu susunan nanorod, berbentuk bunga, kubus mikro, kawat nano, tabung nano, serpihan nano, nanopartikel (Muhajir dkk., 2019). Hematit memiliki bentuk yang mirip dengan korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) yang terdiri dari struktur intens yang terkait dengan kation besi III dalam koordinasi octahedral dalam hexagonal closed-packing system. Hematit memiliki sistem kristalografi yaitu heksagonal dengan indeks miller $a=0,50346$ dan $c=1,3752$. Struktur tersebut dapat digambarkan sebagai susunan lapisan kation besi III dengan dua lapis oksigen dalam closed-packing system, yang dihubungkan oleh ikatan kovalen. Struktur ditampilkan dalam kerangka tiga dimensi yang dikembangkan bersama dengan trigonal terdistorsi octahedral FeO_6 yang terkait dengan tiga belas (tetangga) dengan satu wajah, tiga tepi dan enam sudut. Karena besi berada dalam keadaan trivalen, setiap oksigen dikaitkan dengan hanya dua kation besi III, dan hanya dua dari tiga oktahedron oksigen yang tersedia yang digunakan (Hakkani dkk., 2021). Menurut Septityana dkk., (2013) pada penelitiannya menyatakan bahwa hematite terbentuk pada suhu 500-800 °C dengan

parameter kisi $a=b=5,038 \text{ \AA}$, $c=13,772 \text{ \AA}$ dengan space group R-3c yang berstruktur heksagonal. Umumnya luas permukaan spesifik dari hematit yaitu $10\text{-}90 \text{ m}^2/\text{g}$ (Hakkani dkk., 2021).

Tabel 2.1 Kristalografi Hematit

	Hematit
Sistem kristal	Rombohedral, heksagonal
Ruang grup	R-3Ch
Stacking of closepacked anions	ABAB[001]
Struktur kristal	Corundum
Parameter kisi (nm)	$a=0,50346$, $c=1,3752$ (heksagonal) $aRh=0,5427$, $\alpha=55,3^\circ$ (rhombohedral)
Formula unit per unit sel (Z)	6
Warna	Merah
Kekerasan	$6\frac{1}{2}$
Titik leleh ($^\circ\text{C}$)	1350
Kemagnetan	Feromagnetik yang lemah atau antiferomagnetik
Kelarutan produk ($p\text{Fe}^{+3}\text{Poh}$)	42.2-43.3
Kelas (H-M)	$3m(3\ 2/m)$ -heksagonal scalen
Rasio a:c	1:2,734

Sumber: (Cornell & Schwertmann, 2003., Zulia, 2019)



Gambar 2.1 Struktur kristal hematit berbentuk rombohedral (Machala, dkk., 2011)

Pigmen hematit memiliki standar ukuran partikel yaitu $0,1\text{-}0,5 \mu\text{m}$ dengan distribusi ukuran partikel yang seragam (Buxbaum dan Pfaff, 2005). Adapun nilai warna yang diukur yaitu derajat kecerahan/ value (L^*), intensitas kemurnian/ chroma (C^*) dan corak warna/ hue (H^*). Nilai L^* berkisar 25-45, C^* berkisar 9-42 dan H^* berkisar antara 21-57. Nilai rata-rata L^* , C^* dan H^* berturut-turut yaitu 37, 29, 42 (Cornell dan Schwertmann, 2003).

2.2 Limbah Bubut Besi

Limbah bubut besi biasanya diperoleh dari industri kerajinan besi yang mengolah bijih besi menjadi suatu produk yang nantinya akan menghasilkan limbah berupa limbah bubut besi. Selain itu, limbah bubut besi juga dapat diperoleh dari aktifitas bengkel bubut yang nantinya menghasilkan limbah logam atau besi dari mesin yang di perbaiki. Limbah ini adalah hasil dari proses pengikisan pada mesin yang di perbaiki, yang biasanya berupa serpihan logam atau besi yang halus (Hadi dkk., 2019). Limbah bubut besi memiliki kadar besi yang sangat tinggi yaitu 97,11, selain itu juga terdapat kandungan senyawa lain seperti europium (Eu), rubidium (Rb), mangan (Mn), kalsium (Ca), kromium (Cr), fosfor (P), renium (Re), tembaga (Cu), skandium (Sc), nikel (Ni), lantanum (La), iterbium (Yb), dan seng (Zn) (Khoiroh, 2013).

Limbah bubut besi tersebut dapat mencemari lingkungan. Bengkel bubut dapat menghasilkan limbah yang mencapai 10-20 kg pada setiap bulan. Limbah tersebut memiliki bentuk yang tidak seragam, dimana ada yang berukuran besar dan kecil. Limbah besi yang besar nantinya akan di jual kembali, sedangkan limbah besi yang berukuran kecil atau serbuk akan di buang langsung tanpa adanya proses pengolahan terlebih dahulu yang pada akhirnya dapat mencemari lingkungan (Sunardi, 2010). Menurut Sugiharto (2007) apabila limbah bubut besi yang semakin meningkat dan tidak diimbangi dengan proses yang baik, maka akan menimbulkan dampak yang negatif bagi tanah dan air karena limbah besi tidak mudah terurai karena materinya yang cukup stabil. Berdasarkan penelitian Khoiroh, dkk., (2020) pada sintesis geotit menggunakan limbah bubut besi menghasilkan ukuran kristal 11-12 nm dengan warna kemerahan yang menandakan adanya hematit.

2.3 Daun Pepaya (*Carica Papaya Linn*) sebagai Reduktor



Gambar 2.2 Daun Pepaya (Anitha, dkk., 2018)

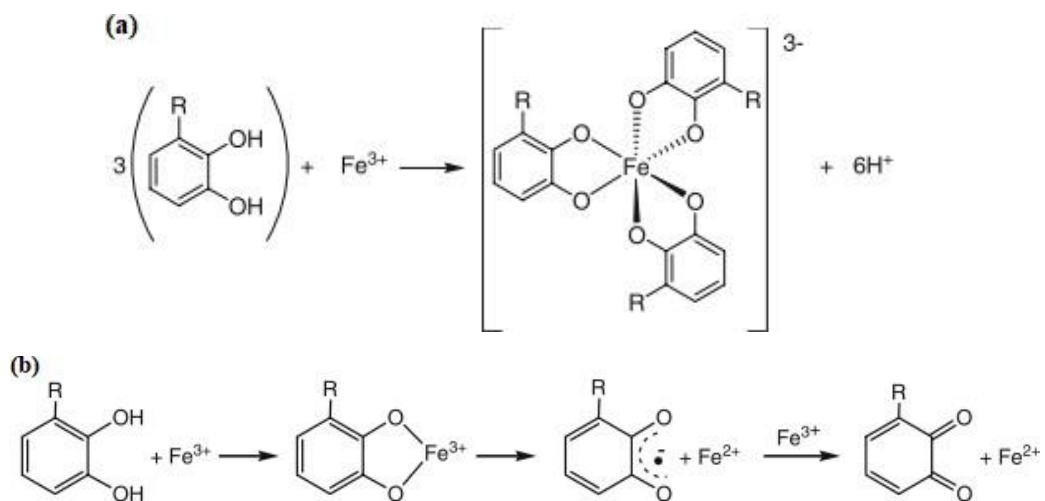
Deskripsi umum kelompok kultivar Bangkok diantaranya batang coklat keunguan, tinggi 2-3,5 m dengan diameter 4-5 cm, daunnya berbentuk elips dengan warna hijau tua (panjang 60-70 cm dan lebar 6-8 cm), bertekstur halus, ujung daunnya runcing, pada pangkal daunnya agak menutup, tepi daun bergelombang, pertulangan daun menjari, percabangan anak tulang daun menyilang, dan tangkai daun berwarna ungu. Bunga hermaphrodit, warnanya kuning keunguan berbentuk memanjang dengan ujung membulat, pangkal rata, panjang mahkota 3-5 cm, benang sarinya menumpang. Warna buahnya kuning kehijauan (lonjong), pangkalnya rata dengan ujung runcing (panjang 23-32 cm, lebar 8-12 cm), ketebalan daging 2-4 cm, rongga buah berbentuk angular, beratnya berkisar 1000-1200 gr, bijinya berbentuk oval, kehitaman, permukaan kusam (berlendir), dan menyebar rata (Nova dkk., 2013).

Menurut Irawan (2019) ekstrak daun pepaya mengandung senyawa aktif yaitu flavonoid, tanin, saponin, dan alkaloid. Sedangkan menurut Anjum dkk., (2013) mengungkapkan bahwa pada daun pepaya terdapat senyawa alkaloid (karpain, pseudokarpain dan dehidrokarpain I dan II), flavonoid (klitorin, kaempferol, dan manghaslin), fenol (asam kafeik, asam ferulik, dan asam klorogenik), saponin, dan enzim papain. Pepaya diklasifikasikan sebagai berikut: (Wadekar dkk., 2021).

Domain	: Flowering Plant
Kingdom	: Plantae
Sub Kingdom	: Tracheobionta
Kelas	: Magnoliopsida
Sub kelas	: Dilleniidae
Superdivisi	: Spermatophyta
Pili	: Steptophyta
Ordo	: Brassicales
Famili	: Caricaceae
Genus	: Carica
Spesies	: <i>Carica papaya linn</i>

Tanin dibagi menjadi dua macam yaitu tanin terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Kedua tanin ini terdapat dalam tanaman, akan tetapi tanin yang paling dominan terdapat dalam tanaman adalah tanin terkondensasi (Kraus dkk, 2003; dalam Fathurrahman dan Ida, 2018). Tanin terhidrolisis merupakan polimer gallic dan ellagic acid yang berikatan ester dengan sebuah molekul gula. Sedangkan tanin terkondensasi merupakan polimer senyawa flavonoid (flavan-3-ol) yang dihubungkan oleh ikatan karbon-karbon yaitu berupa catechin dan gallocatechin (Patra dan Saxena, 2010). Daun pepaya yang digunakan sebagai agen reduktor adalah daun muda (tiga daun dari pucuk). Daun muda umumnya memiliki kandungan enzim dan metabolit sekunder yang tinggi karena diperlukan dalam proses pertumbuhan. Oleh karena itu, pada perkembangannya konsentrasi metabolit sekunder tanaman akan menurun seiring dengan aktivitas daun tersebut (Ramayanti dan Ratika, 2016).

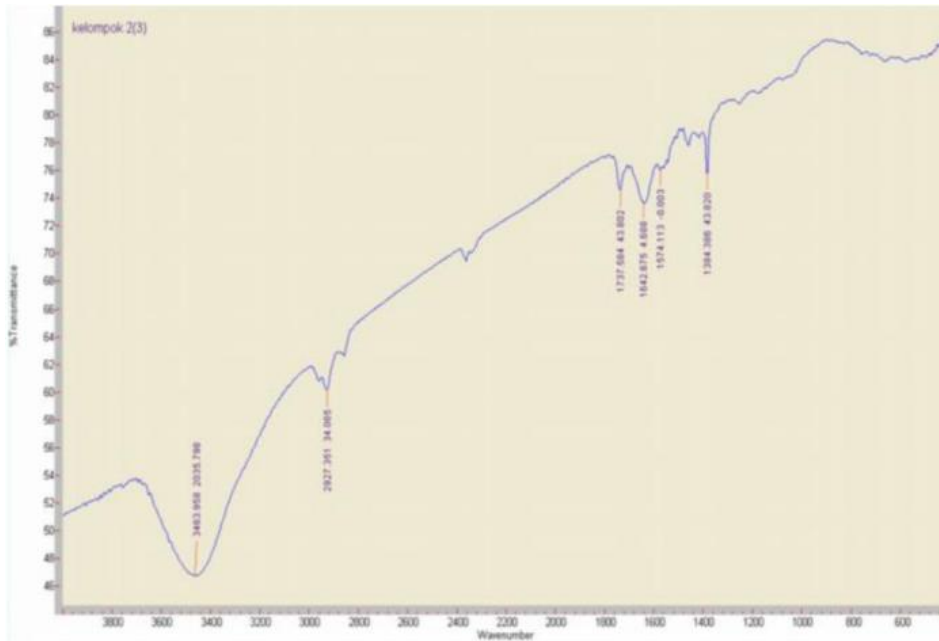
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, senyawa tanin memiliki kemampuan untuk membentuk kompleks (khelat) dengan besi dan kation logam lainnya karena memiliki banyak gugus fenolik (OH). Besi berikatan dengan tanin terkondensasi melaluigugus orto-dihidroksi (katekol). Pasangan gugus katekol pada senyawa tanin memiliki kemampuan untuk berpartisipasi dalam reaksi redoks, membentuk kuinon dan menyumbangkan elektron dalam proses sintesis nanopartikel besi oksida oleh tanin. Oksidasi tanin melalui reaksi redoks ini memungkinkan garam besi direduksi membentuk nanopartikel besi oksida karena kemampuan mengkhelat dari gugus hidroksil yang berdekatan dalam tanin menyebabkan nanopartikel besi oksida distabilkan dari agregasi (Herrera-Becerra, dkk., 2010). Mekanisme reduksi terjadi dalam dua tahapan. Pertama, ketika prekursor ditambahkan, akan membentuk kompleks dengan memutuskan ikatan $-OH$ dan membentuk ikatan parsial dengan ion logam (Fe^{3+}). Selanjutnya, ikatan parsial diputuskan dan transfer elektron untuk mereduksi ion logam menjadi nanopartikel, dengan demikian teroksidasi menjadi orto-kuinon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (KSV, 2017).



Gambar 2.3 (a) Geometri koordinasi oktahedral kompleks besi-katekol; R=H; (b) Koordinasi Fe^{3+} oleh katekol, yang menyebabkan reduksi besi dan pembentukan semikuinon; dan Reduksi Fe^{3+} menyebabkan pembentukan kuinon dan Fe^{2+} (Perron & Brumaghim, 2009).

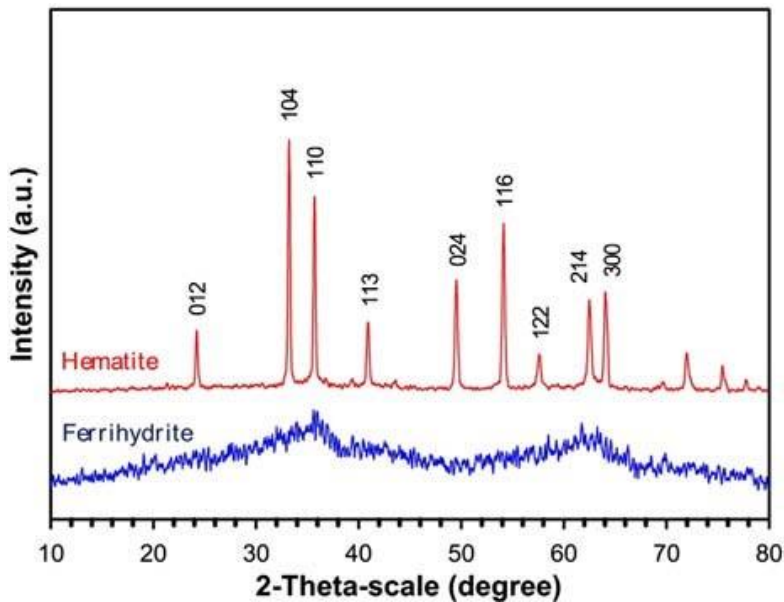
Sintesis dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan sangat ekonomis karena memanfaatkan metabolit sekunder yang terkandung di dalam ekstrak tersebut. Metabolit sekunder ini berfungsi sebagai reduktor maupun agen penstabil (Tjiang, dkk., 2019). Berikut ini adalah spektrum FTIR dari daun pepaya yang menunjukkan adanya serapan gugus OH, peregangan NH, alkohol berikatan-H, fenol, dan asam karboksilat pada bilangan gelombang $3463,958\text{ cm}^{-1}$, pada bilangan gelombang $2927,351\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus aldehida dan keton, pada bilangan gelombang $1737,584\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus CH *stretching*, kemudian pada bilangan gelombang $1642,675\text{ cm}^{-1}$ terdapat serapan gugus C=C *stretching*, C=N *stretching*, amina primer NH, dan amida *stretching*. Sementara itu, pada bilangan gelombang $1574,113$

cm^{-1} terdapat serapan gugus CH, C=C *stretching*, C=N *stretching*, CN *stretching* (amina primer dan sekunder) dan amida (Setyawati, dkk., 2016).



Gambar 2.4 Analisis FTIR daun Carica papaya L

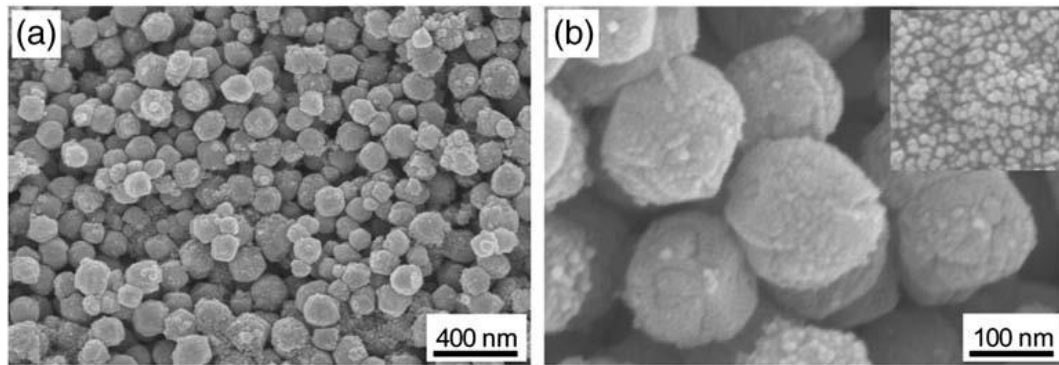
2.4 Sintesis Hematit Menggunakan Metode Presipitasi



Gambar 2.5 Pola XRD hematit yang diperoleh dari prekursor ferrihidrit (Supattarasakda, dkk., 2013)

Menurut Wasito & Biyantoro, (2009) prinsip dari metode presipitasi yaitu memisahkan unsur-unsur berdasarkan pada besarnya hasil kali kelarutan (K_{sp}). Dimana akan terjadi pengendapan apabila nilai dari hasil kali konsentrasi ion-ion (Q) lebih tinggi atau melewati harga dari senyawanya tersebut (nilai K_{sp}), begitupun sebaliknya jika nilai K_{sp} nya besar maka senyawa tersebut akan lebih sulit mengendap. Berikut ini adalah gambar pola XRD yang diperoleh dari sintesis hematit menggunakan metode presipitasi dengan prekursor ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)

menghasilkan puncak yang tajam dan sempit, sedangkan data SEM yang diperoleh menunjukkan hematit yang dihasilkan memiliki morfologi bulat (Supattarasakda, dkk., 2013).



Gambar 2.6 Pengamatan hasil karakterisasi FE-SEM nanopartikel (a) perbesaran rendah, (b) perbesaran tinggi (Supattarasakda, dkk., 2013)

Tabel 2.2 Sintesis Nanopartikel dengan beberapa Metode dan Bahan Alam

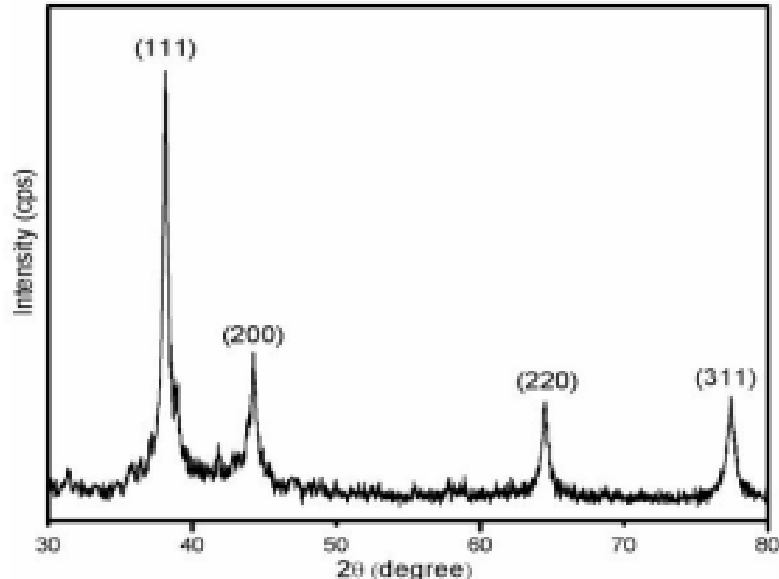
No	Author	Metode	Hasil
1.	Ndou, dkk., (2023)	Aspalathus linearis (rooibos)	Ukuran hematit 18 nm, nanopartikel bersifat kristalin dan berbentuk bulat.
2.	Rufus dan Philip, (2016)	Ekstrak daun jambu biji	Ukuran rata-rata 35 nm dengan struktur rhombohedral.
3.	Izadiyan, dkk., (2018)	Kopresipitasi (sekam hijau Juglans regia)	Ukuran rata-rata 1,6-12,60 nm.
4.	Balavijayalakshmi dan Ramalakshmi, (2017)	Carica papaya	Ukuran rata-rata 16-20 nm.
5.	Zanur, (2017)	Presipitasi	Ukuran rata-rata 64,8 nm dengan struktur rhombohedral.
6.	Ajitha dan Reddy, (2014)	Reduksi kimia (variasi konsentrasi trisodium sitrat 0,5 M, 0,1 M dan 0,125 M)	Ukuran 25 nm dan 34 nm.
7.	Lassoued, (2017)	Presipitasi (variasi konsentrasi prekursor 0,05 M, 0,1 M, 0,2 M dan 0,4 M)	Ukuran 21 nm dan 82 nm.
8.	Tadic, dkk., (2019)	Hidrotermal	Ukuran 50 nm.

Penelitian Liu dkk., (2008) memperoleh nanopartikel hematit yang ukurannya hampir bulat 60-80 nm. Ukuran partikel meningkat seiring dengan waktu reaksi (Muhajir dkk., 2020). Tabel 2.2 menyajikan hasil dari sintesis nanopartikel dengan beberapa metode. Berdasarkan Tabel 2.2 sintesis nanopartikel hematit dapat dilakukan dengan metode presipitasi menggunakan ekstrak bahan alam sebagai agen reduktor. Metode presipitasi mempunyai berbagai kelebihan daripada metode lainnya yaitu lebih hemat energi, kristalinitas dan kemurnian yang tinggi, proses yang tidak membutuhkan biaya yang banyak (lebih sederhana)

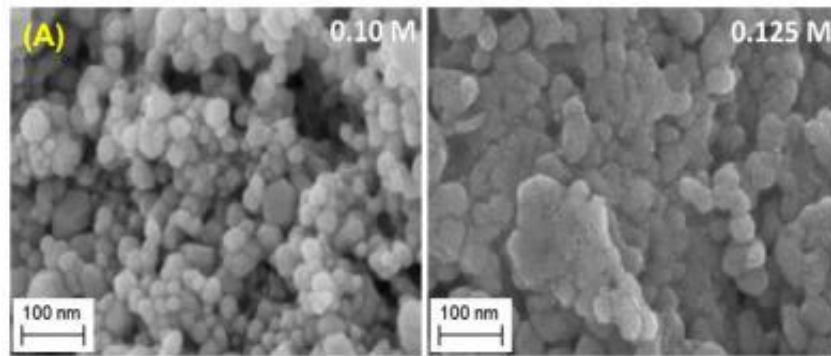
suhu reaksi yang dibutuhkan relatif rendah, serta waktu persiapan yang dibutuhkan lebih singkat (Lassoued, 2017).

2.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya pada Sintesis Hematit

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ukuran dan morfologi dari nanopartikel hematit diantaranya yaitu pH larutan, kecepatan pengadukan dan suhu sintesis (Supattarasakda, dkk., 2013), serta variasi konsentrasi dari agen reduktor (Kumar, dkk., 2013). Berdasarkan penelitian Kumar, dkk (2013) mengungkapkan bahwa diameter rata-rata nanopartikel menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi zat pereduksi. Ukuran dan stabilitas nanopartikel bergantung pada nukleasi dan laju pertumbuhan selanjutnya untuk terbentuk partikel nano yang stabil. Proses tersebut pada awalnya sejumlah kecil atom berkumpul untuk membentuk inti yang stabil. Selain itu, pada penelitian Kim dkk (2016) diperoleh ukuran partikel $>50 \mu\text{m}$, ukuran partikel menurun seiring dengan meningkatnya jumlah konsentrasi dari agen reduktor. Hal tersebut juga terjadi pada penelitian Ajitha dan Reddy (2014) dimana pada konsentrasi trisodium sitrat 0,125 M diperoleh ukuran partikel 34 nm, sedangkan pada konsentrasi trisodium sitrat 0,10 M diperoleh ukuran partikel 25 nm. Berikut ini adalah gambar pola XRD dari trisodium sitrat 0,10 M dan gambar karakterisasi dari FE-SEM dari AgNPs.



Gambar 2.7 Pola XRD dari AgNPs dengan konsentrasi trisodium sitrat 0,10 M



Gambar 2.8 Hasil karakterisasi FE-SEM dari AgNPs dengan 0,10 M dan 0,125 M konsentrasi trisodium sitrat

2.6 Pandangan Islam terhadap Pengolahan Limbah Besi

Besi merupakan salah satu limbah yang banyak dijumpai di industri pengolahan logam. Limbah bubuk besi bisa menjadi masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik karena dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, perlu adanya pengelolaan limbah yang tepat untuk menghindari dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan (Wardani dan Purwati, 2017). Sebagaimana dijelaskan pada QS. Al-Araf ayat 56 yang melarang manusia agar tidak merusak lingkungan, ayat tersebut berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ حَوْفًا وَقَطْمًا ۗ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan harap. Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan.”

Berdasarkan tafsir al-Mishbah, ayat di atas menjelaskan bahwa Allah Swt. menciptakan alam semesta dalam keadaan harmonis, serasi, dan memenuhi kebutuhan makhluk. Allah Swt. telah menjadikan alam semesta dengan sebaik-baiknya, bahkan memerintahkan manusia untuk memperbaikinya (Shihab, 2002). Salah satu bentuk ketaatan dalam melaksanakan perintah-Nya yaitu dengan cara tidak membuang limbah bubuk besi secara langsung ke lingkungan, tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan limbah bubuk besi dapat dilakukan dengan cara mensintesis salah satu fase dari besi oksida yaitu hematit. Sintesis pigmen hematit dapat dilakukan dengan memanfaatkan bahan alam sebagai agen reduktor. Salah satu bahan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai agen reduktor adalah daun pepaya.

Memanfaatkan sesuatu yang ada di alam menunjukkan salah satu bentuk rasa syukur terhadap ciptaan Allah Swt. sebagaimana dijelaskan dalam surah Al-Jatsiyah ayat 13 yang berbunyi:

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ ۗ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لٰٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ

Artinya: "Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) dari pada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir."

Berdasarkan ayat al-Qur'an di atas dijelaskan bahwa Allah Swt. telah menundukkan segala yang ada di langit dan di bumi untuk kemaslahatan manusia, di mana dengan kekuatan akal dan pikiran yang telah diberikan dapat memanfaatkan alam untuk mencapai suatu tujuan (Ash-Shiddieqy, 2000). Begitu juga menurut tafsir Ibnu Katsir maksud dari ayat tersebut adalah segala sesuatu yang ada di langit dan di bumi yang diberikan-Nya kepada manusia untuk dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya, serta bentuk dari kekuasaan-Nya (Abdullah, 2016).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2023 di Laboratorium Riset Kimia Fisika Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Karakterisasi XRD dan SEM dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan Karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, *magnetic separator*, *hot plate*, penangas air, termometer, lemari asam, pH meter, *magnetic stirrer*, neraca analitik, tanur, *freeze drying*, XRD (*X-Ray Diffraction*), *color reader*, SEM (*Scanning Elektron Microscopy*) dan FTIR (*Fourier-transform infrared sepectroscopy*).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bubut besi, aquademin, NaOH pa, HNO₃ pa, dan ekstrak daun pepaya.

3.3 Rencana Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah sintesis hematit dari limbah bubut besi menggunakan metode presipitasi dengan suhu 90 °C dengan ekstrak daun pepaya (20%, 30%, dan 40%) (Rajendran dan Kandasamy, 2017) dengan penambahan NaOH. Sebelum dilakukan sintesis, prekursor akan diuji menggunakan FTIR. Setelah di sintesis akan diperoleh produk yaitu serbuk yang nantinya akan dikarakterisasi menggunakan XRD dan *color reader*, hasil yang terbaik lalu dikarakterisasi menggunakan SEM dan FTIR.

3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, di antaranya yaitu:

1. Preparasi sampel limbah bubut besi
2. Pembuatan prekursor Fe³⁺
3. Ekstraksi daun pepaya dengan metode infusa
4. Sintesis limbah bubut besi menjadi pigmen hematit dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya (*Carica Papaya L*)
5. Analisis data

3.5 Cara Kerja

3.5.1 Preparasi Sampel

Sampel limbah bubuk besi yang masih tercampur dengan pengotor dipisahkan menggunakan magnetik separator. Sampel yang telah dipisahkan tersebut, nantinya akan digunakan sebagai bahan dasar prekursor.

3.5.2 Pembuatan Prekursor (Fe^{3+})

Sampel limbah bubuk besi yang sudah dipisahkan ditimbang sebanyak 50 gram dan di masukkan kedalam beaker glass 500 ml, kemudian ditambahkan 150 ml HNO_3 7 M. Setelah itu campuran didiamkan dalam suhu ruang selama 24 jam supaya larut dengan sempurna. Campuran larutan tersebut di saring menggunakan kertas saring supaya pengotor yang ada pada larutan dapat dipisahkan. Filtrat yang diperoleh dipanaskan di atas *hot plate* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai larutan menjadi *slurry*. Selanjutnya prekursor yang telah dibuat di karakterisasi menggunakan FTIR. Kemudian dianalisis secara kualitatif menggunakan reagen NaOH, untuk mengetahui adanya Fe^{3+} . Jika dicuplik satu sendok spatula kemudian ditetesi dengan NaOH 1 M, apabila terbentuk warna merah maka menunjukkan adanya Fe^{3+} , apabila terbentuk warna hijau maka menunjukkan adanya Fe^{2+} .

3.5.3 Ekstraksi Daun Pepaya dengan Metode Infusa

Ekstraksi daun pepaya menggunakan metode infusa dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahapan pertama daun pepaya (*Carica Papaya L*) yang sudah dipetik dicuci beberapa kali pada air mengalir, dan dibilas dengan aquades. Daun tersebut dikering anginkan, lalu ditumbuk dengan *mortar agate* hingga halus (Bhuiyan dkk., 2020).

Sebanyak 20, 30, dan 40 gram daun pepaya ditimbang menggunakan neraca analitik, masing-masing daun pepaya yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam *beaker glass* 250 mL yang berbeda, kemudian dilarutkan dengan 100 mL aquades dan disertai dengan pengadukan (Bhuiyan dkk., 2020). Selanjutnya *beaker glass* yang berisi daun pepaya ditutup menggunakan aluminium foil. Lalu dipanaskan diatas penangas air dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 30 menit. Ekstrak pepaya didiamkan sampai larutan mengendap. Selanjutnya disaring dengan kertas saring, setelah itu filtratnya digunakan sebagai agen reduktor.

3.5.4 Sintesis Hematit dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya

Prekursor sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam 3 buah gelas kimia 250 mL, kemudian di tambahkan 100 mL aquademin. Masing-masing dari prekursor ditambahkan sedikit demi sedikit ekstrak daun pepaya sebanyak 100 mL pada semua variasi konsentrasi (20%, 30%, dan 40%) dengan dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* (Rajendran dan Kandasamy, 2017). Selanjutnya sampel dipanaskan pada suhu 90 °C selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 850 rpm dan di *stirrer*, setelah itu didiamkan selama 24

jam pada suhu ruang (Legodi dan De Waal, 2007., Zulia 2019). Endapan yang diperoleh didekantasi, dicuci dengan aquademin. Lalu disaring dengan corong Buchner dan dikeringkan pada suhu ruang. Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 750 °C selama 3 jam. Produk hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD dan *color reader*, hasil yang terbaik kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM, dan FTIR.

3.5.5 Karakterisasi Hasil Sintesis

a. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Produk hasil sintesis di karakterisasi dengan menggunakan XRD yang bertujuan untuk mengetahui ukuran dari kristal, parameter kisi, dan struktur kristal hematit. Tahapan yang dilakukan dalam karakterisasi menggunakan XRD yaitu serbuk hematit yang sudah di peroleh kemudian di press menggunakan alat pengepres. Selanjutnya sampel diletakkan di sampel holder, lalu disinari dengan sinar-X dan range yang digunakan yaitu 2θ , mulai dari 10-90°, serta sumber radiasi yaitu Cu K α ($\lambda = 1.54274$) dengan daya 38 kV dan 23 mA (Morales, 2016).

b. *Fourier Transform Infa Red (FTIR)*

Hasil proses sintesis di karakterisasi dengan menggunakan FTIR supaya dapat mengetahui gugus fungsional dan ikatan dari logam-oksigen yang terdapat pada pigmen hematit melalui vibrasi molekul yang terlihat dari adanya suatu pita serapan pada frekuensi tertentu. Sinar infrared memiliki rentang panjang gelombang 2,5-25 μm (Zulia, 2019). Pelet KBr di gunakan pada frekuensi sinar infrared dengan rentang 4000 cm^{-1} sampai 400 cm^{-1} (Rahman dkk., 2020).

c. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Hasil pola difraksi sinar-X pada produk terbaik dapat diperoleh dengan cara serbuk di karakterisasi menggunakan SEM yang berfungsi untuk menganalisa distribusi partikel, morfologi permukaan, dan komposisi dari suatu unsur. Rentang pembesaran yang dilakukan pada saat pengukuran yaitu 5000-50.000x (Rahmawati dkk., 2020). Setelah itu, sampel di masukkan kedalam tempat sampel, kemudian di tembakan dengan seberkas elektron yang memiliki energi tinggi supaya objek terlihat dengan jelas.

d. *Color Reader*

Pigmen warna yang diperoleh dari hasil sintesis diuji menggunakan pengukuran secara objektif dengan alat *coloreader*. *Color reader* dinyalakan dengan sistem L*a*b*, lalu dikalibrasi dengan memilih warna putih yang terdapat pada alat kemudian hasil dari kalibrasi tersebut disimpan. Setelah itu, ujung dari reseptor ditempelkan pada sampel hingga lampunya menyala. Hasil dari pengukuran tersebut berupa data dengan nilai L*a*b* (Zanur dkk., 2017).

3.6 Analisis Data

3.6.1 Analisis Hasil X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur dan ukuran pigmen hematit. Pelebaran puncak difraksi dipengaruhi oleh ukuran kristal dan regangan internal (Lassoude dkk., 2017). Penilaian kristalinitas dapat dilakukan dengan menganalisis kisi dan struktur dari bubuk prekursor yang terdifraksi dengan mengukur sudut difraksi ketika sinar-X datang. Untuk mengetahui ukuran kristal hematit, maka menggunakan persamaan *Scherrer* pada persamaan 3.1 dan persamaan 3.2. Persamaan 3.1 dapat ditentukan berdasarkan lebar puncak sinar-X (Truskewycz dkk., 2016; Akintelu dkk., 2021).

$$\beta = \frac{FWHM \times \pi}{180} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots (3.2)$$

D adalah ukuran kristal (nm), k adalah nilai konstanta material (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X (1,54274Å), β adalah nilai setengah lebar puncak tertinggi (FWHM) dan θ adalah sudut difraksi (Zanur, dkk., 2017).

3.6.2 Analisis Hasil Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Hasil yang diperoleh dari FTIR yaitu spektrum absorbansi, dimana bilangan gelombang sebagai sumbu x, dan sumbu y adalah absorbansi. Pengujian FTIR memperoleh hasil data dalam bentuk grafik intensitas dan frekuensi. Intensitas menentukan tingkatan jumlah senyawa, sedangkan frekuensi menentukan jenis senyawa yang ada dalam sampel. Spektrum yang diperoleh dapat dibaca serta dicocokkan menggunakan standar FTIR hematit SDBS (*Standart data base*). Absorpsi senyawa hematit dapat dilihat pada bilangan gelombang 465 dan 544 cm^{-1} dengan jenis vibrasi Fe-O stretching (Darezereshki, 2012).

3.6.3 Analisis Hasil Scanning Electron Microscopy (SEM)

Hasil yang diperoleh dari karakterisasi SEM berupa morfologi dan topografi pada serbuk pigmen hasil sintesis yang nantinya akan didapatkan informasi yaitu berupa gambar, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *image-J* dan *origin* untuk mengetahui bentuk dan ukuran partikelnya (Akintelu dkk., 2021).

3.6.4 Analisis Hasil Color Reader

Data yang dihasilkan dari pengukuran *coloreader* dapat dianalisis dengan CIE Lab (Nisa dkk., 2019) akan menghasilkan nilai L^* , a^* , b^* , kemudian nilai nilai tersebut akan dirubah menjadi nilai C^* dan H° yang digunakan untuk mengetahui warna yang dihasilkan. Nilai C^* dan H° dapat dihitung dengan persamaan 3.2 dan 3.3.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (3.2)$$

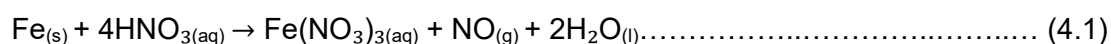
$$H^{\circ} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \dots\dots\dots (3.3)$$

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

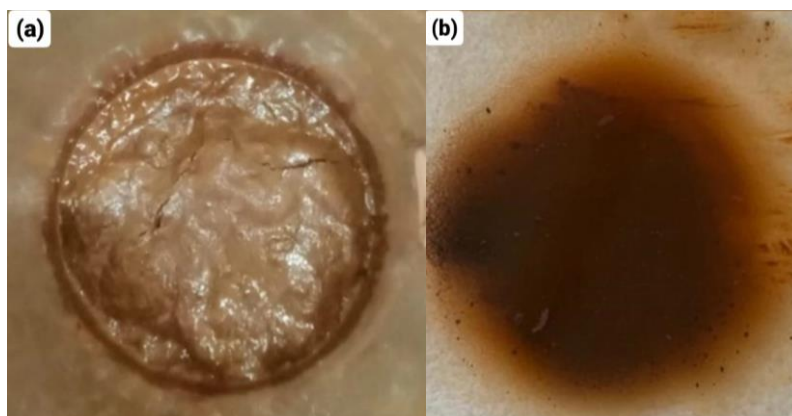
4.1 Hasil Pembuatan Prekursor Ferri

Bahan yang digunakan dalam pembuatan prekursor ferri yaitu limbah bubut besi yang diperoleh dari bengkel bubut besi yang berlokasi di Jalan Mertojoyo Selatan, Merjosari, Lowokwaru, Kota Malang. Adapun limbah bubut besi yang digunakan yaitu limbah yang berbentuk serbuk berwarna abu-abu.

Pembuatan prekursor $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ dilakukan dengan proses destruksi dengan asam nitrat. Proses ini memecahkan ikatan antara logam besi dan logam lain. Sebagai oksidator yang kuat, asam nitrat ini dapat mengoksidasi logam besi dengan bilangan 0 menjadi ion ferri (Fe^{3+}) dalam bentuk garam besi ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$), sesuai dengan persamaan 4.1 (Vogel, 1990).



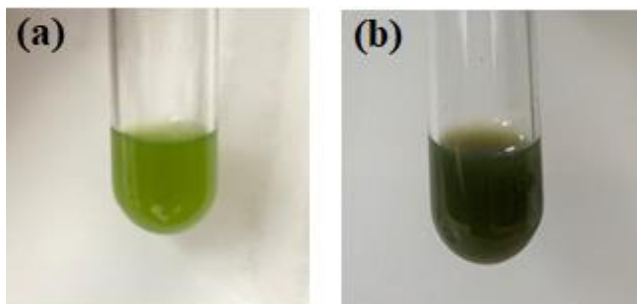
Sesuai dengan persamaan 4.2, proses destruksi ini menghasilkan gas NO berwarna coklat kemerahan yang bereaksi dengan oksigen di udara, membentuk gas nitrogen dioksida (NO_2) (Vogel, 1990). Untuk menguji prekursor yang diperoleh, reagen NaOH digunakan untuk melakukan uji kualitatif. Pada Gambar 4.1 bagian (a) merupakan fisualisasi dari filtrat yang belum diuji, pada bagian (b) adalah hasil setelah dilakukan uji kualitatif, dimana terbentuk endapan merah yang menunjukkan adanya ion ferri. Adapun reaksi yang terjadi pada proses uji kualitataif tersebut berdasarkan yaitu terdapat pada persamaan 4.3.



Gambar 4.1 Sampel prekursor; (a) sebelum diuji, dan (b) setelah diuji secara kualitatif dengan reagen NaOH

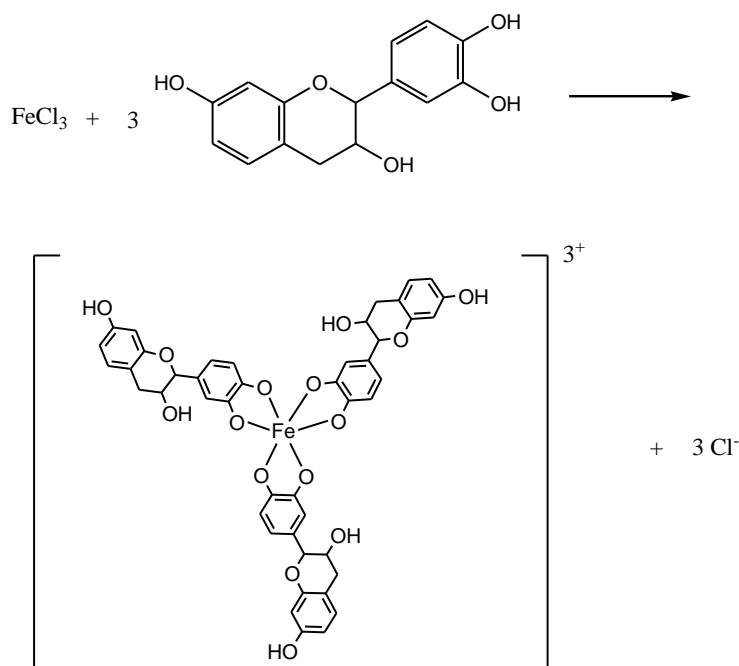
4.2 Karakteristik Hasil Ekstrak Daun Pepaya

Daun pepaya yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari perkebunan Joyo Grand Kota Malang. Untuk memaksimalkan pengambilan senyawa aktif tanin, daun pepaya diambil dari bagian daun ke-6 atau Sebagian dari pucuk, karena bagian ini mengandung senyawa aktif paling banyak. Selanjutnya daun pepaya dibersihkan dan dihaluskan. Adanya senyawa tannin dalam ekstrak daun pepaya diuji secara fitokimia dengan menggunakan reagen FeCl_3 . Warna dari hijau menjadi hijau kehitaman menunjukkan bahwa ekstrak daun pepaya yang mengandung tannin memiliki kualitas yang baik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

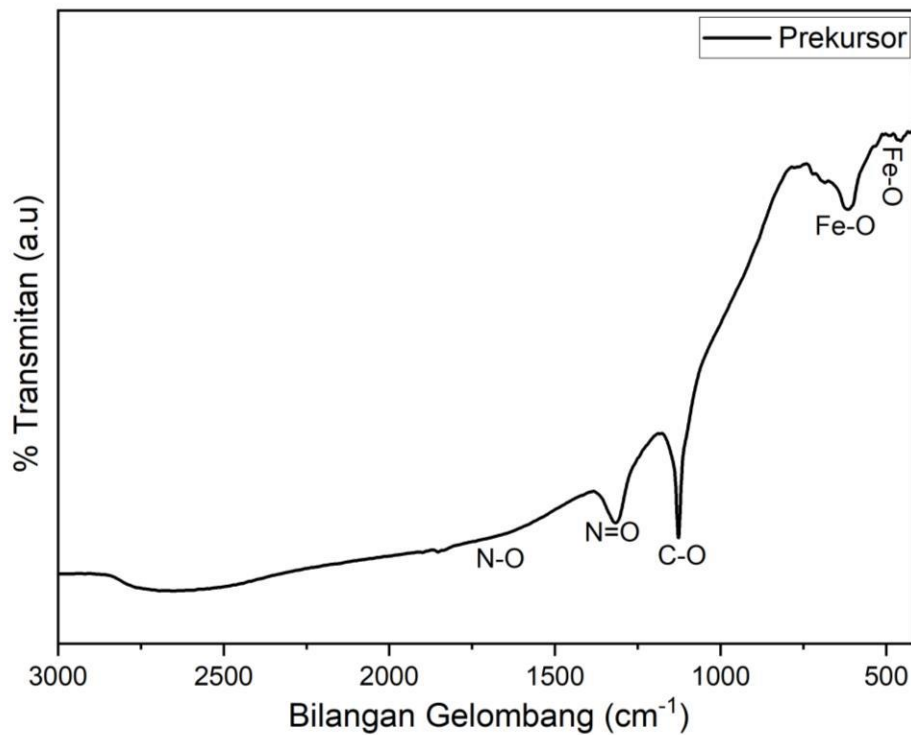


Gambar 4.2 Ekstrak daun pepaya, (a) sebelum diuji, (b) setelah diuji dengan FeCl_3

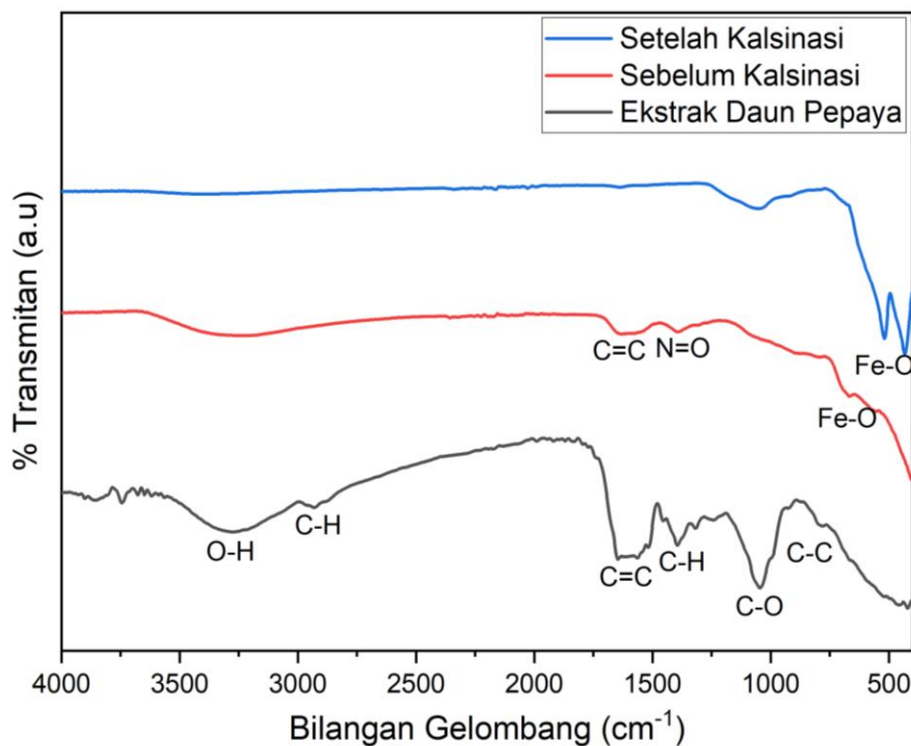
Warna hijau kehitaman ini muncul ketika senyawa tannin dalam ekstrak daun pepaya bereaksi dengan ion Fe^{3+} dan membentuk senyawa kompleks. Reaksi ini terjadi karena adanya atom pusat Fe^{3+} dan atom O dari tannin yang masing-masing memiliki pasangan elektron bebas yang dapat dikoordinasikan ke atom pusat sebagai ligannya. Gambar 4.3 menunjukkan reaksi FeCl_3 dan tanin.



Gambar 4.3 Reaksi antara FeCl_3 dengan tanin



Gambar 4.4 Interpretasi spektra FTIR prekursor



Gambar 4.5 Interpretasi spektra FTIR; (a) ekstrak daun pepaya, (b) prekursor sebelum kalsinasi, dan (c) prekursor setelah kalsinasi

Gugus fungsi prekursor dan ekstrak daun pepaya yang terlibat dalam pembentukan hematit ditentukan melalui identifikasi FTIR pada bilangan gelombang 400–4000 cm^{-1} . Berdasarkan Gambar 4.4 spektra prekursor limbah bubuk besi terdapat gugus N=O *symmetric* dan N-O *stretching* yang berasal dari asam nitrat ditunjukkan oleh puncak serapan

pada bilangan gelombang 1319 dan 1562 cm^{-1} (Siregar dan Ansari, 2020). Ikatan vibrasi besi-oksida (Fe-O) yang muncul pada bilangan gelombang 616 dan 462 cm^{-1} menunjukkan bahwa prekursor limbah bubuk dapat berfungsi sebagai sumber sintesis besi oksida. Berikut ini interpretasi dari prekursor limbah bubuk besi yang digunakan pada penelitian.

Tabel 4.1 Interpretasi bilangan gelombang spektra FTIR

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})				
	Prekursor	Ekstrak	Sebelum Kalsinasi	Setelah Kalsinasi	Literatur
Ikatan vibrasi Fe-O	616, 462	-	638	518, 432	450-740 (Suryawashi, dkk., 2018)
N=O <i>symetric</i> (medium)	1319	-	1372	-	1300-1390 (Siregar dan Ansari, 2020)
N-O <i>stretching</i> (nitrat)	1652	-	1365	-	1625-1660 (Shriner, 2004)
O-H <i>stretching</i> (senyawa polifenol)	-	3261	3268	-	3200-3550 (Shriner, 2004)
C=C <i>stretching</i>	-	1620	1621	-	1610-1660 (Sriner, 2004)
C-H <i>aromatik out of plane bending</i>	-	756	-	-	1300-650 (Bharudin, dkk., 2013)
C-O <i>sretching</i>	1128	1030	-	-	1059 (Adu., dkk. 2022)
C-H <i>stretching</i>	-	2913	-	-	2840-3000 (Shriner, 2004)
C-H <i>bending</i> (medium)	-	1393	-	-	1380-1390 (Alaudin, dkk., 2020)
C-C <i>stretching</i> (senyawa polifenol)	-	788	-	-	740-1311 (Prihatin, dkk., 2014)

Hasil FTIR dari ekstrak daun pepaya menunjukkan puncak serapan 3261 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus O-H *stretching* dalam senyawa polifenol (Shriner, 2004), yang mampu membentuk kompleks dan mereduksi ion Fe^{3+} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Bilangan gelombang 2922 cm^{-1} , 1393 cm^{-1} dan 1047 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi dari C-H *stretching* C-H *bending* dan C-O *stretching* (Shriner, 2004). Selain itu, terdapat serapan 1620 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=C *stretching* dari cincin aromatik dalam senyawa polifenol (Shriner, 2004), terlihat juga gugus fungsi C-C yang terdapat pada serapan 788 cm^{-1} (Prihatin, dkk., 2014) dan serapan 782 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi C-H aromatik *out of plane bending* dari senyawa tanin (Bharudin, dkk., 2013). Adanya senyawa tanin diperkuat dengan hasil uji fitokimia yang positif, dimana terjadi perubahan warna dari hijau menjadi hijau kehitaman.

Sintesis prekursor limbah bubuk besi sebelum dan sesudah kalsinasi diidentifikasi menggunakan spektroskopi FTIR, pada variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya 40%.

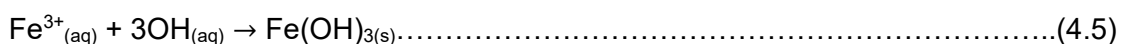
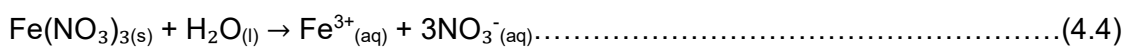
Hasilnya ditampilkan pada Gambar 4.5 adanya gugus N=O *symetric*, N-O *stretching* yang berasal dari asam nitrat terdeteksi pada serapan 1372 dan 1365 cm^{-1} (Siregar dan Ansari, 2020). Selain itu, sebelum proses kalsinasi masih terdapat gugus fungsi C=C *stretching* pada serapan 1621 cm^{-1} (Shriner, 2004). Pembentukan fasa besi oksida maghemit, fasa transformasi sebelum pembentukan hematit, ditunjukkan oleh serapan 677 cm^{-1} . Selain itu, ditemukan juga serapan gugus Fe-O dengan intensitas rendah pada bilangan gelombang 566 cm^{-1} (Suryawashi, dkk.,2018). Intensitas serapan Fe-O hematit yang khas lebih tinggi setelah kalsinasi daripada sebelum kalsinasi. Serapan Fe-O hematit ditemukan pada bilangan gelombang 518 dan 432 cm^{-1} dengan intensitas yang tajam dan kuat, menunjukkan bahwa ada lebih banyak senyawa hematit yang terbentuk. Akan tetapi masih terdapat sisa dari gugus C-O pada serapan 1049 cm^{-1} . Hal tersebut disebabkan oleh suhu kalsinasi yang kurang tinggi (Adu, dkk., 2022).

4.3 Karakteristik Hematit Hasil Sintesis

Sintesis hematit dilakukan melalui proses presipitasi dengan pelarut aquademineral. Setelah prekursor ditambahkan dengan aquademineral. Penambahan aquademineral ini, diharapkan prekursor $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ dapat diuraikan menjadi ion-ionnya sesuai dengan persamaan 4.4. ini akan membuat reaksi dengan agen pereduksi lebih mudah.

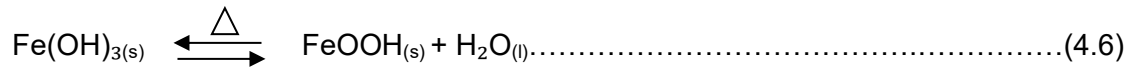


Gambar 4.6 Penambahan ekstrak daun pepaya

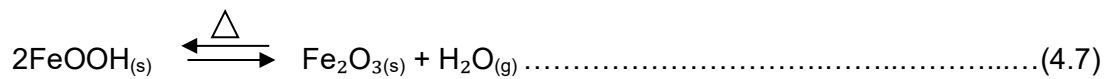


Awal terbentuk kompleks dengan tanin, kemudian tanin akan mereduksi logam besi dan membentuk nanopartikel Fe yang ditandai dengan warna larutan yang berubah menjadi hitam. Pada proses tersebut tanin berperan sebagai agen pengendap dan agen pengkelat logam yang mampu mereduksi suatu logam berat salah satunya logam Fe. Setelah proses pengadukan dengan kecepatan 850 rpm, endapan berubah menjadi warna coklat kekuningan dengan adanya air di atasnya menunjukkan bahwa endapan tidak larut dalam air, dimana

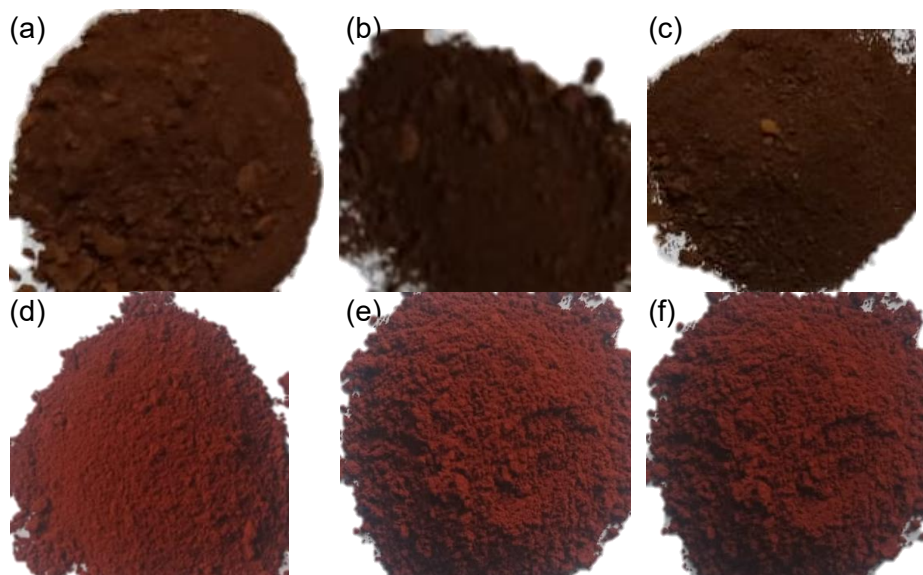
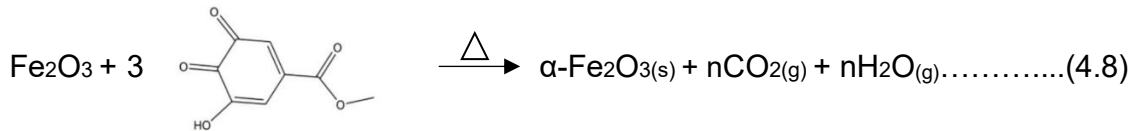
endapan tersebut terbentuk melalui metode presipitasi. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa terbentuk dua lapisan larutan, dimana lapisan atas adalah partikel Fe dan pada lapisan bawah adalah FeOOH. Hal tersebut sesuai dengan persamaan 4.6 berikut ini.



Setelah itu dilakukan penyaringan vakum yang bertujuan untuk menyaring endapan yang diduga mengandung fasa FeOOH, nantinya akan dihilangkan dari pelarutnya. Selanjutnya, dilakukan kalsinasi selama 3 jam pada suhu 750 °C. Tujuan dari kalsinasi ini adalah untuk mengubah fasa FeOOH menjadi fasa hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya, sesuai persamaan 4.7 berikut ini (Silva, 2011):

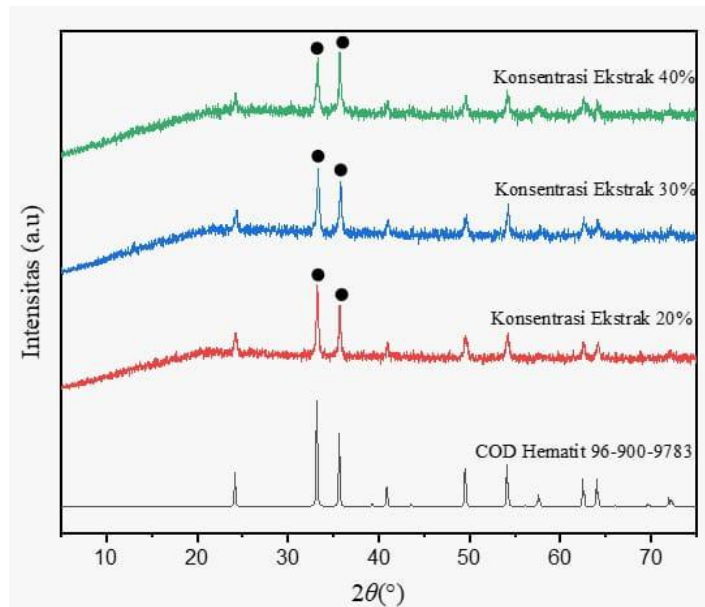


Suhu tinggi pada kalsinasi dapat menyebabkan fasa transisi berubah menjadi fasa hematit. Selain itu, terjadi reaksi di mana gas dilepaskan dalam bentuk hidroksida, yang menghasilkan bahan dalam bentuk oksida. Berdasarkan penjelasan diatas, reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan 4.8.



Gambar 4. 7 Visualisasi hasil sintesis sebelum kalsinasi dengan variasi ekstrak daun pepaya (a)20%, (b) 30%, (c) 40%; dan setelah kalsinasi (d) 20%, (e) 30%, (f) 40%

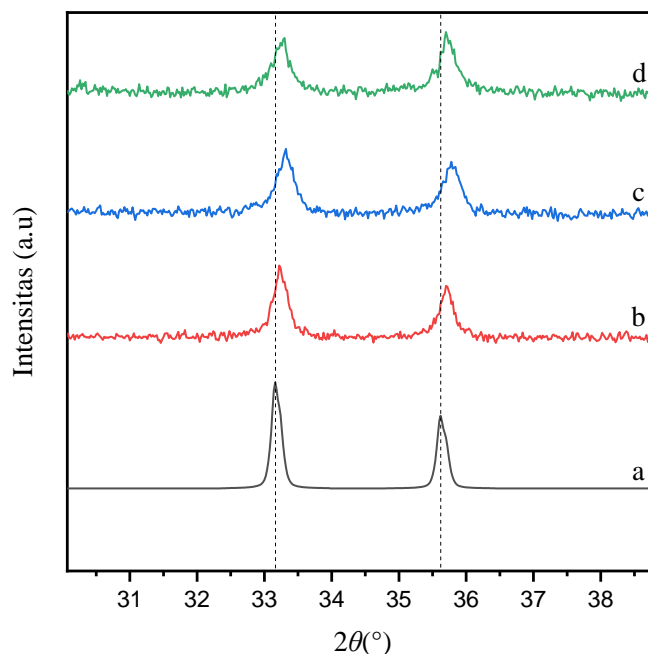
partikel, struktur kristal, dan warna, yang berdampak pada kualitas pigmen hematit. Proses kalsinasi pada sintesis hematit melibatkan reaksi dekomposisi secara endotermik. Gambar 4.7 adalah visualisasi dari hasil sintesis sebelum dan sesudah proses kalsinasi.



Gambar 4.8 Difraktogram dari hasil sintesis hematit

Fasa yang terbentuk dan kristalinitas produk sintesis diidentifikasi melalui karakterisasi XRD. Untuk menganalisis hasil sampel, posisi puncak 2θ sampel dibandingkan dengan standar COD hematit (96-900-9783) yang ditampilkan pada Gambar 4.8. Puncak-puncak ketiga sampel hasil sintesis identik dengan puncak standar senyawa hematit, yang menunjukkan bahwa masing-masing sampel masih dalam fasa hematit dan tidak ditemukan pengotor. Ini ditunjukkan oleh pola difraksi yang dihasilkan. Hasilnya hampir sama dengan penelitian Bhuiyan dkk., (2020) dan Supattarasakda, dkk., (2013), di mana metode presipitasi menghasilkan puncak hematit yang tajam.

Gambar 4.8 menunjukkan peak-peak tertinggi muncul pada 2θ 33-35, hal tersebut sudah sesuai dengan standar hematit, dan pada Gambar 4.9 menunjukkan pelebaran pada beberapa puncak tertinggi hasil sintesis hematit. Variasi ekstrak 30% mengalami pelebaran, hal tersebut mengakibatkan ukuran kristal yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan variasi yang lain yaitu sebesar 32,02 nm, pada variasi ekstrak 20% sebesar 39,05 nm dan 40% yaitu sebesar 36,10 nm. Adapun pelebaran peak yang terjadi tersebut dikarenakan adanya kecacatan pada kristal. Hal tersebut mengakibatkan ukuran kristal yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 4.9 Pelebaran beberapa puncak tertinggi pada hematit (a) standar senyawa, sampel dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya (b) 20%, (c) 30%, dan (d) 40%

Tabel 4.2 Data ukuran kristal hematit

Variasi ekstrak (%)	2 Theta (°)	FWHM	Ukuran kristal (nm)
20	33,227	0,213	39,05
	35,700	0,19	44,01
30	33,330	0,26	32,02
	35,785	0,30	27,89
40	33,205	0,23	36,10
	35,697	0,21	39,84

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa terjadi pergeseran 2θ yang tidak berpengaruh secara signifikan, dikarenakan pergeseran tersebut masih dalam range hematit yaitu 33-35. Selain itu, nilai FWHM (Full Width at Half Maximum) juga berpengaruh terhadap ukuran kristal yang diperoleh. Dimana Nilai FWHM berbanding terbalik dengan ukuran kristal. Dengan kata lain semakin besar nilai FWHM, maka semakin kecil ukuran kristal yang diperoleh. Berikut ini ukuran kristal yang diperoleh secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Hasil analisis XRD yang diproses melalui aplikasi rietica bertujuan untuk analisis fasa. Ini dapat mengidentifikasi data eksperimen melalui perbandingan kuantitatif dengan database hematit menggunakan metode refinement rietveld. Adapun Tabel 4.2 menyajikan analisis struktur dan kisi kristal hematit yang dihasilkan dari sintesis dengan metode Le Bail menggunakan refinement program. Pola difraksi data yang dihitung dan diukur dari COD hematit No. 96-900-9783 dicocokkan untuk menyelesaikan analisis. Sebagai hasil dari analisis, sampel secara keseluruhan ditunjukkan memiliki struktur rhombohedral. Nilai R_p , R_{wp} , dan GOF juga ditunjukkan untuk menunjukkan kecocokan sampel. Nilai ini diambil dari rentang yang masih diizinkan untuk proses refinement. Secara menyeluruh, nilai-nilai pada

masing-masing variasi sudah sesuai dengan standar hematit. Keberhasilan sintesis hematit juga dianalisis menggunakan SEM.

Tabel 4.3 Struktur kristal hematit

Parameter	Standar Hematit	Sampel Hematit dengan Variasi Ekstrak Daun Pepaya		
		20%	30%	40%
Grup ruang	<i>R</i> 3c	<i>R</i> 3c	<i>R</i> 3c	<i>R</i> 3c
Formula unit (Z)	6	6	6	6
Volume sel	301.93	301.75	300.94	300.90
Rp	<10	6.14	5.95	5.54
Rwp	<10	6.99	6.95	6.63
GOF (χ^2)	<1	0.4004E	0.3729E	0.3241E
Kisi kristal				
a	5.0356	5.030350	5.031154	5.032650
b	5.0356	5.030350	5.031154	5.032650
c	13.7489	13.734195	13.736554	13.741736
Struktur	Rhombohedral	Rhombohedral	Rhombohedral	Rhombohedral

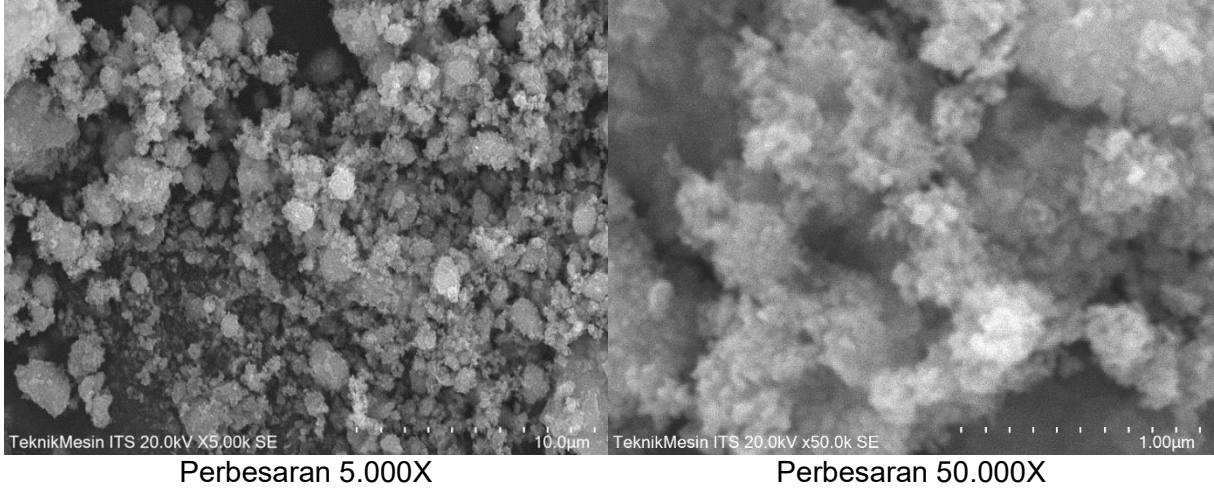
Sumber: (Cornell & Schwertmann, 2003., Zulia, 2019)

Hasil analisis XRD yang diproses melalui aplikasi rietica bertujuan untuk analisis fasa. Ini dapat mengidentifikasi data eksperimen melalui perbandingan kuantitatif dengan database hematit menggunakan metode refinement rietveld. Adapun Tabel 4.2 menyajikan analisis struktur dan kisi kristal hematit yang dihasilkan dari sintesis dengan metode Le Bail menggunakan refinement program. Pola difraksi data yang dihitung dan diukur dari COD hematit No. 96-900-9783 dicocokkan untuk menyelesaikan analisis. Sebagai hasil dari analisis, sampel secara keseluruhan ditunjukkan memiliki struktur rhombohedral. Nilai Rp, Rwp, dan GOF juga ditunjukkan untuk menunjukkan kecocokan sampel. Nilai ini diambil dari rentang yang masih diizinkan untuk proses refinement. Secara menyeluruh, nilai-nilai pada masing-masing variasi sudah sesuai dengan standar hematit. Keberhasilan sintesis hematit juga dianalisis menggunakan SEM.

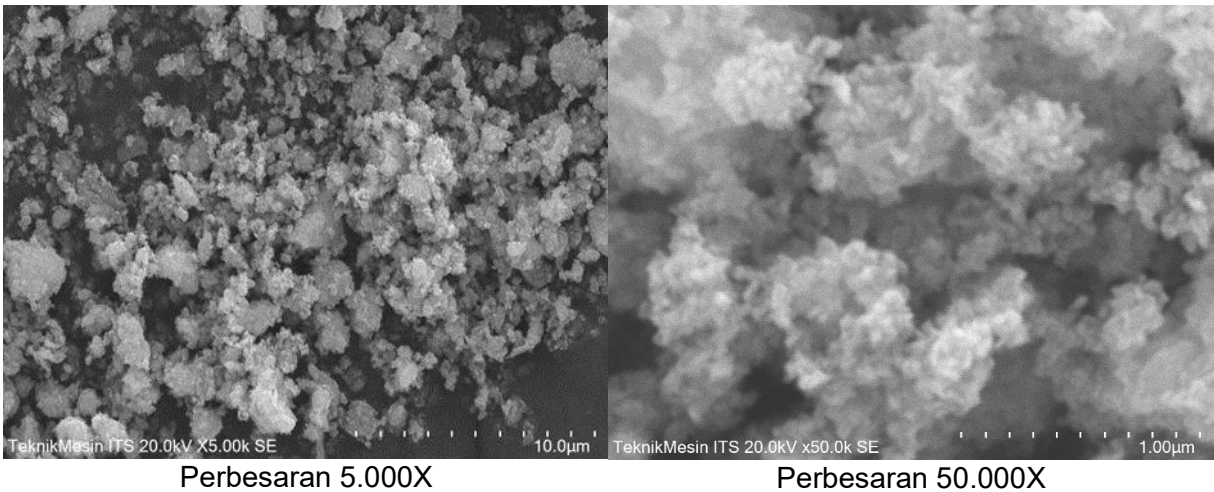
Senyawa hematit yang telah disintesis dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya dikarakterisasi menggunakan spektroskopi SEM untuk menentukan morfologi dan ukuran partikelnya. Hasil SEM yang diolah menggunakan *image-J* dan origin ditunjukkan pada Gambar (a), (b) dan (c) diatas. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan dapat diketahui bahwa variasi konsentrasi ekstrak 20% menghasilkan morfologi tidak seragam dengan adanya aglomerasi, dimana batas antar partikelnya tidak terlihat. Begitupun pada variasi konsentrasi ekstrak 30% dan 40% juga menghasilkan bentuk partikel yang sama, seperti yang ditunjukkan oleh hasil pengamatan SEM pada Gambar (a), (b) dan (c) diatas. Selain itu, fenomena

aglomerasi partikel juga terlihat dalam sampel yang dianalisis. Aglomerasi seperti ini menghasilkan struktur yang terdiri dari kumpulan partikel yang saling terikat, yang membentuk agregat yang memiliki distribusi dan ukuran yang berbeda. Aglomerasi tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor beberapa diantaranya yaitu sifat permukaan partikel, kondisi lingkungan, dan parameter proses pembentukan material.

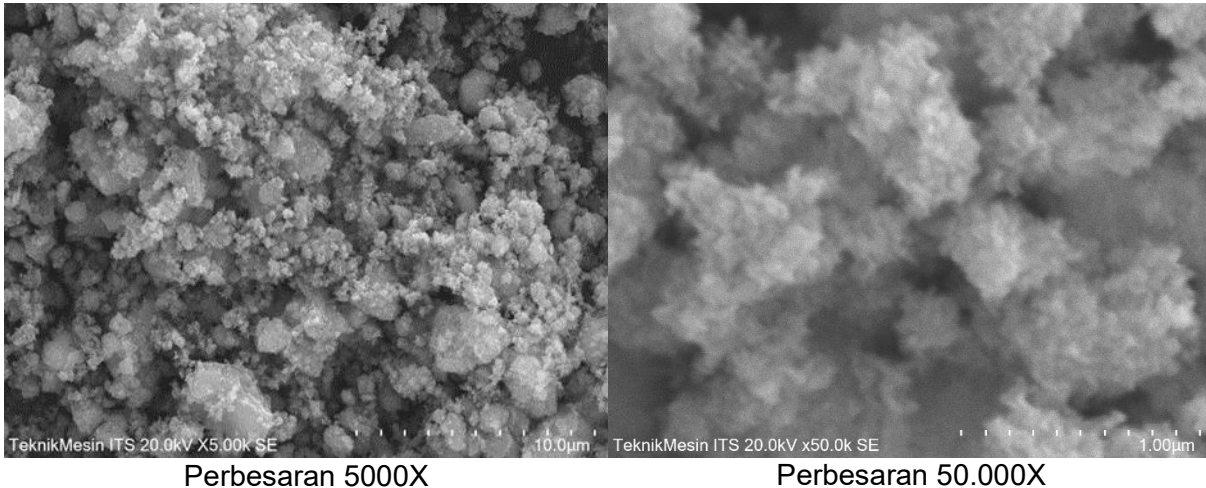
a) Ekstrak 20%



b) Ekstrak 30%



c) Ekstrak 40%



Berdasarkan dari pengolahan data menggunakan origin, dapat diketahui bahwasanya pada semua variasi hasilnya sudah sesuai standar. Hal tersebut dapat diketahui melalui nilai R-squarenya yang berada pada rentang standar 0,99-1, dapat dilihat pada Lampiran 7. Selain itu, diketahui juga ukuran rata-rata partikel yang diperoleh memiliki perbedaan yang signifikan, dimana pada konsentrasi 20% rata-rata partikel berukuran 2,1 nm, pada konsentrasi 30% berukuran 41,0 nm dan pada konsentrasi 40% berukuran 8,1 nm. Ukuran rata-rata partikel tersebut dapat dilihat dari hasil pengolahan Xc. Adapun perbedaan ukuran partikel tersebut dipengaruhi oleh diameter partikel, dimana semakin kecil ukuran diameter partikelnya, maka semakin kecil juga ukuran partikel yang diperoleh.

4.4 Karakteristik Pigmen Hematit

Tujuan karakterisasi menggunakan coloreader adalah untuk menentukan warna pigmen yang dihasilkan dari sintesis. Ini ditunjukkan dengan nilai kecerahan warna (L^*), derajat kemerahan (a^*), derajat kekuningan (b^*), intensitas kemurnian warna (C^*), dan corak warna (H°). Nilai-nilai ini akan dibandingkan dengan rentang nilai warna hematit standar. Perbandingan hasil penelitian dan standar hematit dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Hasil analisis warna pigmen hematit

Konsentrasi ekstrak (%)	a^*	b^*	L^*	C^*	H°
Standar hematit			25-45	9-42	21-57
20	15,92	27,3	40,73	31,60	59,74
30	15,72	27,51	41,15	31,68	60,18
40	15,15	27,63	41,52	31,51	61,25

Sumber: (Cornell & Schwertmann, 2003.)

Semua nilai warna dipengaruhi oleh perubahan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya selama proses sintesis. Nilai a^* dan b^* dapat dilihat pada Tabel 4.3, dimana semakin tinggi nilai a^* menunjukkan warna pigmen yang semakin merah dan semakin tinggi nilai b^*

menunjukkan warna pigmen yang semakin kuning. Warna pigmen pada variasi konsentrasi ekstrak 20% cenderung ke arah merah dengan tingkat kecerahan yang tinggi dibandingkan dengan variasi konsentrasi ekstrak yang lain. Hal tersebut menunjukkan kualitas warna pigmen hematit yang baik. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3 nilai L^* yang menunjukkan derajat kecerahan pigmen hematit hasil sintesis meningkat seiring dengan jumlah konsentrasi ekstrak daun pepaya yang digunakan. Peningkatan kecerahan ini menunjukkan peningkatan kualitas warna pigmen. Kecerahan maksimal dicapai pada konsentrasi ekstrak 40%.

Hubungan nilai C^* dan H^o ditunjukkan pada Tabel 4.3 dimana nilai C^* menunjukkan tingkat warna berdasarkan ketajamannya, dan nilai H^o menunjukkan karakter warna berdasarkan cahaya yang dipantulkan. Adapun nilai C^* dan H^o yang diperoleh secara berturut-turut yaitu 59, 60 dan 61, dimana nilai C^* dan H^o paling tinggi terdapat pada konsentrasi ekstrak 30% dan 40%. Sedangkan nilai H^o yang mendekati standar terdapat pada konsentrasi ekstrak 20%. Meningkatnya nilai a^* dan b^* akan mempengaruhi peningkatan nilai C^* , di mana semakin tinggi nilai chroma, semakin pekat warna yang dihasilkan. Selain itu, nilai H^o juga berhubungan dengan nilai a^* dan b^* karena nilai H^o diperoleh dengan persamaan $H^o = \tan^{-1}(b/a)$, yang menunjukkan bahwa nilai H^o akan meningkat seiring dengan peningkatan yang terjadi pada nilai a^* dan b^* (Permatasari dan Deosila, 2021). Berdasarkan hasil yang diperoleh, ukuran nano pada partikel menghasilkan warna yang lebih cerah. Adapun faktor yang menyebabkan variasi ekstrak daun pepaya tidak berpengaruh secara signifikan yaitu karena hematit memiliki sifat optik yang stabil, termasuk warna merah yang khas, yang berasal dari transisi elektronik dalam strukturnya. Sehingga senyawa organik yang diekstrak dari bahan alam sulit mengubah warna ini (Cornell dan Schwertmann, 2003).

4.8 Pandangan Islam Tentang Penelitian yang Dilakukan

Proses sintesis limbah bubuk besi dengan metode presipitasi dan penambahan beberapa bahan kimia, serta menggunakan bahan alam yang memiliki senyawa aktif tertentu pada penelitian ini menghasilkan nanopartikel kristal hematit. Kristal hematit yang dihasilkan berwarna merah. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa semua keanekaragaman dan kekayaan yang ada di bumi dapat dimanfaatkan dengan baik. Jadi, dari keanekaragaman dan kekayaan yang telah diberikan oleh Allah Swt. semua yang ada di bumi dapat dilihat dengan jelas, seperti yang dapat dilihat oleh manusia yang memiliki akal untuk terus memikirkan dan memahami tanda-tanda kebesaran-Nya di seluruh alam semesta. Hal ini menunjukkan bahwa Allah Swt. telah memberikan keanekaragaman dan kekayaan yang cukup untuk menciptakan sebuah alam semesta yang indah dan beraneka ragam, yang dapat dipergunakan untuk kepentingan manusia dan semua yang ada di dalamnya. Misalnya, dengan menggunakan teknologi dan inovasi, kita dapat memanfaatkan kembali limbah bubuk besi untuk didaur ulang menjadi suatu produk yang memiliki nilai ekonomis. Salah satu cara

yang sangat menguntungkan untuk menangani limbah adalah mengubah bubut logam menjadi pigmen, yang lebih bernilai (Khalamudilah, dkk., 2017). Hal tersebut adalah salah satu bentuk penerapan dari firman Allah Swt. dalam QS. Ali-Imran (3):190-191.

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَالاختلافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۗ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ ۗ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا ۖ سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka”.*”

Kata *al-albab* adalah bentuk jamak dari *lubb* yang bermakna “saripati sesuatu”. Seperti kacang, memiliki kulit yang menutupi isinya, isi kacang dinamai *lubb*. Ulul albab adalah orang-orang yang memiliki akal yang murni, yang tidak diselubungi oleh “kulit”. Menurut Tafsir Al-Misbah ulul albab adalah orang-orang yang mengingat Allah dengan kata-kata dan hati mereka di mana pun mereka berada, baik saat bekerja maupun beristirahat. Ulul Albab berasal dari kata “Ulul” dan “Albab”, yang masing-masing berarti “mereka yang memiliki kemampuan untuk berpikir dan merenungkan.” Menurut ayat ini, kita harus menggunakan akal fikiran untuk mempertimbangkan alam semesta untuk senantiasa mengambil manfaat. Di sisi lain ayat ini juga menjelaskan bahwa (Shihab, 2002). Selain itu, kita juga diharapkan agar selalu menjaga dan mengelola kelestarian lingkungan dengan baik, serta tidak melakukan kerusakan. Sebagaimana firman Allah Swt. dalam surah Al-Baqarah (2):30 yang menetapkan manusia sebagai khalifah di bumi.

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلٰٓئِكَةِ اِنِّيْ جَاعِلٌ فِي الْاَرْضِ خَلِيْفَةً ۗ قَالُوْۤا اَجْعَلْ فِيْهَا مَنْ يُّفْسِدُ فِيْهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَآءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ اِنِّيْۤ اَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُوْنَ

Artinya: “*Dan (ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah di bumi”. Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sungguh, Aku mengetahui apa yang tidak kalian ketahui.”*”

Kata *khalifah* pada mulanya berarti “yang menggantikan atau yang datang sesudah siapa yang datang sebelumnya”. Atas dasar ini, ada yang memahami kata khalifah di sini dalam arti menggantikan Allah dalam menegakkan kehendak-Nya dan menerapan ketetapan-Nya, tetapi bukan karena Allah tidak mampu, namun karena Allah bermaksud menguji manusia dan memberi penghormatan. Selain itu, ada juga yang memahaminya dalam arti “yang menggantikan makhluk lain dalam menghuni bumi”. Ayat ini menunjukkan bahwa kekhalifahan

terdiri dari wewenang yang dianugerahkan Allah Swt., makhluk yang disertai tugas. Salah satu hal yang bisa dilakukan kita sebagai khalifah di bumi adalah dengan tetap menjaga dan merawat kelestarian lingkungan, dengan cara tidak membuang limbah ke lingkungan secara langsung tanpa memikirkan akibat yang ditimbulkan (Shihab, 2002).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sebagai berikut.

1. Karakter struktur, dan warna hematit tidak terpengaruh secara signifikan oleh perubahan konsentrasi ekstrak daun pepaya dan pigmen yang dihasilkan berwarna merah.
2. Sintesis hematit menghasilkan morfologi tidak seragam dengan adanya aglomerasi, dimana batas antar partikelnya tidak terlihat, dengan struktur kristal rhombohedral yang berukuran 27,89-44,01 nm. Serapan gugus fungsi Fe-O pada bilangan gelombang 432 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan hematit.

5.2 Saran

Untuk melakukan kalsinasi dengan suhu yang lebih tinggi sehingga hanya menyisakan gugus Fe-O. Selain itu untuk analisis lebih lanjut, pigmen dapat diterapkan pada suatu objek untuk mengetahui kemampuan dan ketahanan pigmen sebagai pewarna, dan pada instrumentasi SEM dingganti menggunakan instrumen TEM yang nantinya diharapkan dapat mengetahui morfologi dari kristal hematit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, I., dan Aliyu, A. B. 2013. Some Wet Routes for Synthesis Of Hematite Nanostructures. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 7(3), 114-121.
- Abdullah bin Muhammad Alu Syaikh. 2016. *Tafsir Ibnu Katsir*. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Abusalem, M., Awwad, A., Ayad, J., dan Rayyan, A. A. 2019. Green Synthesis of α -Fe₂O₃ of Nanoparticles Using Pistachio Leaf Extract Influenced Seed Germination and Seedling Growth of Tomatos.
- Adu, R. E. Y., Tea, M. T. D., dan Bouk, Y. 2022. Ekstraksi Tanin dari Limbah Kulit Biji Asam dan Penggunaannya sebagai Biomordan pada Pewarnaan Tenun Timor secara Alami. *Jurnal Riset Kimia*. Vol.13, No. 2.
- Ajitha, B., dan Reddy, P. S. 2014. Reducing Agent Concentration Dependence on Size Variation of Silver Nanoparticles Growth. *International Journal of ChemTech Research*, 6(3), 2123-2125.
- Akintelu, S. A., Oyebamiji, A. K., Olugbeko, S. C., dan Folorunso, A. S. 2021. Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles for Biomedical Application and Environmental Remediation: A Review. *Eclética Química*, 46(4), 17-37.
- Alaudin, M., Eden, W. T., dan Alighiri, D. 2020. Inovasi Sains dan Kesehatan. Universitas Negeri Semarang.
- Al-Hakkani, M. F., Gouda, G. A., dan Hassan, S. H. 2021. A Review of Green Methods for Phyto-fabrication of Hematite (α -Fe₂O₃) Nanoparticles and Their Characterization, Properties, and Applications. *Heliyon*, 7(1), e05806.
- Anitha, B., Raghu, N., Gopenath, T. S., Karthikeyan, M., Gnanasekaran, A., Chandrashekrappa, G. K., dan Basalingappa, K. M. 2018. Medicinal Uses of Carica Papaya. *J. Nat. Ayurvedic Med*, 2(6), 1-11.
- Ash-Shiddieqy, M.H. 2000. *Tafsir Al-Qur'anul An-Nur*. Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra.
- Bagheri, S., Chandrappa, K., dan Hamid, S. B. A. 2013. Generation of Hematite Nanoparticles Via Sol-gel Method. *Research Journal of Chemical Sciences*. ISSN, 2231, 606X.
- Bharudin, M.A., Zakaria, S., dan Chia, C.H. 2013. Condensed Tannins From Acacia Mangium Bark: Characterization By Spot Tests and FTIR. *AIP Conference Proceedings*, 1571: 153–157.
- Balavijayalakshmi, J., dan Ramalakshmi, V. 2017. Carica PapayaP Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles and its Antibacterial Activity Against Human Pathogens. *Journal of Applied Research and Technology*, 15(5), 413-422.
- Banala, R. R., Nagati, V. B., dan Karnati, P. R. 2015. Green Synthesis and Characterization of Carica Papaya Leaf Extract Coated Silver Nanoparticles Through X-ray Diffraction, Electron Microscopy and Evaluation of Bactericidal Properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5), 637-644.
- Bhuiyan, M. S. H., Miah, M. Y., Paul, S. C., Aka, T. D., Saha, O., Rahaman, M. M., dan Ashaduzzaman, M. 2020. Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticle Using Carica Papaya Leaf Extract: Application for Photocatalytic Degradation of Remazol Yellow RR Dye and Antibacterial Activity. *Heliyon*, 6(8), e04603.

- Buxbaum, G., dan Pfaff, Gerhard. 2005. *Industrial Inorganic Pigments. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH.*
- Chabib, M. N. A. 2017. Pengaruh Lama Kalsinasi pada Sintesis Pigmen Hematit(α - Fe_2O_3) dari Limbah Industri Kerajinan Besi dengan Metode Rute Presipitasi-kalsinasi (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Cornell, R. M., dan Schwertmann, U. 2003. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses* (Vol. 664). Weinheim: Wiley-vch.
- Darezereshki, E., Bakhtiari, F., Alizadeh, M., dan Ranjbar, M. 2012. Direct Thermal Decomposition Synthesis and Characterization of Hematite (α - Fe_2O_3) Nanoparticles. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 15(1), 91-97.
- Drummer, S., Madzimbamuto, T., dan Chowdhury, M. 2021. Green Synthesis of Transition-metal Nanoparticles and Their Oxides: A Review. *Materials*, 14(11), 2700.
- Fathurrahman, N. R., dan Musfiroh, I. 2018. Teknik Analisis Instrumentasi Senyawa Sanin. *Farmaka*, 16(2).
- Fouda, M. F. R., El-Kholy, M. B., Moustafa, S. A., Hussien, A. L, Wabba, M. A., dan El-Shahat, M. F. 2012. Synthesis and Characterization of Nanosized Fe_2O_3 Pigments [Research article] *International Journal of Inorganic Chemistry* (hlm. 1-9). Giza: Hindawi Publishing Corporation.
- Hadi, P. N., dan Setiawan, A. A. 2019. Studi Eksperimental Penambahan Limbah Bubut Sebagai Bahan Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Widyakala: Journal Of Pembangunan Jaya University*, 6(1), 77-83.
- Herrera-Becerra, R., Rius, J. L., & Zorrilla, C. (2010). Tannin Biosynthesis of Iron Oxide Nanoparticles. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 100(2), 453–459. <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5903-x>
- Irawan, H., Agustina, E. F., dan Tisnadjaja, D. 2019. Pengaruh Konsentrasi Pelarut Etanol Terhadap Profil Kromatogram dan Kandungan Senyawa Kimia dalam Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya* L.) dan Daun Patikan Kebo (*Euphorbia hirta* L.). *Prosiding Seminar*.
- Izadiyan, Zahra. 2018. Cytotoxicity Assay of Plant-Mediated Synthesized Iron Oxide Nanoparticles using Jugland Regia Green Husk Extract. *Arabian Journal of Chemistry*
- Khalamudilah, F.A., Suhendar, D., dan Supriadin, A. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Merah Besi (III) Oksida dari Serbuk Besi Limbah Bubut Logam. *Al-kimiya*. Vol. 4, No. 1 (45-50)
- Khalil, M., Liu, N., dan Lee, R. L. 2017. Synthesis and Characterization of Hematite Nanoparticles Using Ultrasonic Sonochemistry Method. *International Journal of Technology*, 8(4), 582-590.
- Kharissova, O. V., Kharisov, B. I., Oliva González, C. M., Méndez, Y. P., dan López, I. 2019. Greener Synthesis of Chemical Compounds and Materials. *Royal Society Open Science*, 6(11), 191378.
- Khoiroh, L. M., Mardiana, D., Sabarudin, A., dan Ismuyanto, B. 2013. Synthesis of Hematite Pigments (α - Fe_2O_3) By Thermal Transformations of FeOOH . *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 2(1), 27-34.

- Khoiroh, L. M., Sholekah, A. D. A., dan Yulianti, E. 2021. Structure and Morphology Properties of Nanoparticle Hematite Pigment from Lathe Wste. *International Journal of Chemistry*, 13(1), 1-9.
- Kim, H. S., Seo, Y. S., Kim, K., Han, J. W., Park, Y., dan Cho, S. 2016. Concentration Effect of Reducing Agents on Green Synthesis of Gold Nanoparticles: Size, Morphology, and Growth Mechanism. *Nanoscale Research Letters*, 11(1), 1-9.
- KSV, G. (2017). Green Synthesis of Iron Nanoparticles Using Green Tea leaves Extract. *Journal of Nanomedicine & Biotherapeutic Discovery*, 7(1), 1-4. <https://doi.org/10.4172/2155-983x.1000151>
- Kraus, T. E., Dahlgren, R. A., dan Zasoski, R. J. 2003. Tannins in Nutrient Dynamics of Forest Ecosystems. A Review. *Plant and Soil*, 256, 41-66.
- Kumar, A., Saxena, A., De, A., Shankar, R., dan Mozumdar, S. 2013. Controlled Synthesis of Size-tunable Nickel and Nickel Oxide Nanoparticles Using Water-in-oil Microemulsions. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4(2), 025009.
- Lassoued, A., Dkhil, B., Gadri, A., dan Ammar, S. 2017. Control of The Shape and Size of Iron Oxide (α -Fe₂O₃) Nanoparticles Synthesized Through The Chemical Precipitation Method. *Results in Physics*, 7, 3007-3015.
- Legodi, M. A., dan de Waal, D. 2007. The Preparation of Magnetite, Goethite, Hematite and Maghemite of Pigment Quality from Mill Scale Iron Waste. *Dyes and Pigments*, 74(1), 161-168.
- Liu, H., Wang, G., Park, J., Wang, J., Liu, H., dan Zhang, C. 2009. Electrochemical Performance of α -Fe₂O₃ Nanorods as Anode Material for Lithium-ion cells. *Electrochimica Acta*, 54(6), 1733-1736.
- Machala, L., Tucek, J., dan Zboril, R. 2011. Polymorphous Transformations of Nanometric Iron (III) Oxide: A Review. *Chemistry of Materials*, 23(14), 3255-3272.
- Morales-Morales, J. A. 2017. Synthesis of Hematite α -Fe₂O₃ Nano Powders By The Controlled Precipitation Method. *Ciencia en Desarrollo*, 8(1), 99-107.
- Muhajir, M., Puspitasari, P., dan Razak, J. A. 2020. Synthesis and Applications of Hematite α -Fe₂O₃: A Review. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*, 3(2), 51-58.
- Mukunthan, K. S., dan Balaji, S. 2012. Cashew Apple Juice (Anacardium Occidentale L.) Speeds up The Synthesis of Silver Nanoparticles. *International Journal of Green Nanotechnology*, 4(2), 71-79.
- Muliadi, M., Arief, A., dan Khadijah, K. 2015. Biosintensis Nanopartikel Logam Menggunakan Media Ekstrak Tanaman. *Jurnal Farmasi UIN Alauddin Makassar*, 3(2), 64-72.
- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., and Issaabadi, Z. 2019. Plant-mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications. In *Interface Science and Technology* (Vol. 28, pp. 199-322). Elsevier.
- Ndou, N., Rakgotho, T., Nkuna, M., Doumbia, I. Z., Mulaudzi, T., and Ajayi, R. F. 2023. Green Synthesis of Iron Oxide (Hematit) Nanoparticles and Their Influence on *Sorghum Bicolor* Growth under Drought Stress.

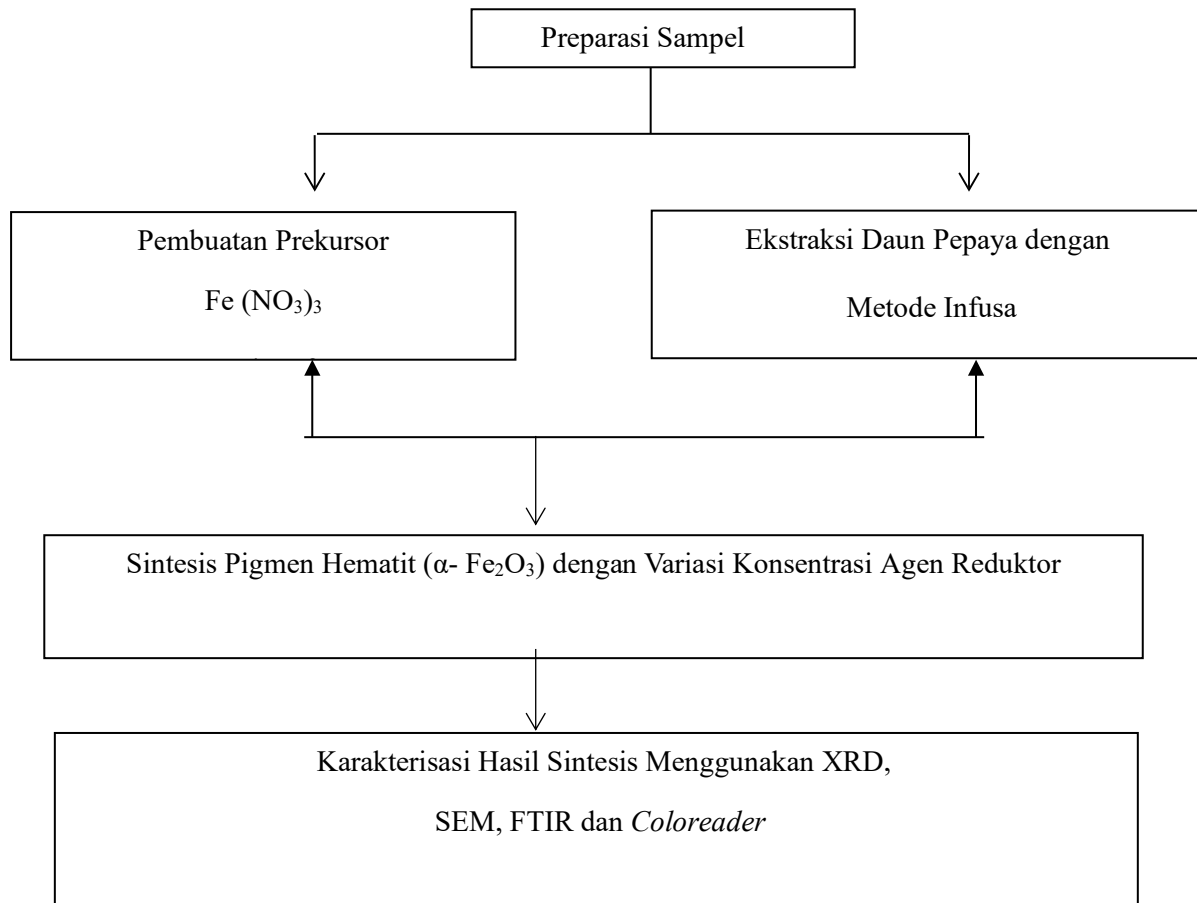
- Nisa, C., Aini, N., dan Khoiroh, L. M. 2019. Sintesis Pigmen Geothit (α -FeOOH) dari Limbah Industri Kerajinan Besi dengan Metode Presipitasi. *ALCHEMY: Journal of Chemistry*, 7(2), 40-45.
- Nova, H., dan Sofiyanti, N. 2013. Variasi Morfologi Pepaya (*Carica Papaya L.*) Di Kota Pekanbaru.
- Patra, A. K., dan Saxena, J. 2010. A New Perspective on The Use of Plant Secondary Metabolites to Inhibit Methanogenesis in The Rumen. *Phytochemistry*, 71(11-12), 1198-1222.
- Permatasari, N. A., dan Deosfila, Y. K. 2021. Perubahan Kualitas Bubuk Pewarna Alami Buah Buni (*Antidesma Bunius (L)*) Spreng Selama Penyimpanan Dengan Menggunakan Metode Akselerasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(2): 176-189.
- Peralta-Videa, J. R., Huang, Y., Parsons, J. G., Zhao, L., Lopez-Moreno, L., Hernandez-Viezcas, J. A., dan Gardea-Torresdey, J. L. 2016. Plant-based Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Scientific Curiosity or A Realistic Alternative to Chemical Synthesis?. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 1, 1-29.
- Perron, N. R., & Brumaghim, J. L. (2009). A Review of the Antioxidant Mechanisms of Polyphenol Compounds Related to Iron Binding. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 53(2), 75–100. <https://doi.org/10.1007/s12013-009-9043-x>
- Prihatin, S., Utama, M., dan Andriyanti, W. 2014. A Review On The Rubber Product From Irradition Vulvarization Natural Latex. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik Ke-3 Yogyakarta*.
- Rahman, T. P., Sukarto, A., Rochman, N. T., dan Manaf, A. 2013. Sintesis Pigmen Besi Oksida Berbahan Baku Limbah Industri Baja (*Mill Scale*). *Jurnal Fisika*, 3(1).
- Rahmawati, D. E., Khoiroh, L. M., Ningsih, R., Yusniyanti, F., Solawati, W., dan Sari, P. 2020. Synthesis of Hematite Pigment (α -Fe₂O₃) from Iron Lathe Waste Using Precipitation-sonication Method as Anti-swelling on Wood. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 1(2), 69-76.
- Rajendran, S. P., dan Sengodan, K. 2017. Synthesis and Characterization of Zinc Oxide and Iron Oxide Nanoparticles Using *Sesbania Grandiflora* Leaf Extract as Reducing Agent. *Journal of Nanoscience*, 2017.
- Ramayanti, I., dan Febriani, R. 2016. Uji Efektivitas Larvasida Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya Linn*) terhadap Larva *Aedes Aegypti*. *Fakultas Kedokteran Universitas Muhammdiyah Palembang*, 6(2), 79-88.
- Rufus, A., Sreeju, N., and Philip, D. 2016. Synthesis of Biogenic Hematit (α -Fe₂O₃) Nanoparticles for Antibacterial and Nanofluid Applications. Departement of Physics. India.
- Saragi, T., Santika, A. S., Permana, B., Syakir, N., dan Kartawidjaja, M. 2017. Synthesis and Properties of Iron Oxide Particles Prepared By Hydrothermal Method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 196, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- Saravanakumar, B., Jansi Rani, B., Ravi, G., Sakunthala, A., dan Yuvakkumar, R. 2017. Influence of Reducing Agent Concentration on The Structure, Morphology and Ferromagnetic Properties of Hematite (α -Fe₂O₃) Nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 8093-8100.

- Sari, Z. D. 2020. Green Synthesis Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Menggunakan Ekstrak Daun Teh Hijau (*Camellia Sinensis*) dengan Metode Presipitasi (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Septityana, K. D., Priyono, P., Rochman, N. T., Yuswono, Y., Rahman, T. P., Nugroho, D. W., dan Maulana, N. N. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dari Bijih Besi Alam melalui Metode Presipitasi. *Youngster Physics Journal*, 2(3), 95-100.
- Setyawati, D., Andayani, S., dan Yanuhar, U. 2016. Characterization of Fraction of Carica Papaya L. Leaves Ethyl Acetate Extract to African Catfish *Clarias Gariepinus* Leucocytes Using UV-Vis, FTIR and GC-MS Methods. *International Journal of ChemTech Research*, 9(9), 247-253.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati. Cet. 11, Vol. 15.
- Shriner, R.L. 2004. *The Systematic Identification of Organic Compound*. Wiley; John Wiley and Sons, Inc.
- Siregar, M.Z., dan Ansari, A. 2020. Penggunaan Katalis Fe Terhadap Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit dan Karbon Aktif Sekam Padi pada Proses Impregnasi. *Jurnal VORTEKS*, 1(1): 13–19.
- Sugiharto. 2007. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah. Edisi I*. Jakarta: UI Press.
- Supattarasakda, K., Petcharoen, K., Permpool, T., Sirivat, A., dan Lerdwitjarud, W. 2013. Control of Hematite Nanoparticle Size and Shape By The Chemical Precipitation Method. *Powder Technology*, 249, 353-359
- Suryawanshi, P.L., Sonawane, S.H., Bhanvase, B.A., Ashokkumar, M., Pimplapure, M.S., dan Gogate, P.R. 2018. Synthesis Of Iron Oxide Nanoparticles In A Continuous Flow Spiral Microreactor And Corning® Advanced Flow™ Reactor. *Green Processing and Synthesis*, 7(1): 1–11
- Tadic, M., Trpkov, D., Kopanja, L., Vojnovic, S., dan Panjan, M. 2019. Hydrothermal Synthesis of Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Nanoparticle forms: Synthesis Conditions, Structure, Particle Shape Analysis, Cytotoxicity and Magnetic Properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 792, 599-609.
- Tjiang, D., Aritonang, H. F., dan Koleangan, H. S. 2019. Sintesis Nanopartikel Ag/CoFe₂O₄ Menggunakan Ekstrak Daun Binahong (*Anredera cordifolia* (Ten) Steenis) dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*, 12(2).
- Truskewycz, A., Shukla, R., dan Ball, A. S. 2016. Iron Nanoparticles Synthesized Using Green Tea Extracts for The Fenton-like Degradation of Concentrated Dye Mixtures at Elevated Temperatures. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4409-4417.
- Ukas, U., dan Arman, Z. 2020. Analisis Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Terhadap Bahan Berbahaya dan Beracun di Kota Batam. *Jurnal Selat*, 8(1), 134-148.
- Varisha, A., Ansari, S. H., Naquvi, K. J., Poonam, A., dan Adil, A. 2013. Development of Quality Standards of Carica Papaya Linn. Leaves. *Der Pharmacia Lettre*, 5(2), 370-376.

- Wadekar, A. B., Nimbawar, M. G., Panchale, W. A., Gudalwar, B. R., Manwar, J. V., dan Bakal, R. L. 2021. Morphology, Phytochemistry and Pharmacological Aspects of Carica Papaya, an Review. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 234-248.
- Wasito, B., dan Biyantoro, D. 2009. Optimasi Proses Pembuatan Oksida Logam Tanah Jarang dari Pasir Senotim dan Analisis Produk dengan Spektrometer Pendar Sinar-X. In *Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir* (Vol. 5, pp. 677-686).
- Zanur, H., Putra, A., dan Astuti, A. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dari Bijih Besi Di Jorong Kepalo Bukik Kabupaten Solok Selatan Menggunakan Metode Presipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 6(2), 149-155.

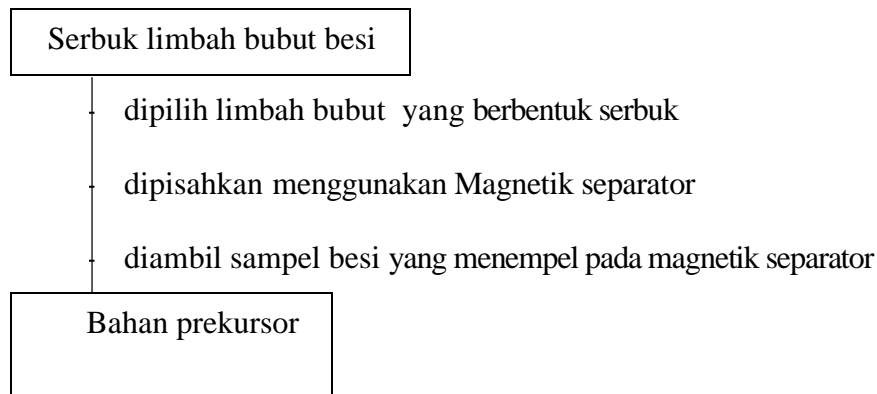
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian

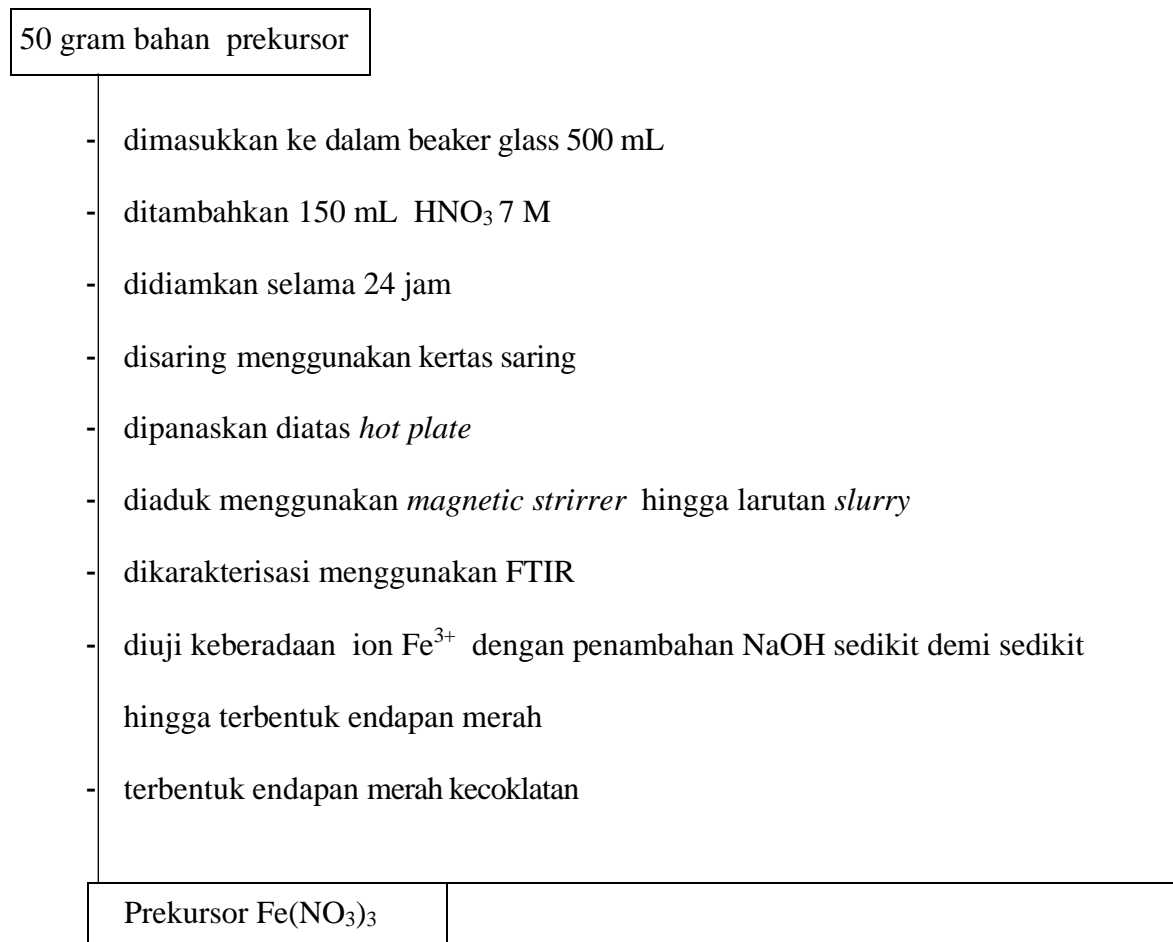


Lampiran 2. Diagram Alir

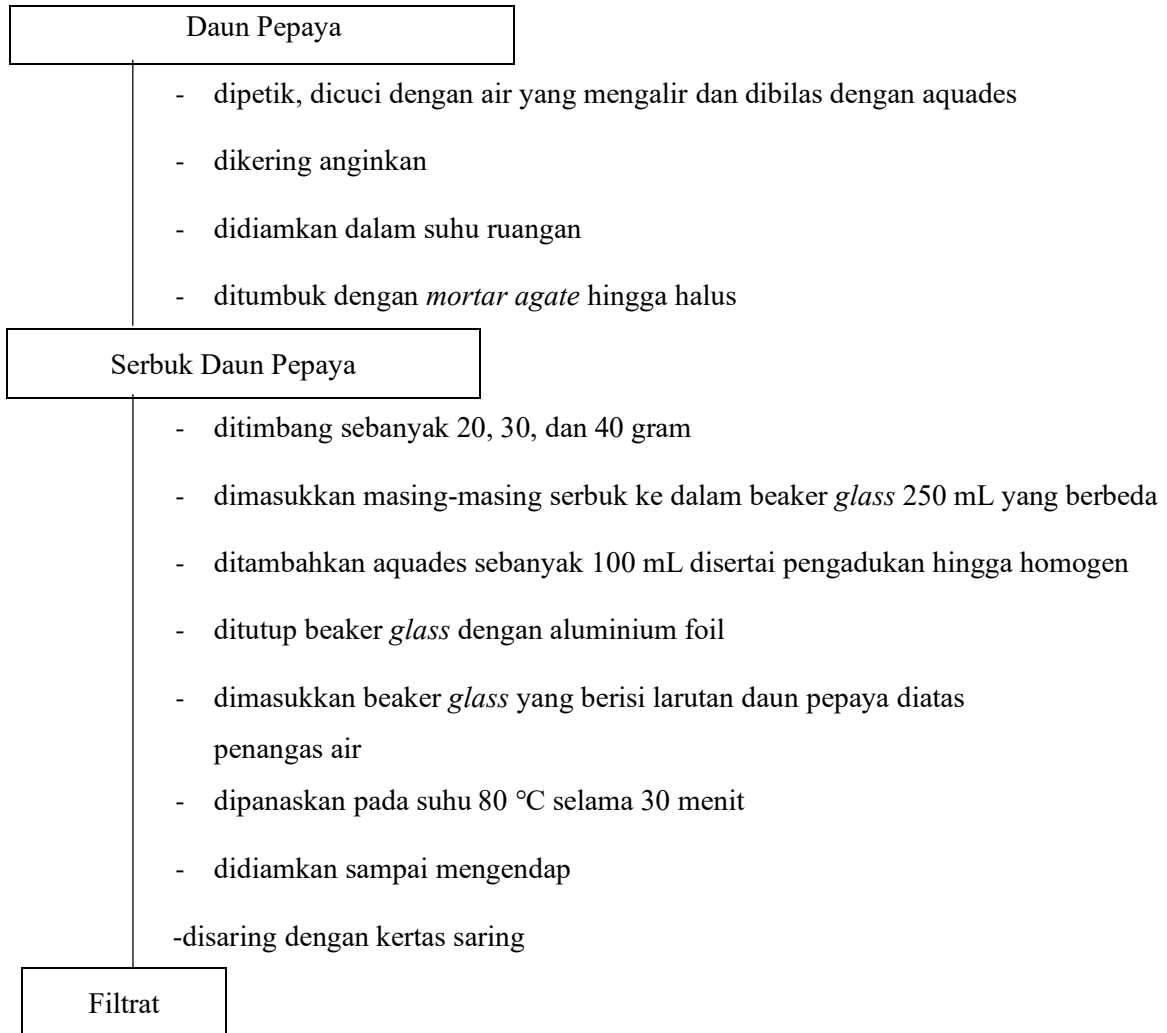
L2.1 Preparasi sampel



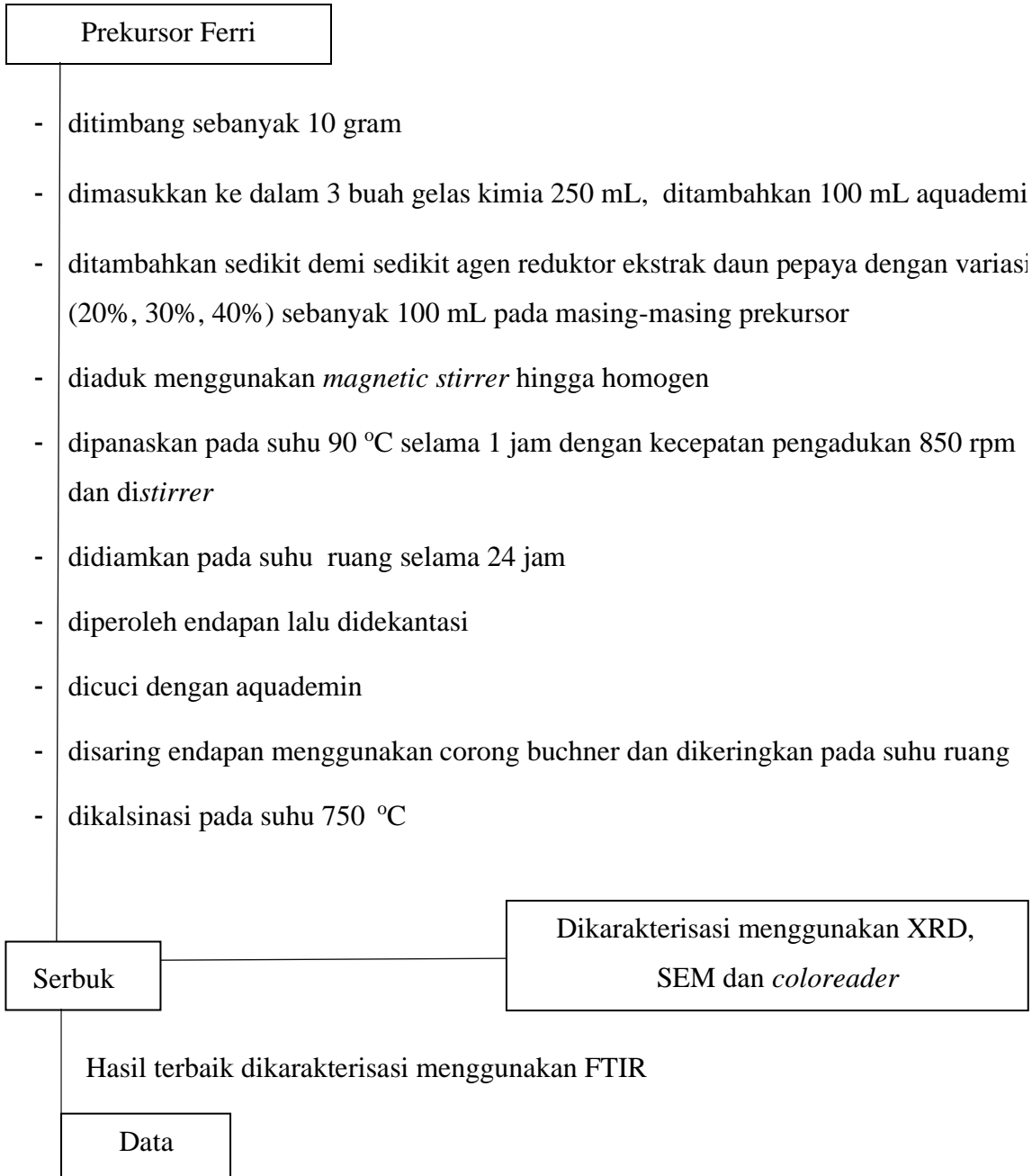
L2.2 Pembuatan prekursor ferri (Fe^{3+})



L2.3 Ekstraksi daun pepaya dengan metode infusa



L2.4 Sintesis pigmen hematit dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya



Lampiran 3. Perhitungan

L3.1 Pembuatan Larutan HNO₃ 7 M

$$\begin{aligned}
 \text{BJ HNO}_3 &= 1,4 \text{ gram/mL} \\
 \text{Mr} &= 63 \text{ gram/mol} \\
 \text{Molaritas} &= \frac{m(\text{gram})}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{v} \\
 &= \frac{m(\text{gram})}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{\frac{m}{\rho}} \\
 &= \frac{m(\text{gram})}{\text{Mr}} \times \frac{1000 \rho}{m} \\
 &= \frac{65}{100} \times \frac{1000 \times \rho}{m} \\
 &= \frac{\text{Mr}}{0,65 \times 1000 \times 1,4 \text{ gram/mL}} \\
 &= \frac{63 \text{ gram/mol}}{63 \text{ gram/mol}} \\
 &= 14,444 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$14,444 \text{ M} \times V_1 = 7 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 48,463 \text{ mL}$$

L3.2 Pembuatan Larutan HNO₃ 65%

$$\begin{aligned} \text{BJ HNO}_3 &= 1,4 \text{ gram/mL} \\ \text{Mr} &= 63 \text{ gram/mol} \\ \text{Molaritas} &= \frac{m(\text{gram})}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{v} \\ &= \frac{m(\text{gram})}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{m/\rho} \\ &= \frac{m(\text{gram})}{\text{Mr}} \times \frac{1000 \rho}{m} \\ &= \frac{65}{100} \times 1000 \times \rho \\ &= \frac{\text{Mr}}{0,65 \times 1000 \times 1,4 \text{ gram/mL}} \\ &= 14,444 \text{ M} \\ M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 14,444 \text{ M} \times V_1 &= 3,5 \text{ M} \times 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 24,23 \text{ mL} \end{aligned}$$

L3.3 Larutan NaOH 1 M dalam 100 mL

$$\begin{aligned} \text{Mr} &= 40 \text{ gram/mol} \\ \text{M} &= \frac{\text{mol}}{\text{Volume (L)}} \\ 1\text{M} &= \frac{\text{mol}}{0,1 \text{ L}} \\ &= 0,1 \text{ mol} \\ \text{mol} &= m (\text{gram}) \\ 0,1 \text{ mol} &= \frac{\text{mol}}{40 \text{ gram/mol}} \\ m &= 4 \text{ gram} \end{aligned}$$

L3.4 Pembuatan Ekstrak Daun Pepaya 10%, 20%, dan 30% dalam 100 mL

a. Ekstrak daun pepaya 20 %

$$\begin{aligned} 20\% &= \frac{m(\text{gram})}{100 \text{ mL}} \times 100\% \\ &= 20 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Ekstrak daun pepaya 30%

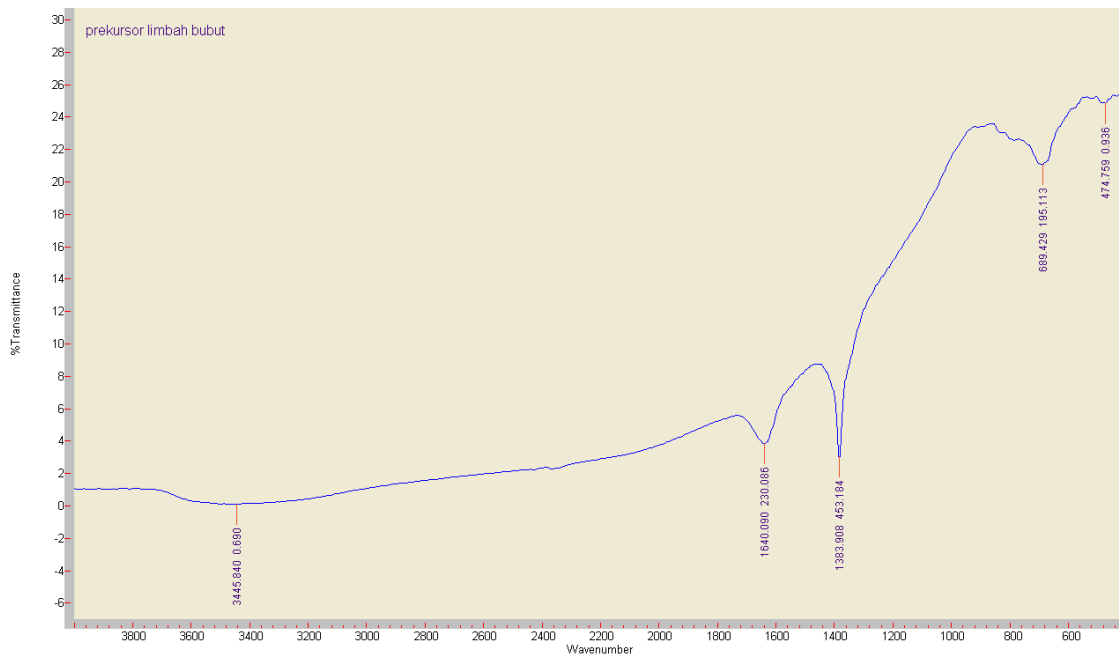
$$\begin{aligned} 30\% &= \frac{m(\text{gram})}{100 \text{ mL}} \times 100\% \\ &= 30 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Ekstrak daun pepaya 40%

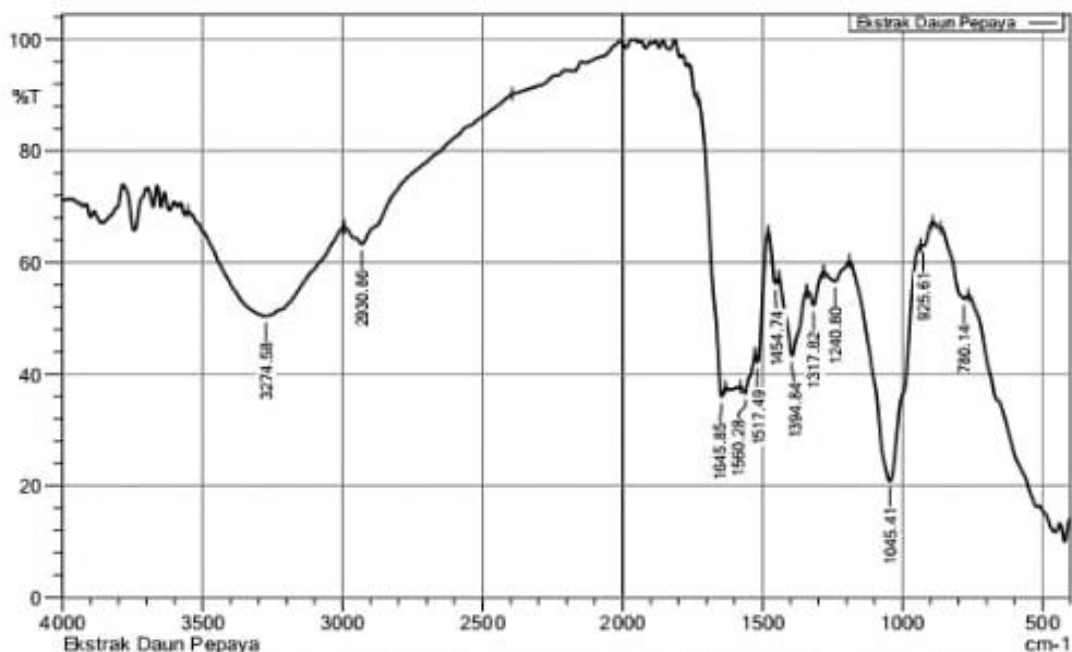
$$\begin{aligned} 40\% &= \frac{m(\text{gram})}{100 \text{ mL}} \times 100\% \\ &= 40 \text{ gram} \end{aligned}$$

Lampiran 4. Hasil Karakterisasi menggunakan FTIR

L4.1 Spektra Prekursor

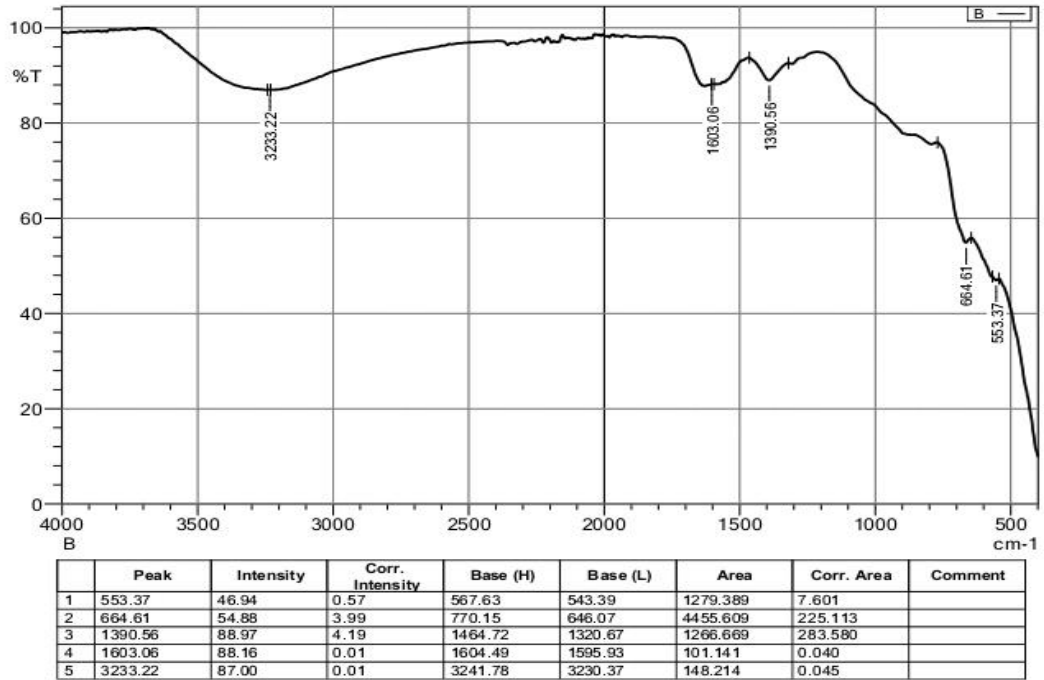


L4.2 Spektra Ekstrak Daun Pepaya

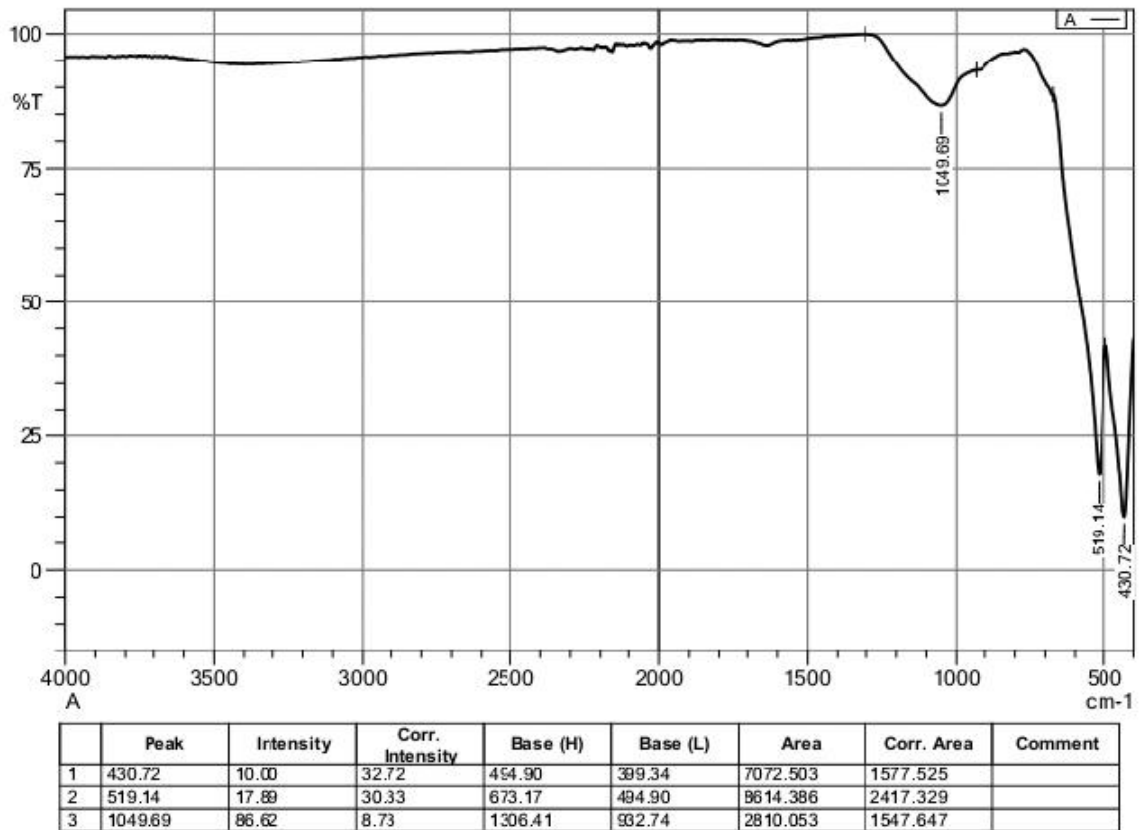


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	780.14	53.51	2.57	864.28	764.45	4106.232	136.418	
2	925.61	63.00	0.93	934.17	891.38	1510.835	21.277	
3	1045.41	20.85	41.03	1189.46	934.17	14761.138	4982.352	
4	1240.80	56.67	2.56	1282.16	1189.46	3889.311	118.709	
5	1317.82	52.33	3.94	1342.07	1282.16	2694.650	95.187	
6	1394.84	43.32	12.90	1441.90	1342.07	5021.508	643.571	
7	1454.74	56.30	3.92	1478.98	1441.90	1500.318	71.072	
8	1517.49	42.19	5.88	1527.47	1478.98	2313.881	108.143	
9	1560.28	36.63	3.36	1580.24	1527.47	3222.299	92.609	
10	1645.85	35.95	9.13	1731.42	1631.59	3888.479	249.430	
11	2930.86	63.33	5.57	2995.04	2394.61	13621.495	580.003	
12	3274.58	50.38	17.41	3552.69	2995.04	23574.598	5613.549	

L4.2 Spektra Prekursor Sebelum Kalsinasi

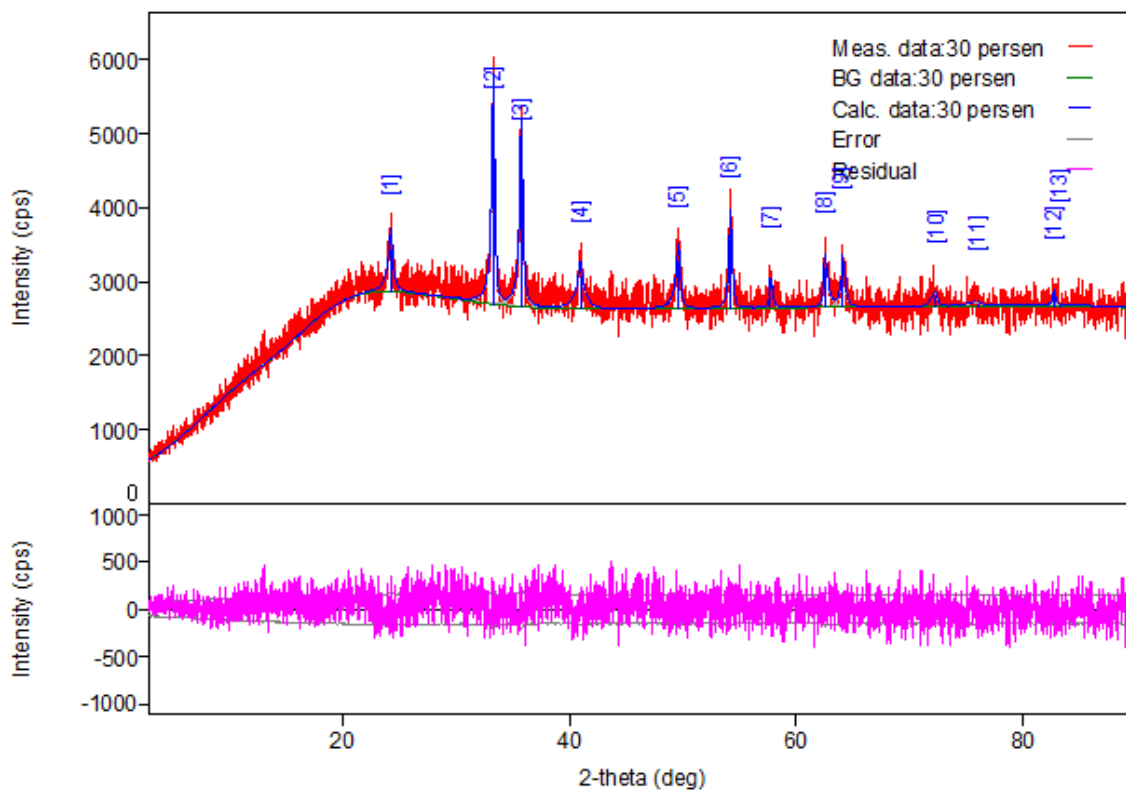


L4.3 Spektra Prekursor Setelah Kalsinasi



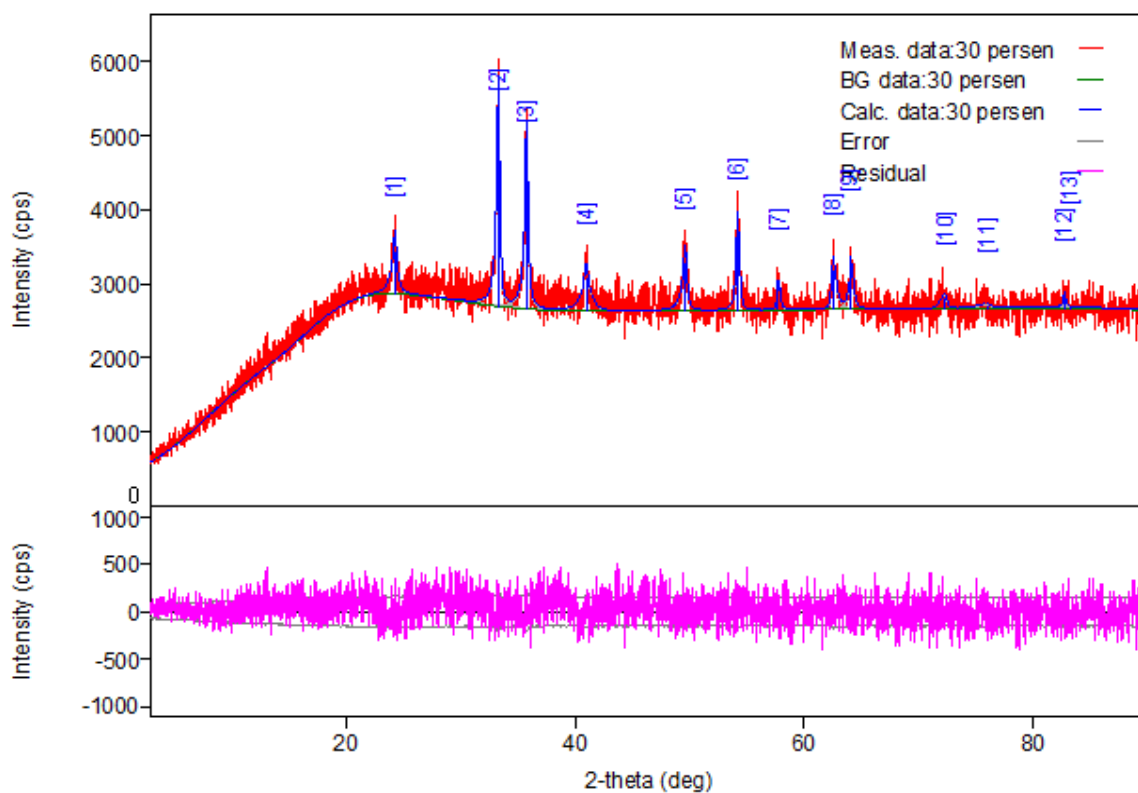
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi XRD

L4.1 Hasil Karakterisasi Sampel Hematit dengan Ekstrak Daun Pepaya 20%



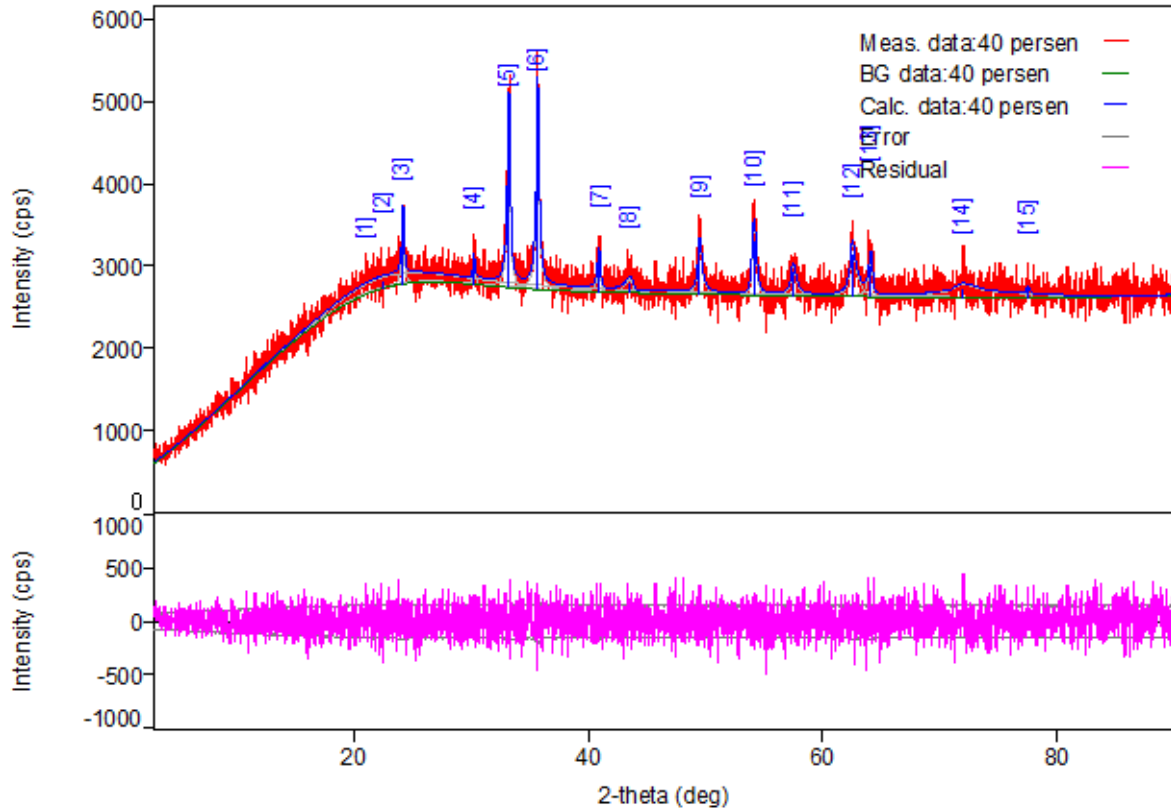
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cpsdeg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.30(4)	3.660(5)	579(69)	0.40(7)	435(28)	0.75(14)	1.6(9)
2	33.330(10)	2.6860(8)	2200(135)	0.26(2)	1021(25)	0.46(4)	2.4(6)
3	35.785(5)	2.5072(4)	1797(122)	0.30(3)	931(25)	0.52(5)	1.6(7)
4	41.00(4)	2.1998(19)	452(61)	0.55(8)	493(32)	1.1(2)	1.3(4)
5	49.64(5)	1.8350(18)	646(73)	0.38(9)	417(28)	0.64(12)	2.3(18)
6	54.22(3)	1.6904(8)	1031(93)	0.26(4)	418(24)	0.41(6)	1.7(9)
7	57.73(8)	1.596(2)	359(55)	0.16(14)	112(24)	0.31(11)	0.8(14)
8	62.57(4)	1.4833(9)	545(67)	0.33(7)	293(33)	0.54(13)	1.4(9)
9	64.10(3)	1.4516(5)	595(70)	0.21(5)	263(26)	0.44(10)	1.1(8)
10	72.35(7)	1.3051(10)	133(33)	0.7(2)	108(40)	0.8(5)	5(12)
11	76(3)	1.25(4)	43(19)	1(11)	89(61)	2(2)	4(94)
12	82.740(13)	1.16549(14)	187(40)	0.09(5)	29(13)	0.16(10)	3(9)
13	83(577)	1.2(12)	28(15)	7(1233)	256(184)	9(12)	2(1798)

L4.2 Hasil Karakterisasi Sampel Hematit dengan Ekstrak Daun Pepaya 30%

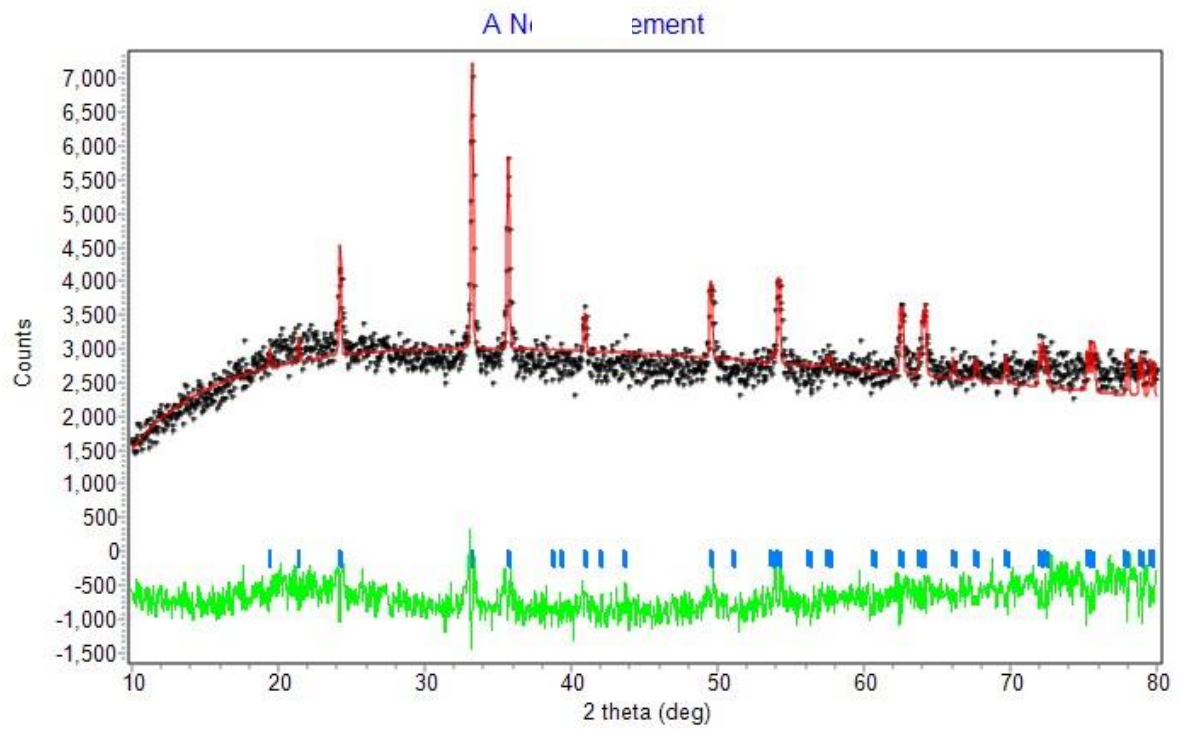
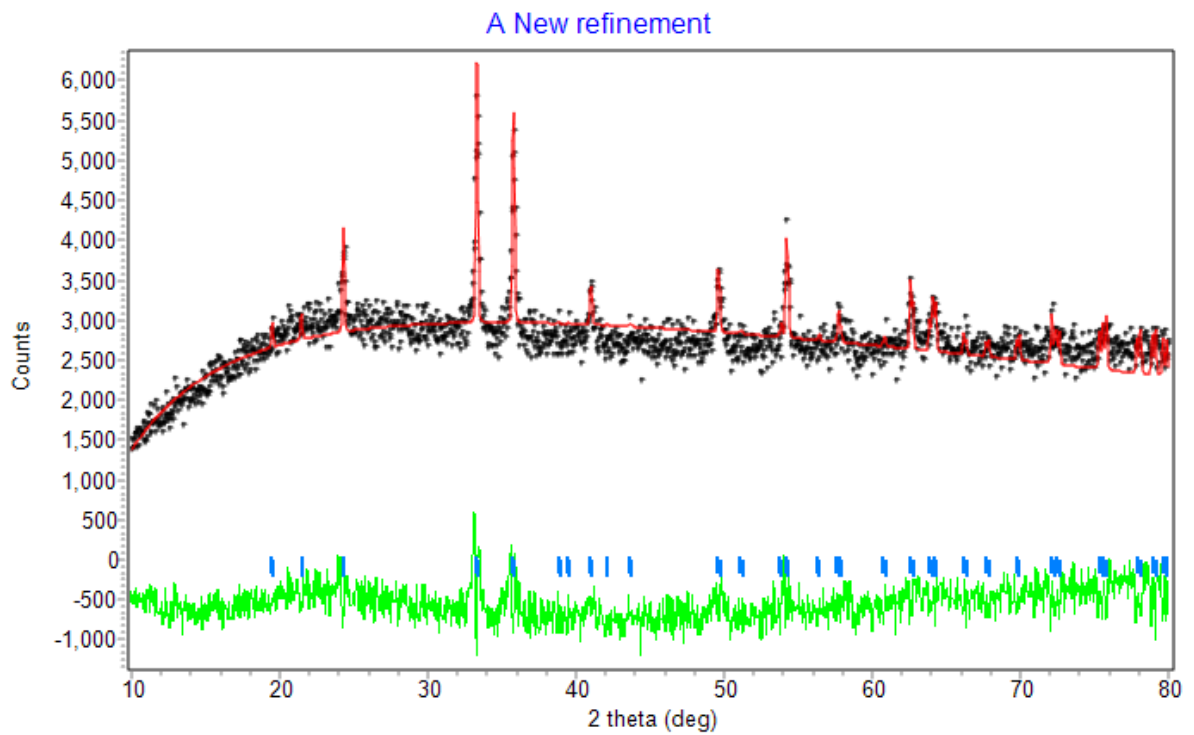


No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cpsdeg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.30(4)	3.660(5)	579(69)	0.40(7)	435(28)	0.75(14)	1.6(9)
2	33.330(10)	2.6860(8)	2200(135)	0.26(2)	1021(25)	0.46(4)	2.4(6)
3	35.785(5)	2.5072(4)	1797(122)	0.30(3)	931(25)	0.52(5)	1.6(7)
4	41.00(4)	2.1998(19)	452(61)	0.55(8)	493(32)	1.1(2)	1.3(4)
5	49.64(5)	1.8350(18)	646(73)	0.38(9)	417(28)	0.64(12)	2.3(18)
6	54.22(3)	1.6904(8)	1031(93)	0.26(4)	418(24)	0.41(6)	1.7(9)
7	57.73(8)	1.596(2)	359(55)	0.16(14)	112(24)	0.31(11)	0.8(14)
8	62.57(4)	1.4833(9)	545(67)	0.33(7)	293(33)	0.54(13)	1.4(9)
9	64.10(3)	1.4516(5)	595(70)	0.21(5)	263(26)	0.44(10)	1.1(8)
10	72.35(7)	1.3051(10)	133(33)	0.7(2)	108(40)	0.8(5)	5(12)
11	76(3)	1.25(4)	43(19)	1(11)	89(61)	2(2)	4(94)
12	82.740(13)	1.16549(14)	187(40)	0.09(5)	29(13)	0.16(10)	3(9)
13	83(577)	1.2(12)	28(15)	7(1233)	256(184)	9(12)	2(1798)

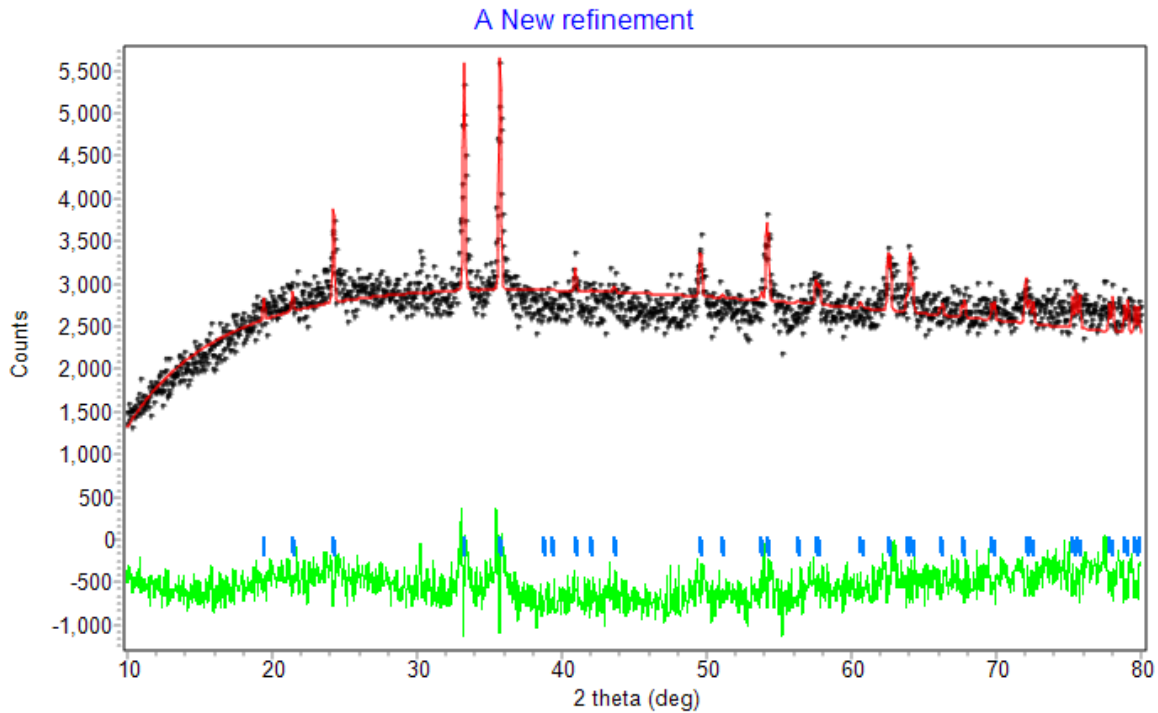
L4.3 Hasil Karakterisasi Sampel Hematit dengan Ekstrak Daun Pepaya 40%



No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I (cpsdeg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	21(8)	4.2(12)	10(9)	36(44)	664(193)	65(77)	4(34)
2	22.5(18)	3.9(3)	90(27)	12.7(11)	2069(1486)	23(24)	1(7)
3	24.218(11)	3.6720(16)	578(69)	0.20(5)	184(20)	0.32(7)	2(2)
4	30.24(2)	2.953(2)	245(45)	0.13(7)	48(14)	0.20(9)	0.7(12)
5	33.205(11)	2.6959(9)	1765(121)	0.23(2)	702(23)	0.40(4)	0.59(15)
6	35.697(11)	2.5132(7)	1985(129)	0.21(3)	795(22)	0.40(4)	1.0(3)
7	40.96(5)	2.202(3)	361(55)	0.26(10)	140(22)	0.39(12)	2.1(9)
8	43.59(7)	2.075(3)	111(30)	0.7(3)	109(36)	1.0(6)	2(3)
9	49.520(17)	1.8392(6)	497(64)	0.35(10)	293(24)	0.59(12)	0.9(11)
10	54.15(6)	1.6923(16)	655(74)	0.40(5)	338(26)	0.52(10)	1.2(7)
11	57.44(4)	1.6029(9)	287(49)	0.40(17)	212(25)	0.7(2)	0.5(5)
12	62.53(4)	1.4841(8)	524(66)	0.38(10)	420(36)	0.80(17)	0.7(4)
13	64.12(3)	1.4512(6)	387(57)	0.33(8)	194(28)	0.50(15)	2.1(9)
14	71.89(18)	1.312(3)	110(30)	3.5(8)	821(86)	7(3)	0.5(3)
15	77.47(5)	1.2310(7)	98(29)	0.15(14)	16(18)	0.2(2)	1(3)

Lampiran 5. Hasil *Refinement***L5.1 Hasil *Refinement* Hematit dengan F₂O₃ Daun Pepaya 20%****L5.2 Hasil *Refinement* Hematit dengan Ekstrak Daun Pepaya 30%**

L5.3 Hasil *Refinement* Hematit dengan Ekstrak Daun Pepaya 40%



Lampiran 6. Perhitungan Kristal Hematit

Untuk mengetahui ukuran kristal, dapat dihitung menggunakan persamaan Scherrer. Data yang dihitung ukuran kristalnya yaitu pada variasi ekstrak daun pepaya 40%.

$$\lambda (\text{Ka}) = 1,54060 \text{ (nm)}$$

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

$$\beta (\text{FWHM}) = 0,23 \text{ rad} = \frac{0,23}{180} \times 3,14 = 0,00401$$

$$2\theta = 33,205$$

$$\theta = 16,6025$$

$$\text{Cos } \theta = 0,95831$$

Sehingga ukuran kristal hematitnya sebesar:

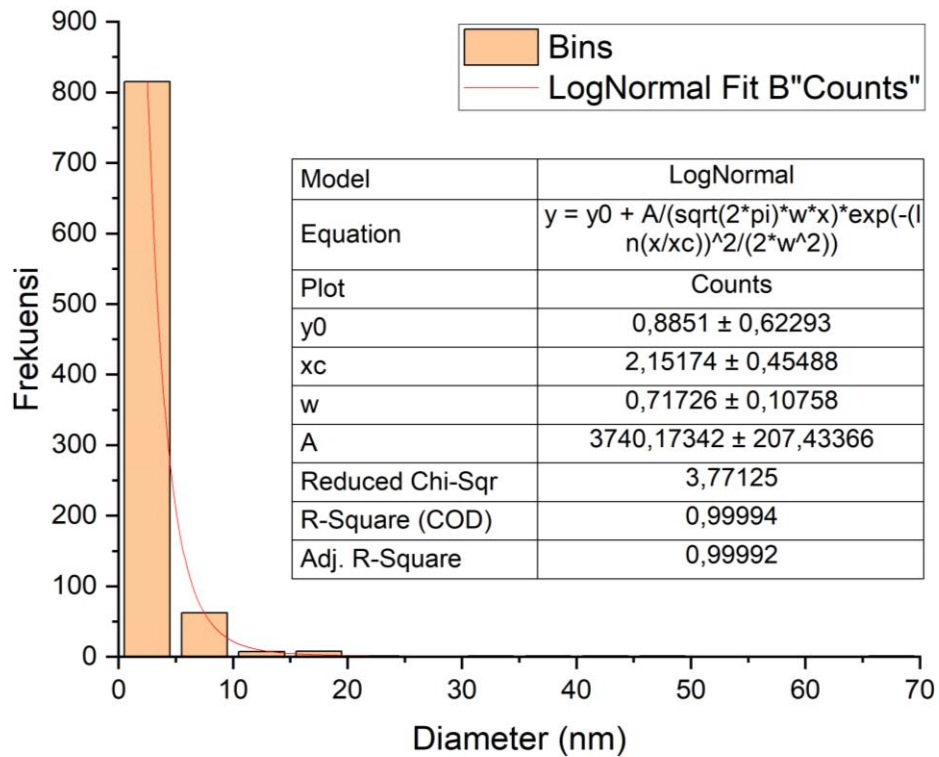
$$D = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00401 \times 0,95831} = \frac{1,38654}{0,00384} = 361,0781 = 36,1078 \text{ nm}$$

Perhitungan variasi lainnya dengan dua theta berbeda dilakukan dengan cara yang sama, dan hasilnya adalah sebagai berikut:

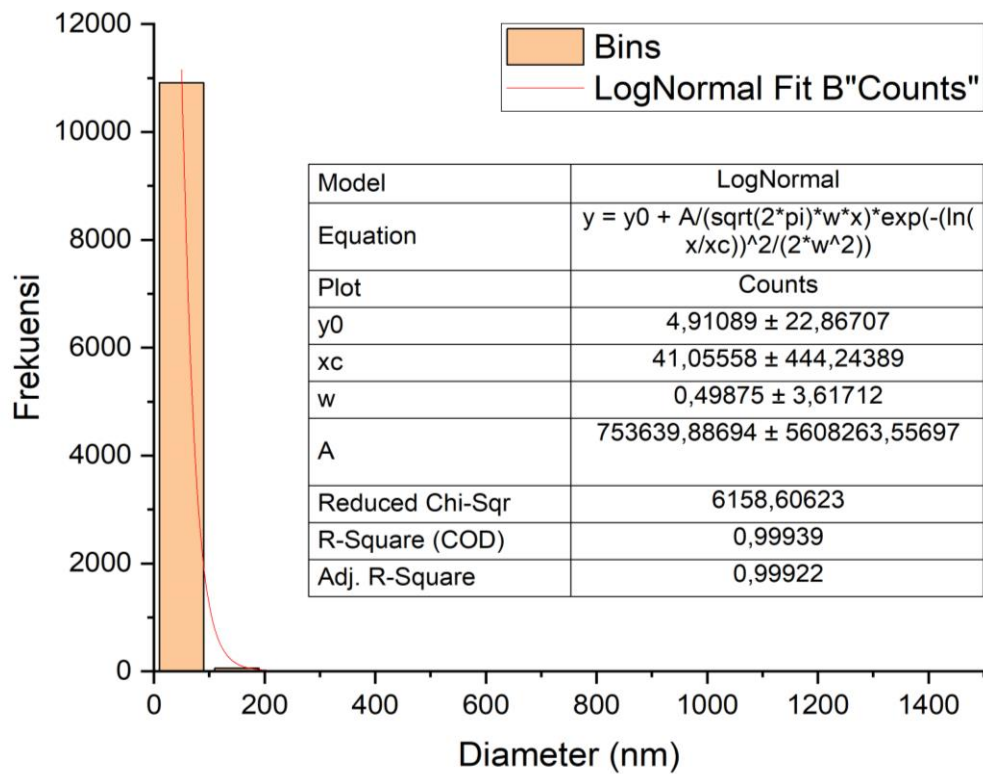
Variasi ekstrak (%)	2 Theta (°)	FWHM	Ukuran kristal (nm)
20	33,227	0,213	39,05
	35,700	0,19	44,01
30	33,330	0,26	32,02
	35,785	0,30	27,89
40	33,205	0,23	36,10
	35,697	0,21	39,84

Lampiran 7. Histogram dan Nilai R-square

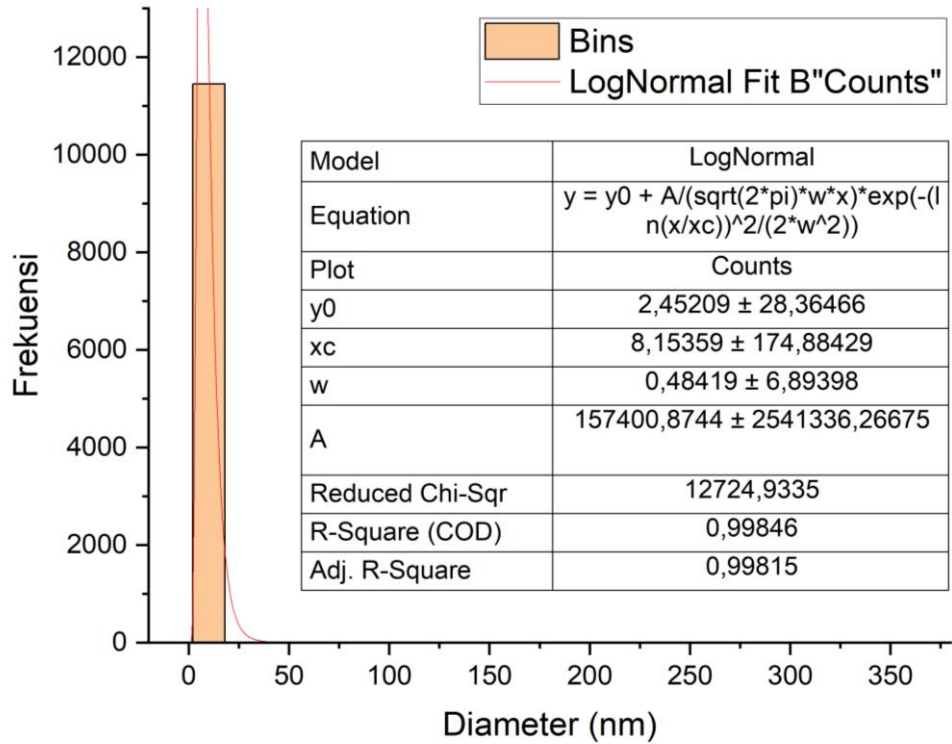
L7.1 Konsentrasi Ekstrak 20%Perbesarai x



L7.2 Konsentrasi Ekstrak 30%Perbesarai 50000x



L7.3 Konsentrasi Ekstrak 40% Perbesaran 50000x



Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian

L8.1 Preparasi Limbah



Pemisahan besi menggunakan magnetik



Pemilihan limbah (serbuk)

L8.2 Pembuatan Prekursor Ferri (Fe³⁺)



Limbah besi 50 gram



Destruksi limbah besi dengan HNO₃



Prekursor yang sudah kering



Uji kuantitatif dengan reagen NaOH

L8.3 Ekstraksi Daun Pepaya



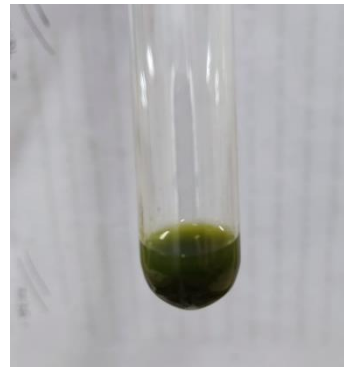
Preparasi daun pepaya



Daun pepaya ditumbuk

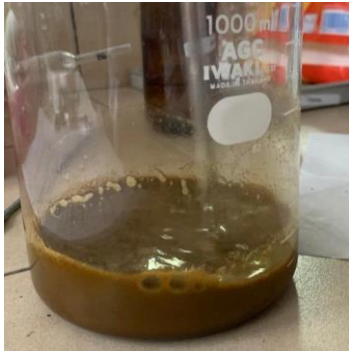


Proses ekstraksi selama 30 menit

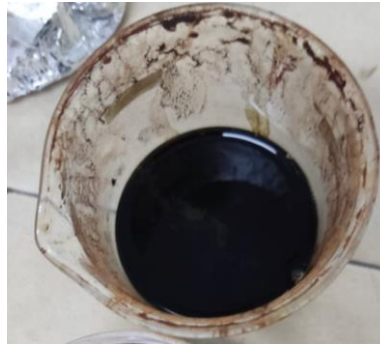


Uji kualitatif dengan reagen FeCl_3

L8.4 Sintesis Pigmen Hematit



Prekursor dalam aquademin



Prekursor+ekstrak daun pepaya



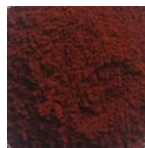
Proses pemanasan yang disertai dengan pengadukan



Setelah didiamkan selama 24 jam



Disaring menggunakan corong buchner



Serbuk



kalsinasi



setelah