PENGARUH SUHU *ANNEALING* PADA *GREEN SYNTHESIS* MAGNETIT MENGGUNAKAN EKSTRAK JERUK SAMBAL (*Citrus microcarpa Bunge*) SEBAGAI FOTOKATALIS

HILYANA AGIS RISLA

NIM H101221025

SKRIPSI

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

PENGARUH SUHU *ANNEALING* PADA *GREEN SYNTHESIS* MAGNETIT MENGGUNAKAN EKSTRAK JERUK SAMBAL (*Citrus microcarpa Bunge*) SEBAGAI FOTOKATALIS

HILYANA AGIS RISLA

NIM H101221025

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains pada Program Studi Fisika

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Suhu *Annealing* pada *Green Synthesis* Magnetit menggunakan Ekstrak Jeruk Sambal (*Citrus microcarpa Bunge*) sebagai Fotokatalis
Nama Mahasiswa	: Hilyana Agis Risla
NIM	: H1021221025
Jurusan/Program Studi	: Fisika/Fisika
Tanggal Lulus	: 30 Juli 2026
SK Pembimbing	: No. 842/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tanggal: 3 Maret 2026
SK Penguji	: No. 4999/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tanggal: 29 Juli 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Retna Arilasita, S.Si., M.Si.	Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si.
NIP199603232024062002	NIP198801192024212001

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Asifa Asri, S.Si., M.Si.	Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.
NIP199006052022032010	NIP198011252006042002

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Retna Arilasita, S.Si., M.Si.	Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si.
NIP199603232024062002	NIP198801192024212001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Hilyana Agis Risla
NIM	: H1021221025
Program Studi/ Jurusan	: Fisika/Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 15 Agustus 2026



Hilyana Agis Risla
NIM H1021221025

Pengaruh Suhu *Annealing* pada *Green Synthesis* Magnetit menggunakan Ekstrak Jeruk Sambal (*Citrus microcarpa Bunge*) sebagai Fotokatalis

Abstrak

Penelitian mengenai nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) semakin berkembang karena potensinya dalam aplikasi lingkungan, khususnya sebagai fotokatalis ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap sifat struktural, gugus fungsi, sifat magnetik, dan kinerja fotokatalitik nanopartikel Fe_3O_4 hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak jeruk sambal. Sintesis dilakukan menggunakan metode *green sol-gel* yang dilanjutkan dengan proses *annealing* pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, FTIR, dan VSM, sedangkan aktivitas fotokatalitik diuji melalui degradasi metilen biru menggunakan UV–Vis. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya struktur kubik magnetit sesuai ICDD No. 88-0315 dengan peningkatan ukuran kristalit dari 13–18 nm dan penurunan regangan kisi seiring kenaikan suhu *annealing*. FTIR mengonfirmasi terbentuknya struktur spinel, sedangkan VSM menunjukkan sifat superparamagnetik pada seluruh sampel. Hasil uji fotokatalitik menunjukkan efisiensi degradasi terbaik sebesar 97% pada suhu *annealing* 400°C, diikuti 500°C dan 600°C. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran kristalit yang lebih kecil dan luas permukaan yang lebih besar meningkatkan aktivitas fotokatalitik melalui mekanisme fotokatalisis dan reaksi Fenton. Dengan demikian, Fe_3O_4 hasil *green synthesis* berpotensi menjadi fotokatalis magnetik untuk pengolahan limbah zat warna.

Kata kunci: *Annealing*, Fotokatalis, *Green synthesis*, Jeruk Sambal, Magnetit, Metilen Biru.

The Effect of Annealing Temperature on Green Synthesis of Magnetite Using Calamansi (Citrus microcarpa Bunge) Extract as a Photocatalyst

Abstract

Research on magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles has attracted considerable attention due to their potential environmental applications, particularly as eco-friendly photocatalysts. This study aims to investigate the effect of annealing temperature on the structural, functional group, magnetic properties, and photocatalytic performance of Fe_3O_4 nanoparticles synthesized via a green synthesis approach using musk lime extract. The synthesis was carried out using a green sol–gel method followed by annealing at 400°C, 500°C, and 600°C. Characterization was performed using XRD, FTIR, and VSM, while photocatalytic activity was evaluated through methylene blue degradation using UV–Vis spectroscopy. The XRD results confirmed the formation of a cubic magnetite phase consistent with ICDD No. 88-0315, with crystallite size increasing from 13 to 18 nm and lattice strain decreasing as annealing temperature increased. FTIR analysis confirmed the formation of a spinel structure, while VSM results indicated superparamagnetic behavior in all samples. Photocatalytic tests showed the highest degradation efficiency of approximately 97% at 400°C, followed by 500°C and 600°C. This improvement is attributed to smaller crystallite size and higher surface area, which enhance photocatalytic activity through photocatalytic mechanisms and Fenton-like reactions. Overall, green-synthesized Fe_3O_4 nanoparticles demonstrate strong potential as magnetic photocatalysts for dye waste treatment applications.

Keyword: Annealing, Green synthesis, Magnetite, Methylene Blue, Musk Lime, Photocatalyst.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala kasih karunia, hikmat, dan kekuatan yang diberikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul "**Pengaruh Suhu *Annealing* pada *Green Synthesis* Magnetit menggunakan Ekstrak Jeruk Sambal (*Citrus microcarpa Bunge*) sebagai Fotokatalis".** Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi selama proses penyusunan karya tulis ini. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Sunari dan Ibu Mistimah selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa, cinta, kasih sayang, perhatian, dukungan moral yang tiada henti, serta dukungan material yang tidak ternilai harganya. Segala pengorbanan yang telah diberikan menjadi kekuatan utama bagi penulis dalam menyelesaikan studi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan kepada mereka.
2. Nur Indah, Ahmad Syaifudin, dan Mita Purnama Sari selaku kakak penulis yang telah memberikan dukungan, semangat, serta motivasi selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Bantuan dan perhatian yang diberikan menjadi dorongan bagi penulis untuk terus berjuang menyelesaikan studi.
3. Bapak Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing akademik penulis yang selalu memberikan arahan, bimbingan, serta nasihat selama masa perkuliahan. Beliau senantiasa membantu penulis memahami proses akademik, memberikan motivasi, serta mendukung penulis dalam menyelesaikan studi dengan baik hingga tahap penyusunan skripsi ini.

4. Ibu Retna Arilasita, S.Si., M.Si. dan Ibu Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si., selaku pembimbing pertama dan kedua yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini. Dengan kesabaran dan ketelitian beliau dalam membimbing, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan lebih terarah dan baik. Segala kritik, saran, dan motivasi yang diberikan sangat membantu penulis dalam menyempurnakan skripsi ini.
5. Ibu Asifa Asri, S.Si., M.Si. dan Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji pertama dan kedua penulis yang telah memberikan saran pada penulis selama penyusunan skripsi ini.
6. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Nurdiyantoro Putra Prasetya, S.Si., M.Si. yang telah memberikan banyak bantuan, arahan, dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini. Berbagai masukan yang diberikan sangat membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dengan lebih baik.
7. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas, Ketua Program Studi, serta seluruh dosen atas ilmu, bimbingan, dan arahan yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh civitas akademika.
8. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Frinelda Rehulina Barus serta teman-teman Photon”22 satu angkatan yang telah memberikan dukungan, kerja sama, serta semangat selama masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini. Kebersamaan, diskusi, dan bantuan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan studi ini.
9. Kak Firda, Kak Mei, dan Santi selaku teman penulis yang tinggal bersama di Asrama Ratu Nirmala selama masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, serta bantuan yang sangat berarti dalam menjalani kehidupan sehari-hari.
10. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri atas usaha, ketekunan, dan perjuangan yang telah dilakukan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa proses yang dilalui

tidaklah mudah, namun dengan kesabaran dan komitmen yang dijaga, penulis mampu menyelesaikan studi ini dengan baik. Pengalaman ini menjadi pelajaran berharga untuk terus berkembang di masa depan.

Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang fisika material magnetik jurusan Fisika. Selain itu, penulis juga berharap agar skripsi ini dapat menjadi referensi atau inspirasi bagi penelitian selanjutnya. Penulis memohon maaf jika masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini dan penulis juga menerima kritik dan saran dari pembaca.

Pontianak, 15 Agustus 2026



HILYANA AGIS RISLA
H1021221025

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
PRAKATA vi
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Batasan Masalah 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB II DASAR TEORI 7
2.1 Sifat Material Magnetik 7
2.2 Magnetit (Fe_3O_4) 9
2.3 *Green synthesis* Metode Sol-Gel 11
2.4 Proses *Annealing* 12
2.5 Karakterisasi Material 13
2.5.1 Karakterisasi dengan *X-Ray Difraction* (XRD) 13
2.5.2 Karakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) 17
2.5.3 Karakterisasi dengan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) 18
2.6 Pengujian Fotokatalis 20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 23
3.2 Alat dan Bahan 23
3.2.1 Alat Penelitian 23
3.2.2 Bahan Penelitian 24
3.3 Prosedur Kerja 24
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan 24
3.3.2 *Green synthesis* dengan Metode Sol-Gel 24
3.3.3 Karakterisasi Sampel 26
3.4 Analisis Data 27
3.5 Uji Aktivitas Fotokatalitik 28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 30
4.1 Analisis Struktur Kristal Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) 30
4.2 Analisis Gugus Fungsi Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) 33
4.3 Analisis Sifat Magnetik Menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) 36
4.4 Aktivitas Fotokatalis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) 38
4.4.1 Pengamatan Visual Larutan Metilen Biru 39

4.4.2 Pengaruh Suhu *Annealing* terhadap Aktivitas Adsorpsi, Fotokatalitik, dan *Dye Removal*.....40
4.4.3 Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Aktivitas Fotokatalitik Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4).....43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....46
5.1 Kesimpulan.....46
5.2 Saran.....47
DAFTAR PUSTAKA.....48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva histeresis untuk material *ferromagnetic*, *antiferromagnetic*, *paramagnetic*, dan *diamagnetic* (Kotnala dan Shah, 2015). 7
Gambar 2.2 Kurva Histerisis*: (a) Soft magnetic* dan *(b) hard magnetic* (Kotnala dan Shah, 2015). 8
Gambar 2.3 Struktur kristal spinel ferrit (Kotnala dan Shah, 2015)..... 10
Gambar 2.4 Diagram skema VSM 19
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian 25
Gambar 3. 2 Proses *green synthesis* dengan metode sol-gel. 25
Gambar 3.3 Diagram alir proses uji aktivitas fotokatalitik sampel magnetit terhadap larutan metilen biru…….30
Gambar 4.1 Pola difraksi XRD magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* 400°C, 500°C, dan 600°C. 30
Gambar 4.2 Spektrum FTIR magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* 400°C, 500°C, dan 600°C..... 33
Gambar 4.3 Kurva magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) nanopartikel magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* ((a) 400°C, (b) 500°C, dan (c)) 600°C beserta hasil *fitting* menggunakan model Langevin. 37
Gambar 4.4 Dokumentasi visual degradasi metilen biru sebelum dan sesudah proses fotokatalisis menggunakan magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* 41
Gambar 4.5 Pengaruh suhu *annealing* terhadap kinerja magnetit berbasis *green synthesis* sebagai adsorben. 40
Gambar 4.6 Pengaruh suhu *annealing* magnetit terhadap kinerja fotokatalitik berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing*..... 41
Gambar 4.7 Pengaruh suhu *annealing* terhadap aktivitas *dye removal* magnetit berbasis *green synthesis*. 43
Gambar 4.8 Degradasi metilen biru menggunakan magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* 400°C..... 44
Gambar 4.9 Degradasi fotokatalitik metilen biru menggunakan magnetit berbasis *green synthesis* pada suhu *annealing* 400°C dengan variasi waktu penyinaran UV..... 46
Gambar 4.10 Pengaruh variasi waktu reaksi terhadap aktivitas fotokatalitik magnetit berbasis *green synthesis* pada suhu *annealing* 400°C. ... 47

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter struktur kristal: ukuran kristalit (*D*), parameter kisi (*a*), densitas (ρx), dan *lattice strain* (ε) sampel magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* 400°C, 500°C, dan 600°C. 31
Tabel 4.2 Bilangan gelombang dan konstanta gaya nanopartikel magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing* 400°C, 500°C, dan 600°C. 35
Tabel 4.3 Efisiensi *dye removal* dan nilai SSA pada sampel magnetit berbasis *green synthesis* dengan variasi suhu *annealing*. 41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan massa bahan penelitian..... 55
Lampiran 2. Data Referensi ICDD 88-0315 56
Lampiran 3. Perhitungan data karakterisasi XRD 57
Lampiran 4. Data karakterisasi FTIR..... 58
Lampiran 5. Data karakterisasi VSM..... 60
Lampiran 6. Perhitungan data karakterisasi UV-Vis 61
Lampiran 7. Tabel Hasil Uji Fitokimia Jeruk Sambal 63
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian..... 64

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanopartikel magnetit merupakan salah satu jenis oksida besi yang banyak diteliti karena memiliki sifat fisik, kimia, dan magnetik yang unik (Saber *et al.*, 2023). Oksida besi ada beberapa macam, diantaranya magnetit (Fe_3O_4), maghemit (γ-Fe_2O_3), dan hematit (α-Fe_2O_3). Ketiga fase tersebut menunjukkan karakteristik magnetik yang berbeda, mulai dari sifat ferromagnetik hingga paramagnetik (Justus *et al.*, 2021; Nnadozie dan Ajibade, 2022; Calderón Bedoya *et al.*, 2023). Karakteristik lain yang saat ini banyak dikaji oleh para peneliti adalah superparamagnetik pada skala nano yang memiliki sifat unik untuk aplikasi pada bidang biomedis dan lingkungan (Justus *et al.*, 2021; Bustamante-torres *et al.*, 2022; Getahun, 2022; Bazrafshan *et al.*, 2023; Arilasita *et al.*, 2025). Namun demikian, performa material sangat dipengaruhi oleh metode fabrikasi dan perlakuan lanjutan, sehingga teknik sintesis menjadi salah satu aspek kunci dalam menghasilkan karakteristik magnetit yang sesuai kebutuhan (Jesus *et al.*, 2024).

Berbagai metode sintesis untuk magnetit telah banyak dilaporkan, di antaranya metode ko-presipitasi, sol-gel, hidrotermal, solvotermal, dan *ball-milling* (Hammond *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2022; Calderón Bedoya *et al.*, 2023; Jesus *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024). Meskipun metode-metode tersebut mampu menghasilkan magnetit dengan kualitas yang baik, proses sintesisnya umumnya masih menggunakan *fuel* atau pereaksi berbahan kimia. Penggunaan bahan kimia ini tidak hanya meningkatkan biaya produksi, tetapi juga berpotensi menghasilkan limbah yang kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, banyak penelitian mulai mengembangkan penggunaan bahan-bahan alami sebagai pengganti *fuel* sintesis. Bahan alami, seperti ekstrak tumbuhan, mengandung senyawa aktif yang dapat membantu proses pembentukan nanopartikel sekaligus menjaga kestabilannya. Dengan cara ini, penggunaan bahan kimia dapat dikurangi sehingga proses sintesis menjadi lebih aman, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah *green synthesis*, yaitu metode sintesis yang

memanfaatkan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil (Vallejo-espinosa *et al.*, 2024).

Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas metode *green synthesis* dalam menghasilkan nanopartikel besi oksida menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Placthova *et al.*, (2019), Archana *et al.*, (2021), Hoang *and* Nguyen, (2024), serta Sari *and* Hawari, (2022) berhasil mensintesis nanopartikel oksida besi menggunakan ekstrak teh hijau, daun kelor, kulit jeruk, dan daun jeruk nipis dengan hasil yang menunjukkan terbentuknya fase kristalin besi oksida yang baik.

Salah satu material ramah lingkungan yang berpotensi diteliti adalah jeruk sambal (*Citrus microcarpa Bunge*). Jeruk sambal (*Citrus microcarpa Bunge*) memiliki kandungan senyawa bioaktif seperti flavonoid, asam sitrat, dan komponen fenolik (Fadlinizal *et al.*, 2010). Menurut Setiawan dan Adisti., (2018) buah jeruk sambal memiliki kandungan asam sitrat sebanyak 2,81 %. Menurut Ramadhani *et al.*, (2020) air perasan jeruk sambal mengandung flavonoid sebanyak 10,958 mg/ml. Kandungan yang terdapat pada jeruk sambal (*Citrus microcarpa Bunge*) seperti flavonoid ini berpotensi berperan sebagai agen alami untuk membantu pembentukan dan stabilisasi nanopartikel magnetit.

Di Kalimantan Barat jeruk sambal ini berlimpah dan berpotensi menjadi sumber material ramah lingkungan lokal yang dapat dimanfaatkan dalam proses *green synthesis*. Pemanfaatan bahan lokal tersebut tidak hanya mendukung efisiensi biaya dan ketersediaan bahan baku, tetapi juga mendorong pengembangan riset material yang berkelanjutan dan berbasis pada potensi daerah. Dengan demikian, penggunaan ekstrak jeruk sambal dalam sintesis magnetit membuka peluang untuk menghasilkan material fungsional yang ramah lingkungan serta memiliki nilai tambah bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan aplikasi teknologi.

Selain pemilihan metode sintesis, perlakuan termal berupa *annealing* juga berperan besar dalam menentukan sifat akhir material. Perlakuan termal berupa *annealing* memegang peranan penting dalam menentukan stabilitas fase, kristalinitas, dan sifat magnetik. Hakim *et al.*, (2023) melaporkan bahwa nanopartikel hematit hasil metode *sol-gel* yang di*annealing* pada suhu 200°C,

400°C, 600°C, dan 800°C mengalami peningkatan ukuran kristalit secara berturut-turut dari 35,10 nm**,** 42,12 nm**,** 46,82 nm**,** hingga 60,17 nm yang menunjukkan bahwa kenaikan suhu *annealing* mampu meningkatkan kristalinitas material. Penelitian oleh Arilasita *et al.*, (2025) pada sintesis hijau magnetit menggunakan ekstrak *Citrus limon* menunjukkan bahwa peningkatan suhu *annealing* dari 400°C hingga 600°C meningkatkan ukuran kristalit dari 10,81 nm menjadi 27,30 nm. Selain itu, peningkatan suhu *annealing* juga meningkatkan kristalinitas dan sifat magnetik material, yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai magnetisasi saturasi.

Namun, pada suhu *annealing* yang lebih tinggi, perlakuan *annealing* tidak hanya memengaruhi ukuran kristalit, tetapi juga dapat menyebabkan transformasi fase (Haq *et al.*, 2021). Jafari *et al.*, (2015) melaporkan bahwa nanopartikel Fe_3O_4 yang dianil pada suhu 50–850°C mengalami peningkatan ukuran kristalit dari 6,6 nm menjadi 37,6 nm. Transformasi fase dari magnetit (Fe_3O_4) menjadi maghemit (γ-Fe_2O_3) mulai terjadi pada sekitar 250°C, sedangkan pembentukan hematit (α-Fe_2O_3) mulai dominan pada 660°C (Cao *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2023; Chakraborty *et al.*, 2024).

Perubahan struktur kristal akibat perlakuan *annealing* tidak hanya memengaruhi ukuran kristalit dan sifat magnetik, tetapi juga memengaruhi sifat optik material, terutama nilai *band gap* (Khodair *et al.*, 2016; Sapna *et al.*, 2018) . Nilai *band gap* merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kemampuan material dalam menyerap cahaya dan menghasilkan pasangan elektron *hole* pada proses fotokatalisis (Makuła *et al.*, 2018). Fotokatalis semikonduktor konvensional, seperti TiO_2, memiliki *band gap* yang relatif besar (±3,2 eV) sehingga hanya aktif di bawah penyinaran sinar ultraviolet (Navidpour *et al.*, 2023). Sebaliknya, material magnetik berbasis Fe_3O_4 memiliki *band gap* yang lebih sempit, yaitu sekitar 2,0–2,3 eV, sehingga mampu memanfaatkan cahaya tampak secara lebih efektif dan berpotensi meningkatkan aktivitas fotokatalitik (Aali *et al.*, 2025; Nguyen *et al.*, 2025). Potensi tersebut telah dibuktikan dalam beberapa penelitian. Avilés-Monreal *et al.*, (2023) melaporkan bahwa fotokatalis berbasis Fe_3O_4–Fe_2O_3 menunjukkan aktivitas yang tinggi dalam mendegradasi metilen biru di bawah cahaya tampak serta dapat dipisahkan kembali dengan mudah menggunakan medan

magnet. (Algarni *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa komposit Fe_3O_4/TiO_2 memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 murni karena mampu meningkatkan penyerapan cahaya tampak dan menghambat rekombinasi elektron-hole.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini memberikan kontribusi ilmiah yang kuat. Penelitian ini memiliki *novelty* yang kuat karena menggabungkan potensi *green synthesis* dengan pengendalian fase melalui variasi suhu *annealing* dalam satu kajian yang komprehensif. Penggunaan ekstrak jeruk sambal sebagai agen pereduksi dan penstabil menawarkan pendekatan baru yang lebih ekonomis sekaligus memanfaatkan sumber daya lokal yang melimpah. Selain itu, variasi suhu *annealing* memberikan pemahaman mendalam tentang transformasi fase dari magnetit atau maghemit menuju hematit serta bagaimana perubahan tersebut memengaruhi sifat magnetik seperti magnetisasi saturasi (*Ms*), koersivitas (*Hc*), dan magnetisasi remanen (*Mr*) (Ortega dan Paris, 2019). Karakterisasi menggunakan XRD, FTIR, VSM, dan UV-Vis untuk memperoleh hubungan antara struktur kristal, gugus fungsi, sifat optik, dan sifat magnetik dengan kinerja fotokatalitik dalam mendegradasi zat warna metilen biru.

Penelitian "*Magnetit Berbasis Green synthesis dengan Variasi Suhu Annealing Sebagai Material Fotokatalis*" diharapkan diperoleh material magnetik ramah lingkungan dengan karakteristik yang optimal sebagai fotokatalis. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memperkaya kajian mengenai sintesis hijau dan transformasi fase nanopartikel besi oksida, tetapi juga memberikan alternatif fotokatalis yang lebih efisien, mudah dipisahkan menggunakan medan magnet, serta berpotensi diterapkan dalam pengolahan limbah zat warna dan pengembangan teknologi material fungsional yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap sifat struktural, gugus fungsi, dan sifat magnetik dari magnetit hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak jeruk sambal?

2. Bagaimana kinerja fotokatalis dari magnetit hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak jeruk sambal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap perubahan sifat struktural, gugus fungsi, dan sifat magnetik dari magnetit hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak jeruk sambal.
2. Menganalisis kinerja fotokatalis dari magnetit hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak jeruk sambal.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, batasan masalah yang ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian fokus pada sintesis magnetit menggunakan metode *green synthesis* dengan ekstrak jeruk sambal sebagai agen pereduksi dan penstabil.
2. Variasi suhu *annealing* yang digunakan adalah 400°C, 500°C, dan 600°C, sementara parameter proses lainnya dibuat konstan.
3. Karakterisasi yang digunakan dibatasi pada XRD dengan rentang 2θ dari 15° sampai 80°, FTIR pada rentang 350 sampai 4000 cm^{-1} , dan VSM dengan medan magnet eksternal ±10000 Oe pada suhu ruang.
4. Pengujian aktivitas fotokatalitik dilakukan menggunakan larutan metilen biru (*Methylene Blue*) berkonsentrasi 20 ppm di bawah penyinaran sinar UV pada sampel dengan variasi suhu *annealing* 400°C, 500°C, dan 600°C. Selanjutnya, sampel yang menunjukkan aktivitas fotokatalitik terbaik diuji lebih lanjut dengan variasi waktu penyinaran 2,5; 5; 15; dan 20 menit.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberikan alternatif metode sintesis nanopartikel magnetit yang ramah lingkungan melalui pemanfaatan ekstrak jeruk sambal sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap

transformasi fase, struktur kristal, sifat optik (*band gap*), dan sifat magnetik nanopartikel magnetit. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan material magnetik berbasis biomaterial lokal sebagai fotokatalis untuk degradasi metilen biru dan aplikasi di bidang lingkungan.