

**SINTESIS NANOKOMPOSIT NiO/rGO EKSTRAK DAUN
COLEUS SCUTELLARIOIDES (L.) BENTH UNTUK DEGRADASI
LIMBAH METHYL ORANGE**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Fisika**



**UKHTI LUTFIA KHADIJAH
NIM: 2108026012**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**SINTESIS NANOKOMPOSIT NiO/rGO EKSTRAK DAUN
COLEUS SCUTELLARIOIDES (L.) BENTH UNTUK DEGRADASI
LIMBAH *METHYL ORANGE***

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Fisika**

**UKHTI LUTFIA KHADIJAH
NIM: 2108026012**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Ukhti Lutfia Khadijah

NIM : 2108026012

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**SINTESIS NANOKOMPOSIT NiO/rGO EKSTRAK DAUN
COLEUS SCUTELLARIOIDES (L.) BENTH UNTUK DEGRADASI
LIMBAH *METHYL ORANGE***

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 25 Juni 2025

Pembuat Pernyataan,



Ukhti Lutfia Khadijah

NIM. 2108026012



PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Sintesis Nanokomposit NiO/rGO Ekstrak Daun *Coleus scutellarioides* (L.) Benth Untuk Degradasi Limbah Methyl Orange**

Penulis : Ukhti Lutfia Khadijah

NIM 2108026012

Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam sidang *tugas akhir* oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu Fisika.

Semarang, 11 Juli 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc.
NIP. 197703202009121002

Hartono, M.Sc.
NIP. 199009242019031006

Penguji III,

Penguji IV

Irman Said Prastyo, M.Sc.
NIP. 199112282019031009



Muhammad Ardi Khalif, M.Sc.
NIP. 198210092011011010

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc.
NIP. 197703202009121002

Sheilla Rully Anggita, M.Si.
NIP. 199005052019032017

Pembimbing III,



TT ELEKTRONIK

Dr. Murni Handayani, M.Sc.
NIP. 197906072005022001



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dan BSiE, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

NOTA DINAS

Semarang, 25 Juni 2025

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Sintesis Nanokomposit NiO/rGO Ekstrak
Daun *Coleus scutellarioides* (L.) Benth Untuk
Degradasi Limbah *Methyl Orange***

Nama : Ukhti Lutfia Khadijah

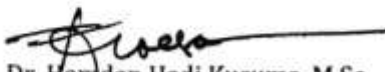
NIM : 2108026012

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing I



Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc.
NIP. 197703202009121002

NOTA DINAS

Semarang, 25 Juni 2025

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Sintesis Nanokomposit NiO/rGO Ekstrak
Daun *Coleus scutellarioides* (L.) Benth Untuk
Degradasi Limbah Methyl Orange**

Nama : Ukhti Lutfia Khadijah

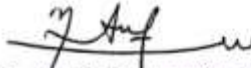
NIM : 2108026012

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing II



Sheila Rully Anggita, M.Si.

NIP. 197906072005022001

NOTA DINAS

Semarang, 25 Juni 2025

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Sintesis Nanokomposit NiO/rGO Ekstrak
Daun *Coleus scutellarioides* (L.) Benth Untuk
Degradasi Limbah *Methyl Orange***

Nama : Ukhti Lutfia Khadijah
NIM : 2108026012
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing III



Dr. Murni Handayani, M.Sc.
NIP. 197906072005022001

ABSTRAK

Pecemaran air oleh limbah industri yang mengandung pewarna sintetik seperti *methyl orange* membutuhkan solusi ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanokomposit NiO/rGO dari ekstrak daun *Coleus scutellarioides (L.) Benth* sebagai agen pereduksi alami serta menguji aktivitasnya sebagai fotokatalis untuk degradasi limbah *methyl orange*. Sintesis nanokomposit NiO/rGO dilakukan melalui metode refluks, hidrotermal, dan *ex-situ co-precipitation* dan dikarakterisasi gugus fungsi, struktur kristal, dan energi celah pita yang masing-masing menggunakan FTIR, XRD dan UV-Vis. Spektrum FTIR menunjukkan keberhasilan pembentukan gugus fungsi khas NiO dan rGO. Pola XRD mengonfirmasi struktur kristal NiO berfasa kubik dengan ukuran kristal antara 3 – 4 nm, serta perubahan jarak antar bidang pada GO dan rGO. Hasil UV-Vis menunjukkan penurunan energi celah pita dari 2,44 eV (NiO) menjadi 2,01 eV (NiO/rGO (1:2)). Uji fotokatalisis terhadap larutan *methyl orange* menunjukkan bahwa komposit NiO/rGO (1:2) pada pH 7 dan massa katalis 0,3 g memiliki efisiensi degradasi tertinggi sebesar 68,29% dengan model kinetika reaksi orde dua ($R^2=0,92732$). Hasil ini menunjukkan bahwa nanokomposit NiO/rGO berbasis ekstrak daun miana berpotensi sebagai fotokatalis ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair.

Kata Kunci: NiO/rGO, Ekstrak Daun Miana, Fotokatalisis, *Methyl Orange*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirrabil'alamiin, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Nanokomposit NiO/rGO Ekstrak Daun *Coleus scutellarioides* (L.) Benth Untuk Degradasi *Methyl Orange*”**. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, beserta keluarganya, sahabat, dan seluruh umatnya.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, motivasi, usaha serta do'a berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Nizar, M.Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
3. Badan Riset dan Inovasi Nasional atas kesempatan dan kepercayaan yang diberikan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian, pengambilan data, serta pembelajaran langsung selama disana.
4. Alwiyah Nurhayati, Ph.D. dan Muhammad Ardhi Khalif, M.Sc. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan

Fisika Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan dukungan, arahan, dan kemudahan administratif selama proses penyusunan skripsi.

5. Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc dan Sheila Rully Anggita, M.Si. selaku dosen pembimbing di kampus atas kesediaan waktu dan perhatian yang diberikan selama proses penyusunan skripsi.
6. Dr. Murni Handayani, M.Sc. selaku dosen pembimbing penelitian di BRIN yang telah sabar memberikan arahan dan masukan yang berharga sejak tahap awal penelitian hingga selesainya penyusunan skripsi.
7. Bu Yosephin dan Bu Anna yang telah membantu saya selama penelitian di laboratorium serta memberikan masukan, arahan, dan motivasi sepanjang proses penyelesaian penelitian.
8. Istikomah, M.Sc. selaku dosen wali studi yang telah memberikan arahan serta masukan selama proses penyusunan skripsi.
9. Segenap Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
10. Orang tua tercinta yang selalu memberikan do'a, dukungan moral, semangat, dan kasih sayang tiada henti, dan juga kepada adik saya atas segala dukungan dan kebersamaan selama ini.

11. Teman-teman penulis selama melakukan penelitian di BRIN yaitu Tasya Azizah, Gafira Laily, Mas Fariz Irkham, Mba Syadza Aisyah, Mas Daffa Viandika, Mas Yoga Pranata, dan Mas Aulia Anggoro yang membuat suasana penelitian dan pengerjaan skripsi menjadi menyenangkan.
12. Della Viona, Hanin Aisyah, Jihadah Elok, Fitria Kholbi, Rania Tawar selaku teman seperjuangan sejak awal perkuliahan hingga sekarang atas kebersamaan, motivasi dan harapan yang diberikan selama ini.
13. Talitha Ayu, Farah Diba, dan Elvina Rachel yang menemani dan menghadapi keluh kesah penulis selama proses penyusunan skripsi.
14. Teman-teman Fisika angkatan 2021 atas kebersamaan yang terjalin selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi.
15. Penulis selaku diri sendiri yang telah kuat, yakin, sabar, tabah, tidak menyerah, tetap fokus dan selalu bersyukur dengan keadaan dan situasi yang terjadi dan segala hal dukungan yang menyertainya.

16. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, dukungan dan fasilitas selama proses penyusunan skripsi ini hingga selesai.

Semarang, 25 Juni 2025

Ukhti Lutfia Khadijah
NIM. 2108026012

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah	9
C. Rumusan Masalah	10
D. Tujuan Penelitian.....	10
E. Manfaat Penelitian	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
A. Landasan Teori.....	12
1. Fotokatalisis	12
2. Nanokomposit	15
3. <i>Reduced Graphene Oxide</i> (rGO)	17

4. Nikel Oksida (NiO)	19
5. Daun Miana (<i>Coleus scutellarioides (L.) Benth</i>)	21
6. Pewarna <i>Methyl Orange</i>	24
7. Karakterisasi	26
B. Kajian Pustaka.....	37
C. Kerangka Berpikir	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	40
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	40
B. Alat dan Bahan Penelitian	40
C. Prosedur Penelitian	41
1. Ekstrak Daun Miana	42
2. Sintesis Graphene Oxide (GO)	43
3. Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)	44
4. Sintesis <i>Nickel Oxide</i> (NiO)	45
5. Sintesis Nanokomposit NiO/rGO	46
6. Uji Aktivitas Fotokatalisis.....	48
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	51
A. Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infra-Red)	51
B. Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	54
C. Karakterisasi UV-Vis (Ultra Violet-Visible Spectrometry)	60
D. Uji Aktivitas Fotokatalisis Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Sinar UV	64
BAB V PENUTUP.....	80

A. SIMPULAN	80
B. SARAN	81
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	109

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisikokimia <i>Methyl Orange</i>	25
Tabel 3.1	Variasi Komposisi NiO dan rGO	46
Tabel 3.2	Variasi Katalis Degradasi <i>Methyl Orange</i>	49
Tabel 4.1	Data Spektrum FTIR sampel Nanokomposit NiO/rGO	52
Tabel 4.2	Data Puncak Difraksi sampel Nanokomposit NiO/rGO	56
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan XRD sampel Nanokomposit NiO/rGO	59
Tabel 4.4	Efisiensi Degradasi (%) <i>Methyl Orange</i> sampel Nanokomposit NiO/rGO	65
Tabel 4.5	Efek Degradasi (%) <i>Methyl Orange</i> Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2) Variasi pH	69
Tabel 4.6	Efek Degradasi (%) <i>Methyl Orange</i> Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2) Variasi Massa Katalis	72
Tabel 4.7	Nilai Konstanta dan Laju Degradasi Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2)	74
Tabel 4.8	Nilai Konstanta dan Laju Degradasi Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2) pada Variasi pH dan Massa Katalis	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses Fotokatalisis	13
Gambar 2.2	Struktur Reduced <i>Graphene Oxide</i>	17
Gambar 2.3	Struktur Nikel Oksida	19
Gambar 2.4	Daun Miana (<i>Coleus scutellarioides (L.) Benth</i>)	21
Gambar 2.5	Mekanisme Sintesis Logam Menggunakan Ekstrak Tumbuhan	22
Gambar 2.6	Struktur <i>Methyl Orange</i>	24
Gambar 2.7	Prinsip Pengukuran di dalam UV-Vis	27
Gambar 2.8	Skema Instrumen FTIR	31
Gambar 2.9	Skema Instrumen XRD	34
Gambar 2.10	Mekanisme Hukum Bragg	35
Gambar 2.11	Kerangka Berpikir	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 4.1	Spektrum FTIR Sampel Nanokomposit NiO/rGO	51
Gambar 4.2	Spektrum XRD dari (a) GO, (b) rGO, (c) NiO, (d) NiO/rGO (1:1), (e) NiO/rGO (1:2), dan (f) NiO/rGO (2:1)	55
Gambar 4.3	Spektrum UV-Vis Sampel Nanokomposit NiO/rGO	60
Gambar 4.4	Energi Celah Pita Sampel (a) GO dan (b) rGO	62
Gambar 4.5	Energi Celah Pita Sampel (a) NiO, (b) NiO/rGO (1:1), (c) NiO/rGO (1:2), dan (d) NiO/rGO (2:1)	63

Gambar 4.6	Persentase Degradasi pada Katalis 0,1 g dengan Konsentrasi 10 ppm dan pH 7	65
Gambar 4.7	Persentase Degradasi Variasi pH pada NiO/rGO (1:2)	69
Gambar 4.8	Persentase Degradasi Variasi Massa Katalis pada NiO/rGO (1:2)	71
Gambar 4.9	Orde Kinetika Reaksi untuk Katalis 0,1 g pada Konsentrasi 10 ppm dan pH 7 (a) Orde Satu dan (b) Orde Dua	73
Gambar 4.10	Orde Kinetika Reaksi Komposit (1:2) Orde Dua (a) Variasi pH dan (b) Massa Katalis	75
Gambar 4.11	Skema Reaksi Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Nanokomposit NiO/rGO	77

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Panjang Gelombang <i>Methyl Orange</i>	109
Lampiran 2	Kurva Kalibrasi Standar	110
Lampiran 3	Perhitungan Karakterisasi XRD	110
Lampiran 4	Data Absorbansi dan uji Fotokatalisis Zat Warna <i>Methyl Orange</i>	120
Lampiran 5	Data Kinetika Reaksi Degradasi Zat Warna <i>Methyl Orange</i>	125

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran air mencakup berbagai tantangan kompleks, mulai dari limbah industri hingga limbah rumah tangga yang mengancam keberlanjutan ekosistem dan keseimbangan ekologi (Tosepu, 2024). Selain itu, pencemaran air termasuk hal yang dapat merusak lingkungan. Allah SWT berfirman dalam Q.S. Al-A'raf/7 ayat 56 sebagai berikut.

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ
رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: "Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik."(Q.S. Al'A'raf/7:56).

Ayat ini terdapat larangan dari Allah SWT agar manusia tidak membuat kerusakan di muka bumi. Larangan tersebut mencakup kerusakan kehidupan dan sumber-sumber penghidupan. Penciptaan bumi ditunjukan untuk keperluan manusia agar dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya (Kementerian Agama RI, 2011).

Diriwayatkan pula dalam HR. Abu Dawud, Nabi SAW bersabda.

اتَّقُوا الْمَلْعِنَ الثَّلَاثَةَ الْبَرَّازَ فِي الْمَوَارِدِ وَقَارِعَةَ الطَّرِيقِ وَالظِّلَّ

Artinya: "Takutlah kalian terhadap tiga hal yang terlaknat: buang air besar di sumber air, tengah jalan, dan tempat berteduh." (HR. Abu Dawud).

Hadis ini melarang buang air besar di sumber air atau membuang kotoran seperti limbah yang dapat merusak keberlangsungan ekosistem dan berdampak pada kualitas lingkungan (Salsabila, 2021).

Kualitas lingkungan, salah satunya air, menjadi perhatian penting karena air yang tercemar bisa merusak lingkungan (Syahrul & Setiawan, 2023). Data dari Badan Pusat Statistik (2023) menunjukkan bahwa sebagian besar sungai di Indonesia yang memenuhi kategori baku mutu hanya 8,1 % pada tahun 2022. Sementara 91,9 % lainnya masuk dalam kategori cemar ringan hingga cemar sedang (Yusuf, 2023). Berdasarkan peraturan dalam UU tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 23/1997 pasal 1 ayat 12 yang dijelaskan bahwa pencemaran lingkungan terjadi ketika masuknya unsur seperti zat kimia, energi, atau organisme ke lingkungan oleh manusia yang melebihi batas yang ditetapkan dan berakibat merusak lingkungan (Muadifah, 2019).

Salah satu pencemaran air yang masih menjadi masalah lingkungan hingga saat ini yaitu limbah industri. Polutan organik yang terkandung di dalam limbah industri berasal dari kulit hewan, kertas, makanan, dan kosmetik yang bersifat toksik dan dibuang ke lingkungan (Yadeta Gemachu & Lealem Birhanu, 2024). Menurut berbagai penelitian, pewarna yang digunakan seperti *Methyl Orange* (Barzinjy et al., 2020), *Rhodamine B* (Barzinjy et al., 2020), *Methylene Blue* (Puspitarum et al., 2025), *Methanyl Yellow* (Anggita et al., 2023), *Crystal Violet* (Dhanabal & Priya, 2025), *Victoria Blue* (Akmese, 2025), *Red 120* (Jereil et al., 2025), *Briliant Green* (Roy et al., 2025), *Congo red* (Gaur et al., 2023) mengandung pigmen beracun dan tidak dapat terurai secara alami yang dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup (D. Singh et al., 2024).

Zat wana sintetis yang banyak digunakan dalam industri tekstil diantaranya zat warna golongan azo ($N=N$), contohnya adalah *methyl orange* ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$, 327,34 g.mol⁻¹) (Kishor et al., 2021). *Methyl orange* merupakan zat pewarna mono-azo anionik bersifat asam yang umum dan terus-menerus digunakan dalam industri tekstil, percobaan laboratorium, serta berbagai produk komersial lainnya. Zat pewarna ini bersifat toksik

terhadap ekosistem air (Darwish et al., 2019). Strukturnya yang stabil menyebabkan *methyl orange* sulit terdegradasi sehingga dapat berdampak buruk untuk lingkungan (Zilfa et al., 2023). Oleh karena itu, fotokatalisis menjadi teknologi pengolahan limbah organik yang modern dan efisien untuk menguraikan zat beracun menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya bagi lingkungan (Adawiah et al., 2021).

Teknik fotokatalisis menarik perhatian peneliti karena dianggap sebagai cara yang efektif untuk mengatasi masalah lingkungan, terutama dalam menghilangkan sisa pewarna dari air limbah (Lee et al., 2016). Teknik fotokatalisis memiliki keunggulan dengan memanfaatkan sinar UV agar mampu memineralisasi kontaminan organik. Proses ini berlangsung pada suhu ruang dan tekanan atmosfer dimana faktor tersebut menjadikan fotokatalisis sebagai metode pengolahan air yang efektif untuk mengatasi semua jenis kontaminan yang terdapat dalam air (Fitriana, 2020). Fotokatalisis menggunakan bahan semikonduktor sebagai katalis dianggap mampu memecah polutan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan lebih aman hingga terurai menjadi mineral (Al Miad et al., 2024). Bahan semikonduktor, khususnya oksida logam, memiliki

potensi besar karena mampu menghasilkan pembawa muatan elektron dan *hole* yang berperan dalam degradasi polutan organik (Díaz et al., 2022).

Oksida logam semikonduktor dianggap efektif untuk fotokatalisis karena memiliki permukaan bahan yang reaktif dan celah pita kecil yang memungkinkan jarak tempuh eksitasi foto yang pendek (Sadhukhan et al., 2020). Diantara bahan oksida logam semikonduktor, yang memiliki rentang celah pita antara 3,6-4,0 eV sebagai fotokatalis adalah nanopartikel nikel oksida (NiO) (Vivek et al., 2023). Nanopartikel nikel oksida memiliki keunggulan karena sifatnya seperti stabilitas kimia yang tinggi, konduktivitas, dan kemampuan transfer elektron yang menjadikannya cocok untuk aplikasi fotokatalisis (Imran Din & Rani, 2016). Selain itu, nanopartikel ini efektif dalam menghilangkan polutan dan menunjukkan potensi besar sebagai agen antibakteri, antioksidan, antikanker, dan antiinflamasi (Berhe & Gebreslassie, 2023).

Peningkatan efektivitas fotokatalisis dapat dilakukan dengan menggabungkan dua atau lebih bahan yang berbeda dalam bentuk komposit. Komposit umumnya terdiri dari dua komponen utama, yaitu serat (*filler*) yang berfungsi sebagai pengisi dan bahan

pengikat serat yang disebut matriks (Rahmanto & Palupi, 2019). Dalam studi ini, nanopartikel nikel oksida berperan sebagai matriks karena bahan semikonduktor tipe-p dengan celah pita energi sekitar 3,6-4,0 eV yang mampu menghasilkan eksitasi elektron saat terkena cahaya (Akbari et al., 2020). *Reduced Graphene Oxide* (rGO) digunakan sebagai *filler* karena kemampuannya yang baik dalam stabilitas kimia dan luas permukaannya yang besar untuk membantu meningkatkan efektivitas sebagai fotokatalis (Safitri & Kusumawati, 2020).

Reduced Graphene Oxide dalam fotokatalisis berfungsi sebagai lapisan pengangkut elektron. Penambahan rGO dapat meningkatkan efisiensi pemisahan dan transmisi pembawa muatan fotogenerasi, sekaligus mengurangi rekombinasi pasangan elektron-hole (Vivek et al., 2023). *Reduced Graphene Oxide* merupakan material yang terbentuk melalui proses reduksi *graphene oxide* untuk menghilangkan sebagian gugus oksigen (Yahya et al., 2018). Penggunaan *graphene* pada proses fotokatalisis memiliki beberapa keunggulan yaitu meningkatkan jumlah situs aktif untuk reaksi fotokatalisis, membantu rekombinasi atau pemisahan elektron dan *hole*, meningkatkan stabilitas fotokatalis, dan konduktivitas yang tinggi (Xiang et al., 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Lamba et al., 2022 pada sintesis nanokomposit NiO/rGO terdapat peran agen pereduksi alami menggunakan ekstrak tumbuh-tumbuhan yang ramah lingkungan, sederhana, aman, dan efisien. Senyawa yang dihasilkan seperti asam askorbat, fenol, asam karboksilat, terpenoid, amida, flavonoid, aldehida, keton, dan sejenisnya yang memiliki kemampuan untuk mengubah garam logam menjadi nanopartikel logam melalui proses reduksi (Dadkhah & Tulliani, 2022). Agen pereduksi berperan dalam mentransfer elektron ke ion logam prekursor untuk membentuk atom yang kemudian menyatu menjadi partikel (Joseph & Vijayanandan, 2021). Pada penelitian ini dilakukan kebaruan terhadap nanokomposit NiO/rGO dengan penambahan ekstrak daun miana (*Coleus scutellarioides (L.) Benth*). Daun miana sendiri memiliki senyawa kimia yang bermanfaat seperti minyak astiri, tanin, flavonoid, saponin, thymol, karvakrol, dan eugenol (Agustina, 2021). Senyawa-senyawa tersebut memiliki sifat antioksidan yang dapat menangkal radikal bebas (Marusin et al., 2013). Contohnya, flavonoid dalam ekstrak tumbuhan adalah agen pereduksi utama karena kemampuannya mendonasikan atom hidrogen dan elektron (Dihom et al., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Sadhukhan dkk. (2020) melaporkan pembuatan nanokomposit NiO/rGO menggunakan metode hijau dari ekstrak *Psidium guajava* dan menginvestigasi sifat fotokatalisis serta antibakteri mereka. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nanokomposit NiO/rGO menunjukkan aktivitas katalisis yang lebih tinggi daripada nanopartikel rGO atau NiO secara individual. Nanokomposit ini mampu menunjukkan potensi degradasi zat warna metilen biru hingga 93% (Sadhukhan et al., 2020). Diketahui pada penelitian Fatimah dkk. (2023) sintesis hijau NiO/rGO telah berhasil disiapkan menggunakan ekstrak daun *Pometia pinnata* sebagai bioreduktor tunggal. NiO/rGO menunjukkan nanopartikel NiO yang tersebar dalam matriks rGO dengan ukuran partikel berkisar antara 10-30 nm. Nanokomposit tersebut juga menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang sangat baik dalam oksidasi fotokatalisis tetrasiklin dan mengekspresikan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Eschericia* dengan konsentrasi penghambat minimum yang rendah (I. Fatimah et al., 2023). Kemudian penelitian Vivek dkk. (2023) membuktikan penurunan aktivitas fotokatalisis menggunakan Rhodamine B pada nanokomposit NiO/rGO sebesar 95,4% (Vivek et al., 2023). Selanjutnya

pada penelitian Prabhu dkk. (20024) dilaporkan bahwa persentase penurunan nanokomposit NiO/rGO menggunakan ekstrak buah *Averrhoa bilimbi* mencapai 96,28% selama 90 menit (Prabhu et al., 2024)

Penggunaan ekstrak daun miana sebagai agen pereduksi dalam sintesis nanokomposit NiO/rGO memberikan pendekatan yang lebih ramah lingkungan dan efisien, serta menghasilkan fotokatalis dengan aktivitas yang lebih tinggi dan stabilitas yang lebih baik. Hal tersebut dapat digunakan untuk aplikasi dalam pengolahan air limbah dan degradasi senyawa berbahaya.

B. Batasan Masalah

1. Bahan yang digunakan yaitu grafit sebagai karbon, nikel oksida sebagai logam oksida dan daun miana (*Coleus scutellarioides (L.) Benth*) sebagai agen pereduksi.
2. Limbah yang digunakan untuk degradasi fotokatalis yaitu *methyI orange*.
3. Metode yang dipakai untuk sintesis adalah metode refluks, metode hidrotermal, dan metode *ex-situ co-precipitation*.
4. Karakterisasi hasil sintesis menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis.

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana gugus fungsi yang dihasilkan nanokomposit NiO/rGO dengan menggunakan daun miana ?
2. Bagaimana struktur kristal yang dihasilkan nanokomposit NiO/rGO dengan menggunakan daun miana ?
3. Bagaimana energi celah pita yang dihasilkan nanokomposit NiO/rGO dengan menggunakan daun miana ?
4. Bagaimana kemampuan aktivitas fotokatalis nanokomposit NiO/rGO dalam mendegradasi limbah *methyl orange*?

D. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui gugus fungsi yang dihasilkan nanokomposit NiO/rGO dengan menggunakan daun miana.
2. Untuk mengetahui struktur kristal yang dihasilkan nanokomposit NiO/rGO dengan menggunakan daun miana.
3. Untuk mengetahui energi celah pita yang dihasilkan nanokomposit NiO/rGO dengan menggunakan daun miana.

4. Untuk mengetahui kemampuan aktivitas fotokatalis nanokomposit NiO/rGO dalam mendegradasi limbah *methyl orange*.

E. Manfaat Penelitian

1. Sebagai alternatif penelitian mengenai fotokatalisis nanokomposit NiO/rGO pada metode pendekatan ramah lingkungan.
2. Sebagai strategi berbasis nanomaterial untuk energi bersih, hemat biaya, dan lingkungan yang lebih aman dan berkelanjutan dibandingkan dengan metode kimia.
3. Sebagai sumber informasi mengenai aplikasi fotokatalisis nanokomposit NiO/rGO menggunakan metode sintesis hijau dari daun miana.

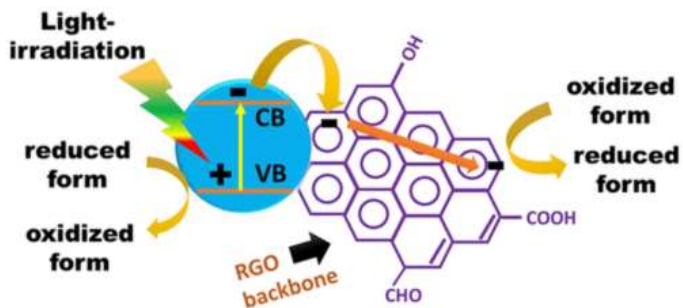
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Fotokatalisis

Fotokatalisis adalah gabungan dari proses fotokimia (perubahan kimiawi dengan cahaya) dan katalis (media yang dapat mempercepat proses perubahan kimiawi). Fotokatalisis dapat dilakukan dengan medium cair atau gas. Sinar ultraviolet dapat digunakan untuk memecah polutan menjadi senyawa yang tidak berbahaya (Anggita & Setiawan, 2021). Fotokatalisis merupakan metode yang menjanjikan untuk mengatasi degradasi dan mineralisasi dari polutan berbahaya seperti obat-obatan, pestisida, surfaktan, mikroplastik, serta polutan organik persisten lainnya di perairan (Joseph & Vijayanandan, 2021). Aktivitas fotokatalisis melibatkan interaksi antara katalisis dan cahaya tampak atau UV untuk menghasilkan spesies reaktif seperti $\text{OH}\cdot$ dan $\text{O}_2\cdot^-$. Spesies ini kemudian berinteraksi dengan polutan organik, sehingga menyebabkan penghilangan polutan tersebut (Fagier, 2021).



Gambar 2.1 Proses Fotokatalisis (Mondal et al., 2021)

Proses fotokatalis diawali ketika energi cahaya dalam bentuk foton menyentuh permukaan semikonduktor dan jika energi sinar tersebut sama dengan atau melebihi energi celah pita semikonduktor, elektron pada pita valensi akan terangsang dan berpindah ke pita konduksi. Hal ini meninggalkan *hole* di pita valensi semikonduktor. Lubang-lubang ini dapat mengoksidasi molekul donor dan bereaksi dengan air untuk menghasilkan radikal hidroksil, yang memiliki daya oksidasi kuat dan bertanggung jawab atas degradasi polutan. Elektron yang berada di pita konduksi akan berinteraksi dengan molekul oksigen terlarut untuk menghasilkan ion superoksida, yang kemudian memicu reaksi redoks. Lubang dan elektron ini dapat

berpartisipasi dalam reaksi oksidasi dan reduksi yang berkelanjutan dengan spesies lain yang mungkin teradsorpsi pada permukaan semikonduktor, menghasilkan produk yang diperlukan (Saravanan et al., 2017).

Reduced graphene oxide (rGO) pada komposit berperan memisahkan elektron yang dihasilkan oleh semikonduktor yang meningkatkan kinerja fotokatalisis. Karakteristik antarmuka serta cacat pada rGO yang disintesis sangat memengaruhi aktivitas fotokatalisis nanokomposit. Selama proses transfer elektron, rGO juga memperkecil celah pita sehingga terjadi perbedaan energi antara pita konduksi ke pita valensi (Mondal et al., 2021).

Efektivitas proses fotokatalisis umumnya diukur dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Degradation \%} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

di mana C_0 merupakan konsentrasi awal pewarna dan C_t adalah konsentrasi akhir pewarna. Degradasi pewarna dilihat menggunakan UV-Vis yang diambil pada berbagai waktu selama iradiasi (Fagier, 2021). Laju reaksi dalam proses fotokatalisis menggambarkan perubahan konsentrasi zat warna terhadap waktu serta menunjukkan pengaruh reaktan

terhadap kecepatan degradasinya. Dalam hal ini, model kinetika reaksi orde satu (*Pseudo-First Order*) dan orde dua (*Pseudo-Second Order*) ditunjukkan pada persamaan berikut:

- Orde satu

$$-\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = kt \quad (2.2)$$

- Orde dua

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_0} + kt \quad (2.3)$$

Dimana C_t dan C_0 masing-masing merupakan konsentrasi zat pada waktu t dan konsentrasi awal. Sedangkan k adalah konstanta laju reaksi (Espenson, 1981).

2. Nanokomposit

Nanokomposit gabungan dari dua kata yaitu “nano” dan “komposit”. Nano ialah ukuran suatu bahan yang kurang dari 10^{-7} m atau 100 nm. Komposit merupakan penggabungan suatu material antara dua atau lebih bahan dengan sifat yang berbeda untuk menghasilkan material baru dengan karakteristik gabungan yang baru. Dalam proses ini, masing-masing bahan tetap mempertahankan bentuk dan struktur aslinya, sehingga komposisi material awal tidak berubah. Hasil penggabungan ini memiliki

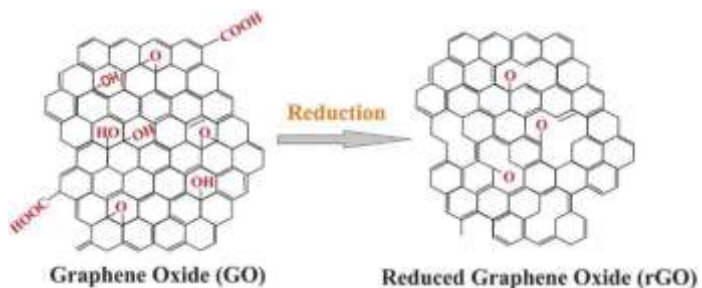
karakteristik yang berbeda dari masing-masing komponen asalnya (Widodo & Iswanto, 2022). Sifat-sifat material komposit merupakan kombinasi dari karakteristik matriks dan pengisi (*filler*) yang masing-masing memiliki sifat yang berbeda. Bahan pengisi harus mampu meningkatkan atau mendukung sifat-sifat matriks untuk membentuk material komposit dengan kualitas yang diinginkan (Tjahjanti, 2018).

Matriks adalah fase utama dalam komposit yang memiliki fraksi volume terbesar. Umumnya, matriks memiliki sifat lebih lentur (*ductile*) tetapi kekuatannya dan kekakuannya lebih rendah. *Filler* dalam komposit berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik dari matriks. *Filler* digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik serta memperbaiki sifat katalisis dari nanokomposit yang penting untuk degradasi limbah (Negara, 2020). Dalam penelitian ini, *graphene* digunakan sebagai *filler* karena dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis dan mengurangi energi celah pita (Saravanan et al., 2017).

Bahan nanokomposit umumnya terbentuk dari matriks yang mendukung satu atau beberapa bahan pengisi dalam bentuk partikel, lembaran, atau serat dengan ukuran kurang dari 100 nm dan memiliki

perbandingan luas permukaan terhadap volume yang besar. Nanokomposit menampilkan karakteristik khusus di tingkat nanoskala dan memiliki banyak aplikasi yang beragam, termasuk dalam pengolahan air, penggunaan superkapasitor, pembuatan kerangka elektrokonduktif, perlindungan anti-korosi/anti-peluru, perangkat optoelektronik, sel surya, lapisan keras, biosensor, nanoperangkat, dan produksi energi hijau (R. Singh et al., 2020). Keunggulan nanokomposit menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam sifat-sifat seperti konduktivitas listrik, ketahanan kimia, stabilitas termal yang tinggi, sifat optik yang baik, ketahanan api yang tinggi, ketahanan terhadap pelarut, serta kekuatan yang tinggi, dan lainnya (Hassan et al., 2021).

3. *Reduced Graphene Oxide (rGO)*



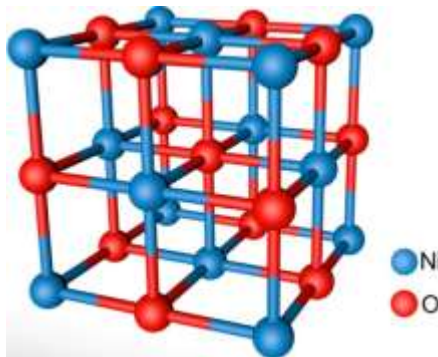
Gambar 2.2 Struktur *Reduced Graphene Oxide* (Obodo et al., 2019)

Reduced Graphene Oxide (rGO) adalah bahan berbasis karbon yang berasal dari *Graphene Oxide* (GO) (Ningsih, 2017). *Graphene Oxide* (GO) adalah nanomaterial berstruktur berlapis yang tersusun atas lembaran *graphene* bersifat hidrofilik akibat keberadaan oksigen, dengan gugus fungsi hidroksil dan epoksida yang terdistribusi pada dasar permukaannya (Ray, 2015). Karena gugus fungsionalnya yang mengandung banyak oksigen, GO sangat sensitif terhadap kompleksitas dengan ion logam dan berbagai senyawa (Yadav et al., 2022).

Reduced graphene oxide (rGO) dibuat dengan mereduksi *graphene oxide* (GO) melalui metode seperti reduksi kimia, elektrokimia, dan reduksi termal. Dibandingkan dengan GO, rGO memiliki konduktivitas listrik dan termal yang lebih baik karena pengurangan kelompok oksigen. Idealnya, rGO harus memiliki struktur *graphene* satu lapis setelah kelompok oksigen dihilangkan. Berbeda dengan *graphene* murni, rGO memiliki cacat seperti Stone-Wales, di mana atom karbon membentuk cincin pentagon dan heptagon yang mempengaruhi sifat fisik dan kimianya. Cacat ini dapat menurunkan konduktivitas, tetapi juga meningkatkan transfer

elektron dengan menambah densitas keadaan. (Liu et al., 2022). *Reduced Graphene Oxide* (rGO) mampu menyerap cahaya dengan baik di seluruh spektrum, termasuk pada lapisan tunggal yang dapat menyerap banyak cahaya di rentang tampak dan inframerah-dekat. Selain itu, gugus fungsionalnya memungkinkan rGO terdispersi dalam berbagai pelarut (Tarcn et al., 2020).

4. Nikel Oksida (NiO)



Gambar 2.3 Struktur Nikel Oksida (Yin et al., 2019)

Nikel oksida(NiO) digunakan secara luas dalam berbagai industri, termasuk katalisis, serat optik, material magnetik, sensor gas, sel bahan bakar, dan film elektrokromik. Hal ini disebabkan oleh kapasitasnya yang tinggi untuk stabilitas kimia, elektrokatalisis, transfer elektron, dan superkapasitansi. Karena biaya material yang rendah,

efek ukuran kuantum, permukaan, makroskopik, dan volumenya menjadi daya tarik bagi para peneliti. NiO berfungsi sebagai katalis dalam transformasi organik, tetapi hanya pada suhu tinggi dalam berbagai pelarut organik (Pandhare, 2023).

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa NiO adalah semikonduktor oksida logam tipe-p yang dapat digunakan sebagai bahan fotokatalis. Panjang pita NiO berkisar antara 3,6 dan 4,0 eV. Karena dikenal memiliki sifat aktivitas fotokatalisis yang tinggi, stabilitas kimia dan fisika yang baik, tidak beracun, dan biaya sintesis yang relatif rendah (Rizqi Maulana et al., 2023). Sifat-sifat tersebut dibuktikan oleh penelitian bahwa pewarna *Congo Red* dapat terdegradasi hingga 84% secara maksimal oleh nanopartikel NiO, aktivitas antioksidan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi nanopartikel NiO dan konsentrasi nanopartikel NiO yang lebih tinggi juga meningkatkan efektivitas penghambatan terhadap bakteri gram-positif dan gram-negatif (Bhat et al., 2020).

5. Daun Miana (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth)



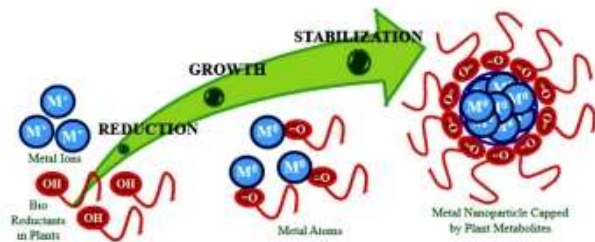
Gambar 2.4 Daun Miana (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth)

Daun miana, dengan nama ilmiah *Coleus scutellarioides* (L.) Benth diklasifikasikan dalam famili *Lamiaceae*, ordo *Lamiales*, dan termasuk ke dalam kelas *Eudicots*. Tanaman genus ini biasanya digunakan sebagai hiasan dan pagar serta sebagai obat (untuk memar dan bisul) (Umarudin & Hyssopus, 2019). Daun miana dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat Indonesia untuk beragam keperluan, mulai dari pelengkap upacara adat, tanaman hias, hingga sebagai bahan pengobatan tradisional (Wakhidah & Silalahi, 2018).

Daun Miana juga dapat digunakan sebagai obat cacing, diare, pematangan bisul, wasir, radang telinga, terlambat haid, dan keputihan. Selain itu, akar tumbuhan ini juga bermanfaat untuk mengobati perut

mules. Tanaman miana memiliki banyak senyawa kimia yang bermanfaat, seperti minyak astiri, tanin, flavonoid, saponin, thymol, karvakrol, dan eugenol (Agustina, 2021). Kegunaan lainnya yaitu sebagai obat tradisional, berguna untuk radang usus dan wanita habis bersalin (Harmanto, 2007).

Ekstrak pada tumbuhan mengandung senyawa aktif seperti polifenol, protein, alkaloid, asam fenolat, gula, dan terpenoid yang diyakini berperan penting dalam mengurangi ion logam dan menstabilkannya. Perbedaan senyawa aktif antara tumbuhan dan interaksinya dengan ion logam dalam air diyakini menjadi faktor utama yang menyebabkan keragaman ukuran dan bentuk nanopartikel yang dihasilkan (Bhati, 2023).

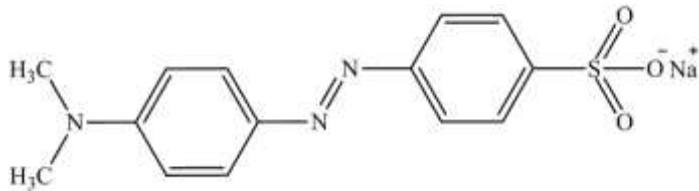


Gambar 2.5 Mekanisme Sintesis logam menggunakan ekstrak tumbuhan (Shamaila et al., 2016)

Proses nanopartikel logam menggunakan tumbuhan dibagi menjadi tiga tahap: fase aktivasi,

fase pertumbuhan, dan fase akhir (terminasi). Pada fase pertama, yaitu fase aktivasi, ion logam diekstrak dari garamnya dengan bantuan senyawa tumbuhan yang dapat mereduksi ion tersebut. Ion logam ini berubah dari bentuk mono atau divalen menjadi bentuk tanpa muatan, kemudian dimulai proses pembentukan inti atom logam yang telah direduksi. Setelah itu, masuk ke fase pertumbuhan, di mana atom-atom logam yang terpisah menyatu menjadi nanopartikel logam, diikuti dengan proses reduksi biologis yang lebih lanjut. Pada tahap ini, nanopartikel yang terbentuk berkembang menjadi berbagai bentuk seperti kubus, bola, segitiga, segi enam, batang, dan kawat. Fase pertumbuhan ini meningkatkan stabilitas nanopartikel, tetapi jika pembentukan inti berlebihan, nanopartikel bisa bergumpal dan mengubah bentuknya. Fase terakhir dalam sintesis ini adalah fase terminasi, di mana nanopartikel mencapai bentuk paling stabil, dilindungi oleh senyawa tumbuhan (Shamaila et al., 2016).

6. Pewarna *Methyl Orange*



Gambar 2.6 Struktur *Methyl Orange* (Dakhil et al., 2019)

Methyl orange atau dikenal juga sebagai *Orange III* merupakan senyawa pewarna azo sintetis, anionik, karsinik, dan umumnya digunakan sebagai bahan pewarna dalam industri tekstil, kulit, percetakan, manufaktur kertas, farmasi, industri pengolahan makanan dan juga di laboratoium penelitian (Hanafi & Sapawe, 2020b).

Methyl orange merupakan zat pewarna azo yang larut dalam air dan bersifat karsinogenik, serta dikenal sebagai pewarna bersifat asam atau anionik. Paparan terhadap *methyl orange* dapat menyebabkan muntah dan diare. Paparan dalam tingkat tinggi terhadap *methyl orange* dapat berakibat fatal hingga menyebabkan kematian. Sifat fisikokimia *methyl orange* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Fisikokimia *Methyl Orange* (Iwuozor et al., 2021)

Sifat fisikokimia	Deskripsi
Nama IUPAC	Sodium-4-(4-dimethylamino phenyl diazenyl) benzenesulfonate
Formula molekul	$C_{14}H_{14}N_3SO_3Na$
Massa molar	327,34 g/mol
Warna dan bentuk	Serbuk jingga kekuningan dan kristal
Titik leleh	> 300 °C
Kelarutan	< 1 mg/mL di 18 °C
λ_{maks}	464 nm

Methyl orange bersifat stabil, memiliki tingkat biodegradabilitas yang rendah serta larut dalam air, sehingga sulit dihilangkan dari larutan berair menggunakan metode pemurnian atau pengolahan air konvensional (Hanafi & Sapawe, 2020a). Kehadiran gugus azo (N=N) dan rendahnya tingkat biodegradasi menjadi isu penting dalam ilmu lingkungan. Secara umum, pewarna ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan di permukaan air, antara lain: (1) menimbulkan dampak akut maupun kronis terhadap organisme bergantung pada tingkat konsentrasi dan durasi paparan; (2) perubahan warna mencolok pada perairan meskipun *effluent* yang dilepaskan sedikit; (3) gangguan terhadap pertumbuhan dan aktivitas bakteri akibat perubahan penyerapan cahaya

matahari; (4) kesulitan dalam pengolahan limbah karena struktur molekul pewarna yang kompleks; (5) konsumsi oksigen terlarut serta kerusakan kehidupan akuatik akibat perubahan kimia dan biologis; dan (6) miko-toksisitas terhadap ikan dan organisme lain akibat kemampuan pewarna mengikat ion logam. Pelepasan air limbah berwarna ini menjadi sumber utama polusi estetika, eutrofika, dan gangguan ekosistem akuatik (Farhan Hanafi & Sapawe, 2020).

7. Karakterisasi

Karakterisasi diartikan sebagai proses untuk mendefinisikan sifat-sifat suatu obyek. Di bidang material proses tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memahami struktur, sifat, serta kandungan bahan material (Hernandha, 2023).

a. UV-Vis (*Ultra Violet-Visible Spectrometry*)

Spektroskopi UV-Vis adalah teknik yang mengukur spektrum absorpsi sampel menggunakan sinar ultraviolet (UV) dan tampak (Vis) dengan spektrofotometer. Metode ini digunakan untuk menganalisis molekul organik, ion organik maupun senyawa kompleks dalam bentuk larutan, serta material padat seperti lapisan tipis atau kaca (De Caro & Claudia, 2015).

Spektroskopi UV-Vis mengukur penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh sampel yang ditandai dengan munculnya puncak serapan. Konsentrasi sampel dapat ditentukan melalui puncak serapan tersebut menggunakan Hukum Lambert-Beer (Abdullah et al., 2022). Hukum Lambert-Beer umum digunakan dalam spektroskopi UV-Vis untuk analisis kuantitatif, seperti mengukur konsentrasi dan analisis kualitatif, seperti pengenalan sifat-sifat molekul (Mohammed, 2018). Hukum Lambert-Beer dinyatakan pada persamaan sebagai berikut:

$$A = \epsilon \times l \times c \quad (2.4)$$

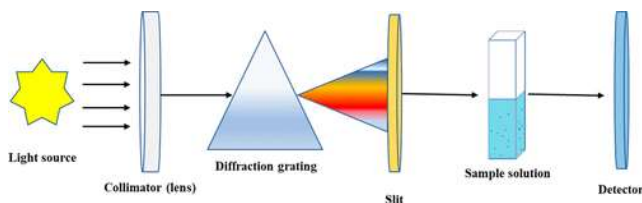
Keterangan:

A = Absorbansi

ϵ = Koefisien penyerapan molar ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

c = Konsentrasi (mol/L)

l = Lebar kuvet (1 cm)



Gambar 2.7 Prinsip pengukuran di dalam Uv-Vis (N. K. Sharma et al., 2022)

Dalam spektroskopi UV-Vis, sampel diterangi dengan cahaya elektromagnetik dari

berbagai panjang gelombang, termasuk tampak (Vis), ultraviolet (UV), dan inframerah dekat (IR). Cahaya yang diserap oleh zat dalam sampel mengurangi jumlah cahaya yang ditransmisikan. Detektor merekam cahaya yang tersisa sebagai fungsi panjang gelombang, menghasilkan spektrum UV-Vis sampel. Spektrofotometer UV-Vis bekerja dengan cara mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui larutan sampel, kemudian membandingkannya dengan intensitas cahaya awal. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk sumber cahaya, tempat sampel, perangkat pemisah panjang gelombang seperti monokromator dan detektor (De Caro & Claudia, 2015). Spektroskopi UV-Vis digunakan untuk mendeteksi keberadaan polutan dalam air dengan cara mengukur intensitas cahaya yang diserap oleh molekul pada panjang gelombang tertentu (Guo et al., 2020).

Selain itu, spektroskopi UV-Vis juga digunakan untuk menentukan energi celah pita (*bandgap*) dari material hasil sintesis yang berkaitan erat dengan kemampuan material dalam menyerap cahaya yang berperan sebagai

fotokalis (Julita et al., 2023). Energi celah pita ditentukan menggunakan metode Tauc Plot yaitu dengan memplot $(\alpha h\nu)^n$ terhadap energi foton $(h\nu)$ dan memproyeksikan bagian linier kurva hingga memotong sumbu x yang menunjukkan nilai celah pita material (Daniyati et al., 2015). Jenis transisi elektronik langsung (*direct*) dan tidak langsung (*indirect*) menentukan nilai n yang digunakan. Persamaan Tauc Plot ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$E_g = \frac{h\nu}{\lambda} \quad (2.5)$$

$$A h\nu = (2,303 \times A \times h\nu)^n \quad (2.6)$$

Keterangan:

E_g = Nilai celah pita energi

h = Konstanta Plank

ν = Kecepatan cahaya

λ = Panjang gelombang

α = Absorption co-efficient

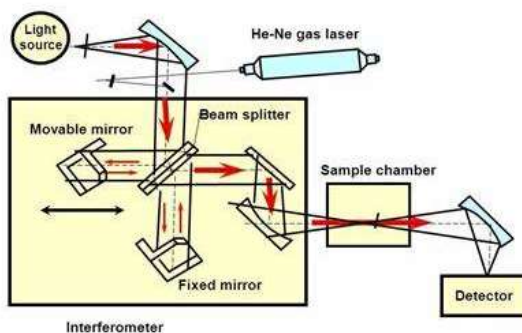
A = Konstanta proposional

n = sifat transisi elektron ($n=1/2$ (*direct*); $n= 2$ (*indirect*))

b. FTIR (*Fourier Transformed Infrared Spectroscopy*)

Spektroskopi inframerah transformasi *fourier* (FTIR) merupakan teknik analisis yang dimanfaatkan untuk mengenali gugus fungsi dalam berbagai jenis sampel (gas, cair, dan padat) melalui pancaran radiasi inframerah. Metode ini

bekerja dengan mendeteksi sejauh mana masing-masing ikatan kimia dalam molekul menyerap radiasi IR dan hasil pengukurannya disajikan dalam bentuk spektrum yang mempresentasikan % transmisi terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}) (Khan et al., 2018). Keunggulan FTIR meliputi akurasi dan resolusi spektral yang tinggi untuk mendeteksi semua frekuensi dari sumber inframerah secara simultan (Petit & Puskar, 2018). Teknik spektroskopi ini digunakan untuk menganalisis molekul organik dan anorganik berdasarkan rentang bilangan gelombang. Daerah inframerah tengah ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) sering digunakan dalam analisis senyawa karena mencerminkan transisi vibrasi molekul, sehingga mampu memberikan informasi mengenai keberadaan gugus fungsi dalam suatu struktur kimia (Fauzan Faturachman et al., 2025).



Gambar 2.8 Skema Instrumen FTIR (Chirra & Venkatathri, 2020)

Prinsip kerja instrumen FTIR ditunjukkan pada Gambar 2.8. Sinar inframerah (IR) diarahkan dari sumber cahaya ke alat pembagi cahaya. Cahaya ini kemudian dibagi ke dua arah menuju cermin. Salah satu cermin diam, sementara cermin lainnya bergerak maju-mundur dengan kecepatan tetap. Cahaya dari kedua cermin dipantulkan kembali dan disatukan lagi, lalu diarahkan ke sampel yang ingin dianalisis. Setelah melewati sampel, cahaya tersebut masuk ke detektor yang mencatat semua panjang gelombang cahaya IR. Karena cermin bergerak, cahaya yang bergabung mengalami perbedaan jalur sehingga muncul pola gelombang yang

saling memperkuat atau selain meniadakan (interferensi) yang disebut interferogram. Komputer kemudian mengubah interferogram ini menjadi grafik spektrum IR sehingga mengetahui senyawa yang ada dalam sampel (Farrukh, 2012).

Proses pengolahan data dalam spektroskopi FTIR dimulai dari data mentah berupa interferogram, yaitu sinyal intensitas yang dicatat terhadap posisi cermin bergerak pada interferometer. Titik pusat interferogram dikenal sebagai *center-burst* atau *zero-path-difference* (ZPD), yang merupakan posisi di mana interferensi maksimum terjadi. Interferogram ini dapat berbentuk *double-side* (simetris) atau *single-sided* (asimetris). Namun data yang digunakan adalah data yang dikumpulkan dalam dua arah pergerakan cermin yang kemudian digabungkan menjadi satu array.

Selanjutnya, data interferogram dari kedua arah tersebut diproses secara terpisah, termasuk dikoreksi fasa dan hasilnya dirata-rata. Interferogram dinormalisasi dengan mengurangi nilai rata-rata agar *baseline* nol, lalu dilakukan *zero-filling* untuk memperhalus spektrum tanpa

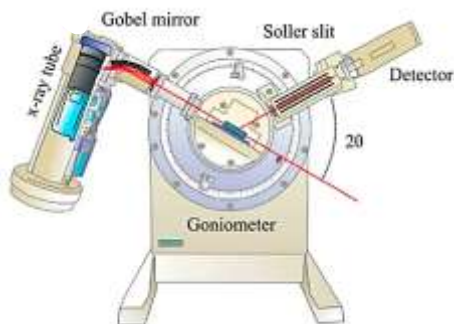
menambah resolusi optik. Koreksi fasa menggunakan metode Mertz yang dilakukan dengan menyiapkan data di sekitar ZPD yang sudah diproses fungsi *ramp*, merotasi data, melakukan FFT, dan menghitung *power spectrum* untuk mengalikan data kompleks hasil FFT agar spektrum akurat.

Interferensi sampel dihaluskan dengan fungsi segitiga untuk mengurangi artefak, di-zero-fill, dirotasi, lalu dilakukan FFT dan dikalikan dengan data koreksi fasa. Hasilnya adalah spektrum *single-beam* yang mewakili intensitas sinar IR dari 4000-400 cm^{-1} . Karena FTIR adalah teknik *single-beam*, spektrum sampel dirasio terhadap spektrum latar belakang (misalnya gas nitrogen) untuk menghasilkan spektrum transmitasi (Griffiths, 1983).

c. XRD (*X-ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik non-destruktif dengan tingkat informasi mengenai karakteristik struktur suatu material. Teknik ini mampu memberikan berbagai data terkait struktur kristal, fase, orientasi kristal, dan sifat struktur lainnya dari material yang dianalisis

(Vourlias, 2020). Sinar-X terbentuk ketika cahaya datang dari sudut yang sama dan menghasilkan bayangan dengan bentuk serupa. Pola difraksi yang dihasilkan berguna untuk mengidentifikasi berbagai senyawa. Pola ini ditentukan oleh besar kecilnya sudut difraksi sinar oleh kristal material sebagai dasar analisis kualitatif untuk membedakan antar senyawa (Setiabudi et al., 2012).

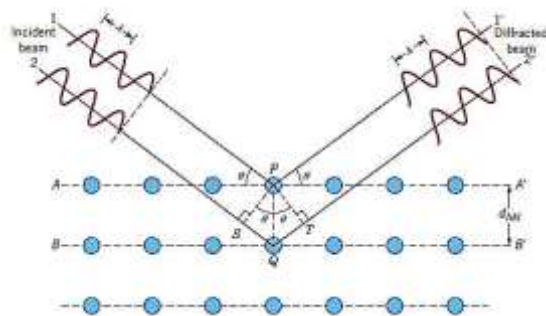


Gambar 2.9 Skema Teknik XRD (Stefanov, 2015)

Analisis kualitatif dan kuantitatif digunakan untuk memahami prinsip-prinsip difraksi sinar-X. Dalam analisis kuantitatif, data yang diberikan meliputi sudut 2θ , intensitas puncak, dan konstanta kisi. Sedangkan analisis kualitatif, data yang diperoleh mencakup analisis fase, termasuk identifikasi jenis fase, komposisi fase

(persentase), ukuran kristalit, orientasi, dan aspek lainnya (S. Fatimah et al., 2021).

X-Ray Diffraction (XRD) bekerja dengan memaparkan sinar-X ke permukaan sampel kristalin yang kemudian mengalami difraksi ke berbagai arah sesuai prinsip Bragg. Detektor yang berputar dengan kecepatan sudut tetap merekam sinyal difraksi yang dihasilkan. Pada sampel serbuk, bidang kristalnya terorientasi secara acak, sehingga pola difraksi yang dihasilkan menjadi representasi khas dari struktur material tersebut.



Gambar 2.10 Mekanisme Hukum Bragg (Yazdani Nezhad & Giraudmailet, 2017)

Pada Gambar 2.10 berkas sinar yang diarahkan ke permukaan sample membentuk sudut (θ) dan menempuh jarak antar bidang kristal d yang mempengaruhi perbedaan panjang

lintasan sinar. Perbedaan ini menyebabkan terjadinya interferensi gelombang konstruktif yang dianalisis menggunakan persamaan Bragg (S. Fatimah et al., 2021). Persamaan Bragg dapat dituliskan dalam Persamaan sebagai berikut:

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (2.7)$$

di mana n menyatakan orde difraksi (1, 2, 3, dan seterusnya), d merupakan jarak antara bidang atom dalam struktur kristal dengan indeks Miller tertentu, θ menunjukkan sudut difraksi, dan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan dalam analisis.

Penentuan ukuran kristalit atau butiran dilakukan berdasarkan prinsip bahwa semakin kecil ukuran kristalit, maka degradasi fotokatalis semakin optimal, hal tersebut dianalisis menggunakan persamaan Debye Scherrer sebagai berikut:

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad (2.8)$$

Keterangan :

D = ukuran partikel (nm)

θ = sudut difraksi ($^{\circ}$)

K = Konstanta Scherrer ($\sim 0,9$)

λ = Panjang gelombang sinar-X ($1,5406 \text{ \AA}$ untuk Cu $K\alpha$)

B = Lebar penuh pada setengah maksimum (FWHM)($^{\circ}$) (Ameh, 2019).

Sementara itu, Derajat kristalinitas digunakan untuk mengevaluasi tingkat keteraturan struktur sampel. Tingkat kristalinitas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} \quad (2.9)$$

Dimana A_c merupakan luas puncak kristal difraksi dan A_a merupakan luas puncak difraksi amorf (Doumeng et al., 2021).

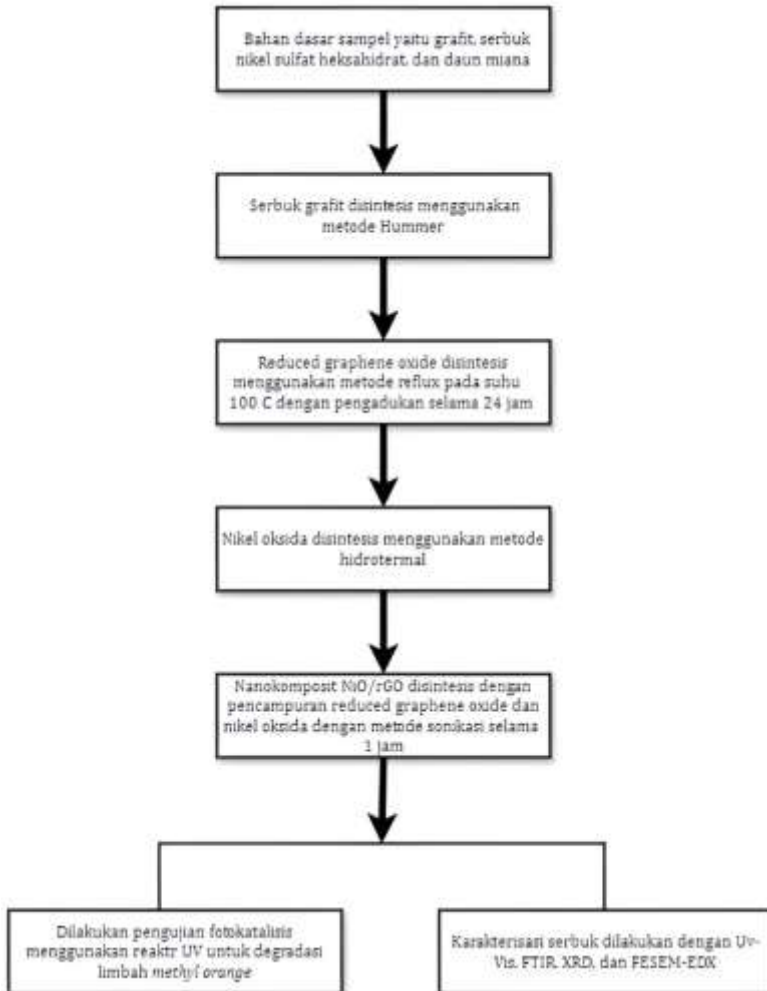
B. Kajian Pustaka

1. Penelitian oleh Sadhukhan et al. (2020) melaporkan pembuatan nanokomposit NiO/rGO menggunakan metode hijau dari ekstrak *Psidium guajava* dan menginvestigasi sifat fotokatalisis serta antibakteri mereka. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nanokomposit NiO/rGO menunjukkan aktivitas katalisis yang lebih tinggi sebesar 95% daripada nanopartikel RGO atau NiO secara individual. Mereka menemukan bahwa nanokomposit mampu menghambat kelangsungan hidup pada bakteri *S. Typhi* dan *S. aureus* masing-masing sebesar 70,6 % dan 90,78%.
2. Penelitian oleh Fatimah et al. (2023) sintesis hijau NiO/rGO telah berhasil disiapkan menggunakan

ekstrak daun *Pometia pinnata* sebagai bioreduktor tunggal. NiO/rGO menunjukkan nanopartikel NiO yang tersebar dalam matriks rGO dengan ukuran partikel berkisar antara 10-30 nm. Nanokomposit tersebut juga menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang sangat baik dalam oksidasi fotokatalisis tetrasiklin dan mengekspresikan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Eschericia* dengan konsentrasi penghambat minimum yang rendah.

3. Penelitian oleh Vivek et al. (2024) nanokomposit NiO/rGO disintesis menggunakan metode hidrotermal untuk degradasi zat warna *Rhodamine Blue*. Nanokomposit tersebut memiliki aktivitas fotokatalisis yang lebih unggul dibandingkan NiO murni sekitar 95,4%, sedangkan pada NiO murni sekitar 86%.
4. Penelitian oleh Jeoffrey et al. (2023) nanokomposit NiO/CdO yang dipadukan dengan rGO dan dihasilkan degradasi 89,6% untuk rNC pada fenol.
5. Penelitian oleh Al-Mafarjy et al. (2024) AuNPs disintesis menggunakan ekstrak daun miana dan dihasilkan ukuran partikel rata-rata 40,10 nm. AuNPs juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang signifikan dalam uji DPPH penyisiran radikal bebas.

C. Kerangka Berpikir



Gambar 2.11 Kerangka Berpikir

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia 2 berlokasi di Laboratorium Karakterisasi Fisika Gedung 441, KST BJ Habibie – Jl. Puspiptek Serpong, Kec. Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314. Pelaksanaan dimulai di bulan November 2024 – April 2025.

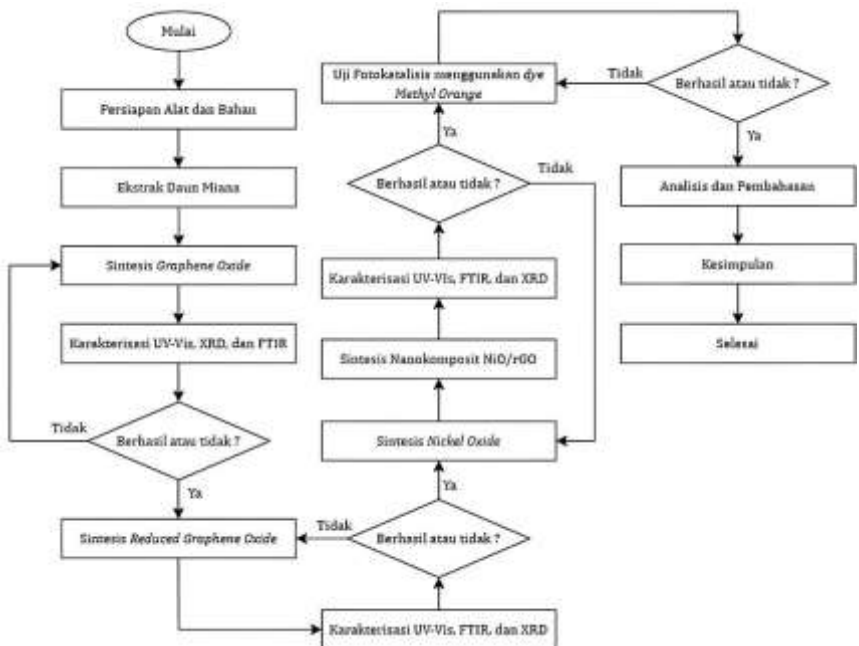
B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Oven (B-one), *Furnace Muffle* (Fila), *Centrifuge* (BIOBASE), Ultrasonikasi (GT-SONIC), *Fumehood*, *Magnetic stirrer*, *Hot Plate* (Dlab MS-H280-Pro), autoklaf, Neraca Analitik (Radwag AS 220.R2 Plus), Peralatan gelas (Iwaki Pyrex), Cawan Porselen, Spatula, Reaktor UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$), *heating mantle* (B-One), Uv-Vis (*Ultraviolet Visible*, UV C-7200), FTIR (*Fourier Transformed Infrared*, Thermoscientific Nicolet iS-10), XRD (*X-ray Diffraction*, SMARTLAB RIGAKU), FESEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray*, THERMO SCIENTIFIC QUATTRO S).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Graphite, NaNO_3 (*Sodium Nitrate*), KMnO_4 (*Pottasium Permanganate*), H_2SO_4 (*Sulfuric Acid*), H_2O (*Akuades/DI Water*), H_2O_2 (*Hydrogen Peroxide*), HCl (*Hydrochlorid Acid*), NaOH (*Sodium Hydroxide*), $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$ (*Nickel (II) Sulfate Hexahydrate*), Daun Miana (*Coleus scutellarioides (L.) Benth.*).

C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. 1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

1. Ekstrak Daun Miana

Tahapan ekstrak daun miana merujuk pada penelitian (Al-mafarjy et al., 2024) dilakukan sebagai berikut:

- a. Daun dipisahkan dari batangnya kemudian dicuci menggunakan air mengalir dan akuades.
- b. Daun dipotong kecil-kecil untuk dikeringkan di dalam oven pada suhu 80 °C selama 3 jam.
- c. Daun dihaluskan menggunakan mortar dan alu.
- d. Larutkan 3 g serbuk daun miana dengan 100 mL akuades.
- e. Larutan diaduk selama 20 menit pada suhu 80 °C.
- f. Larutan didinginkan hingga suhu ruang.
- g. Larutan disaring menggunakan vakum untuk memisahkan residu.
- h. Untuk pemakaian selanjutnya larutan disimpan pada suhu 4 °C.

2. Sintesis *Graphene Oxide* (GO)

Tahapan sintesis *graphene oxide* merujuk pada penelitian (Abdullah et al., 2023) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Larutkan 1 g graphite dan 0,5 g NaNO_3 ke dalam 23,3 mL H_2SO_4 dalam *ice bath* dengan suhu $< 20^\circ\text{C}$.
- b. Tambahkan 4 g KMnO_4 secara perlahan dan diaduk selama 2 jam.
- c. Setelah homogen suhu larutan diatur di suhu 40°C untuk pengadukan selama 14 jam.
- d. Tambahkan 41,7 mL *DI Water* secara perlahan ke dalam larutan.
- e. Tambahkan 3,3 mL H_2O_2 tetes demi tetes dan diaduk selama 20 menit.
- f. Tambahkan 133 mL *DI Water* dan disusul dengan 50 mL HCl 2 M.
- g. Larutan disonikasi selama 30 menit untuk eksfoliasi.
- h. Larutan dicuci beberapa kali dengan *DI Water* menggunakan centrifuge hingga pH netral.
- i. Endapan GO yang didapatkan kemudian dikeringkan pada suhu 80°C selama 6 jam.

j. Padatan dihaluskan untuk mendapatkan serbuk GO.

k. Dilakukan karakterisasi UV-Vis, FTIR, dan XRD.

Apabila hasil karakterisasi tidak menunjukkan adanya gugus fungsi oksigen pada FTIR, tidak muncul puncak difraksi (001) pada XRD, dan tidak terdapat pergeseran panjang gelombang di sekitar 230 nm pada UV-Vis, maka dilakukan sintesis ulang. Sebaliknya, apabila ketiga indikator tersebut teramati, sintesis dinyatakan berhasil.

3. Sintesis *Reduced Graphene Oxide* (rGO)

Tahapan sintesis rGO merujuk pada penelitian (Sadhukhan et al., 2016) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Larutkan 400 mg serbuk GO ke dalam 80 mL ekstrak miana.
- b. Larutan diaduk selama 20 menit.
- c. Larutan dilakukan refluks menggunakan *heating mantle* selama 24 jam pada suhu 100 °C.
- d. Larutan dicuci beberapa kali dengan *DI Water* menggunakan *centrifuge* hingga pH netral.
- e. Endapan yang dihasilkan dikeringkan pada suhu 180 °C selama 6 jam.

- f. Padatan yang dihasilkan dihaluskan untuk mendapatkan serbuk rGO.
- g. Dilakukan karakterisasi UV-Vis, FTIR, dan XRD.
- h. Jika belum berhasil maka dilakukan sintesis ulang.

Apabila hasil karakterisasi tidak menunjukkan pengurangan gugus fungsi oksigen pada FTIR, tidak muncul puncak difraksi (002) pada XRD, dan tidak terdapat pergeseran panjang gelombang di sekitar 270 nm pada UV-Vis, maka dilakukan sintesis ulang. Sebaliknya, apabila ketiga indikator tersebut teramati, sintesis dinyatakan berhasil.

4. Sintesis Nikel Oksida (NiO)

Tahapan sintesis nikel oksida dilakukan dengan merujuk pada penelitian (Ahmad & Kaur, 2023) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Larutkan 0,5 g $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$ ke dalam 50 mL akuades dan diaduk hingga homogen.
- b. Tambahkan 10 mL NaOH 1 M dan diaduk selama 20 menit.
- c. Tambahkan 3 mL ekstrak daun miana dan diaduk selama 20 menit.
- d. pH larutan diatur pada pH 12 menggunakan HCl 1 M.

- e. Larutan dituang ke dalam autoklaf untuk hidrotermal selama 3 jam pada suhu 100 °C.
 - f. Larutan disaring menggunakan vakum.
 - g. Endapan dicuci menggunakan akuades hingga air penyaringan menjadi bersih.
 - h. Endapan dikeringkan pada suhu 80 °C selama 8 jam.
 - i. Padatan dihaluskan kemudian serbuk di *furnace muffle* pada suhu 300 °C selama 30 menit.
 - j. Dilakukan karakterisasi FTIR, XRD, dan UV-Vis.
 - k. Jika belum berhasil maka dilakukan sintesis ulang.
 - l. Dilakukan uji fotokatalisis menggunakan zat warna *methyl orange*.
5. Sintesis Nanokomposit NiO/rGO

Tahapan sintesis nanokomposit NiO/rGO merujuk pada penelitian (Hermadianti et al., 2024). Adapun variasi komposisi NiO dan rGO ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 3.1 Variasi Komposisi NiO dan rGO

Nama sampel	NiO (g)	rGO (g)
NiO:rGO (1:1)	0,2	0,2
NiO:rGO (1:2)	0,1	0,2
NiO:rGO (2:1)	0,2	0,1

Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Campuran serbuk NiO dan rGO sesuai komposisi yang tertera pada Tabel 3.1.
- b. Larutkan serbuk NiO ke dalam 200 mL *DI Water*.
- c. Larutan dilakukan sonikasi selama selama 1 jam.
- d. Tambahkan serbuk rGO ke dalam larutan dan sonikasi selama 1 jam.
- e. Larutan disentrifugasi pada 3500 rpm kemudian dipisahkan endapannya.
- f. Endapan dikeringkan dikeringkan pada suhu 80 °C selama 6 jam.
- g. Padatan dihaluskan untuk mendapatkan serbuk komposit.
- h. Dilakukan karakterisasi FTIR, XRD, dan UV-Vis.
- i. Jika belum berhasil maka dilakukan sintesis ulang.
- j. Dilakukan uji fotokatalisis menggunakan zat warna *methyl orange*.

Apabila hasil karakterisasi tidak menunjukkan kombinasi gugus fungsi NiO dan rGO pada FTIR, tidak muncul kombinasi puncak difraksi NiO dan rGO pada XRD, dan tidak terdapat pergeseran panjang gelombang pada UV-Vis, maka dilakukan

sintesis ulang. Sebaliknya, apabila ketiga indikator tersebut teramati, sintesis dinyatakan berhasil.

6. Uji Aktivitas Fotokatalisis

a. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Larutan induk *methyl orange* disiapkan dengan konsentrasi 10 ppm menggunakan perhitungan pada persamaan 3.1.

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{massa zat terlarut (mg)}}{\text{volume larutan (L)}} \quad (3.1)$$

Pengukuran nilai absorbansi dilakukan pada larutan *methyl orange* dengan konsentrasi 10 ppm menggunakan rentang panjang gelombang 200-800 nm. Nilai panjang gelombang maksimum diperoleh dari pengukuran ini akan digunakan sebagai acuan dalam analisis absorbansi *methyl orange* pada percobaan selanjutnya.

b. Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar

Larutan awal *methyl orange* dilakukan pengukuran absorbansi pada konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Kurva standar diperoleh dengan hubungan konsentrasi (sumbu x) dan absorbansi (sumbu y) yang ditunjukkan oleh persamaan 3.2.

$$y = ax + b \quad (3.2)$$

Dengan y mempresentasikan absorbansi, x sebagai konsentrasi larutan, a sebagai intersep pada sumbu y , dan b sebagai kemiringan (gradien) garis kalibrasi.

c. Pengaruh pH dan Massa Katalis pada Nanokomposit NiO/rGO

Percobaan dilakukan dengan sampel NiO dan komposit NiO/rGO ratio (1:1), (1:2), dan (2:1). Adapun variasi pH yang digunakan yaitu pH asam (4,5), pH netral (7), dan pH basa (10) dengan konsentrasi larutan 10 ppm. Untuk pembuatan larutan pH digunakan HCl 1 M untuk pH asam dan larutan NaOH 1 M untuk pH basa. Selanjutnya dilakukan uji fotokatalisis pada pH yang ditetapkan menggunakan konsentrasi 10 ppm dengan massa katalis 0,1 g. Setelah mendapatkan pH optimal dilakukan variasi massa katalis pada 0,1 g; 0,2 g; dan 0,3 g. Kemudian dilakukan variasi waktu 180 menit dan 360 menit pada massa katalis optimal.

d. Proses Degradasi zat warna *Methyl Orange*
Adapun katalis yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variasi Katalis Degradasi *Methyl Orange*

No	Nama sampel
1	rGO
2	NiO
3	NiO:rGO (1:1)
4	NiO:rGO (1:2)
5	NiO:rGO (2:1)

Tahapan untuk proses fotokatalis merujuk dari (Sadhukhan et al., 2020) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Larutkan 0,1 g serbuk katalis ke dalam 100 mL larutan *methyl orange* 10 ppm.
- Larutan dimasukkan ke dalam reaktor UV dalam keadaan gelap selama 30 menit dan keadaan terang pada waktu tertentu.
- Dilakukan pengadukan konstan selama proses reaksi.
- Setiap 30 menit larutan diambil kemudian dilakukan pemisahan antara suspensi dan filtrat dengan *centrifuge* selama 3-5 menit pada 5000 rpm.
- Filtrat yang didapat dilakukan pengujian menggunakan UV-Vis pada panjang gelombang maksimum *methyl orange*.

Dilakukan pengujian ulang jika hasil degradasi tidak optimal. Sebaliknya, jika hasil pengulangan

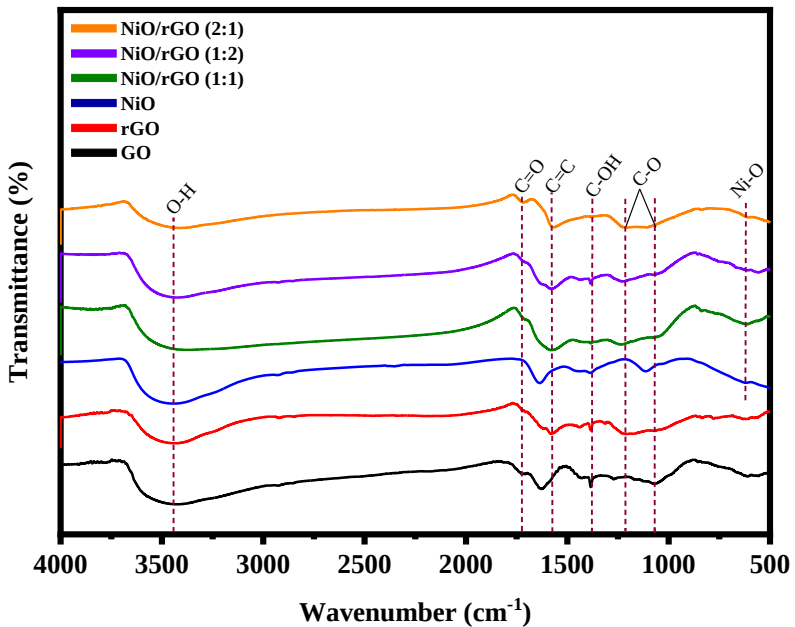
tidak menunjukkan perbedaan signifikan maka degradasi sudah pada kondisi optimum.

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infra-Red)

Hasil spektrum FTIR sampel nanokomposit NiO/rGO diperoleh seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Spektrum FTIR sampel Nanokomposit NiO/rGO

Identifikasi pita serapan spektrum FTIR sampel nanokomposit NiO/rGO ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Spektrum FTIR Sampel Nanokomposit NiO/rGO

Wavenumber (cm⁻¹)

Gugus	Wavenumber (cm ⁻¹)					
	GO	rGO	NiO	NiO/rGO (1:1)	NiO/rGO (1:2)	NiO/rGO (2:1)
O-H	3420	3437	3441	3375	3425	3408
C=O	1725	1712		1721	1724	1716
C=C	1627	1579	1634	1580	1579	1561
C-OH	1384	1384	1384	1384	1384	1384
C-O	1270	1207	1111	1237	1226	1210
	1073	1068		1078	1074	1111
Ni-O			620			

Spektrum GO dan rGO pada Tabel 4.1 menunjukkan serapan yang sesuai dengan penelitian (Rochman et al., 2019) yang mengindikasikan bahwa material GO terbentuk dari oksida grafit. Kehadiran gugus hidroksil (O-H) pada rentang 3450-3350 cm⁻¹ mengindikasikan adanya air yang teradsorpsi atau menempel di permukaan GO. Puncak pada 1725-1710 cm⁻¹ menunjukkan terdapat gugus hidroksil karena reaksi oksidasi. Serapan pada GO di 1627 cm⁻¹ dan 1384 cm⁻¹ dikaitkan dengan cincin aromatik heksagonal. Gugus epoksi pada serapan antara 1111-1068 cm⁻¹ terdeteksi sebagai puncak khas C-O pada GO (Tucureanu et al., 2016).

Setelah reduksi, puncak rGO mengalami pergeseran panjang bilangan dibandingkan dengan spektrum GO

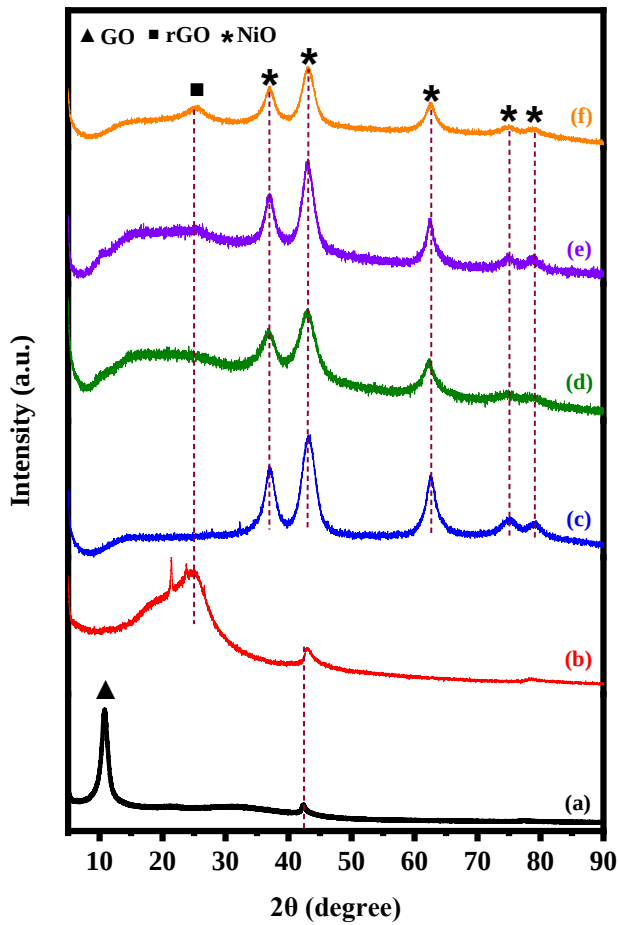
(Kacem et al., 2022). Puncak-puncak seperti gugus fungsi (C=O, C=C, dan C-O) telah berkurang karena oksigen berhasil dihilangkan. Keberhasilan tersebut ditandai dengan kemunculan puncak di kisaran 1575-1560 cm^{-1} yang dikaitkan dengan *aromatic ring* dari lembaran *graphene*, hal tersebut menunjukkan pemulihan jaringan karbon sp^2 (Tucureanu et al., 2016). Pada Tabel 4.1 gugus C-O dalam spektrum rGO masih terdeteksi, tetapi intensitasnya berkurang saat digunakan dalam komposit (Mahmoud et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat senyawa organik dari ekstrak membentuk lapisan penutup (*capping*) pada permukaan nanomaterial tersebut (Wu et al., 2022).

Tabel 4.1 mengungkapkan gugus fungsi pada NiO terdapat puncak serapan getaran antar-atom yang umum ditemukan pada logam oksida yaitu di 620 cm^{-1} (Al-Naim et al., 2021). Puncak yang lebar di sekitar 3441 cm^{-1} muncul untuk serapan O-H yang disebabkan oleh vibrasi dari molekul air antar lapisan. Vibrasi terjadi ketika molekul air antar lapisan teradsorpsi pada nanopartikel NiO selama proses kalsinasi. Gugus C-OH, C=C, dan C-O terdeteksi disebabkan oleh fitokimia yang terkandung pada ekstrak *Coleus scutellarioides (L.) Benth* (Ravichandran et al., 2023).

Pada spektrum komposit NiO/rGO, terlihat kombinasi karakteristik dari kedua material. Penggabungan dua bahan komposit NiO dan rGO ditinjau pada Gambar 4.1 bahwa terlihat adanya pita serapan (Ni-O) sebagai NiO dan (C=O dan C=C) sebagai rGO yang mengindikasikan terdapat NiO dan rGO pada sampel tersebut dan mengonfirmasi keberhasilan sintesis komposit NiO/rGO (Saleh et al., 2022).

B. Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi struktur kristal, ukuran kristal, dan kristalinitas dari material hasil sintesis. Pola difraksi XRD pada sampel nanokomposit NiO/rGO yang diperoleh seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektrum XRD dari (a) GO, (b) rGO, (c) NiO, (d) NiO/rGO (1:1), (e) NiO/rGO (1:2), (f) NiO/rGO (2:1)

Identifikasi puncak spektrum XRD pada sampel nanokomposit NiO/rGO ditampilkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Puncak Difraksi Sampel Nanokomposit NiO/rGO
Puncak difraksi 2θ (°)

GO	rGO	NiO	NiO/rGO (1:1)	NiO/rGO (1:2)	NiO/rGO (2:1)	Bidang Kristal (hkl)
10,79						(001)
42,46	42,95					(100)
	23,71				25,73	(002)
		37,04	36,84	36,96	36,93	(111)
		43,16	42,96	43,06	43,12	(200)
		62,64	62,31	62,48	62,56	(220)
		75,02	74,96	75,04	75,14	(311)
		79,06	78,71	78,66	79,09	(222)

Spektrum XRD sampel GO pada Tabel 4.2 teramati puncak tajam pada bidang [001] dan [100]. Munculnya puncak ini menandakan adanya struktur GO dengan banyak gugus oksigen (Gul & Alrobei, 2021). Setelah proses reduksi, sampel rGO menunjukkan perubahan pola difraksinya. Hilangnya puncak [001] dan muncul puncak baru dengan bidang kristal [002]. Puncak [002] pada rGO menunjukkan bahwa material yang telah mengalami reduksi cenderung kembali ke struktur grafit aslinya setelah mengalami oksidasi menjadi GO (Gómez-Mancebo et al., 2023).

Hasil XRD NiO pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nanopartikel NiO yang disintesis secara bio-sintesis

menunjukkan puncak khas NiO yang terdeteksi pada rentang $30\text{-}80^\circ$. NiO yang terbentuk memiliki fasa kristal kubik (FCC) yaitu kubus berpusat muka yang sesuai dengan standar JCPDS No. 47-1049 (Alphonse & Thanaraj, 2019). Puncak –puncak difraksi yang diamati pada nanokomposit NiO/rGO sama seperti pada NiO yang masing-masing memiliki bidang [111], [200], [220], [311], dan [222]. Puncak-puncak yang tampak lebih lebar dibandingkan dengan NiO mengindikasikan bahwa struktur kisi NiO mengalami distorsi akibat interaksi dengan lembaran rGO (Kumar et al., 2016). Pada Gambar 4.2 nanokomposit NiO/rGO (1:2) mempunyai kandungan rGO lebih banyak dibandingkan NiO/rGO (2:1), namun puncak rGO cenderung terlihat jelas pada NiO/rGO (2:1). Hal ini karena pada NiO/rGO (1:2) rGO lebih tersebar merata dan menyatu dalam struktur NiO. Sebaliknya, pada NiO/rGO (2:1) rGO yang lebih sedikit tidak terdispersi sempurna sehingga terjadi tumpukan lembaran rGO dan menghasilkan puncak difraksi rGO yang cenderung terlihat lebih jelas. Sementara itu, puncak NiO yang lebih tajam pada NiO/rGO (1:2) menunjukkan bahwa struktur kristal NiO lebih baik karena tidak terjadi penggumpalan partikel NiO. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan massa tidak

menentukan hasil akhir, tetapi ditentukan dengan interaksi antar partikel dan terdispersinya partikel selama proses sintesis.

Jarak antar bidang (*d-spacing*) di analisis berdasarkan puncak tertinggi sampel. Pada GO dan rGO nilai d diambil dari bidang [001] dan [002] yang diperoleh nilai sebesar 8,18 Å dan 2,10 Å. Perubahan ini menunjukkan perubahan struktur akibat proses reduksi dan mengindikasikan hilangnya sebagian besar gugus oksigen. Sedangkan jarak antar bidang untuk NiO dan komposit NiO/rGO diambil dari puncak tertinggi yaitu [200]. Jarak antar bidang [200] pada NiO dan komposit NiO/rGO memiliki nilai di sekitar 2,09 Å, yang mengindikasikan bahwa struktur kristal utama NiO tetap terjaga meskipun setelah dikompositkan dengan rGO.

Derajat kristalinitas dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2.9 serta perhitungan ukuran kristal dilakukan menggunakan Hukum Scherrer pada Persamaan 2.8. Hasil perhitungan didapatkan seperti yang tertera pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan XRD Sampel Nanokomposit
NiO/rGO

Sampel	Kristalinitas (%)	Ukuran kristal (nm)
GO	23,28	6,245322405
rGO	25,62	3,337595467
NiO	83,47	3,541906246
NiO/rGO (1:1)	34,80	3,589440198
NiO/rGO (1:2)	38,75	3,54668933
NiO/rGO (2:1)	27,25	4,289133833

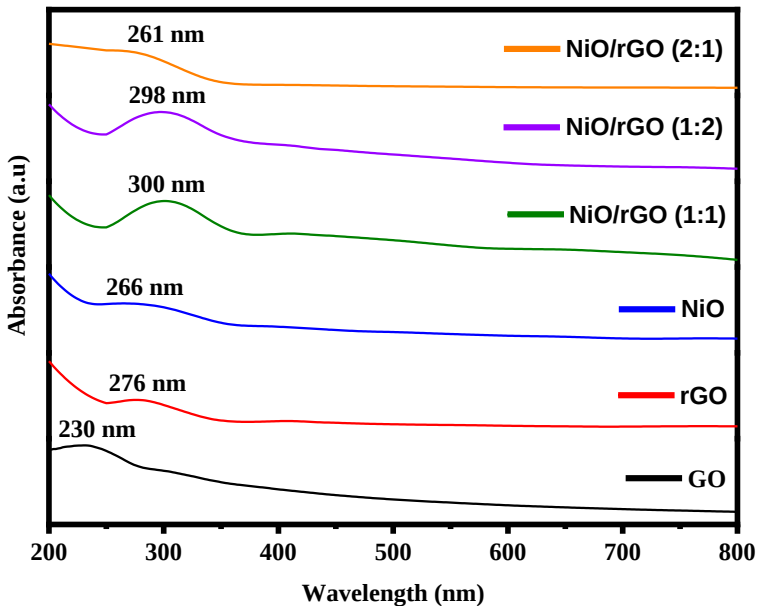
Berdasarkan data pada Tabel 4.3, kristalinitas dan ukuran kristal dari masing-masing sampel menunjukkan variasi yang signifikan. Perubahan kristalinitas dan ukuran kristal GO ke rGO menunjukkan bahwa proses reduksi GO menjadi rGO meningkatkan keteraturan struktur dan menghasilkan ukuran kristal yang lebih kecil. Sampel NiO diperoleh kristalinitas tinggi sebesar 83,47 % dengan ukuran kristal 3,54 nm yang menandakan struktur kristalin yang sangat baik dan menjadi acuan pembandingan terhadap nanokomposit.

Nanokomposit NiO/rGO (1:2) diketahui memiliki ukuran kristal dan kristalinitas yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa NiO/rGO (1:2) menghasilkan struktur yang lebih stabil diantara komposit (1:1) dan (2:1). Sementara itu, ukuran kristal meningkat pada nanokomposit (2:1) yang kemungkinan disebabkan oleh

aglomerasi partikel NiO dan kurang terdispersinya lembaran rGO.

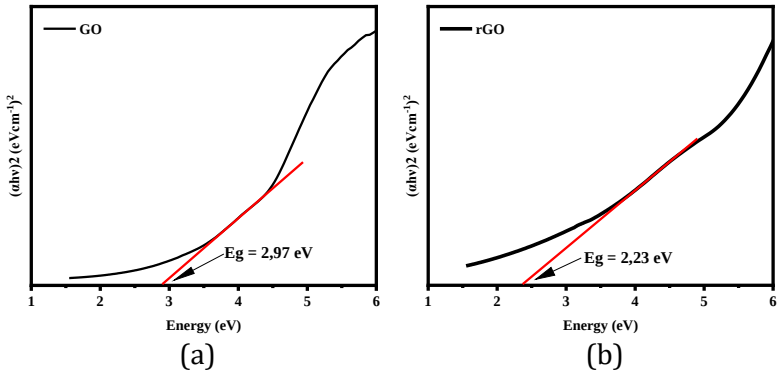
C. Karakterisasi UV-Vis (Ultra Violet-Visible Spectrometry)

Pengukuran menggunakan UV-Vis bertujuan untuk menentukan panjang gelombang dan nilai energi celah pita dari hasil sintesis. Besarnya energi celah pita merupakan parameter yang menentukan bagaimana elektron dalam bahan merespon energi yang diberikan. Hubungan antara panjang gelombang (*wavelength*) dan absorbansi ditunjukkan pada Gambar 4.3.



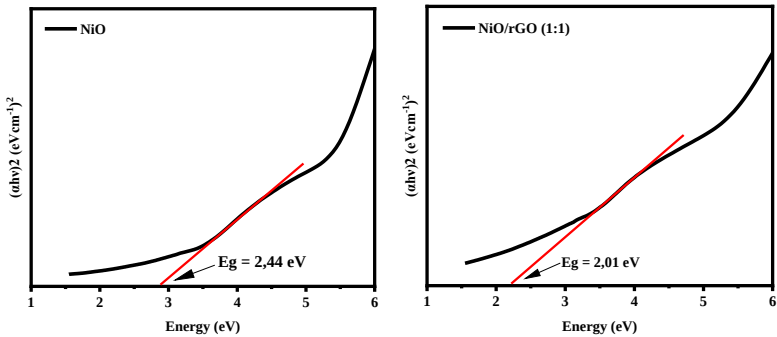
Gambar 4.3 Spektrum UV-Vis dari sampel Nanokomposit NiO/rGO

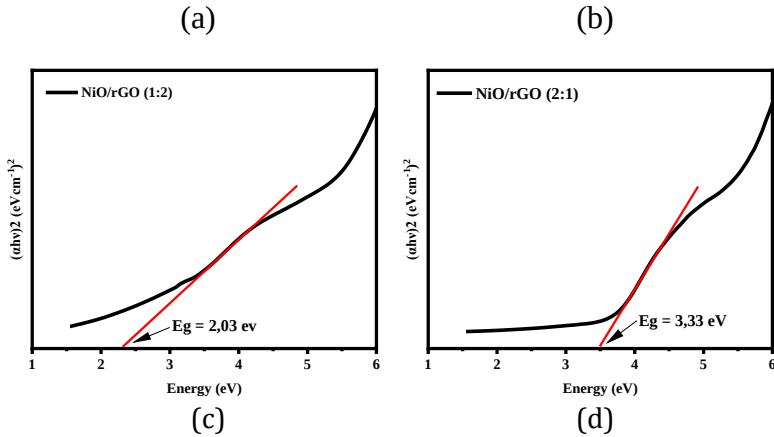
Berdasarkan Gambar 4.3 didapatkan hasil panjang gelombang material dari masing-masing sampel. Puncak serapan sampel GO (*graphene oxide*) diperoleh pada 230 nm, yang dikaitkan dengan gugus oksigen ikatan C=C dan transisi π - π^* serta sesuai dengan hasil pada penelitian-penelitian sebelumnya (Uran et al., 2017; Boukhoubza et al., 2020; N. Sharma et al., 2021; Ebrahimi Naghani et al., 2023). Setelah direduksi menjadi rGO (*reduced graphene oxide*) terjadi pergeseran puncak ke panjang gelombang yang lebih besar (*red-shift*) yaitu pada 276 nm (Fithri et al., 2023). Pergeseran tersebut menunjukkan peningkatan konsentrasi elektron dan pemulihan karbon sp^2 (Lamba et al., 2022). Pada panjang gelombang NiO (*Nickel Oxide*) terdapat puncak pada 266 nm, hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Prabhu et al., 2022). Untuk komposit NiO/rGO terlihat serapan lebar pada rentang panjang gelombang 260-300 nm yang disebabkan oleh interaksi antar nanopartikel NiO dan lembaran rGO dari serapan masing-masing komponen (Sadhukhan et al., 2020).



Gambar 4.4 Energi celah pita Sampel (a) GO dan (b) rGO

Energi celah pita Gambar 4.4 ditunjukkan untuk masing-masing sampel. Perbandingan nilai bandgap antara sampel GO (Gambar 4.4 (a)) dan rGO (Gambar 4.4 (b)) sebesar 2,97 eV ke 2,23 eV. Adanya penurunan nilai bandgap pada sampel rGO yang menunjukkan bahwa telah terjadi reduksi GO. Penurunan bandgap menyatakan pemulihan konjugasi sp^2 setelah reduksi dan berkurangnya gugus oksigen yang terkandung dalam rGO (Fithri et al., 2023).





Gambar 4.5 Energi Celah Pita dari sampel (a) NiO, (b) NiO/rGO (1:1), (c) NiO/rGO (1:2), dan (d) NiO/rGO (2:1)

Energi celah pita NiO (Gambar 4.5. (a)) memiliki nilai sebesar 2,44 eV, celah pita tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel NiO adalah bahan semikonduktor dan berpotensi sebagai bahan untuk aplikasi fotokatalisis dibawah iradiasi sinar UV (Yadeta Gemachu & Lealem Birhanu, 2024). Penurunan energi cela pita dapat disebabkan oleh cacat kimia atau kekosongan dalam struktur kristal yang menyebabkan penurunan energi celah pita (Prabhu et al., 2022). Penambahan rGO pada Komposit terbukti dapat memperkecil celah pita NiO/rGO (1:1) (Gambar 4.5 (b)) yang menunjukkan nilai energi sebesar 2,01 eV dan NiO/rGO (1:2) (Gambar 4.5 (c)) yang memiliki nilai energi sebesar 2,03 eV. Diketahui bahwa penurunan energi celah pita dapat meningkatkan

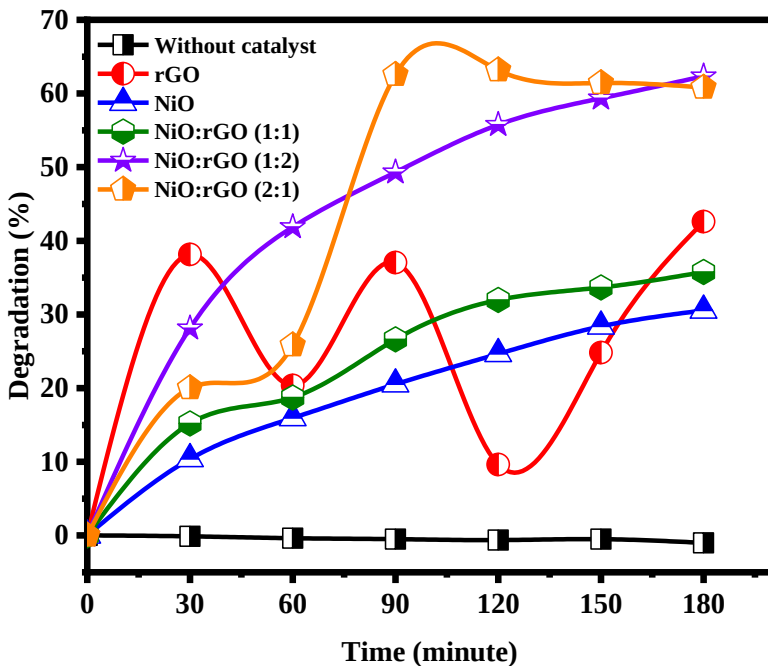
aktifitas degradasi fotokatalisisnya (Yadeta Gemachu & Lealem Birhanu, 2024). Sebaliknya, pada komposit NiO/rGO (2:1) (Gambar 4.5 (d)) terdapat peningkatan nilai celah pita (*bandgap*) menjadi 3,33 eV, hal ini bisa disebabkan oleh pengaruh aglomerasi partikel NiO yang mengakibatkan jarak antar atom berubah dan berpengaruh pada energi celah pita.

D. Uji Aktivitas Fotokatalisis Degradasi *Methyl Orange* dengan Sinar UV

Pengujian aktivitas fotokatalisis dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam mendegradasi zat warna di bawah sinar UV. Analisis bertujuan untuk mengetahui efisiensi degradasi material dalam mempercepat reaksi fotokatalisis.

1. Uji Degradasi *Methyl Orange* pada sampel Nanokomposit NiO/rGO

Pengaruh degradasi zat warna *methyl orange* menggunakan katalis rGO, NiO, NiO:rGO (1:1), NiO:rGO (1:2), dan NiO:rGO (2:1) dilakukan dibawah sinar UV, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Pengukuran dilakukan pada massa katalis 0,1 g, konsentrasi 10 ppm, dan pH 7 untuk masing-masing katalis.



Gambar 4.6 Persentase degradasi pada katalis 0,1 g dengan konsentrasi 10 ppm dan pH 7

Penurunan intensitas serapan dari waktu ke waktu diamati untuk menilai efisiensi fotokatalis, nilai persentase Gambar 4.6 ditunjukkan oleh Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Efisiensi Degradasi (%) *Methyl Orange* Sampel Nanokomposit NiO/rGO

Degradasi (%)				
rGO	NiO	NiO:rGO (1:1)	NiO:rGO (1:2)	NiO:rGO (2:1)
42,59	30,55	35,77	62,32	60,81

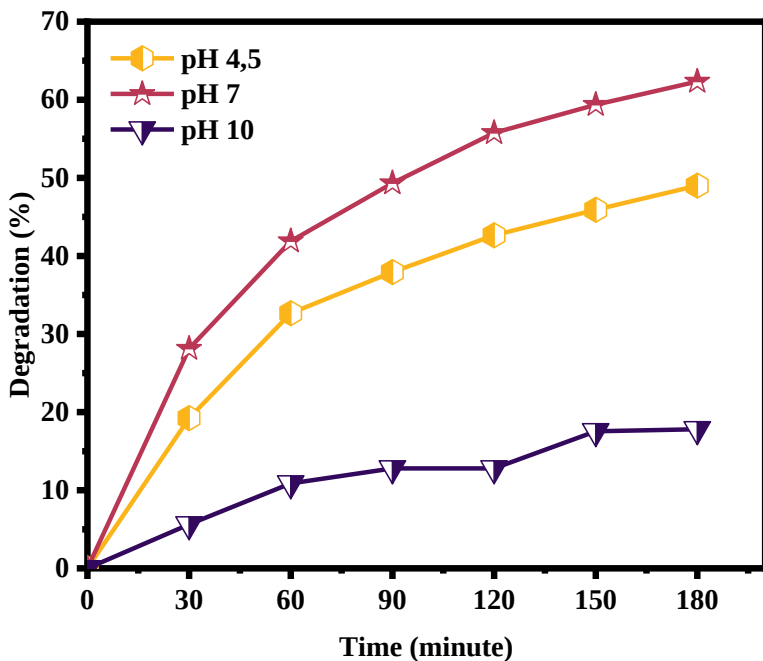
Degradasi fotokatalisis yang diamati pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nanokomposit NiO/rGO menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi dibandingkan dengan rGO dan NiO. Degradasi zat warna *methyl orange* hampir tidak terjadi jika tanpa keberadaan fotokatalis (Kumar et al., 2016). Sementara itu, efisiensi fotokatalis *methyl orange* oleh rGO mencapai 42,59% dan terjadi fluktuasi. Aktivitas fotokatalisis tersebut disebabkan oleh rekombinasi cepat antara pasangan elektron- dan *hole* (D. Singh et al., 2024). Sedangkan untuk NiO mampu mendegradasi zat warna *methyl orange* sebesar 30,55% dengan peningkatan secara konsisten. Hal ini mengonfirmasi bahwa NiO berperan sebagai fotokatalis redoks yang efektif (Al-Zaqri et al., 2022) dan aktivitas fotokatalisisnya meningkat setelah dikombinasikan dengan rGO (Kumar et al., 2016). Penggabungan NiO dan rGO membantu memisahkan muatan lebih baik dan meningkatkan kinerja fotokatalisis (D. Singh et al., 2024). Hal itu dibuktikan dengan hasil energi celah pita, dimana semakin kecil energi celah pita kemampuan fotokatalisis untuk menyerap cahaya akan meningkat. Karena lebih banyak cahaya yang

terserap akan lebih mudah elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Sementara itu, penambahan NiO yang terlalu banyak berdampak negatif terhadap proses fotodegradasi (Anh et al., 2018). Dimana terjadi penurunan degradasi nanokomposit NiO/rGO (2:1) pada menit ke-90 yang sebelumnya mengalami peningkatan yang signifikan. Hal tersebut berkaitan dengan hasil karakterisasi XRD dan energi celah pita, dimana NiO mengalami aglomerasi dan lembaran rGO tidak terdispersi merata. Kemungkinan aglomerasi pada NiO menyebabkan luas permukaan aktif menjadi sedikit sehingga degradasi menurun.

Efisiensi fotokatalisis dari nanokomposit NiO/rGO dalam degradasi zat warna methyl orange dikaitkan dengan hasil karakterisasi. Penambahan rGO ke dalam struktur NiO menyebabkan penurunan kristalinitas dan pergeseran intensitas puncak difraksi. Hal ini menyebabkan semakin kecil ukuran kristal semakin baik efisiensi fotokatalisis karena dapat menyediakan lebih banyak situs reaksi. Penurunan energi celah pita juga mengindikasikan bahwa nanokomposit dapat meningkatkan efisiensi dalam menghasilkan elektron-*hole* di bawah

penyinaran dan pembentukan spesies reaktif seperti $\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{O}_2^-$ dalam jumlah besar.

Kemudian, dilakukan variasi pH pada NiO:rGO (1:2) sebagai katalis yang mendapatkan efisiensi degradasi tertinggi. Diketahui perubahan pH dapat menggeser posisi energi pita valensi dan pita konduksi, sehingga kemungkinan memengaruhi perpindahan muatan antara permukaan fotokatalis dan zat yang didegradasi (Sadhukhan et al., 2020). Optimasi penggunaan katalis diperlukan untuk memfokuskan analisis penelitian. Pengukuran dilakukan pada massa katalis 0,1 g dan konsentrasi 10 ppm yang ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Persentase degradasi variasi pH pada komposit ratio (1:2)

Pengaruh penyerapan variasi pH dari waktu ke waktu diamati pada Gambar 4.7 dan nilai degradasi ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

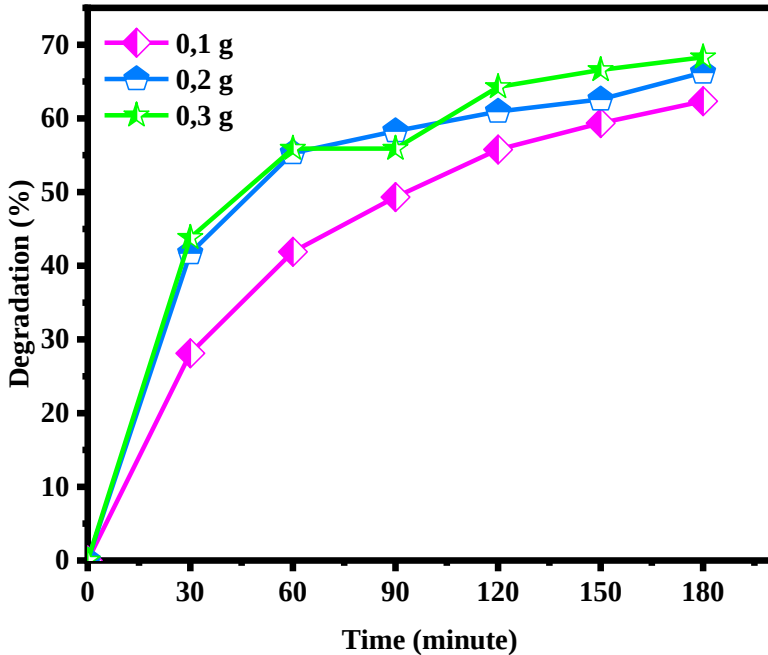
Tabel 4.5 Efek Degradasi (%) *Methyl Orange* Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2) Variasi pH

Degradasi (%)		
pH 4,5	pH 7	pH 10
49,00	62,32	17,79

Berdasarkan hasil degradasi pada Tabel 4.5 diketahui bahwa NiO menunjukkan efisiensi maksimum dalam mendegradasi *methyl orange* ketika berada di pH 7. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan NiO optimal dalam kondisi seimbang, sehingga dapat berinteraksi secara optimal. Penurunan persentase degradasi pada kondisi pH 10 dapat dikaitkan dengan adanya gaya tolak-menolak antara permukaan NiO yang bermuatan negatif dan sifat anionik *methyl orange*. Gaya tolak-menolak ini menyebabkan adsorpsi yang rendah yang akhirnya menurunkan efisiensi degradasi (Jorfi et al., 2016). Sebaliknya, pada pH 4,5 degradasi *methyl orange* kemungkinan disebabkan oleh adsorpsi yang cukup kuat dari *methyl orange* yang bermuatan positif pada permukaan NiO. Namun, efisiensi degradasi belum optimal yang disebabkan oleh terjadinya aglomerasi partikel NiO pada pH rendah (Zeeshan et al., 2024). Karena tidak ada perubahan peningkatan efisiensi degradasi yang signifikan pada pH 4,5 dan pH 10, maka pH 7 dipilih sebagai pH optimal.

Optimasi kemudian dilanjutkan pada variasi massa katalis yang ditampilkan pada Gambar 4.8. Penambahan jumlah massa katalis mempengaruhi

jumlah situs aktif di permukaan katalis sehingga mempercepat radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang berperan dalam proses degradasi zat warna *methyl orange* (Prabhu et al., 2024). Pengukuran dilakukan pada konsentrasi 10 ppm dan pH 7.



Gambar 4.8 Persentase degradasi variasi massa katalis pada komposit ratio (1:2)

Pengaruh penyerapan variasi massa dari waktu ke waktu diamati pada Gambar 4.8 dan nilai degradasi ditunjukkan oleh Tabel 4.6.

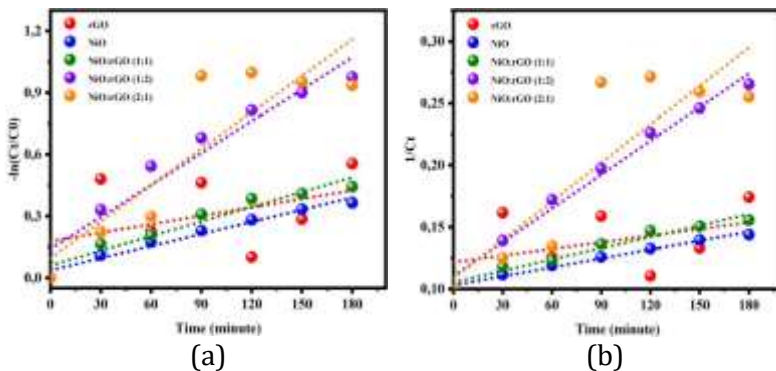
Tabel 4.6 Efek Degradasi (%) *Methyl Orange* Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2) Variasi Massa Katalis

Degradasi (%)		
0,1 g	0,2 g	0,3 g
62,32	66,22	68,29

Hasil yang diperoleh pada Tabel 4.6 disimpulkan bahwa persentase degradasi meningkat seiring dengan bertambahnya massa katalis. Hal ini disebutkan bahwa nanokatalis menyediakan lebih banyak situs penyerapan pada permukaannya ketika terpapar sinar UV untuk menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas ini memiliki peluang lebih besar untuk berinteraksi dengan zat warna *methyl orange* (Negash et al., 2023). Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa massa 0,3 g menunjukkan efek kejenuhan massa katalis, dimana laju degradasi melambat dan kenaikan efisiensi menurun, walaupun persentase degradasi meningkat. Hal tersebut juga mengurangi efisiensi fotokatalisis karena molekul zat warna yang didegradasi mulai habis dan partikel terjadi aglomerasi serta saling bertabrakan yang mengganggu penyebaran cahaya dalam larutan (Cheng et al., 2022).

2. Penentuan Orde Kinetika Reaksi Fotokatalisis *Methyl Orange* pada sampel Nanokomposit NiO/rGO

Penentuan orde kinetika reaksi dilakukan untuk mengetahui mekanisme laju degradasi *methyl orange* terhadap waktu. Masing-masing model kinetika ditampilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Orde Kinetika Reaksi untuk katalis 0,1 g pada konsentrasi 10 ppm pH 7 (a) Orde satu dan (b) Orde dua

Dihasilkan grafik kurva linier pada Gambar 4.9 untuk kinetika orde 1 dan orde 2. Pada gambar 4.9 terlihat data yang diperoleh menunjukkan garis tren grafik orde 2 (b) dengan linearitas lebih baik dibandingkan grafik orde 1 (a). Garis tren terlihat jauh lebih linier serta titik-titik mengikuti garis lurus dengan baik. Grafik orde 2 juga memperoleh nilai R^2 yang lebih mendekati 1 yang ditampilkan pada Tabel 4.7, maka disimpulkan bahwa kinetika reaksi

mengikuti orde 2. Pada nanokomposit NiO/rGO diketahui nilai laju degradasi paling baik dihasilkan oleh Nanokomposit NiO/rGO (1:2) dengan nilai $R^2 = 0,98563$ dan $k = 9 \times 10^{-4}$ menit⁻¹. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil degradasi zat warna dengan persentase yang lebih tinggi.

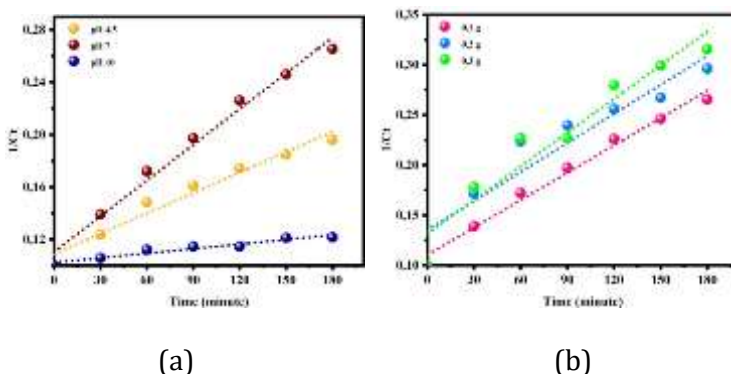
Akan tetapi, pada sampel rGO dan NiO:rGO (2:1) grafik kinetika baik orde 1 maupun orde 2 menunjukkan titik-titik data yang menyebar dan tidak mengikuti tren garis linearitas dengan baik, hal tersebut bisa terjadi karena model yang digunakan belum sesuai dan kinetika orde yang dipakai tidak cocok untuk sistem yang diamati. Hal tersebut juga dibuktikan pada hasil persentase degradasi yang tidak meningkat secara konsisten terhadap waktu, sehingga menunjukkan laju reaksi tidak mengikuti pola kinetika reaksi orde 1 maupun orde 2 secara ideal. Nilai kinetika reaksi orde 1 dan orde 2 ditampilkan pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Nilai Konstanta dan Laju Degradasi Sampel Nanokomposit NiO/rGO

Katalis	Orde 1		Orde 2	
	k (menit ⁻¹)	R ²	k (menit ⁻¹)	R ²
NiO	$1,89 \times 10^{-3}$	0,97063	$2,16 \times 10^{-4}$	0,98583
NiO:rGO (1:1)	$2,24 \times 10^{-3}$	0,93627	$2,75 \times 10^{-4}$	0,95961
NiO:rGO (1:2)	$4,48 \times 10^{-3}$	0,93464	$8,1 \times 10^{-4}$	0,98563

Hasil nilai kinetika untuk sampel rGO dan NiO/rGO (2:1) tidak dicantumkan pada Tabel 4.7. Karena meskipun dilakukan fitting terhadap orde 2, grafik menunjukkan penyimpangan dari linearitas. Oleh karena itu, nilai k dan R^2 yang diperoleh tidak dapat diinterpretasikan dalam satu garis linier.

Kemudian kinetika reaksi untuk variasi pH dan massa katalis mengikuti model kinetika orde dua.



Gambar 4.10 Orde Kinetika Reaksi Komposit (1:2) Orde Dua (a) Variasi pH dan (b) Massa Katalis

Diketahui grafik linearitas lebih baik ditunjukkan pada kondisi pH 7 dan massa 0,1 g pada Gambar 4.10 (a) dan (b) dengan nilai ($R^2 = 0,98563$) yang lebih mendekati 1 dan $k = 9 \times 10^{-4}$ menit⁻¹. Hal tersebut dibuktikan dengan variasi pH dan massa fotokatalis nanokomposit NiO/rGO (1:2) terhadap degradasi zat warna methyl orange, dimana kondisi

tersebut menghasilkan persentase degradasi yang meningkat secara konsisten. Pada Gambar 4.10 (b) terlihat bahwa massa 0,3 g menunjukkan efek kejenuhan massa katalis, dimana laju degradasi melambat dan nilai R^2 lebih kecil, walaupun persentase degradasi meningkat. Nilai model kinetika variasi pH dan massa katalis ditampilkan pada Tabel 4.8.

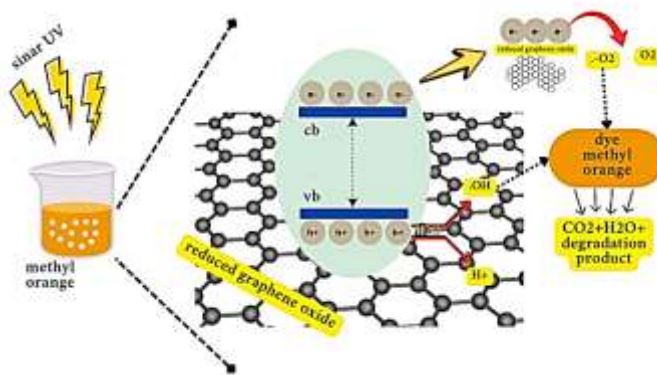
Tabel 4.8 Nilai Konstanta dan Laju Degradasi Sampel Nanokomposit NiO/rGO (1:2) pada Variasi pH dan Massa Katalis

Orde 2	Variasi pH			Variasi massa		
	pH 4,5	pH 7	pH 10	0,1 g	0,2 g	0,3 g
k	4,66 x 10 ⁻⁴	8,1 x 10 ⁻⁴	1,05 x 10 ⁻⁴	8,1 x 10 ⁻⁴	8,4 x 10 ⁻⁴	9,8 x 10 ⁻⁴
R ²	0,9667	0,98563	0,93276	0,98563	0,89058	0,92732

Kesesuaian terhadap kinetika orde 2 ini mengindikasikan bahwa proses degradasi tidak hanya bergantung pada konsentrasi zat warna, tetapi juga dipengaruhi oleh jumlah situs aktif dan kondisi ionisasi permukaan katalis yang optimal pada kondisi tertentu (Pete et al., 2023).

3. Mekanisme Reaksi Fotokatalisis pada Degradasi Zat Warna *Methyl Orange*

Mekanisme degradasi zat warna *methyl orange* dengan nanokomposit NiO/rGO di bawah sinar UV digambarkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Skema Reaksi Degradasi *Methyl Orange* dengan Nanokomposit NiO/rGO

Ketika larutan zat warna dan fotokatalis NiO/rGO disinari cahaya UV pada panjang gelombang eksitasi, elektron (e^-) dari pita valensi (VB) NiO tereksitasi ke pita konduksi (CB). Elektron yang tereksitasi ini kemudian berinteraksi dengan molekul O_2 yang teradsorpsi di permukaan katalis, membentuk radikal superoksida ($\bullet O_2^-$). Sementara itu, hole (h^+) yang tertinggal di pita valensi NiO bereaksi dengan ion OH^- yang berasal dari larutan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$). Radikal-radikal tersebut ($\bullet O_2^-$ dan $\bullet OH$) berperan sebagai agen pengoksidasi yang aktif menyerang molekul zat warna *methyl orange*, hingga akhirnya terdegradasi menjadi CO_2 , H_2O , dan molekul-molekul kecil

lainnya. Pada NiO murni, waktu hidup pasangan e^- dan h^+ relatif singkat karena proses rekombinasi yang cepat, sehingga menghambat efisiensi degradasi secara keseluruhan.

Dengan menggabungkan lembaran rGO ke dalam NiO, proses rekombinasi pasangan elektron-hole (e^-/h^+) dapat diperlambat, sehingga meningkatkan efisiensi fotodegradasi zat warna oleh nanokomposit NiO/rGO (Sadhukhan et al., 2020). Dalam sistem nanokomposit ini, lembaran rGO berperan sebagai akseptor dan penghantar elektron berkat adanya kontak antarmuka yang baik antara rGO dan nanopartikel NiO. Akibatnya, elektron dari pita konduksi NiO dapat dengan mudah ditransfer ke lembaran rGO, yang berkontribusi dalam memperlambat proses rekombinasi pasangan e^- dan h^+ . Penundaan waktu rekombinasi yang efektif ini menghasilkan peningkatan densitas pembawa muatan bebas di dalam larutan zat warna yang mengandung nanokomposit NiO/rGO. Muatan tambahan tersebut kemudian bereaksi lebih lanjut dengan O_2 dan OH^- yang terdapat dalam larutan, membentuk radikal $\bullet O_2^-$ dan $\bullet OH$. Radikal-radikal ini secara aktif berinteraksi dengan molekul zat warna

methyl orange, sehingga menghasilkan degradasi yang lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan NiO murni (Kumar et al., 2016).

BAB V

PENUTUP

A. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai sintesis nanokomposit NiO/rGO ekstrak daun *Coleus scutellarioides* (L.) Benth untuk degradasi limbah *methyl orange*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil karakterisasi FTIR nanokomposit NiO/rGO mengidentifikasi gugus fungsi utama yang berperan dalam pembentukan nanokomposit NiO/rGO dengan adanya pergeseran puncak vibrasi. Pergeseran puncak menunjukkan bahwa gugus fungsi dari rGO dan ekstrak daun miana berinteraksi secara kimia dengan permukaan NiO pada nanokomposit.
2. Hasil karakterisasi XRD nanokomposit NiO/rGO menunjukkan pola kristal fase kubik. Pergeseran puncak difraksi menunjukkan adanya *strain* tarik akibat masuknya rGO ke dalam struktur nanokomposit.
3. Hasil Spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa nanokomposit NiO/rGO mengalami penurunan nilai celah pita dibandingkan NiO murni. Nilai celah pita yang lebih rendah mengindikasikan peningkatan

kemampuan dalam penyerapan sinar UV untuk efisiensi aplikasi fotokatalisis.

4. Hasil uji aktivitas fotokatalisis terhadap degradasi zat warna methyl orange membuktikan bahwa nanokomposit NiO/rGO memiliki efisiensi degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan NiO murni. Efektivitas degradasi meningkat seiring bertambahnya massa katalis karena tersedianya lebih banyak situs aktif sampai mencapai kondisi jenuh, dimana efisiensi menurun akibat aglomerasi atau hamburan cahaya.

B. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan beberapa hal berikut:

1. Dilakukan karakterisasi tambahan seperti SEM/TEM untuk mengetahui morfologi dan dispersi partikel serta analisis fotoluminesensi (PL) untuk mengevaluasi efisiensi pemisahan pasangan elektron-*hole*.
2. Dilakukan optimasi suhu, waktu kontak dan konsentrasi zat warna pada nanokomposit NiO/rGO untuk mendapatkan aktivitas fotokatalisis yang maksimal.

3. Dilakukan pengujian terhadap zat warna lain untuk menguji konsistensi aktivitas fotokatalisis dan memperluas generalisasi model kinetika yang diperoleh.
4. Dilakukan pengujian berulang (*reusability*) setelah beberapa kali digunakan untuk menilai aplikasi jangka panjang dari nanokomposit NiO/rGO yang disintesis secara ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Hussain, T., Faisal, S., Rizwan, M., Saira, Zaman, N., Iqbal, M., Iqbal, A., & Ali, Z. (2022). Green synthesis and characterization of copper and nickel hybrid nanomaterials: Investigation of their biological and photocatalytic potential for the removal of organic crystal violet dye. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26(4), 101486.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101486>
- Abdullah, I., Suryani, R. A., Ristiana, D. D., Maristya, A. H., Krisnandi, Y. K., & Handayani, M. (2023). Nanosilver-decorated reduced graphene oxide for catalytic carboxylation of phenylacetylene with CO₂. *Materials Chemistry and Physics*, 314(October 2023), 128852.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128852>
- Adawiah, A., Hanif, M. R., Setiawan, C., Alfatan, A., & Apriliani, R. (2021). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Teknik Fotokatalisis Dengan TiO₂. *Unistek*, 8(2), 120–126.
<https://doi.org/10.33592/unistek.v8i2.1190>
- Agustina, R. (2021). *Kekayaan Alam Bumi Borneo dan Khasiatnya sebagai Obat* (T. Q. Media (ed.); Cetakan Pe).

IKAPI.

- Ahmad, W., & Kaur, N. (2023). Microwave-assisted single step green synthesis of NiO nanoparticles using *Coleus scutellarioides* leaf extract for the photocatalytic degradation of rifloxacin. *MRS Advances*, 8(15), 835–842. <https://doi.org/10.1557/s43580-023-00618-x>
- Akbari, A., Sabouri, Z., Hosseini, H. A., Hashemzadeh, A., Khatami, M., & Darroudi, M. (2020). Effect of nickel oxide nanoparticles as a photocatalyst in dyes degradation and evaluation of effective parameters in their removal from aqueous environments. *Inorganic Chemistry Communications*, 115, 107867. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.107867>
- Akmese, B. (2025). Removal of Brilliant Blue R and Victoria Blue R dyes from textile wastewater by adsorption method using pomegranate peel. *BMC Chemistry*, 19(1), 99. <https://doi.org/10.1186/s13065-025-01476-4>
- Al-mafarjy, S. S., Suardi, N., Ahmed, N. M., Kernain, D., Hisham, H., & Ali, M. (2024). Green synthesis of gold nanoparticles from *Coleus scutellarioides* (L .) Benth leaves and assessment of anticancer and antioxidant properties. *Inorganic Chemistry Communications*, 161(January), 112052.

<https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112052>

Al-Naim, A. F., Sedky, A., Afify, N., & Ibrahim, S. S. (2021). Structural, FTIR spectra and optical properties of pure and co-doped $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Fe}_x\text{M}_y\text{O}$ ceramics with ($\text{M} = \text{Cu}, \text{Ni}$) for plastic deformation and optoelectronic applications. *Applied Physics A*, 127(11), 840.

<https://doi.org/10.1007/s00339-021-04915-w>

Al-Zaqri, N., Umamakeshvari, K., Mohana, V., Muthuvel, A., & Boshala, A. (2022). Green synthesis of nickel oxide nanoparticles and its photocatalytic degradation and antibacterial activity. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(15), 11864–11880.

<https://doi.org/10.1007/s10854-022-08149-1>

Al Miad, A., Saikat, S. P., Alam, M. K., Sahadat Hossain, M., Bahadur, N. M., & Ahmed, S. (2024). Metal oxide-based photocatalysts for the efficient degradation of organic pollutants for a sustainable environment: a review. *Nanoscale Advances*, 6(19), 4781–4803.

<https://doi.org/10.1039/D4NA00517A>

Alphonse, R., & Thanaraj, C. (2019). Cuminum Cyminum Extract Mediated Green Synthesis and Characterization of Nickel Oxide Nanoparticles. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(1), 712–716. www.ijrar.org

- Ameh, E. S. (2019). A review of basic crystallography and x-ray diffraction applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(7), 3289–3302. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04508-1>
- Anggita, S. R., Kusuma, H. H., Sumarti, H., & Teke, S. (2023). Effect of Molarity on Double Layer Photocatalytic Activity ZnO/ZnO:Ag for Metanil Yellow Degradation. *Physics Education Research Journal*, 5(1), 7–12. <https://doi.org/10.21580/perj.2023.5.1.13301>
- Anggita, S. R., & Setiawan, H. (2021). *Fotokatalisis ZnO:Ag dan Aplikasinya* (M. N. Zaki (ed.); Cetakan Pe). CV ALINEA MEDIA DIPANTARA.
- Anh, N. P., Kim Chi, H. T., Tri, N., & Kim Dung, H. T. (2018). Photoactivity of Reducing Graphene Oxide and Titanium Dioxide Composite for Cinnamic Acid Degradation. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 59(7), 1117–1123. <https://doi.org/10.2320/matertrans.MD201721>
- Barzinjy, A. A., Hamad, S. M., Aydın, S., Ahmed, M. H., & Hussain, F. H. S. (2020). Green and eco-friendly synthesis of Nickel oxide nanoparticles and its photocatalytic activity for methyl orange degradation. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(14), 11303–11316. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-03679-y>

- Berhe, M. G., & Gebreslassie, Y. T. (2023). Biomedical Applications of Biosynthesized Nickel Oxide Nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 18(null), 4229–4251.
<https://doi.org/10.2147/IJN.S410668>
- Bhat, S. A., Zafar, F., Mondal, A. H., Kareem, A., Mirza, A. U., Khan, S., Mohammad, A., Haq, Q. M. R., & Nishat, N. (2020). Photocatalytic degradation of carcinogenic Congo red dye in aqueous solution, antioxidant activity and bactericidal effect of NiO nanoparticles. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 17(1), 215–227.
<https://doi.org/10.1007/s13738-019-01767-3>
- Bhati, M. (2023). Biogenic synthesis of metallic nanoparticles: Principles and applications. *Materials Today: Proceedings*, 81, 882–887.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.272>
- Boukhoubza, I., Khenfouch, M., Achehboune, M., Leontie, L., Galca, A. C., Enculescu, M., Carlescu, A., Guerboub, M., Mothudi, B. M., Jorio, A., & Zorkani, I. (2020). Graphene Oxide Concentration Effect on the Optoelectronic Properties of ZnO/GO Nanocomposites. In *Nanomaterials* (Vol. 10, Issue 8).
<https://doi.org/10.3390/nano10081532>

- Cheng, Y., Cao, T., Xiao, Z., Zhu, H., & Yu, M. (2022). Photocatalytic Treatment of Methyl Orange Dye Wastewater by Porous Floating Ceramsite Loaded with Cuprous Oxide. In *Coatings* (Vol. 12, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/coatings12020286>
- Chirra, S., & Venkatathri, N. (2020). *Development of the selected multi-valent metal ions functionalized mesoporous materials and studies on their applications*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32129.79201>
- Dadkhah, M., & Tulliani, J. M. (2022). Green Synthesis of Metal Oxides Semiconductors for Gas Sensing Applications. *Sensors*, 22(13). <https://doi.org/10.3390/s22134669>
- Dakhil, R., Gaaz, T., Al-Amiery, A., Takriff, M., & Kadhum, A. (2019). Synthesis and characterization of erbium trioxide nanoparticles as photocatalyzers for degradation of methyl orange dye. *Drinking Water Engineering and Science*, 12, 15–21. <https://doi.org/10.5194/dwes-12-15-2019>
- Daniyati, R., Zharvan, V., Ichsan, N., Hadi Pramono, Y., & Yudoyono, G. (2015). Penentuan Energi Celah Pita Optik Film TiO₂ Menggunakan Metode Tauc Plot. *Prosiding Seminar Sains Dan Teknologi*, 1–5.
- Darwish, A. A. A., Rashad, M., & AL-Aoh, H. A. (2019). Methyl orange adsorption comparison on nanoparticles:

- Isotherm, kinetics, and thermodynamic studies. *Dyes and Pigments*, 160, 563–571.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.08.045>
- De Caro, C., & Claudia, H. (2015). *UV/VIS Spectrophotometry - Fundamentals and Applications*.
- Dhanabal, R., & Priya, P. G. (2025). Optimization and photocatalytic degradation of crystal violet dye using Sr-ZnO/activated carbon nanoneedles. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 192, 109481.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mssp.2025.109481>
- Díaz, C., Segovia, M., & Valenzuela, M. L. (2022). Solid State Nanostructured Metal Oxides as Photocatalysts and Their Application in Pollutant Degradation: A Review. In *Photochem* (Vol. 2, Issue 3, pp. 609–627).
<https://doi.org/10.3390/photochem2030041>
- Dihom, H. R., Al-Shaibani, M. M., Radin Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, A. A., Sharma, A., & Khamidun, M. H. Bin. (2022). Photocatalytic degradation of disperse azo dyes in textile wastewater using green zinc oxide nanoparticles synthesized in plant extract: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102705.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.10>

2705

- Doumeng, M., Makhoulf, L., Berthet, F., Marsan, O., Delbé, K., Denape, J., & Chabert, F. (2021). A comparative study of the crystallinity of polyetheretherketone by using density, DSC, XRD, and Raman spectroscopy techniques. *Polymer Testing*, 93, 106878. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106878>
- Ebrahimi Naghani, M., Neghabi, M., Zadsar, M., & Abbastabar Ahangar, H. (2023). Synthesis and characterization of linear/nonlinear optical properties of graphene oxide and reduced graphene oxide-based zinc oxide nanocomposite. *Scientific Reports*, 13(1), 1496. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28307-7>
- Espenson, J. H. (1981). *Chemical Kinetic and Reaction Mechanism*. McGraw-Hill.
- Fagier, M. A. (2021). Plant-Mediated Biosynthesis and Photocatalysis Activities of Zinc Oxide Nanoparticles: A Prospect towards Dyes Mineralization. *Journal of Nanotechnology*, 2021(1), 6629180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/6629180>
- Farhan Hanafi, M., & Sapawe, N. (2020). A review on the water problem associate with organic pollutants derived from

- phenol, methyl orange, and remazol brilliant blue dyes. *Materials Today: Proceedings*, 31, A141–A150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.258>
- Farrukh, M. A. (2012). Advanced aspects of spectroscopy / monograph. In *TA - TT* -. InTech. <https://doi.org/LK - https://worldcat.org/title/908273034>
- Fatimah, I., Widya Citradewi, P., Purwiandono, G., Hidayat, H., & Sagadevan, S. (2023). Nickel oxide decorated reduced graphene oxide synthesized using single bioreductor of *Pometia pinnata* leaves extract as photocatalyst in tetracycline photooxidation and antibacterial agent. *Inorganic Chemistry Communications*, 148, 110287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.110287>
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. (2021). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2, 65–76. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37647>
- Fauzan Faturachman, G., Ramanda, A., Maharani, S., Latif, L., Belo, G., & Ayubi, S. (2025). Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Quantitative Analysis of Pharmaceutical Compounds. *Indonesian*

Journal of Pharmaceutical Education, 5, 27–33.

<https://doi.org/10.37311/ijpe.v5i1.23309>

Fithri, H. L., FITRILAWATI, F., & Syakir, N. (2023). Studi Reduksi Graphene Oxide Secara Kimia Dengan Menggunakan Ascorbic Acid Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 12(02), 57. <https://doi.org/10.24198/jme.v12i02.45078>

Fitriana, F. U. (2020). *Pengolahan Air dengan Fotokatalisis Menggunakan Katalis Titanium Oksida (TiO₂) dan Parameter Operasi yang Mempengaruhinya*. 1–13.

Gaur, J., Vikrant, K., Kim, K.-H., Kumar, S., Pal, M., Badru, R., Masand, S., & Momoh, J. (2023). Photocatalytic degradation of Congo red dye using zinc oxide nanoparticles prepared using Carica papaya leaf extract. *Materials Today Sustainability*, 22, 100339. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100339>

Gómez-Mancebo, M. B., Fernández-Martínez, R., Ruiz-Perona, A., Rubio, V., Bastante, P., García-Pérez, F., Borlaf, F., Sánchez, M., Hamada, A., Velasco, A., Ryu, Y. K., Calle, F., Bonales, L. J., Quejido, A. J., Martínez, J., & Rucandio, I. (2023). Comparison of Thermal and Laser-Reduced Graphene Oxide Production for Energy Storage Applications. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 13(8).

- <https://doi.org/10.3390/nano13081391>
- Griffiths, P. R. (1983). Fourier transform infrared spectrometry. In *Science* (Vol. 222, Issue 4621). <https://doi.org/10.1126/science.6623077>
- Gul, W., & Alrobei, H. (2021). Effect of Graphene Oxide Nanoparticles on the Physical and Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard. *Polymers*, 13, 1818. <https://doi.org/10.3390/polym13111818>
- Guo, Y., Liu, C., Ye, R., & Duan, Q. (2020). Advances on Water Quality Detection by UV-Vis Spectroscopy. In *Applied Sciences* (Vol. 10, Issue 19). <https://doi.org/10.3390/app10196874>
- Hanafi, M. F., & Sapawe, N. (2020a). Influence of pH on the photocatalytic degradation of methyl orange using nickel catalyst. *Materials Today: Proceedings*, 31, 339–341. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.094>
- Hanafi, M. F., & Sapawe, N. (2020b). Performance of nickel catalyst toward photocatalytic degradation of methyl orange. *Materials Today: Proceedings*, 31, 257–259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.745>
- Harmanto, N. (2007). *Jus Herbal: Sehat dan Menyegarkan* (Cetakan Pe). PT Elex Media Komputindo.

- Hassan, T., Salam, A., Khan, A., Khan, S. U., Khanzada, H., Wasim, M., Khan, M. Q., & Kim, I. S. (2021). Functional nanocomposites and their potential applications: A review. *Journal of Polymer Research*, 28(2), 36.
- Hermadianti, S. A., Handayani, M., Anggoro, M. A., Ristiana, D. D., Anshori, I., Esmawan, A., Rahmayanti, Y. D., Suhandi, A., Timuda, G. E., Sunnardianto, G. K., Widagdo, B. W., & Ermawati, F. U. (2024). Flower like-novel nanocomposite of Mg(Ti_{0.99}Sn_{0.01})O₃ decorated on reduced graphene oxide (rGO) with high capacitive behavior as supercapacitor electrodes. *Nanotechnology*, 35(25).
<https://doi.org/10.1088/1361-6528/ad2480>
- Hernandha, O. (2023). *Karakterisasi Material (Bagian 1)*. #KotakAjaib Articles, General Discussion, Materials Corner.
<https://hernandha.id/2023/07/07/karakterisasi-material-bagian-satu/>
- Imran Din, M., & Rani, A. (2016). Recent Advances in the Synthesis and Stabilization of Nickel and Nickel Oxide Nanoparticles: A Green Adeptness. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2016(1), 3512145.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2016/3512145>
- 5
- Iwuozor, K. O., Ighalo, J. O., Emenike, E. C., Ogunfowora, L. A., &

- Igwegbe, C. A. (2021). Adsorption of methyl orange: A review on adsorbent performance. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(July), 100179. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100179>
- Jereil, S. D., S M, S., K, S., Arumugam, G., Annamalai, P., Dhanalakshmi, R., T. V. M. , S., & Alarifi, A. (2025). Effect of Cu-ZnO nanoparticles on the photocatalytic degradation of reactive red 120. *Surfaces and Interfaces*, 56, 105579. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.105579>
- Jorfi, S., Barzegar, G., Ahmadi, M., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., alah Jafarzadeh Haghighifard, N., Takdastan, A., Saeedi, R., & Abtahi, M. (2016). Enhanced coagulation-photocatalytic treatment of Acid red 73 dye and real textile wastewater using UVA/synthesized MgO nanoparticles. *Journal of Environmental Management*, 177, 111–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.005>
- Joseph, A., & Vijayanandan, A. (2021). Photocatalysts synthesized via plant mediated extracts for degradation of organic compounds: A review of formation mechanisms and application in wastewater treatment.

- Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22, 100453.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100453>
- Julita, M., Shiddiq, M., & Khair, M. (2023). Penentuan Energi Celah Pita (Band Gap) Nanopartikel ZnO/Au Hasil Ablasi Laser dalam Cairan. *Periodic*, 12(2), 71.
<https://doi.org/10.24036/periodic.v12i2.118243>
- Kacem, K., Ameer, S., Casanova-Chafer, J., Nsib, M., & Llobet, E. (2022). Bio-reduction of graphene oxide using pomegranate peels for NO₂ sensing and photocatalysis applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-08501-5>
- Kementerian Agama RI. (2011). Al-Qur'an dan Tafsirnya Jilid III. In *Al Qur'an dan Tafsirnya*.
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization BT - Handbook of Materials Characterization* (S. K. Sharma (ed.); pp. 317–344). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G. D., Romanholo Ferreira, L.

- F., Hussain, C. M., Mulla, S. I., & Bharagava, R. N. (2021). Degradation mechanism and toxicity reduction of methyl orange dye by a newly isolated bacterium *Pseudomonas aeruginosa* MZ520730. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102300. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102300>
- Kumar, S., Ojha, A. K., & Walkenfort, B. (2016). Cadmium oxide nanoparticles grown in situ on reduced graphene oxide for enhanced photocatalytic degradation of methylene blue dye under ultraviolet irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 159, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.03.025>
- Lamba, P., Singh, P., Singh, P., Kumar, A., Singh, P., Bharti, Kumar, Y., & Gupta, M. (2022). Materials Today: Proceedings Simple and rapid eco-friendly synthesis of NiO / RGO nanocomposites using guava leaf extract and their physicochemical characterization. *Materials Today: Proceedings*, 68, 2705–2714. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.241>
- Lee, K. M., Lai, C. W., Ngai, K. S., & Juan, J. C. (2016). Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review. *Water Research*, 88, 428–448.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.045>

- Liu, Z., Navik, R., Tan, H., Xiang, Q., Wahyudiono, Goto, M., Ibarra, R. M., & Zhao, Y. (2022). Graphene-based materials prepared by supercritical fluid technology and its application in energy storage. *The Journal of Supercritical Fluids*, 188, 105672. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105672>
- Mahmoud, A. E. D., El-Maghrabi, N., Hosny, M., & Fawzy, M. (2022). Biogenic synthesis of reduced graphene oxide from *Ziziphus spina-christi* (Christ's thorn jujube) extracts for catalytic, antimicrobial, and antioxidant potentialities. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(59), 89772–89787. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21871-x>
- Marusin, S., Saefudin, S., & Chairul, C. (2013). Potensi Sifat Antioksidan Pada 10 Jenis Ekstrak Dari Famili Rubiaceae. *Indonesian Journal of Biology*, 9(1).
- Mohammed, A. M. (2018). UV-Visible Spectrophotometric Method and Validation of Organic Compounds. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 3(3 SE-Articles), 8–11. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2018.3.3.622>

- Mondal, A., Prabhakaran, A., Gupta, S., & Subramanian, V. R. (2021). Boosting Photocatalytic Activity Using Reduced Graphene Oxide (RGO)/Semiconductor Nanocomposites: Issues and Future Scope. *ACS Omega*, 6(13), 8734–8743. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06045>
- Muadifah, A. (2019). *Pengendalian Pencemaran Lingkungan* (I. L. Tarigan (ed.); Cetakan I). Media Nusa Creative.
- Negara, C. W. K. (2020). Pengaruh Jumlah Variasi Fiber Glass Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Ampas Kopi. ., 1(6), 662–671.
- Negash, A., Mohammed, S., Weldekirstos, H. D., Ambaye, A. D., & Gashu, M. (2023). Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue dye using eco-friendly synthesized rGO@ZnO nanocomposites. *Scientific Reports*, 13(1), 22234. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48826-7>
- Ningsih, D. A. (2017). Coating sodium carbonate pada anoda reduced graphene oxide (RGO) untuk baterai lithium-ion. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 6(3).
- Obodo, R. M., Ahmad, I., & Ezema, F. I. (2019). *Introductory Chapter: Graphene and Its Applications* (I. Ahmad & F. I. Ezema (eds.); p. Ch. 1). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86023>
- Pandhare, A. (2023). *Green Synthesis of NiO Nanoparticles*

from Parthenium hysterophorus Plant. August, 11–18.

- Pete, K. Y., Kabuba, J., Otieno, B., & Ochieng, A. (2023). Modeling adsorption and photocatalytic treatment of recalcitrant contaminant on multi-walled carbon/TiO₂ nanocomposite. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(41), 94154–94165. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28852-8>
- Petit, T., & Puskar, L. (2018). FTIR spectroscopy of nanodiamonds: Methods and interpretation. *Diamond and Related Materials*, 89, 52–66. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.08.005)
- Prabhu, A., Lamani, A. R., Ravitheja, G., Nurendra, K. L., Jayanna, H. S., Shastrimath, V. V. D., Shetty, S. J., Nanditha, T. K., & Gurumurthy, S. C. (2024). Enhanced photocatalytic efficiency of rGO/NiO nanostructures synthesized using aegle bilimbi green extract. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 35(35), 2232. <https://doi.org/10.1007/s10854-024-13895-5>
- Prabhu, Daniel Thangadurai, T., Vijai Bharathy, P., & Kalugasalam, P. (2022). Synthesis and characterization of nickel oxide nanoparticles using Clitoria ternatea flower extract: Photocatalytic dye degradation under sunlight and antibacterial activity applications. *Results in*

- Chemistry*, 4, 100285.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100285>
- Puspitarum, D. L., Istiqomah, N. I., Larasati, D. A., Asri, N. S., Angel, J., Kusumaatmaja, A., & Suharyadi, E. (2025). Novel magnetically recoverable MnFe₂O₄/TiO₂ nanocomposites synthesized using green route for photocatalytic degradation of methylene blue. *Water Cycle*, 6, 49–60.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2024.11.001>
- Rahmanto, M. H., & Palupi, A. E. (2019). Analisa Kekuatan Tarik dan Impak Komposit Berpenguat Serat Kelapa dan Tebu Dengan Perendman NaOH dan Menggunakan Resin Polyester. *JTM*, 07(03), 31–40.
- Ravichandran, S., Sengodan, P., & Radhakrishnan, J. (2023). Evaluation of biosynthesized nickel oxide nanoparticles from *Clerodendrum phlomidis*: A promising photocatalyst for methylene blue and acid blue dyes degradation. *Ceramics International*, 49(8), 12408–12414. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.12.100>
- Ray, S. C. (2015). Applications of Graphene and Graphene-Oxide based Nanomaterials. *Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials*, 1–84.

- Rizqi Maulana, M. A., Aisyaturridha, Salmah Cholilah, Dwi Arista, F., & Bagus Nur Listiyono. (2023). Nickel Oxide (NiO) Thin Film Synthesis via Electrodeposition for Methylene Blue Photodegradation. *Chemistry and Materials*, 2(3), 61–66.
<https://doi.org/10.56425/cma.v2i3.62>
- Rochman, R., Wahyuningsih, S., Ramelan, A., & Hanif, Q. (2019). Preparation of nitrogen and sulphur Co-doped reduced graphene oxide (rGO-NS) using N and S heteroatom of thiourea. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509, 12119.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012119>
- Roy, S. D., Nath, S., Sengupta, T., Roy, A., Das, K. C., Nath, A., & Dhar, S. S. (2025). Green synthesis of Ag-MnO nanocomposite from leaves of Hibiscus rosa-sinensis for efficient dye degradation and antifungal applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(10), 5924–5935. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36082-3>
- Sadhukhan, S., Bhattacharyya, A., Rana, D., Ghosh, T. K., Orasugh, J. T., Khatua, S., Acharya, K., & Chattopadhyay, D. (2020). Synthesis of RGO/NiO nanocomposites adopting a green approach and its photocatalytic and antibacterial properties. *Materials Chemistry and Physics*,

- 247(December 2019), 122906.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122906>
- Sadhukhan, S., Ghosh, T. K., Rana, D., Roy, I., Bhattacharyya, A., Sarkar, G., Chakraborty, M., & Chattopadhyay, D. (2016). Studies on synthesis of reduced graphene oxide (RGO) via green route and its electrical property. *Materials Research Bulletin*, 79, 41–51.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.02.039>
- Safitri, R. F., & Kusumawati, D. H. (2020). Aplikasi Bahan Komposit Berbasis Reduced Graphene Oxide (rGO). *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 93–104.
- Saleh, A., Amhadin, F. A., & Novianty, I. (2022). Synthesis of Reduced Graphene Oxide and Zinc Oxide Composite From Candlenut Shell Charcoal (*Aleuritas moluccana*). *Elkawnie*, 8(1), 1.
<https://doi.org/10.22373/ekw.v8i1.9405>
- Salsabila, S. (2021). Analisis Hadis Pelestarian Lingkungan Hidup. *El-Sunnah: Jurnal Kajian Hadis Dan Integrasi Ilmu*, 1(2), 176–186.
<https://doi.org/10.19109/elsunnah.v1i2.8899>
- Saravanan, R., Gracia, F., & Stephen, A. (2017). Basic principles, mechanism, and challenges of photocatalysis. *Nanocomposites for Visible Light-Induced Photocatalysis*,

19–40.

Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (I, Vol. 1). UPI Press.

Shamaila, S., Sajjad, A. K. L., Ryma, N. ul A., Farooqi, S. A., Jabeen, N., Majeed, S., & Farooq, I. (2016). Advancements in nanoparticle fabrication by hazard free eco-friendly green routes. *Applied Materials Today*, 5, 150–199. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2016.09.009>

Sharma, N. K., Vishwakarma, J., Rai, S., Alomar, T. S., AlMasoud, N., & Bhattarai, A. (2022). Green Route Synthesis and Characterization Techniques of Silver Nanoparticles and Their Biological Adeptness. *ACS Omega*, 7(31), 27004–27020. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01400>

Sharma, N., Tomar, S., Shkir, M., Kant Choubey, R., & Singh, A. (2021). Study of Optical and Electrical Properties of Graphene Oxide. *Materials Today: Proceedings*, 36, 730–735. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.861>

Singh, D., Batooo, K. M., Husain, S., Kumar, A., Aziz, Q. H., Sheri, F. S., Tariq, H., & Singh, P. (2024). Enhancement of the photocatalytic activity of rGO/NiO/Ag nanocomposite for degradation of methylene blue dye. *RSC Advances*,

- 14(4), 2429–2438. <https://doi.org/10.1039/d3ra07000j>
- Singh, R., Singh, P., & Singh, K. (2020). *Introduction to Composite Materials: Nanocomposites and their Potential Applications* (pp. 1–28). <https://doi.org/10.1201/9781003080633-1>
- Stefanov, B. (2015). *Photocatalytic TiO₂ thin films for air cleaning: Effect of facet orientation, chemical functionalization, and reaction conditions*. *Acta Universitatis Upsaliensis*.
- Syahrul, R., & Setiawan, S. (2023). *Dampak Kualitas Air Minum Terhadap Kesehatan Manusia: Resiko dan Pencegahan*.
- Tarcan, R., Todor-Boer, O., Petrovai, I., Leordean, C., Astilean, S., & Botiz, I. (2020). Reduced graphene oxide today. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(4), 1198–1224.
- Tjahjanti, P. H. (2018). *Teori dan Aplikasi Material Komposit dan Polimer* (S. B. Sartika & M. T. Multazam (eds.); Cetakan pe). UMSIDA Press.
- Tosepu, R. (2024). *Pencemaran Lingkungan* (A. M. Kandari (ed.); I). EUREKA MEDIA AKSARA.
- Țucureanu, V., Matei, A., & Avram, A. M. (2016). FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(6), 502–520. <https://doi.org/10.1080/10408347.2016.1157013>
- Umarudin, S., & Hyssopus, P. (2019). Identifikasi Dan Analisa

- Senyawa Kimia Ekstrak Daun Miana (*Coleus blumei*). *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(4), 24–27.
- Uran, S., Alhani, A., & Silva, C. (2017). Study of ultraviolet-visible light absorbance of exfoliated graphite forms. *AIP Advances*, 7(3), 35323. <https://doi.org/10.1063/1.4979607>
- Vivek, P., Sivakumar, R., Selva Esakki, E., & Deivanayaki, S. (2023). Fabrication of NiO/RGO nanocomposite for enhancing photocatalytic performance through degradation of RhB. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 176(January), 111255. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2023.111255>
- Vourlias, G. (2020). Application of X-rays Diffraction for Identifying Thin Oxide Surface Layers on Zinc Coatings. In *Coatings* (Vol. 10, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/coatings10101005>
- Wakhidah, A. Z., & Silalahi, M. (2018). Etnofarmakologi Tumbuhan Miana (*Coleus scutellarioides* (L.) Benth) pada Masyarakat Halmahera Barat, Maluku Utara. *Jurnal Pro-Life*, 5(2), 567–578.
- Widodo, E., & Iswanto. (2022). *Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit* (M. T. Multazam & M. D. K. Wardana (eds.); cetakan pe). UMSIDA Press.
- Wu, J., Wu, P., Weng, X., Lin, J., Owens, G., & Chen, Z. (2022).

- Mechanistic insight into the one step green synthesis of hybrid rGO/Fe NPs. *Materials Today Nano*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.mtnano.2022.100193>
- Xiang, Q., Yu, J., & Jaroniec, M. (2012). Graphene-based semiconductor photocatalysts. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 782–796. <https://doi.org/10.1039/C1CS15172J>
- Yadav, S., Singh Raman, A. P., Meena, H., Goswami, A. G., Bhawna, Kumar, V., Jain, P., Kumar, G., Sagar, M., Rana, D. K., Bahadur, I., & Singh, P. (2022). An Update on Graphene Oxide: Applications and Toxicity. *ACS Omega*, 7(40), 35387–35445. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03171>
- Yadeta Gemachu, L., & Lealem Birhanu, A. (2024). Green synthesis of ZnO, CuO and NiO nanoparticles using Neem leaf extract and comparing their photocatalytic activity under solar irradiation. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 17(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2293841>
- Yahya, N., Aziz, F., Jamaludin, N. A., A. Mutalib, M., Ismail, A. F., W. Salleh, W. N., Jaafar, J., Yusof, N., & A. Ludin, N. (2018). A review of integrated photocatalyst adsorbents for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7411–7425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06>

051

Yazdani Nezhad, H., & Giraudmaillet, C. (2017). *Health Monitoring of Polymer Composite Structure Using Piezoelectric Nanofibres.*

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25614.00323>

Yin, X., Guo, Y., Xie, H., Que, W., & Kong, L. B. (2019). Nickel Oxide as Efficient Hole Transport Materials for Perovskite Solar Cells. *Solar RRL*, 3(5), 1900001.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/solr.201900001>

1

Yusuf, D. M. (2023). *Sebagian Besar Sungai di Indonesia Tercemar, Apa Pengaruhnya Terhadap Penyediaan Air Minum?* NUWSP.

<https://www.nuwsp.web.id/artikel/6993>

Zeeshan, M., Jan, F. A., Ali, W., Shah, S., & Ullah, N. (2024). Investigating the Photocatalytic Potential of Nickel Oxide (NiO) Nanoparticles for the Degradation of Thiamethoxam Insecticide and Process Optimization Using Response Surface Methodology (RSM) Desirability Factor. *Chemistry Africa*, 7(9), 4931–4945.

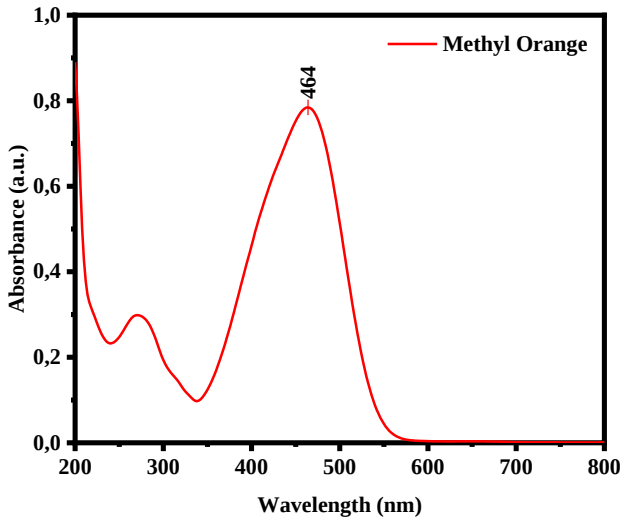
<https://doi.org/10.1007/s42250-024-01042-w>

Zilfa, Zein, R., & Rahmi, T. (2023). Pemanfaatan Zeolit Alam Clinoptilolite-Ca Sebagai Pendukung Katalis ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methyl Orange dengan Metoda

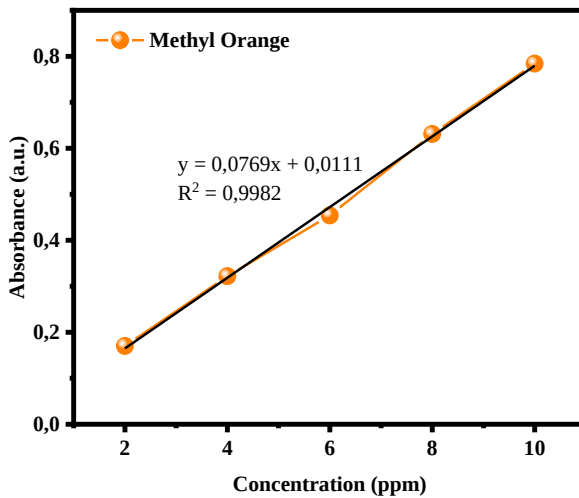
Fotolisis. *Journal of Research and Education Chemistry*, 5,
24. [https://doi.org/10.25299/jrec.2023.vol5\(1\).12505](https://doi.org/10.25299/jrec.2023.vol5(1).12505)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Panjang Gelombang *Methyl Orange*



Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Standar



Lampiran 3 Perhitungan Karakterisasi XRD

1. Jarak antar bidang (d)

Perolehan nilai jarak antar bidang (d) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta}$$

Dengan $n=1$ dan $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$

Sampel	$2\theta (^{\circ})$	$\theta (^{\circ})$	$d (\text{\AA})$
GO	42,46653	21,233265	2,12692639
	10,79705	5,398525	8,187479011
rGO	23,7137	11,85685	3,749016829
	42,95	21,475	2,104097395
NiO	37,04221	18,521105	2,424965898
	43,16995	21,584975	2,093885217
	62,64481	31,322405	1,481764466
	75,02918	37,51459	1,264936382
	79,06427	39,532135	1,210191383
NiO/rGO (1:1)	36,84	18,42	2,437810684
	42,96	21,48	2,10363077
	62,31	31,155	1,488919462
	74,96	37,48	1,265932084
	78,71	39,355	1,214747765
NiO/rGO (1:2)	36,96327	18,481635	2,429963286
	43,06326	21,53163	2,09882541
	62,48646	31,24323	1,485138285
	75,04198	37,52099	1,264752375
	78,66	39,33	1,215394533
NiO/rGO (2:1)	25,73	12,865	3,459618206
	36,9377	18,46885	2,431586692
	43,12145	21,560725	2,096127858
	62,56895	31,284475	1,483378478
	75,14	37,57	1,263345577
	79,09	39,545	1,209862242

- **Sampel GO**

Bidang kristal (001)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(5,398525)} = 8,187479011 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (100)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(21,233265)} = 2,12692639 \text{ \AA}$$

- **Sampel rGO**

Bidang kristal (002)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(11,85685)} = 3,749016829 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (100)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(21,475)} = 2,104097395 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO**

Bidang kristal (111)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(18,521105)} = 2,424965898 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(21,233265)} = 2,093885217 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(31,322405)} = 1,481764466 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(37,51459)} = 1,264936382 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(39,532135)} = 1,210191383 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO/rGO (1:1)**

Bidang kristal (111)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(18,42)} = 2,437810684 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(21,48)} = 2,10363077 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(31,155)} = 1,488919462 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(37,48)} = 1,265932084 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(39,355)} = 1,214747765 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO/rGO (1:2)**

Bidang kristal (111)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(18,481635)} = 2,42996328 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(21,53163)} = 2,09882541 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(31,24323)} = 1,485138285 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(37,52099)} = 1,264752375 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(39,33)} = 1,215394533 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO/rGO (2:1)**

Bidang kristal (002)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(12,865)} = 3,459618206 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (111)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(18,46885)} = 2,431586692 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(21,560725)} = 2,09612785 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(31,284475)} = 1,483378478 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(37,57)} = 1,263345577 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1.1,5406}{2. \sin(39,545)} = 1,209862242 \text{ \AA}$$

2. Ukuran kristal

Perolehan ukuran kristalit (D) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Dimana $k = 0,9$; $\lambda = 1,5406 \text{ \AA} = 0,15406 \text{ nm}$; dan $\beta = \text{FWHM (radian)}$.

Sampel	2θ (rad)	FWHM (rad)	D (nm)	Rata-rata
GO	42,46653	0,021723066	6,847663244	6,245322405
	10,79705	0,024680526	5,642981566	
rGO	23,7137	0,143862952	0,984804037	3,337595467
	42,95	0,026184128	5,690386897	
NiO	37,04221	0,04788625	3,053645043	3,541906246
	43,16995	0,049235389	3,028526622	
	62,64481	0,042004316	3,864120407	
	75,02918	0,056855846	3,074507138	

	79,06427	0,038341742	4,688732022	
NiO/rGO (1:1)	36,84	0,044184232	3,307547475	3,589440198
	42,96	0,049043577	3,038174216	
	62,31	0,038153421	4,246600697	
	74,96	0,043033187	4,060186229	
	78,71	0,054426173	3,294692376	
NiO/rGO (1:2)	36,96327	0,049976281	2,925265765	3,54668933
	43,06326	0,042354778	3,519221579	
	62,48646	0,044637668	3,633108936	
	75,04198	0,041914257	4,170864783	
	78,66	0,0514359	3,484985585	
NiO/rGO (2:1)	25,73	0,027532045	5,165769454	4,289133833
	36,9377	0,040508394	3,608709018	
	43,12145	0,041375299	3,603254612	
	62,56895	0,037245675	4,356060277	
	75,14	0,041257315	4,24006431	
	79,09	0,03776718	4,760945328	

- **Sampel GO**

Bidang kristal (001)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,024680526. \cos(5,398525)} = 5,642981566 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (100)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,021723066. \cos(21,233265)} = 6,847663244 \text{ \AA}$$

- **Sampel rGO**

Bidang kristal (002)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,143862952. \cos(11,85685)} = 0,984804037 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (100)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,026184128. \cos(21,475)} = 5,690386897 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO**

Bidang kristal (111)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,04788625. \cos(18,521105)} = 3,053645043 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,049235389. \cos(21,584975)} = 3,028526622 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,042004316. \cos(31,322405)} = 3,864120407 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,056855846. \cos(37,51459)} = 3,074507138 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,038341742. \cos(39,532135)} = 4,688732022 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO/rGO (1:1)**

Bidang kristal (111)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,044184232. \cos(18,42)} = 3,307547475 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,049043577.\cos(21,48)} = 3,038174216 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,038153421.\cos(31,155)} = 4,246600697 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,043033187.\cos(37,48)} = 4,060186229 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,054426173.\cos(39,355)} = 3,294692376 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO/rGO (1:2)**

Bidang kristal (111)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,049976281.\cos(18,481635)} = 2,925265765 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,042354778.\cos(21,53163)} = 3,519221579 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,044637668.\cos(31,24323)} = 3,633108936 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,041914257.\cos(37,52099)} = 4,170864783 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,0514359.\cos(39,33)} = 3,484985585 \text{ \AA}$$

- **Sampel NiO/rGO (2:1)**

Bidang kristal (002)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,027532045.\cos(12,865)} = 5,165769454 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (111)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,040508394.\cos(18,46885)} = 3,608709018 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (200)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,041375299.\cos(21,560725)} = 3,603254612 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (220)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,037245675.\cos(31,284475)} = 4,356060277 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (311)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,041257315.\cos(37,57)} = 4,24006431 \text{ \AA}$$

Bidang kristal (222)

$$D = \frac{0,9.0,15406}{0,03776718.\cos(39,545)} = 4,760945328 \text{ \AA}$$

3. %kristalinitas

Nilai derajat kristalinitas (X_c) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a}$$

Dimana A_c merupakan luas puncak kristalin dan A_a adalah luas puncak difraksi amorf.

Sampel	A_c	$A_c + A_a$	X_c (%)
GO	14200,8717	55435,44	25,62
rGO	14559,81027	62547	23,28
NiO	21364,3359	25595,885	83,47
NiO/rGO (1:1)	10783,77651	30989,21	34,80
NiO/rGO (1:2)	9804,5437	25299,755	38,75
NiO/rGO (2:1)	14437,1945	52977	27,25

- Sampel GO

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} = \frac{14200,8717}{55435,44} = 25,62 \%$$

- Sampel rGO

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} = \frac{14559,81027}{62547} = 23,28 \%$$

- Sampel NiO

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} = \frac{21364,3359}{25595,885} = 83,47 \%$$

- Sampel NiO/rGO (1:1)

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} = \frac{10783,77651}{30989,21} = 34,80 \%$$

- Sampel NiO/rGO (1:2)

$$X_c = \frac{Ac}{Ac + Aa} = \frac{9804,5437}{25299,755} = 38,75 \%$$

- Sampel NiO/rGO (2:1)

$$X_c = \frac{Ac}{Ac + Aa} = \frac{14437,1945}{52977} = 27,25 \%$$

Lampiran 4 Data absorbansi dan uji fotokatalisis Zat Warna *Methyl Orange*

1. Pengujian fotokatalisis dengan massa katalis 0,1 gram, konsentrasi 10 ppm, dan pH 7

- a. Sampel rGO

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,27	0
30	0,167	38,14814815
60	0,215	20,37037037
90	0,17	37,03703704
120	0,244	9,62962963
150	0,203	24,81481481
180	0,155	42,59259259

b. Sampel NiO

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,828	0
30	0,742	10,38647343
60	0,696	15,94202899
90	0,658	20,53140097
120	0,624	24,63768116
150	0,593	28,38164251
180	0,575	30,55555556

c. Sampel NiO:rGO (1:1)

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,71	0
30	0,602	15,21126761
60	0,577	18,73239437
90	0,521	26,61971831
120	0,483	31,97183099
150	0,471	33,66197183
180	0,456	35,77464789

d. Sampel NiO:rGO (1:2)

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,807	0
30	0,58	28,12887237
60	0,469	41,88351921
90	0,409	49,31846344
120	0,357	55,76208178
150	0,328	59,35563817
180	0,304	62,32961586

e. Sampel NiO:rGO (2:1)

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,809	0
30	0,647	20,02472188
60	0,6	25,83436341
90	0,303	62,54635352
120	0,298	63,16440049
150	0,312	61,43386897
180	0,317	60,815822

2. Pengujian fotokatalisis nanokomposit NiO/rGO (1:2)
dengan variasi pH

a. pH 4,5

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,551	0
30	0,445	19,23774955
60	0,371	32,66787659
90	0,342	37,93103448
120	0,316	42,64972777
150	0,298	45,91651543
180	0,281	49,00181488

b. pH 7

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,807	0
30	0,58	28,12887237
60	0,469	41,88351921
90	0,409	49,31846344
120	0,357	55,76208178
150	0,328	59,35563817
180	0,304	62,32961586

c. pH 10

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,781	0
30	0,737	5,633802817
60	0,696	10,88348271
90	0,681	12,80409731
120	0,681	12,80409731
150	0,644	17,54161332
180	0,642	17,79769526

3. Pengujian fotokatalisis nanokomposit NiO/rGO (1:2) dengan variasi massa katalis

a. Massa katalis 0,1 g

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,807	0
30	0,58	28,12887237
60	0,469	41,88351921
90	0,409	49,31846344
120	0,357	55,76208178
150	0,328	59,35563817
180	0,304	62,32961586

b. Massa katalis 0,2 g

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,302	0
30	0,176	41,7218543
60	0,135	55,29801325
90	0,126	58,2781457
120	0,118	60,92715232
150	0,113	62,58278146
180	0,102	66,22516556

c. Massa katalis 0,3 g

Waktu (m)	Absorbansi	%degradasi
0	0,347	0
30	0,195	43,80403458
60	0,153	55,90778098
90	0,153	55,90778098
120	0,124	64,26512968
150	0,116	66,57060519
180	0,11	68,29971182

Lampiran 5 Data Kinetika Reaksi Degradasi Zat Warna
Methyl Orange

1. Pengujian fotokatalisis dengan massa katalis 0,1 gram, konsentrasi 10 ppm, dan pH 7

Sampel	Orde 1				
	Intercept	Slope	C0	k	R ²
NiO	0,03655	0,00197	1,037226	0,001899	0,97063
NiO:rGO (1:1)	0,00603	0,00238	1,06224	0,00224	0,93627
NiO:rGO (1:2)	0,14121	0,00517	1,151666	0,004891	0,93464

Sampel	Orde 2				
	Intercept	Slope	C0	k	R ²
NiO	0,00305	$2,40 \times 10^{-4}$	1,0030546	$2,39 \times 10^{-4}$	0,98583
NiO:rGO (1:1)	0,00546	$3,06 \times 10^{-4}$	1,00547	$3,04 \times 10^{-4}$	0,95961

NiO:rGO (1:2)	0,01042	$9,10 \times 10^{-4}$	1,0104745	9×10^{-4}	0,98563
---------------	---------	-----------------------	-----------	--------------------	---------

Waktu	Orde 1		
	NiO	NiO:rGO (1:1)	NiO:rGO (1:2)
0	0	0	0
30	0,109664	0,165008	0,330296
60	0,173663	0,207423	0,542721
90	0,229808	0,309515	0,679609
120	0,282863	0,385248	0,815588
150	0,333819	0,410407	0,90031
180	0,364643	0,442772	0,976296

Waktu	Orde 2		
	NiO	NiO:rGO (1:1)	NiO:rGO (1:2)
0	0	0	0
30	0,011590	0,017940	0,039137
60	0,018965	0,023050	0,072068
90	0,025835	0,036276	0,097310
120	0,032692	0,046997	0,126050
150	0,039629	0,050743	0,146036
180	0,044	0,055701	0,165460

2. Pengujian fotokatalisis nanokomposit NiO/rGO (1:2)
dengan variasi pH

Sampel	Orde 2				
	Intercept	Slope	C0	k	R ²
pH 4,5	0,1088	$5,19 \times 10^{-4}$	1,1149393	$4,66 \times 10^{-4}$	0,9667
pH 7	0,11042	$9,10 \times 10^{-4}$	1,116747	$8,1 \times 10^{-4}$	0,98563
pH 10	0,10242	$1,17 \times 10^{-4}$	1,1078487	$1,05 \times 10^{-4}$	0,93276

Waktu	Orde 2		
	pH 4,5	pH 7	pH 10
0	0,1	0,1	0,1
30	0,123820	0,139137	0,105970
60	0,148517	0,172068	0,112212
90	0,161111	0,197310	0,114684
120	0,174367	0,226050	0,114684
150	0,184899	0,246036	0,121273
180	0,196085	0,265460	0,121651

3. Pengujian fotokatalisis nanokomposit NiO/rGO (1:2)
dengan variasi massa katalis

Sampel	Orde 2				
	Intercept	Slope	C0	k	R ²
0,1 g	0,11042	$9,10 \times 10^{-4}$	1,116747	$8,1 \times 10^{-4}$	0,98563
0,2 g	0,13506	$9,66 \times 10^{-4}$	1,1446055	$8,4 \times 10^{-4}$	0,89058
0,3 g	0,13138	0,00112	1,1404011	$9,8 \times 10^{-4}$	0,92732

Waktu	Orde 2		
	0,1 g	0,2 g	0,3 g
0	0,1	0,1	0,1
30	0,139137	0,171590	0,177948
60	0,172068	0,223703	0,226797
90	0,197310	0,239682	0,226797
120	0,226050	0,255932	0,27983
150	0,246036	0,267256	0,299137
180	0,265460	0,296078	0,315454

RIWAYAT HIDUP

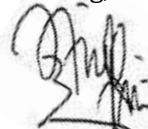
A. Identitas Diri

5. Nama Lengkap : Ukhti Lutfia Khadijah
6. Tempat, Tanggal Lahir : Ciamis, 26 September 2003
7. Alamat Rumah : Perum. Puri Mutiara Indah
Jl. Cakalang I CM 11, Desa
Karangraharja,
Kec. Cikarang Utara, Kab.
Bekasi Jawa Barat
8. Nomor HP : 085213319658
9. E-mail : uktilutfia@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
- a. SD Negeri 2 Sukasari 2009-2014
 - b. SD Negeri Waluya 01 2014-2015
 - c. SMP Negeri 2 Cikarang Utara 2015-2018
 - d. SMA Negeri 3 Cikarang Utara 2018-2021

Semarang, 25 Juni 2025



Ukhti Lutfia Khadijah

NIM. 2108026012