

**PENGARUH WAKTU PAPARAN RADIASI UV DAN MASSA
NANOKOMPOSIT SELULOSA-SENG OKSIDA DARI BAHAN KULIT
BAWANG PUTIH DAN SENG NITRAT TERHADAP AKTIVITAS
FOTOKATALITIK DALAM PENYERAPAN METIL JINGGA**

(Skripsi)

Oleh

LUSIA PRACTICA

2117041020



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH WAKTU PAPARAN RADIASI UV DAN MASSA NANOKOMPOSIT SELULOSA-SENG OKSIDA DARI BAHAN KULIT BAWANG PUTIH DAN SENG NITRAT TERHADAP AKTIVITAS FOTOKATALITIK DALAM PENYEREPAN METIL JINGGA

Oleh

LUSIA PRACTICA

Telah berhasil dilakukan sintesis dan karakterisasi nanokomposit CNC/ZnO berbasis kulit bawang putih untuk aplikasi fotokatalitik dalam degradasi metil jingga. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah dapur sebagai sumber selulosa dan mengombinasikannya dengan ZnO untuk menghasilkan fotokatalis ramah lingkungan. Sintesis dilakukan melalui metode hidrolisis asam dengan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ sebagai prekursor seng. Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis). Hasil XRD menunjukkan selulosa memiliki puncak kristalin pada $2\theta = 22,22^\circ$ dengan ukuran partikel 20,65 nm. Nanokomposit CNC/ZnO menunjukkan variasi ukuran partikel, yaitu 31,12 nm (0,6 g), 24,35 nm (0,8 g), dan 23,93 nm (1 g), dengan pergeseran kecil pada puncak 2θ yang menandakan interaksi antara selulosa dan ZnO. Uji fotokatalitik terhadap metil jingga menunjukkan bahwa aktivitas degradasi meningkat seiring waktu penyinaran, dengan efisiensi maksimum tercapai pada menit 120. Nanokomposit dengan 0,8 g $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ menunjukkan performa terbaik karena rasio optimal dengan selulosa yang meningkatkan dispersi partikel dan luas permukaan aktif. Hasil ini menunjukkan potensi nanokomposit CNC/ZnO dari kulit bawang putih sebagai fotokatalis ramah lingkungan untuk aplikasi pengolahan limbah cair.

Kata kunci: fotokatalis, nanokomposit CNC/ZnO, metil jingga, kulit bawang putih, sinar UV, degradasi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF UV RADIATION EXPOSURE TIME AND MASS OF CELLULOSE-ZINC OXIDE NANOCOMPOSITES FROM GARLIC PEELS AND ZINC NITRATE ON PHOTOCATALYTIC ACTIVITY IN METHYL ORANGE ADSORPTION

By

LUSIA PRACTICA

The synthesis and characterization of CNC/ZnO nanocomposites derived from garlic peels have been successfully carried out for photocatalytic applications in methyl orange degradation. This study aims to utilize kitchen waste as a cellulose source and combine it with ZnO to produce an environmentally friendly photocatalyst. The synthesis was conducted using the acid hydrolysis method with $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ as the zinc precursor. Characterization was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Ultraviolet–Visible Spectroscopy (UV-Vis). XRD results showed that cellulose exhibited a crystalline peak at $2\theta = 22.22^\circ$ with a particle size of 20.65 nm. The CNC/ZnO nanocomposites showed particle size variations of 31.12 nm (0.6 g), 24.35 nm (0.8 g), and 23.93 nm (1 g), with slight shifts in the 2θ peak indicating interaction between cellulose and ZnO. Photocatalytic tests on methyl orange showed that degradation activity increased with irradiation time, with maximum efficiency achieved at the 120 minute. The nanocomposite with 0.8 g $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ exhibited the best performance due to the optimal ratio with cellulose, enhancing particle dispersion and active surface area. These results demonstrate the potential of garlic peel-based CNC/ZnO nanocomposites as eco-friendly photocatalysts for wastewater treatment applications.

Keywords: photocatalyst, CNC/ZnO nanocomposite, methyl orange, garlic peel, UV light, degradation.

**PENGARUH WAKTU PAPARAN RADIASI UV DAN MASSA
NANOKOMPOSIT SELULOSA-SENG OKSIDA DARI BAHAN KULIT
BAWANG PUTIH DAN SENG NITRAT TERHADAP AKTIVITAS
FOTOKATALITIK DALAM PENYERAPAN METIL JINGGA**

Oleh

LUSIA PRACTICA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
Sarjana Sains**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

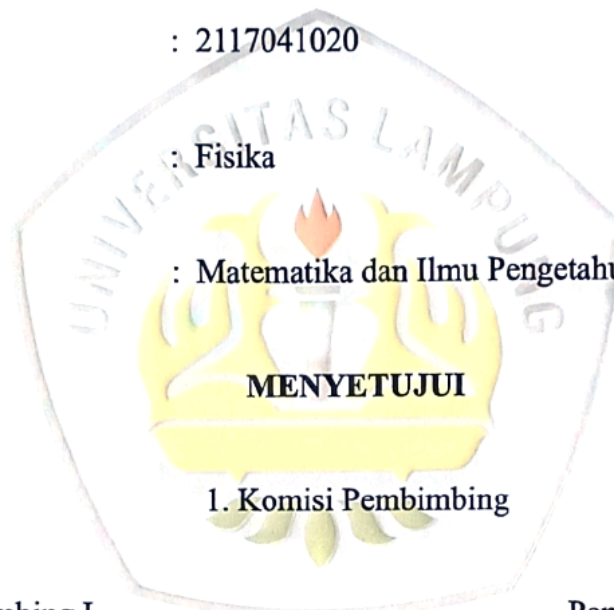
Judul Penelitian : Pengaruh Waktu Paparan Radiasi UV dan Massa Nanokomposit Selulosa-Seng Oksida Dari Bahan Kulit Bawang Putih dan Seng Nitrat Terhadap Aktivitas Fotokatalitik Dalam Penyerapan Metil Jingga

Nama Mahasiswa : Lusia Prastica

NPM : 2117041020

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Dr. Sri Wahyu Suciya, S.Si., M.Si.
NIP. 197108291997032001

Pembimbing II

Suprihatin, S.Si., M.Si.
NIP. 197304141997022001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtono, S.Si., M.Si. M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si.,
M.Si.**



Sekretaris : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



Penguji Bukan
Pembimbing : **Prof. Drs. Posman Manurung,
M.Si., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Juni 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Pengaruh Waktu Paparan Radiasi Uv dan Massa Nanokomposit Selulosa-Seng Oksida dari Kulit Bawang Putih dan Seng Nitrat Terhadap Aktivitas Fotokatalitik dalam Penyerapan Metil Jingga" ini tidak memuat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Se jauh pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh pihak lain kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Selain itu, saya juga menyatakan bahwa skripsi ini sepenuhnya saya tulis sendiri. Apabila di kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan dan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Juni 2025

Penulis



Lusia Prastica

NPM. 2117041020

RIWAYAT HIDUP



Lusia Prastica adalah putri dari pasangan Bapak Saliman Hadi dan Ibu Elly Maria Francisca, lahir di Lampung Timur pada tanggal 10 November 2003. Penulis berasal dari Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 1 Taman Sari dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya melanjutkan ke SMP Negeri 1 Bandar Sribhawono (2015–2018), lalu ke SMA Negeri 1 Ketapang (2018–2021).

Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, dengan jalur SNMPTN (Seleksi Nilai Masuk Perguruan Tinggi Negeri)

Selama masa studi, penulis menjalani Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) – Pusat Riset Material Maju, dengan judul “Pengaruh Komposisi dan Waktu Sintering pada Kemampuan Lekat Perekat Keramik Berbasis SiO_2 , Al_2O_3 , dan B_2O_3 untuk Aplikasi Keramik Suhu Tinggi.” Judul skripsi yang diambil saat ini adalah “Pengaruh Waktu Paparan Radiasi UV dan Massa Nanokomposit Selulosa-Seng Oksida dari Bahan Kulit Bawang Putih dan Seng Nitrat Terhadap Aktivitas Fotokatalitik dalam Penyerapan Metil Jinaga,” Penulis memiliki ketertarikan dalam bidang material fungsional, khususnya nanokomposit dan aplikasinya di bidang lingkungan dan energi.

MOTTO

"dan menganugerahkan kepadanya rezeki dari arah yang tidak dia duga. Siapa yang bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)-nya. Sungguh, Allah telah membuat ketentuan bagi setiap sesuatu"

- At-Talaq (65:3)

"There is no limit to what we, as women, can accomplish."

-Michelle Obama

"Women belong in all places where decisions are being made. It shouldn't be that women are the exception."

- Ruth Bader Ginsburg

"Manifestasi adalah langkah awal mewujudkan mimpi"

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, penulis persembahkan skripsi ini kepada:

Bapak Saliman Hadi dan Ibu Elly Maria Francisca

Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tiada hentinya untuk kesuksesan putrinya

Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun hati dan pikiran agar penulis menjadi lebih baik

Anastiar Inayah dan Nikmah Turohmah

Kedua sahabat penulis yang telah memberikan dukungan doa dan motivasi sehingga membuat penulis mampu menyelesaikan pendidikan S1

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2021

Terima kasih telah untuk kebersamaan selama kuliah yang sangat berarti dan menjadi kenangan yang tidak terlupakan.

Serta

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi berjudul “Pengaruh Waktu Paparan Radiasi UV dan Massa Nanokomposit Selulosa-Seng Oksida dari Bahan Kulit Bawang Putih dan Seng Nitrat terhadap Aktivitas Fotokatalitik dalam Penyerapan Metil Jingga” ini dapat diselesaikan. Skripsi ini membahas pemanfaatan kulit bawang putih sebagai sumber selulosa dalam pembuatan nanokomposit seng oksida (ZnO), serta pengaruh radiasi, waktu paparan, dan massa nanokomposit terhadap kinerja fotokatalitik dalam dekolonisasi metil jingga. Penelitian ini bertujuan mengembangkan material fotokatalitik berbasis limbah biomassa yang ramah lingkungan. Karakterisasi material dilakukan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) untuk mengetahui sifat optik, struktur kristal, serta gugus fungsi dari nanokomposit yang dihasilkan.

Skripsi ini disusun sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Lampung. Penulis menyadari adanya keterbatasan dalam penyusunan ini, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 22 Juni 2025
Penulis

Lusia Prastica
NPM. 2117041020

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul “Pengaruh Waktu Paparan Radiasi UV dan Massa Nanokomposit Selulosa-Seng Oksida dari Bahan Kulit Bawang Putih dan Seng Nitrat terhadap Aktivitas Fotokatalitik dalam Penyerapan Metil Jingga” merupakan hasil dari rangkaian penelitian yang penulis lakukan sebagai bagian dari syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing I dalam penulisan skripsi ini yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.
2. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing II dalam penulisan skripsi ini yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Prof. Posman Manurung, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Pembahas atas ketersediannya untuk memberikan bimbingan, waktu, saran, dan kritik kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini. Penulis juga berterimakasih atas bantuan dan kebaikan hatinya yang telah bersedia meminjamkan lampu ultraviolet yang sangat berperan penting dalam kelancaran proses penelitian ini.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA.
5. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan keteladanan selama penulis menjalani studi.

7. Kepada Ayah Saliman Hadi dan Bunda Elly Maria Francisca yang telah memberikan dorongan dan motivasi dalam menyelesaikan kuliah ini.
8. Kepada Khusniah selaku sahabat penulis, sekaligus Fanny Dwi Agustin selaku teman penelitian di Laboratorium Fisika Material yang telah menemani penulis selama penelitian.
9. Kepada teman-teman Fisika Angkatan 2021 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu namanya yang selalu menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak pihak yang membacanya.

Bandar Lampung, 22 Juni 2025
Penulis

Lusia Prastica

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
JUDUL	iii
PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Selulosa sebagai Material Berbasis Biomassa	5
2.2	Konsep Nanokomposit dan Material Berukuran Nanometer	6
2.3	Selulosa sebagai Matriks Nanokomposit	7
2.4	Seng Oksida sebagai Material Fotokatalis Nanopartikel	9
2.5	Metil Jingga	11
2.6	Nanokomposit CNC/ZnO	12
2.7	Aplikasi Nanokomposit dalam Degradasi Pewarna.....	13
2.8	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	15
2.9	UV-Vis Spektroskopi (<i>Ultraviolet Visible</i>).....	18
2.9.1	<i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS)	19
2.10	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	20

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	23
3.2	Alat dan Bahan.....	23
3.3	Variabel Penelitian	25
3.4	Prosedur Penelitian	25
3.4.1	Pembuatan Selulosa	25
3.4.2	Isolasi Nanokristal Selulosa (CNC)	27
3.4.3	Pembuatan Nanokomposit CNC/ZnO	29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Sintesis Selulosa Nanokristal	31
4.2	Hidrolisis Asam CNC	33
4.3	Karakterisasi FTIR CNC	34
4.4	Karakterisasi XRD CNC	36
4.5	Karakterisasi Nanokomposit CNC/ZnO	38
4.6	Karakterisasi FTIR Nanokomposit CNC/ZnO	39
4.7	Karakterisasi XRD Nanokomposit CNC/ZnO	44
4.8	Karakterisasi UV-Vis DRS	50
4.9	Aplikasi Fotodegradasi Komposit CNC/ZnO	52

V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	61
	LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Selulosa (Baghaei & Skrifvars, 2021)	6
Gambar 2.2 Struktur Kristal ZnO dibuat dengan Software Vesta (a) <i>Hexagonal Wurtzite</i> , (b) <i>Cubic Zinc Blende</i> , (c) <i>Cubic Rock Saltz</i> . Bola Hijau dan Ungu Mewakili Zn dan O. (dibuat dengan aplikasi vesta)	10
Gambar 2.3 Rumus kimia pewarna metil jingga (American Chemical Society, 2017).....	11
Gambar 2.4 Difraksi sinar X oleh kristal (Cullity & Stock, 2021).....	16
Gambar 2.5 Difraktogram XRD selulosa <i>Cladophora</i> dengan konsentrasi HCl 5 % dan NaOH: (a) raw material; (b) 0,4 M; (c) 0,5 M; (d) 0,6 M; (e) 0,7 M dan (f) 0,8 M (Suciyati <i>et al.</i> , 2022).....	17
Gambar 2.6 Spektrum serapan UV-Vis DRS versus panjang gelombang, dan plot Tauc untuk nano-ZnO-1 (a) dan nano-ZnO-2 (b) (Suciyati <i>et al.</i> , 2024).	20
Gambar 2.7 Spektrum FTIR selulosa <i>Cladophora</i> sp. (Suciyati <i>et al.</i> , 2021).....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Selulosa	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Isolasi Nanokristal Selulosa (CNC).....	27
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Nanokomposit CNC/ZnO	29
Gambar 4.1 Sampel Kulit Bawang Putih	32
Gambar 4.2 Sampel Kulit Bawang Putih (a) setelah diblender (b) setelah diayak.	32
Gambar 4.3 Spektrum FTIR CNC	34

Gambar 4.4	Difraktogram XRD CNC	36
Gambar 4.5	Sampel Nanokomposit CNC/ZnO (a) Variasi Seng Nitrat 0,6 g (b) Variasi Seng Nitrat 0,8 g (c) Variasi Seng Nitrat 1 g.	39
Gambar 4.6	Gafik FTIR Nanokomposit CNC/ZnO Variasi Seng Nitrat 0,6 g	39
Gambar 4.7	Gafik FTIR Nanokomposit CNC/ZnO Variasi Seng Nitrat 0,8 g	41
Gambar 4.8	Gafik FTIR nanokomposit CNC/ZnO Variasi Seng Nitrat 1 g.....	42
Gambar 4.9	Difraktogram XRD Nanokomposit CNC/ZnO Variasi Seng Nitrat 0,6 g	44
Gambar 4.10	Difraktogram XRD Nanokomposit CNC/ZnO Variasi Seng Nitrat 0,8 g.....	45
Gambar 4.11	Difraktogram XRD Nanokomposit CNC/ZnO Variasi Seng Nitrat 1 g	46
Gambar 4.12	Plot <i>Rietveld</i> untuk sampel nanokomposit CNC/ZnO variasi seng nitrat 0,6 g.....	48
Gambar 4.13	Plot <i>Rietveld</i> untuk sampel nanokomposit CNC/ZnO variasi seng nitrat 0,8 g.....	48
Gambar 4.14	Plot <i>Rietveld</i> untuk sampel nanokomposit CNC/ZnO variasi seng nitrat 1 g.....	49
Gambar 4.15	Spektrum UV-Vis DRS dari komposit CNC/ZnO dengan 2 puncak serapan eksitonik (a) dan energi <i>band gap</i> (b).	51
Gambar 4.16	Spektrum absorbansi larutan metil jingga (MJ) siklus 1.....	53
Gambar 4.17	Hasil fotodegradasi pewarna MJ siklus 1 selama 120 menit.....	53
Gambar 4.18	Spektrum absorbansi larutan metil jingga (MJ) siklus 2.....	55
Gambar 4.19	Hasil fotodegradasi pewarna MJ siklus 2 selama 120 menit.....	55
Gambar 4.20	Diagram batang waktu paparan terhadap degradasi MJ	5

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Ukuran partikel CNC Ekstrak Kulit Bawang Putih	39
Tabel 4.2 Ukuran partikel nanokomposit CNC/ZnO	50
Tabel 4.3 Parameter kesesuaian yang dipenuhi oleh pola <i>Rietveld</i> XRD	52
Tabel 4.4 Parameter sel sampel CNC/ZnO variasi seng nitrat 0,6 g; 0,8 g; dan 1 g setelah di <i>refinement</i>	52
Tabel 4.5 Pergeseran nilai parameter sel a, b, c (Å), parameter sudut α , β , γ (°), distorsi kisi serta persentase molar dari sampel yang disintesis.	52

I. LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Sampah makanan (*food waste*/FW) adalah tantangan global sekaligus peluang untuk menghasilkan produk bernilai tambah melalui proses konversi. Valorisasi FW kini menjadi bidang penelitian yang bertujuan mengubah limbah menjadi sumber daya berharga. FW dihasilkan dari berbagai proses seperti pemrosesan, pemasakan, hingga pengangkutan bahan makanan, bahkan dalam kebijakan bebas limbah. Penelitian menunjukkan FW kaya akan molekul bioaktif dan sumber bioenergi potensial (Sarker *et al.*, 2024).

Limbah dapur, seperti kulit buah dan sayuran, merupakan jenis sampah organik yang melimpah namun sering dianggap tidak bernilai. Padahal, buah dan sayur memiliki kandungan senyawa bioaktif yang beragam, termasuk fenolik, terpen, terpenoid, alkaloid, flavonoid, karotenoid, serta metabolit primer seperti protein, karbohidrat (selulosa, hemiselulosa, lignin, dan pektin), dan lipid. Senyawa-senyawa ini dikenal memiliki manfaat kesehatan yang signifikan meski biasanya hanya ditemukan dalam konsentrasi rendah. Dengan pengolahan yang tepat, limbah ini dapat menjadi sumber potensial untuk aplikasi teknologi dan kesehatan (Jha and Sit, 2022).

Berbagai penelitian telah menunjukkan keberhasilan dalam memanfaatkan limbah dapur sebagai bahan utama untuk menciptakan material inovatif yang ramah lingkungan. Salah satu contohnya adalah studi yang dilakukan oleh Deshmukh *et al.*, (2022). Dalam penelitian tersebut, limbah kulit jeruk diolah menjadi material karbon aktif yang memiliki kemampuan tinggi untuk menyerap zat pewarna metil merah dari limbah cair. Temuan ini tidak hanya memberikan solusi praktis untuk mengelola limbah organik, tetapi juga menawarkan alternatif yang berpotensi

efektif dalam mengatasi pencemaran air. Selain itu, Shapourabadi *et al.*, (2023) melaporkan bahwa kulit kentang dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa untuk menghasilkan nanofiber selulosa. Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan teknologi Gelombang Mikro dan Ultrasonikasi dalam pembuatan biokomposit.

Dalam beberapa tahun terakhir, nanokomposit berbasis selulosa telah mendapatkan perhatian luas karena memiliki sifat mekanik yang unggul, stabilitas termal yang baik, dan ramah lingkungan. Selain itu, pemanfaatan limbah dapur sebagai sumber selulosa untuk pengembangan nanokomposit menjadi fokus utama dalam berbagai penelitian, karena pendekatan ini mendukung keberlanjutan dan inovasi dalam pengelolaan limbah. Sebagai contoh, penelitian oleh Chai *et al.*, (2022) menyoroti kemampuan luar biasa dari komposit hibrida berbasis selulosa sebagai material fotokatalis. Dengan ketersediaannya yang melimpah, sifat ramah lingkungan, serta kemampuan untuk berinteraksi secara efektif dengan fotokatalis, selulosa menawarkan solusi inovatif untuk mengembangkan material fotokatalis yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Modi *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO dapat menjadi solusi yang efektif sekaligus ramah lingkungan dalam mengatasi pencemaran air, khususnya yang disebabkan oleh metilen biru.

Bawang putih (*Allium sativum L.*) adalah rempah serbaguna yang banyak dimanfaatkan sebagai bumbu masakan dan bahan pengobatan tradisional karena berbagai khasiatnya. Namun, sebagian besar penelitian hanya berfokus pada umbi bawang putih, sementara kulitnya, yang menyumbang sekitar 25% dari total bobot bawang putih, sering kali dianggap sebagai limbah oleh industri. Padahal, kulit bawang putih memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan, baik sebagai sumber senyawa bioaktif maupun bahan alternatif dalam berbagai aplikasi, sehingga menarik perhatian untuk eksplorasi lebih lanjut (Reddy & Rhim, 2018). Modi dan Fulekar (2020) melaporkan bahwa kulit bawang putih, dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan *Cellulose Nanocrystal* (CNC) melalui proses hidrolisis asam. Selain itu, kulit bawang putih memiliki potensi sebagai bahan dasar dalam sintesis nanopartikel seng oksida (ZnO NP). Kombinasi CNC dan ZnO NP kemudian

digunakan untuk membentuk nanokomposit CNC/ZnO, yang menunjukkan kemampuan unggul dalam degradasi fotokatalitik zat warna tekstil.

Sementara itu, polusi air yang disebabkan oleh pewarna sintetis seperti metil jingga merupakan masalah serius bagi ekosistem perairan karena sifat toksiknya yang dapat merugikan organisme hidup. Salah satu solusi inovatif adalah penggunaan teknologi fotokatalis berbasis seng oksida (ZnO). ZnO, dengan *bandgap* energi sekitar 3,37 eV, mampu memanfaatkan sinar UV untuk reaksi degradasi fotokimia dengan optimal. Selain itu, ZnO memiliki keunggulan berupa potensi oksidasi tinggi, mobilitas elektron yang cepat, dan struktur nanomorfologi yang dapat dioptimalkan. Meski begitu, penggunaannya menghadapi tantangan berupa rekombinasi elektron-hole yang cepat dan efisiensi yang terbatas dalam menyerap cahaya tampak. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi hambatan ini melalui inovasi seperti doping atau modifikasi material (Guell *et al.*, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas nanokomposit CNC/ZnO dari kulit bawang putih dalam mendegradasi metil jingga sebagai model polutan pewarna. Fokus utama penelitian mencakup pengaruh variasi massa adsorben CNC/ZnO dan waktu paparan radiasi UV terhadap efisiensi fotodegradasi. Sintesis nanokomposit dilakukan dengan memvariasikan massa seng nitrat sebagai prekursor ZnO untuk memperoleh karakteristik material yang optimal. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan fotokatalis berbasis limbah yang efektif dan berkelanjutan untuk aplikasi pengolahan air tercemar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi massa nanokomposit CNC/ZnO terhadap efisiensi fotodegradasi metil jingga?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu paparan radiasi UV terhadap aktivitas fotokatalitik nanokomposit CNC/ZnO dalam menyerap dan mendegradasi metil jingga?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui massa nanokomposit CNC/ZnO yang memberikan efisiensi fotodegradasi tertinggi.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu paparan radiasi UV terhadap kemampuan fotokatalitik nanokomposit CNC/ZnO dalam degradasi metil jingga.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh massa nanokomposit CNC/ZnO dan variasi waktu paparan radiasi UV terhadap kemampuan fotokatalitik dalam fotodegradasi
2. Menjadi bahan literatur jurusan Fisika FMIPA untuk penelitian serupa selanjutnya
3. Menambah literatur untuk perpustakaan FMIPA

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian hanya berfokus pada kulit bawang putih sebagai sumber selulosa.
2. Pewarna yang diuji dibatasi pada metanil kuning sebagai contoh limbah cair industri.
3. Karakterisasi material menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis).

II. TINJAUAN PUSTAKA

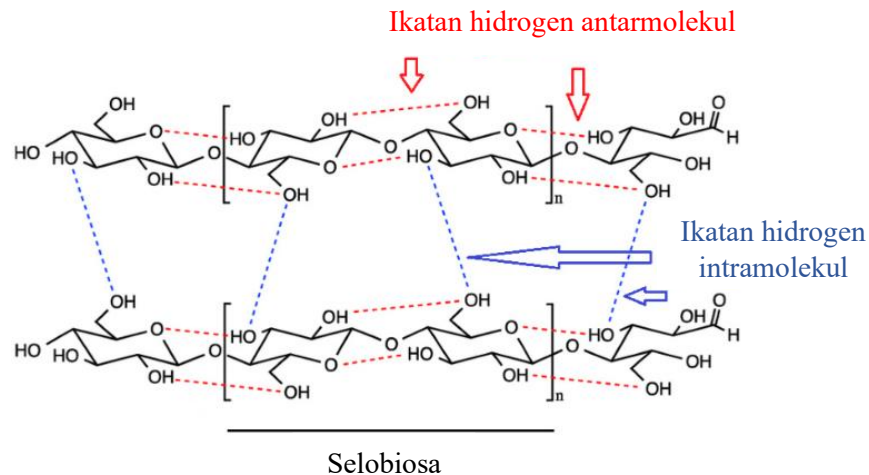
2.1 Selulosa sebagai Material Berbasis Biomassa

Selulosa adalah polimer alami yang paling melimpah di bumi, biasanya diperoleh dari proses dekomposisi bahan tanaman atau melalui aktivitas bakteri. Selulosa diekstraksi dari biomassa lignoselulosa yang telah melalui tahap pengolahan untuk membuka struktur dasarnya sehingga mikrostruktur selulosa menjadi lebih mudah diakses. Proses pemisahan biomassa lignoselulosa menjadi komponen utamanya selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Diperoleh dengan menggunakan berbagai metode, termasuk teknik fisik, kimia, maupun enzimatik (Pinto *et al.*, 2022). Sebuah penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan hasil analisis kimia terhadap limbah kulit bawang putih. Limbah Kulit Bawang Putih (*Garlic Skin*) memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi sebesar 45,9. Nilai ini mengindikasikan bahwa limbah tersebut berpotensi sebagai sumber selulosa yang baik, setara dengan limbah-limbah lainnya (Hernández-Varela *et al.*, 2021).

Biomassa lignoselulosa adalah sumber daya terbarukan utama dengan potensi besar sebagai alternatif bahan dan energi berbasis fosil. Keunggulan seperti biodegradabilitas, keberlanjutan, dan struktur uniknya menjadikannya bahan yang menarik untuk penelitian dan pengembangan material berbasis bio. Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai komponen biomassa lignoselulosa selulosa, hemiselulosa, dan lignin telah dimanfaatkan secara luas untuk menciptakan material fungsional yang inovatif. Selulosa dapat diolah menjadi nanomaterial seperti *Cellulose Nanofiber* (CNF) dan *Cellulose Nanocrystal* (CNC), yang memiliki luas permukaan tinggi dan fleksibilitas, membuatnya cocok untuk aplikasi di energi, elektronik, dan biomedis. Hemiselulosa, dengan struktur heteropolisakaridanya, dapat dirancang menjadi material fungsional yang menjanjikan, sementara lignin, sebagai polimer aromatik melimpah, memiliki potensi besar dalam menciptakan material

berkelanjutan seperti komposit dan campuran polimer. Dengan sifat alami yang fungsional, biomassa lignoselulosa terus menjadi sumber utama dalam pengembangan material ramah lingkungan dan hemat biaya (Wang *et al.*, 2023).

Gambar 2.1 menunjukkan struktur kimia selulosa.



Gambar 2.1 Struktur Selulosa (Baghaei and Skrifvars, 2021)

Selulosa dianggap sebagai bahan baku yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dengan keunggulan seperti biokompatibilitas, sifat tidak beracun, dan ketersediaannya yang melimpah. Penelitian terkait pengembangan sifat dan aplikasi selulosa terus menjadi fokus yang menarik. Turunan selulosa menawarkan solusi potensial untuk menggantikan produk berbasis fosil dan menjadi alternatif penting dalam mengatasi masalah lingkungan akibat penggunaan bahan dan energi berbasis minyak bumi. Selulosa dan turunannya juga membuka peluang baru bagi berbagai bidang ilmu, termasuk biologi, kimia, fisika, dan teknik, untuk mencapai kemajuan dan inovasi yang signifikan (Carolyn *et al.*, 2023).

2.2 Konsep Nanokomposit dan Material Berukuran Nanometer

Dalam dua dekade terakhir, pengembangan polimer nanokomposit telah menjadi fokus penelitian yang intensif. Salah satu ciri khas nanokomposit adalah penggunaan bahan pengisi dengan dimensi nanoskopik, di mana setidaknya satu dimensinya berada dalam skala nanometer. Nanokomposit ini secara mendasar berbeda dari polimer pengisi konvensional, terutama karena luas permukaan antarmuka internal yang sangat besar dan sifat unik nanomaterial pada skala nano.

Keunggulan ini memungkinkan nanokomposit untuk mengatasi keterbatasan sifat tradisional yang sering ditemukan pada komposit konvensional, sambil menawarkan fitur multifungsi yang baru. Struktur nanonya memberikan kemampuan untuk mengoptimalkan sifat material, seperti kekuatan mekanik, stabilitas termal, dan sifat optik, menjadikannya bahan yang sangat inovatif untuk berbagai aplikasi, mulai dari industri elektronik hingga lingkungan dan biomedis (Okamoto, 2023).

Saat ini, teknologi nano, khususnya bahan nano, telah menjadi bagian penting dalam kehidupan. Berbagai jenis bahan nanokomposit diciptakan berdasarkan fase matriks, material nano, dan penguatnya, seperti partikel, serat, atau lembaran, yang masing-masing memiliki sifat dan aplikasi unik. Bahan nanokomposit ini digunakan secara luas, mulai dari aplikasi sederhana hingga teknologi canggih, menunjukkan fleksibilitas dan relevansinya dalam berbagai bidang (Al-Mutairi *et al.*, 2022).

Nanosains telah berkembang menjadi bidang yang unik dan beragam dalam aktivitas ilmiah dan teknis. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian pada bahan nano dan nanopartikel telah meningkat pesat karena potensinya dalam berbagai aplikasi, seperti perangkat elektronik, optoelektronik, biosensor, fotodetektor, sel surya, dan struktur plasmonik. Hal ini disebabkan oleh sifat unik nanomaterial dan performa luar biasa pada skala nano, di mana sifat material dapat berubah secara drastis, menciptakan desain dan fungsi baru. Nano-komposit, dengan struktur berskala nano, menggabungkan berbagai komponen untuk menghasilkan sifat khas yang tidak dimiliki masing-masing komponen secara individual (Rajani *et al.*, 2021).

2.3 Selulosa sebagai Matriks Nanokomposit

Penggunaan polimer dari minyak bumi untuk produksi komposit konvensional telah menimbulkan masalah lingkungan global, terutama terkait polusi selama proses produksi dan kesulitan dalam pengelolaan limbahnya. Sebagai respons, komposit berbasis bahan biologis semakin menarik minat para peneliti karena

potensi ramah lingkungannya. Selulosa, sebagai biopolimer paling melimpah di bumi, merupakan salah satu sumber daya bio-terbarukan yang paling potensial untuk menggantikan material plastik berbasis minyak bumi. Dalam kelompok besar biokomposit, komposit berbasis *All-Cellulose Composites* (ACC) menonjol karena keunikannya. Dalam ACC, baik matriks maupun penguatnya berasal dari selulosa, memberikan kompatibilitas fase yang tinggi dan meningkatkan sifat mekanis komposit secara keseluruhan. Kemajuan dalam pengembangan ACC memberikan peluang baru bagi sektor akademis dan industri untuk mengaplikasikan material ini dalam berbagai bidang. Keunggulan utama ACC dibandingkan dengan biokomposit lain adalah kemampuan biodegradasinya yang cepat, terutama melalui penguburan dalam tanah. Namun, karakteristik degradasi ini juga menjadi keterbatasan dalam beberapa aplikasi tertentu (Baghaei and Skrifvars, 2020).

Nanoselulosa telah dikenal luas sebagai material penguat yang sangat baik, dengan sifat unik yang menjadikannya bahan yang menarik untuk berbagai aplikasi teknologi. Selulosa, sebagai biopolimer linear, terdiri dari nanofibril yang memberikan luas permukaan yang sangat besar. Biopolimer ini hadir secara melimpah di alam dalam berbagai bentuk, seperti tumbuhan, bakteri, dan tunikata. Karakteristik luar biasa dari selulosa, termasuk biaya produksi yang rendah, densitas yang ringan, luas permukaan spesifik yang tinggi, serta kemudahan pemrosesan, menjadikannya material pilihan untuk berbagai kebutuhan industri. Selulosa juga memiliki sifat biokompatibilitas tinggi, stabilitas kimia yang baik, sitotoksitas rendah, dan performa mekanik yang kuat. Pada skala nano, nanoselulosa menunjukkan peningkatan sifat fisikokimia dibandingkan bentuk makroskopisnya. Manipulasi selulosa pada tingkat nano memberikan material dengan kekuatan mekanik lebih baik, stabilitas termal yang meningkat, dan kemampuan adaptasi yang tinggi. Kombinasi sifat ini menjadikan nanoselulosa pilihan ideal untuk aplikasi dalam bidang biomedis, kemasan, dan pengolahan lingkungan, seperti pada pengelolaan limbah atau produksi material ramah lingkungan (Joseph *et al.*, 2020).

Jamal *et al.*, (2020) menyelidiki penggunaan nanokomposit berbasis ZnO yang diinkorporasikan dengan nanocellulose sebagai fotokatalis untuk mengurai

pewarna organik dalam air, khususnya Kongo merah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ZnO/CNC memiliki efisiensi tinggi dalam degradasi Kongo merah di bawah pencahayaan sinar tampak. Pengujian terhadap variabel eksperimental, seperti konsentrasi pewarna, nilai pH (optimal pada 5,5), dosis katalis (0,075 gram untuk konsentrasi pewarna 20 ppm), dan durasi reaksi (120 menit), membantu menentukan kondisi optimal untuk degradasi. Proses fotodegradasi memanfaatkan pembentukan spesies aktif melalui eksitasi elektron-hole di ZnO, yang kemudian berinteraksi dengan nanocellulose untuk menguraikan pewarna secara efisien. ZnO/NC dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah cair industri, terutama yang mengandung zat warna tekstil, sehingga memberikan solusi berkelanjutan untuk tantangan pencemaran air.

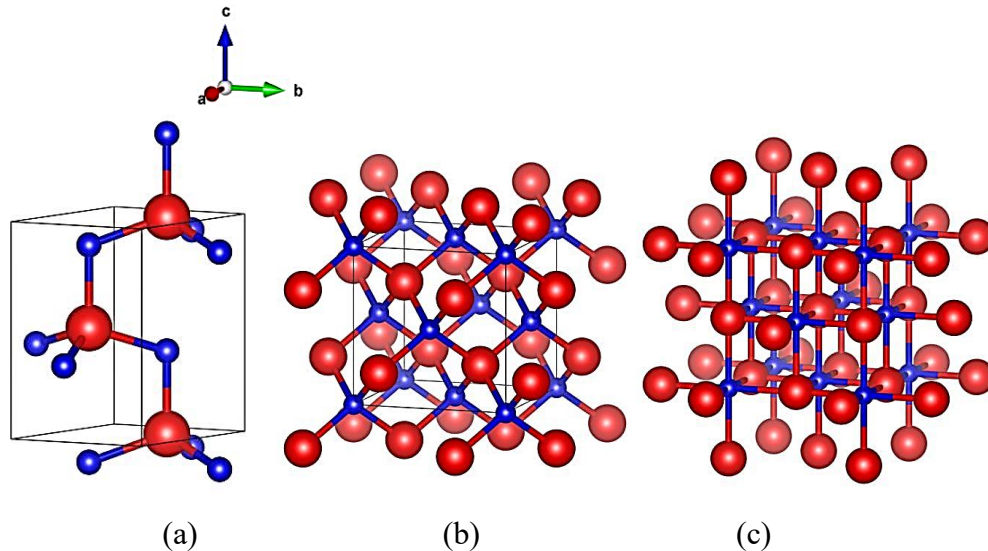
2.4 Seng Oksida sebagai Material Fotokatalis Nanopartikel

ZnO dikenal luas sebagai bahan yang sangat menjanjikan untuk aplikasi fotokatalitik karena fotosensitifitasnya yang luar biasa, stabilitas kimianya, dan sifatnya yang tidak beracun. Namun, kegunaannya dalam cahaya tampak dibatasi oleh energi celah pita yang relatif lebar (sekitar 3,2 eV) dan rekombinasi cepat pembawa muatan fotogenerasi, yang menimbulkan tantangan penting terhadap efisiensinya. Terdapat berbagai metode sintesis bahan fotokatalitik berbasis ZnO, seperti proses sol-gel, sintesis hidrotermal, dan deposisi uap kimia. Teknik-teknik ini memberikan kontrol yang tepat terhadap struktur nano dan sifat ZnO, memungkinkan produksinya dalam berbagai morfologi, termasuk nanorod, nanopartikel, dan film tipis. Setiap bentuk dioptimalkan secara khusus untuk memenuhi permintaan aplikasi yang berbeda, menunjukkan keserbagunaan ZnO dan potensi integrasi teknologi canggih (Sun *et al.*, 2023).

ZnO-NP telah menunjukkan aplikasi biomedis yang luar biasa karena beragam sifat terapeutiknya. Partikel nano ini menunjukkan aktivitas antibakteri dan antijamur yang kuat, sehingga berguna dalam memerangi infeksi. Selain itu, ZnO-NP menunjukkan sifat antikanker, mendukung potensinya dalam terapi kanker, dan efek antiinflamasi, yang membantu mengurangi kondisi terkait peradangan. Selain itu, ZnO-NP berkontribusi pada penyembuhan luka dengan mendorong regenerasi

jaringan. Kualitas luar biasa ini menempatkan ZnO-NP sebagai kandidat yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi medis dan terapeutik, mulai dari pengendalian infeksi hingga pengobatan kanker dan perbaikan jaringan (Dey *et al.*, 2024).

Gambar 2.2 menunjukkan tiga struktur kristal ZnO yang mungkin.

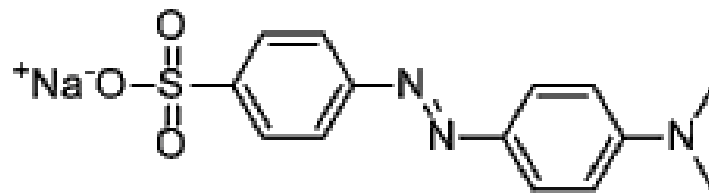


Gambar 2.2 Struktur Kristal ZnO dibuat dengan Software Vesta. (a) *Hexagonal Wurtzite* (COD:2300116.cif), (b) *Cubic Zinc Blende* (COD:1537875.cif), (c) *Cubic Rock Saltz* (COD:1534836.cif) Bola Biru dan Merah Mewakili Zn dan O. (dibuat dengan aplikasi vesta)

Meskipun ZnO berstruktur nano menunjukkan potensi besar sebagai fotokatalis untuk degradasi polutan organik yang sulit terurai di bawah cahaya tampak, masih terdapat sejumlah tantangan saat menggunakan ZnO murni dalam proses fotokatalitik. Salah satu hambatan utama adalah kecepatan rekombinasi pembawa muatan, yang dapat mengurangi efisiensi fotokatalitiknya. Berbagai metode sintesis, seperti sol-gel, hidrotermal, dan teknik solvothermal, telah digunakan untuk menghasilkan nanopartikel ZnO dengan morfologi dan ukuran partikel yang lebih optimal. Untuk lebih meningkatkan efisiensi, strategi modifikasi, termasuk doping logam/non-logam dan penggabungan dengan semikonduktor lain atau bahan karbon, telah diterapkan. Pendekatan ini telah terbukti meningkatkan kemampuan ZnO dalam mendekomposisi zat warna, dengan degradasi lebih dari 90% dalam waktu penyinaran yang singkat (Folawewo and Bala, 2022).

2.5 Metil Jingga

Metil jingga (*methyl orange*) adalah pewarna sintetis dari golongan azo yang banyak digunakan dalam industri tekstil, percetakan, serta laboratorium sebagai indikator pH. Pewarna ini memiliki struktur aromatik yang stabil dan larut dalam air, sehingga sangat sulit terdegradasi secara alami di lingkungan. Stabilitas kimianya menyebabkan metil jingga tetap berada di lingkungan dalam waktu yang lama setelah dibuang sebagai limbah industri tanpa pengolahan yang memadai (Pandey *et al.*, 2024). Rumus kimia pewarna metil jingga ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Rumus kimia pewarna metil jingga (American Chemical Society, 2017)

Dampak lingkungan dari metil jingga cukup serius. Ketika dibuang ke badan air, senyawa ini dapat mengganggu fotosintesis organisme akuatik dengan menghalangi penetrasi cahaya ke dalam air, serta bersifat toksik bagi berbagai mikroorganisme dan hewan air. Selain itu, struktur azo dari metil jingga dapat tereduksi oleh mikroorganisme menjadi senyawa aromatik amina yang bersifat karsinogenik dan mutagenik. Hal ini tentu menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya jika limbah tersebut tidak ditangani dengan benar (Estefan *et al.*, 2023).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu metode yang dikembangkan adalah degradasi fotokatalitik menggunakan material semikonduktor seperti seng oksida (ZnO). ZnO dikenal sebagai fotokatalis yang efektif karena mampu menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) saat disinari UV, yang kemudian dapat memecah ikatan azo dan menghancurkan struktur pewarna menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Namun, penggunaan ZnO murni memiliki keterbatasan seperti aglomerasi partikel dan efisiensi fotokatalitik yang menurun seiring waktu. Oleh

karena itu, modifikasi ZnO dengan bahan pendukung seperti selulosa menjadi solusi yang menjanjikan (Bhole *et al.*, 2020).

Selulosa, terutama dari limbah biomassa seperti kulit bawang putih atau ampas pertanian lainnya, memiliki sifat biodegradabel, ramah lingkungan, dan kaya akan gugus hidroksil yang mampu berinteraksi kuat dengan nanopartikel ZnO. Kombinasi antara ZnO dan selulosa membentuk komposit yang stabil, meningkatkan luas permukaan aktif, serta memperbaiki dispersi partikel ZnO, sehingga memperkuat aktivitas fotokatalitik terhadap metil jingga. Sebuah studi oleh Hasanpour *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa aerogel hibrida berbasis selulosa dan ZnO (CA/ZnO) memiliki efisiensi fotodegradasi yang tinggi terhadap metil jingga di bawah penyinaran UV. Komposit ini menunjukkan peningkatan luas permukaan aktif dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan ZnO murni, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi degradasi pewarna.

Meskipun demikian, tantangan masih ada dalam pengembangan komposit ZnO-selulosa, terutama dalam mengoptimalkan kinerjanya di bawah cahaya tampak serta memperpanjang siklus penggunaan ulangnya. Upaya lanjutan dalam meningkatkan efisiensi fotokatalis ini meliputi doping logam pada ZnO, modifikasi permukaan, serta teknik immobilisasi yang lebih kuat pada matriks selulosa. Inovasi-inovasi tersebut diharapkan dapat mendorong penerapan teknologi ini secara luas untuk pengolahan limbah industri yang mengandung pewarna sintesis berbahaya.

Li *et al.*, (2024) mengembangkan komposit Cu₂O-ZnO/selulosa yang menunjukkan peningkatan aktivitas fotokatalitik terhadap metil jingga di bawah penyinaran UV-vis. Modifikasi permukaan dengan Cu₂O memperluas spektrum penyerapan cahaya dan membentuk heterojunction yang efektif, sementara immobilisasi pada matriks selulosa meningkatkan stabilitas dan memungkinkan penggunaan ulang tanpa penurunan efisiensi yang signifikan.

2.6 Nanokomposit Selulosa-ZnO

Nanopartikel seng (Zn) dan seng oksida (ZnO NPs) semakin diakui sebagai material multifungsi yang memiliki karakteristik luar biasa, seperti sifat

antimikroba, penghalang, serta kemampuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik. Baru-baru ini, nanopartikel ini telah dimanfaatkan dalam pembuatan nanokomposit melalui berbagai metode inovatif, seperti pengecoran pelarut, pengecoran larutan, peracikan leleh, dan penguapan pelarut. Proses ini memungkinkan terciptanya nanokomposit seng dan seng oksida dengan sifat mekanis yang ditingkatkan, penghalang yang efektif, serta potensi antibakteri yang sangat baik. Salah satu inovasi terbaru adalah penggabungan nanoselulosa dengan nanopartikel seng oksida, yang menghasilkan nanokomposit dengan aplikasi yang sangat luas.

Nanokomposit ini telah terbukti efektif dalam berbagai bidang, terutama dalam aplikasi biomedis, seperti penyembuhan luka yang cepat berkat karakteristik bioaktifnya. Selain itu, nanoselulosa yang dimodifikasi dengan ZnO NPs juga memiliki potensi besar dalam sektor lain, termasuk pengemasan makanan untuk memperpanjang umur simpan, perangkat elektronik untuk meningkatkan daya tahan dan efisiensi, serta dalam proses pemisahan gas dan degradasi sinar UV. Potensi aplikatif yang luas ini menjadikan nanokomposit seng oksida nanoselulosa sebagai bahan yang sangat berharga dan menjanjikan di berbagai industri (Wasim *et al.*, 2021).

Dalam penelitian yang dilakukan Elemike *et al.*, (2021) Selulosa, ZnO NPs, dan komposit baru yang menggabungkan nanopartikel selulosa dengan ZnO kristal (ZnO/CNC) telah berhasil disintesis melalui metode hidrotermal sederhana, menggunakan ekstrak daun kembang sepatu sebagai bahan dasar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nanomaterial yang dihasilkan memiliki sifat antibakteri yang sangat baik, terutama pada komposit ZnO/CNC, sedangkan selulosa murni tidak menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara ZnO dan nanoselulosa dapat meningkatkan sifat fungsional material tersebut, menjadikannya kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi di bidang kesehatan dan lingkungan. Potensi antibakteri yang kuat dari ZnO/CNC membuka peluang besar untuk pengembangan material yang dapat digunakan dalam pengendalian infeksi atau sebagai bahan antibakteri dalam berbagai produk industri, seperti pengemasan makanan, tekstil, dan perangkat medis.

2.7 Aplikasi Nanokomposit Dalam Degradasi Pewarna

Saat ini, dunia menghadapi ancaman serius terhadap ketersediaan sumber daya air tawar, yang semakin diperburuk oleh pencemaran air. Hal ini menimbulkan kekhawatiran yang mendalam, terutama terkait dengan pencemaran zat warna berbahaya yang sering ditemukan dalam air limbah industri. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa biopolimer dan komposit berbasis biopolimer memiliki potensi besar untuk digunakan dalam menghilangkan zat warna berbahaya tersebut. Polimer alami yang berasal dari sumber biologis seperti polisakarida, lignin, alginat, dan polimer bakteri telah diidentifikasi sebagai bahan utama yang digunakan dalam sistem pemurnian air. Keunggulan biopolimer ini terletak pada kemampuannya untuk merespons berbagai kondisi dan parameter lingkungan yang spesifik, sehingga mendorong para peneliti untuk mengembangkan biomaterial yang dapat memenuhi kebutuhan remediasi air limbah secara efektif. Komposit ini menggabungkan sifat-sifat unggul dari bahan induk yang digunakan, sehingga dapat mengatasi keterbatasan masing-masing komponen yang ada. Terutama dalam aplikasi penyerapan, komposit ini menunjukkan kinerja yang lebih baik karena sifat gabungan dari kedua bahan tersebut. Biokomposit berukuran nano, khususnya, memiliki kapasitas penyerapan yang lebih unggul dibandingkan dengan biokomposit berukuran mikro, berkat rasio permukaan yang lebih tinggi dan sifat fisikokimia yang lebih efisien (Zaman *et al.*, 2022).

Mishra *et al.*, (2024) dalam penelitiannya mengusulkan strategi baru untuk mengatasi tantangan lingkungan yang ditimbulkan oleh pewarna berbahaya, dengan fokus pada produksi dan karakterisasi nanokomposit yang terdiri dari karbon nanotube berdinding banyak berlapis *Multiwalled Carbon Nanotubes and Zinc Oxide* (MWCNT/ZnO), yang diproduksi secara biogenik. Proses sintesis biogenik menggunakan ekstrak daun Aloe vera memberikan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam pembuatan nanokomposit ini. Efektivitas fotodegradasi nanokomposit ini diuji dengan merendamnya dalam larutan pewarna dan kemudian memaparkannya pada cahaya tampak setelah periode gelap selama 10 menit. Kondisi optimal yang ditemukan, dengan dosis katalis 0,2 g dan konsentrasi pewarna 10 ppm, menghasilkan efisiensi penghilangan yang luar biasa,

mencapai 99,42% untuk metil biru (MB) dan 91,30% untuk metanil orange (MO). Penelitian ini tidak hanya memperkenalkan metode produksi nanokomposit MWCNT/ZnO yang berkelanjutan dan biogenik, tetapi juga menunjukkan kemampuan fotokatalitik yang sangat efektif dalam menghilangkan pewarna berbahaya, bahkan memungkinkan penggunaan ulang nanokomposit ini hingga lima kali.

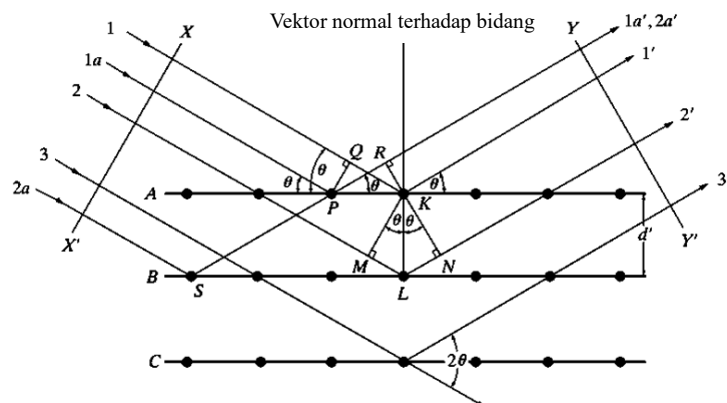
Nanokomposit polimer yang dirancang dengan cermat memiliki kemampuan untuk secara fotokatalitik mendegradasi pewarna azo dalam air limbah, terutama dari industri tekstil. Di antara berbagai nanokomposit yang dikembangkan, nanokomposit berbasis TiO_2 telah banyak diteliti dan ditemukan memiliki potensi yang luar biasa. Selain TiO_2 , nanokomposit berbasis polimer alami seperti kitosan dan kaolin, serta oksida logam seperti Al, Au, B, Bi, Fe, Li, dan Zr, juga banyak digunakan untuk tujuan serupa. Nanokomposit ini seringkali menunjukkan efisiensi fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan TiO_2 murni. Pembentukan nanokomposit yang dirancang khusus ini juga berpotensi meningkatkan performa sistem fotokatalitik secara keseluruhan. Selain aplikasi lingkungan, isomerisasi yang diinduksi oleh foton juga dimanfaatkan dalam berbagai sistem biologis, seperti otot buatan, serta dalam bidang teknis untuk aplikasi penyimpanan memori dan tampilan kristal cair. Pewarna azo heteroaril, yang menunjukkan perubahan luar biasa dalam isomerisasi fotoinduksi, berpotensi menggantikan pewarna azo konvensional dalam berbagai aplikasi biologis dan teknis. Metode perakitan mandiri, yang melibatkan interaksi elektrostatik, gaya London, atau interaksi dipol/dipol antara molekul pewarna azo, serta penyelarasan foto, dapat digunakan untuk mensintesis nanokomposit polimer berbasis pewarna azo dengan karakteristik fotokatalitik yang lebih baik (Wang *et al.*, 2021).

2.8 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD digunakan untuk mengidentifikasi secara unik fase kristal yang ada dalam material dan untuk mengukur sifat struktural fase ini (keadaan tegangan, ukuran butir, epitaksi, komposisi fase, orientasi pilihan, struktur cacat). XRD juga digunakan untuk menentukan ketebalan film tipis dan multilayer, susunan atom

dalam bahan amorf (termasuk polimer) dan pada antarmuka. XRD memberikan presisi yang tak tertandingi dalam pengukuran jarak antar atom dan merupakan teknik pilihan untuk menentukan keadaan regangan film tipis. XRD bersifat non-kontak dan non-destruktif, sehingga ideal untuk penelitian lapangan. Intensitas yang diukur dengan XRD memberikan informasi kuantitatif dan tepat tentang susunan atom pada antarmuka (misalnya multilapis).

XRD adalah teknik non-destruktif dan non-kontak yang ideal untuk penelitian. XRD memberikan data kuantitatif tentang komposisi atom bahan dengan nomor atom tinggi (Z) dengan sensitivitas tinggi. Lapisan material dengan ketebalan hingga sekitar 50 Å dapat dianalisis menggunakan XRD di laboratorium, dan bahkan film yang lebih tipis pun dapat dianalisis menggunakan radiasi sinkrotron. XRD biasanya tidak mengukur profil kedalaman struktur, namun metode khusus dapat melakukannya. Teknik alternatif meliputi *Transmission Electron Microscopy* (TEM), *Low-Energy Electron Diffraction* (LEED), *Reflection High-Energy Electron Diffraction* (RHEED), *Extended X-ray Absorption Fine Structure* EXAFS, dan difraksi neutron. LEED dan RHEED terbatas pada analisis permukaan, sedangkan difraksi neutron memiliki kekuatan sumber yang lebih lemah dibandingkan sinar-X tetapi lebih sensitif terhadap momen magnet, sehingga cocok untuk bahan dengan nomor atom rendah dan studi magnet. XRD tidak sekuat difraksi elektron, namun resolusi tinggi (hingga 10 μm) dapat dicapai dalam aplikasi tertentu menggunakan sumber mikrofokus (Evans, 1992). Berikut penjelasan secara ilustratif mengenai pantulan sinar-x oleh bidang atom, ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

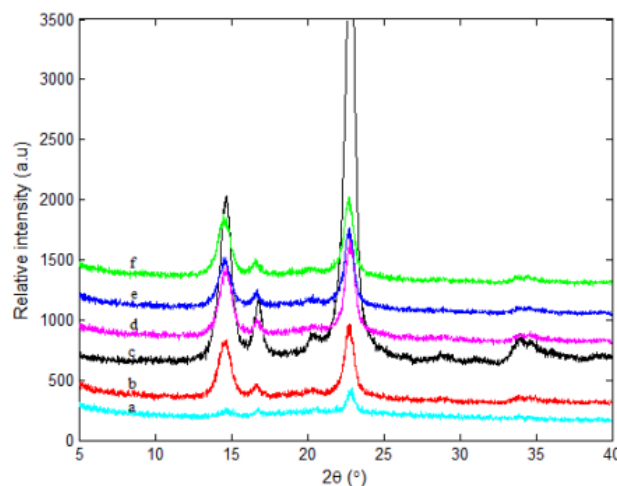


Gambar 2.4 Difraksi sinar X oleh kristal (Cullity and Stock, 2001)

Penemuan difraksi sinar-X dalam kristal dilakukan oleh Laue, Friedrich, dan Knipping di Munich pada tahun 1912, dengan pengembangan teknik lebih lanjut oleh W. H. Bragg dan W. L. Bragg di Leeds dan Cambridge sesaat sebelum Perang Dunia I. Alasan utama mengapa Braggs maju dengan cepat dalam menganalisis foto difraksi sinar-X, tidak seperti Laue dan timnya, terletak pada perbedaan pendekatan mereka. Laue memvisualisasikan kristal sebagai jaringan tiga dimensi baris atom, memperlakukannya sebagai kisi difraksi 3D model yang secara konseptual akurat namun kompleks. Sebaliknya, W. L. Bragg mengusulkan metode yang lebih sederhana, memandang kristal sebagai bidang atom yang bertindak sebagai permukaan pemantul, dengan sudut datang yang sesuai dengan sudut pantulan. Hal ini menghasilkan sinar "pantulan" yang kuat ketika perbedaan jalur antara pantulan dari bidang-bidang ini sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang. Meskipun model ini tidak presisi secara fisik bidang atom sebenarnya tidak memantulkan sinar X model ini bekerja secara geometris dan menghasilkan rumus sederhana yang elegan untuk menganalisis struktur kristal. Berikut merupakan hukum Bragg ditunjukkan **Persamaan 2.1**.

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (2.1)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang, n adalah orde pantulan, d_{hkl} adalah jarak bidang kisi dan θ adalah sudut datang/pantulan terhadap bidang-bidang tersebut (Cullity and Stock, 2001). Berikut merupakan contoh gambar difraktogram XRD dari selulosa ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Difraktogram XRD selulosa *Cladophora* dengan konsentrasi HCl 5 % dan NaOH: (a) raw material; (b) 0,4 M; (c) 0,5 M; (d) 0,6 M; (e) 0,7 M dan (f) 0,8 M (Suciyati *et al.*, 2022)

puncak yang relevan diukur berdasarkan sudut difraksi yang sesuai. Persamaan Scherrer menghubungkan lebar puncak pada puncak difraksi (β) dengan ukuran partikel (D). Semakin besar ukuran partikel (D), semakin sempit puncak difraksi (β). Fenomena ini digunakan untuk memperkirakan ukuran partikel dari data difraksi eksperimen tanpa harus mengukurnya secara langsung dengan teknik mikroskop. Berikut persamaan Scherrer ditunjukkan pada **Persamaan (2.2)** (Cullity and Stock, 2001) yaitu:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.2)$$

Dimana D adalah ukuran partikel, K adalah konstanta bentuk yang nilainya berkisar antara 0,89-9,0, λ adalah panjang gelombang sinar-X sekitar 0,15406 nm, β adalah *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dalam radian, dan θ adalah sudut Bragg. Untuk mengukur derajat kekristalan selulosa, digunakan metode segal ditunjukkan pada **Persamaan (2.3)** (Segal *et al.*, 1958) :

$$CrI (\%) = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100 \quad (2.3)$$

dengan:

- $I_{002} = 3975$ (intensitas pada $2\theta = 22,22^\circ$)
- $I_{am} = 2133,33$ (intensitas pada $2\theta = 13,44^\circ$)

2.9 UV-Vis Spektroskopi (*Ultraviolet Visible*)

Rentang UV-Vis masih penting dan sering digunakan dalam ilmu pengetahuan alam. Informasi optik dalam rentang ini dibuat ketika elektron terluar dari atom dan molekul bergerak dari satu tingkat energi ke tingkat energi lainnya sebagai hasil interaksi antara radiasi elektromagnetik dan material yang dimaksud. Meskipun spektrum cairan dan materi padat tidak sedetail spektrum gas atau IR, analisis spektrum UV-Vis tetap memberikan informasi tentang karakteristik material yang sedang diperiksa serta proporsi relatif dari bagian-bagian penyusunnya. Banyak aplikasi dapat ditemukan terutama dalam kimia analisis kuantitatif satu atau lebih unsur dan senyawa organik, analisis air, analisis enzim dan kinetika, penyelidikan

kesetimbangan kimia dan analisis reaksi kimia, dll. Mengenai teknologi instrumen masa kini dan juga prosedur pengukuran yang digunakan saat ini, rentang UV/Vis secara umum dipahami sebagai rentang dari 200 hingga 1000 nm dan karenanya sebagian mencakup area inframerah dekat (NIR) (Raty *et al.*, 2013).

Dalam spektrofotometri UV-Vis, umumnya menggunakan cahaya monokromatik. Dipilih menggunakan bantuan monokromator dari total spektrum emisi sumber cahaya. Di wilayah spektrum elektromagnetik ini, sifat radiasi dinyatakan sebagai panjang gelombang (nm). Namun, secara teoritis frekuensi dinyatakan sebagai bilangan gelombang digunakan karena bilangan gelombang berhubungan langsung dengan energi radiasi. Rumus menghitung energi foton ditunjukkan pada **Persamaan 2.4** (Planck, 1901) – **Persamaan 2.6** (Tipler and Mosca, 2007).

$$E = h\nu \quad (2.4)$$

Karena cahaya merambat dengan kecepatan c , dan $\nu = \frac{c}{\lambda}$, maka:

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

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.6)$$

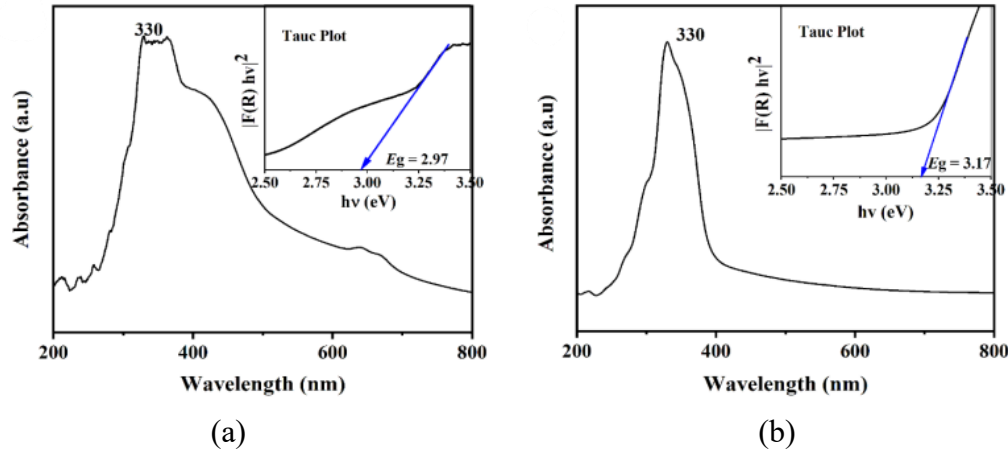
Dalam spektroskopi Uv-Vis, panjang gelombang dengan absorbansi maksimum merupakan hasil yang dipilih untuk analisis. Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas maksimum terjadi karena respon terbesar diperoleh untuk konsentrasi analit tertentu.

2.9.1 *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS)

Penentuan *band gap* optik merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi material semikonduktor, terutama untuk aplikasi dalam bidang fotokatalisis, sensor, dan perangkat optoelektronik. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan nilai *band gap* optik adalah melalui analisis data spektroskopi UV–Vis dengan menggunakan plot Tauc. Metode ini didasarkan pada hubungan antara koefisien serapan optik (α) dan energi foton ($h\nu$) yang dinyatakan dalam **Persamaan 2.7** (Tauc and Vancu, 1966).

$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (2.7)$$

Di mana h adalah konstanta planck, ν adalah frekuensi foton, E_g adalah energi celah pita, dan B adalah konstanta. Parameter n menggambarkan jenis transisi elektron. Pada **Gambar 2.6** menunjukkan spektrum UV-Vis DRS dari nano-ZnO.



Gambar 2.6 Spektrum serapan UV-Vis DRS versus panjang gelombang, dan plot Tauc untuk nano-ZnO-1 (a) dan nano-ZnO-2(b) (Suciyati *et al.*, 2024).

Pada material berbasis nanoselulosa seperti selulosa nanokristalin (CNC) yang telah dimodifikasi, plot Tauc menjadi alat penting dalam mengamati perubahan sifat optik akibat fungsionalisasi atau interaksi dengan nanopartikel lain. Ukuran partikel yang sangat kecil dan tingkat keteraturan struktural yang tinggi dapat menyebabkan perubahan signifikan pada nilai *band gap*, yang dapat diidentifikasi melalui pergeseran kurva Tauc. Oleh karena itu, penggunaan plot Tauc tidak hanya memungkinkan penentuan nilai *band gap* optik, tetapi juga memberikan informasi penting mengenai efek kuantum ukuran (*quantum confinement*) dan sifat elektronik dari material yang dikaji.

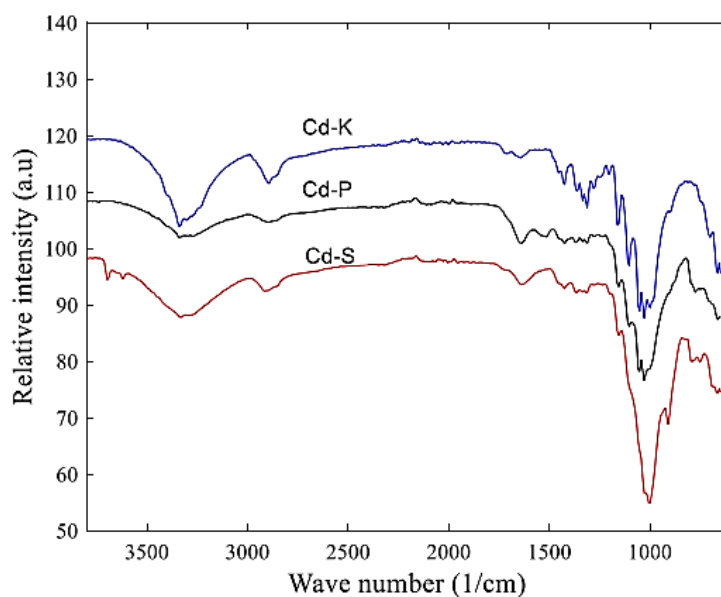
2.10 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah salah satu teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia dalam suatu senyawa berdasarkan pola serapan gelombang inframerah. Teknik ini didasarkan pada prinsip bahwa setiap ikatan kimia dalam molekul akan menyerap radiasi inframerah pada frekuensi tertentu sesuai dengan getaran alami dari ikatan tersebut. FTIR mampu menganalisis berbagai jenis material, baik organik maupun anorganik, tanpa merusak sampel. Oleh karena itu, FTIR banyak digunakan dalam

penelitian maupun industri sebagai alat karakterisasi yang cepat dan andal (Stuart, 2004; Smith, 2011).

Dalam proses analisis FTIR, sinar inframerah diarahkan ke permukaan sampel. Energi dari sinar ini akan diserap oleh molekul dan menyebabkan getaran ikatan, seperti regangan (*stretching*) dan pembengkokan (*bending*). Hasilnya berupa spektrum inframerah yang menunjukkan absorbansi terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}). Spektrum ini menggambarkan puncak-puncak karakteristik dari gugus fungsi tertentu, seperti gugus hidroksil ($-\text{OH}$) di $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$, karbonil ($\text{C}=\text{O}$) di sekitar $1650\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$, dan C–H alifatik di sekitar $2850\text{--}2950\text{ cm}^{-1}$ (Pavia *et al.*, 2014).

FTIR memiliki beragam aplikasi, mulai dari identifikasi senyawa kimia, pemantauan reaksi, hingga pengujian kemurnian. Dalam bidang material dan nanoteknologi, FTIR digunakan untuk mengevaluasi perubahan kimia akibat modifikasi permukaan, seperti pada bahan polimer atau nanokomposit. Misalnya, modifikasi selulosa dengan gugus karboksil dapat dikonfirmasi dengan munculnya puncak karakteristik $\text{C}=\text{O}$ pada spektrum. FTIR juga dapat mendeteksi interaksi antarmolekul, seperti ikatan hidrogen yang menyebabkan pergeseran puncak OH (Griffiths & de Haseth, 2007). **Gambar 2.7** menunjukkan spektrum FTIR untuk Selulosa *Cladophora* sp.



Gambar 2.7 Spektrum FTIR selulosa *Cladophora* sp. (Suciwati *et al.*, 2021).

Interpretasi spektrum FTIR membutuhkan pemahaman tentang bilangan gelombang khas dan bentuk puncaknya. Puncak yang tajam biasanya mengindikasikan gugus polar dengan momen dipol kuat, sedangkan puncak lebar menunjukkan gugus dengan ikatan hidrogen seperti -OH atau -NH . Teknik preparasi seperti metode KBr pellet atau ATR (*Attenuated Total Reflectance*) juga memengaruhi hasil spektrum. ATR saat ini banyak digunakan karena lebih praktis dan tidak memerlukan proses pelarutan atau pengepresan sampel (Stuart, 2004; Nandiyanto *et al.*, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Adapun penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 hingga bulan April 2025 di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi bahan dilakukan di PT. Inovasi Hijau Indonesia, Citarum, Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

Pembuatan nanokomposit selulosa-seng oksida dari bahan kulit bawang putih dan seng nitrat membutuhkan beberapa alat dan bahan sebagai berikut.

Alat-alat yang digunakan terbagi atas alat untuk ekstraksi selulosa dan isolasi CNC dan alat-alat untuk mengkarakterisasi sampel selulosa.

1. Neraca analitik, untuk mengukur berat sampel,
2. *Beaker glass* 500 ml; 250 ml; 30 ml, untuk tempat mengukur dan melarutkan sampel,
3. Blender, untuk menghaluskan kulit bawang putih yang sudah kering,
4. Ayakan 200 mesh, untuk mengayak kulit bawang putih,
5. Oven, untuk mengeringkan sampel dan kulit bawang putih,
6. Pipet tetes, untuk memindahkan larutan setetes demi setetes,
7. Spatula, untuk mengaduk sampel,
8. Kertas pH, untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan,
9. Kertas saring, untuk memisahkan endapan dan cairan ekstrak kulit bawang putih,
10. Corong kaca 75 mm, untuk tempat menyaring,
11. Erlenmeyer 100 ml, untuk menampung cairan yang disaring,
12. Toples, untuk tempat meletakkan kulit bawang putih yang sudah kering,

13. Cawan petri, untuk meletakkan endapan ZnO,
14. *Hotplate*, untuk memanaskan larutan dengan pengaturan suhu sesuai kebutuhan,
15. *Magnetic stirrer*, untuk mengadukan larutan secara otomatis dengan kecepatan yang konstan,
16. Mortar *agate*, untuk menghaluskan sampel,
17. XRD, untuk menguji struktur kristal sampel,
18. UV-Vis, untuk menguji sifat fotokatalitik,
19. *Centrifuge*, untuk memisahkan endapan pada larutan.

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan nanokomposit selulosa-seng oksida adalah:

1. Kulit bawang putih, digunakan sebagai bahan baku selulosa,
2. Natrium Hidroksida (NaOH) (99%, Pro Analis), digunakan untuk memurnikan selulosa dari lignin dan hemiselulosa,
3. Akuades (H_2O), digunakan untuk pelarut dan mencuci sampel,
4. Asam Asetat (CH_3COOH) (99%, Niochemical), digunakan untuk penyesuaian pH,
5. Natrium Bisulfit ($NaHSO_3$), digunakan untuk proses delignifikasi yaitu penghilangan lignin tanpa merusak selulosa,
6. Seng Nitrat Heksahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), digunakan untuk prekursor material hibrid nanokomposit,
7. Natrium Hipoklorit ($NaClO$) (5%, Onemed), digunakan untuk proses pemutihan (*Bleaching*),
8. Asam Sulfat (H_2SO_4) (98%, Pro Shield), digunakan untuk proses hidrolisis asam,
9. Metanol (CH_3OH) (99%, Pro Shield), digunakan sebagai agen ekstraksi untuk melarutkan senyawa yang tidak diinginkan, sehingga meningkatkan kemurnian selulosa.

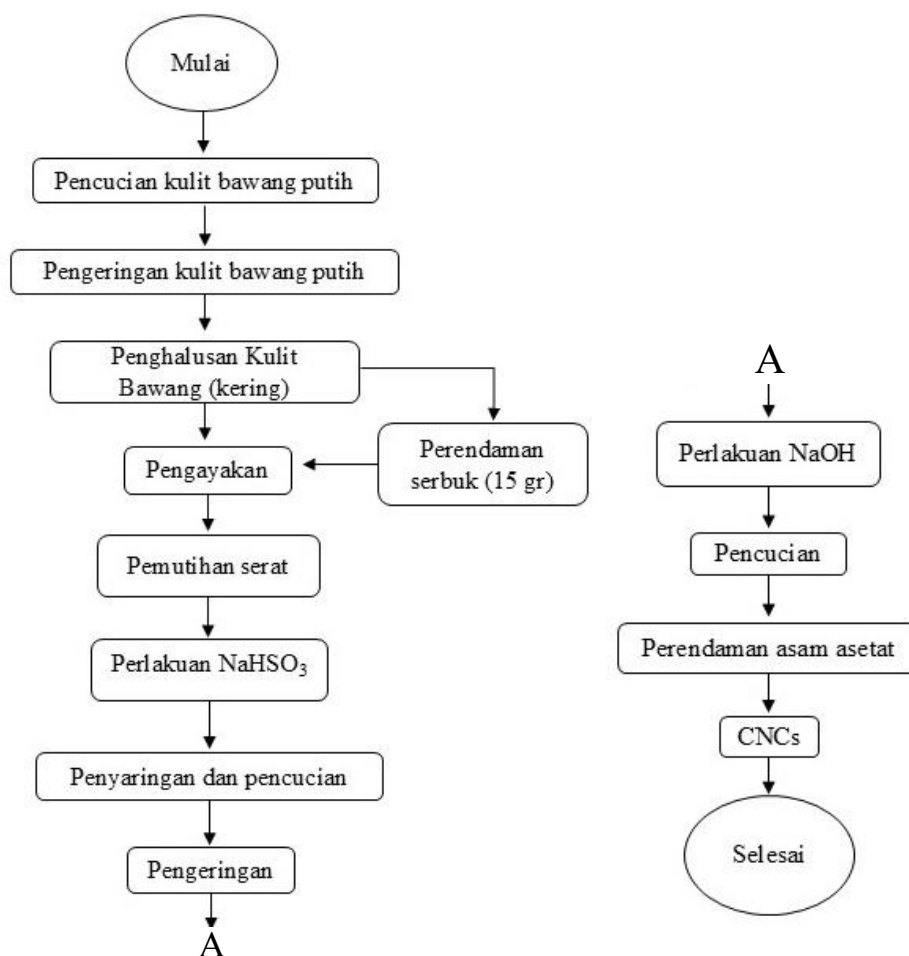
3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan nanokomposit selulosa-seng oksida berbasis bahan alami, yaitu kulit bawang putih, yang dikombinasikan dengan seng nitrat sebagai prekursor. Nanokomposit ini dirancang sebagai fotokatalis yang efektif dalam menyerap dan mengurangi pencemaran zat warna metil jingga di lingkungan. Dalam penelitian ini, konsentrasi seng nitrat sebagai prekursor dipilih sebagai variabel bebas karena berperan penting dalam menentukan struktur, ukuran, dan aktivitas fotokatalitik nanokomposit yang dihasilkan. Efisiensi fotokatalitik nanokomposit dalam menyerap warna metil jingga dijadikan sebagai variabel terikat untuk mengukur keberhasilan aplikasi material ini. Selain itu, beberapa variabel kontrol diterapkan untuk memastikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan. Variabel kontrol tersebut meliputi suhu dan durasi proses sintesis nanokomposit, pH larutan selama proses fotokatalisis, intensitas serta jenis sumber cahaya yang digunakan dalam fotokatalisis, konsentrasi awal metil jingga dalam larutan uji, serta rasio bahan kulit bawang putih terhadap prekursor seng nitrat. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan hasil yang optimal dalam memahami hubungan antara konsentrasi prekursor dan efisiensi fotokatalitik nanokomposit.

3.4 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pembuatan Selulosa

Kulit bawang putih adalah limbah biomassa yang tak hanya mengandung selulosa, tetapi juga zat pengotor lainnya. Sehingga perlu dilakukannya pemisahan selulosa dari kulit bawang putih, dengan mengacu pada metode penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Modi & Fulekar (2020) dan Reddy & Rhim (2018). Adapun prosedur penelitian pada pembuatan selulosa ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Selulosa

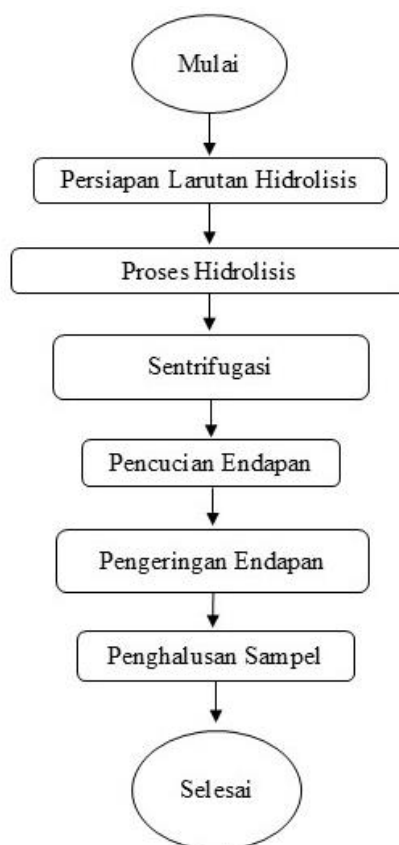
Proses dimulai dengan mencuci kulit bawang putih menggunakan akuades, kemudian mengeringkannya dalam oven pada suhu 120°C selama 120 menit. Setelah kulit bawang putih kering, bahan ini dihaluskan menggunakan blender hingga teksturnya menjadi halus, lalu diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan serbuk yang homogen. Selanjutnya, serat sebanyak 15 gram direndam dalam 150 ml metanol selama 24 jam. Setelah perendaman selesai, campuran disaring untuk memisahkan larutan dari endapannya. Endapan kemudian dicuci bersih menggunakan air suling.

Langkah berikutnya adalah proses pemutihan serat dengan menggunakan larutan natrium hipoklorit 0,7% (b/v) yang diatur pada pH 4. Proses ini melibatkan perebusan selama 2 jam dengan perbandingan serat terhadap larutan sebesar 1:25. Setelah pemutihan, serat diberi perlakuan dengan larutan natrium bisulfit sebanyak

5% (b/v) selama 1 jam. Campuran kemudian disaring, dicuci dengan akuades, dan dikeringkan pada suhu 100°C. Tahap selanjutnya adalah perlakuan dengan larutan natrium hidroksida 17,5% (b/v) selama 1 jam pada suhu 23°C dengan rasio serat terhadap larutan sebesar 1:25 (b/v). Setelah perlakuan ini, serat dicuci bersih, kemudian direndam dalam larutan asam asetat 10%. Akhirnya, serat dicuci bersih kembali dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 1 jam untuk mendapatkan hasil akhir yang siap digunakan.

2.5.2 Isolasi Nanokristal Selulosa (CNC)

Setelah melakukan pemisahan selulosa dari kulit bawang putih, langkah selanjutnya yaitu mengisolasi nanokristal selulosa (CNC) dengan metode hidrolisis asam. Lalu selulosa di ekstrak untuk mendapatkan selulosa kristal berukuran nano. Adapun prosedur pada isolasi nanokristal selulosa (CNC) ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



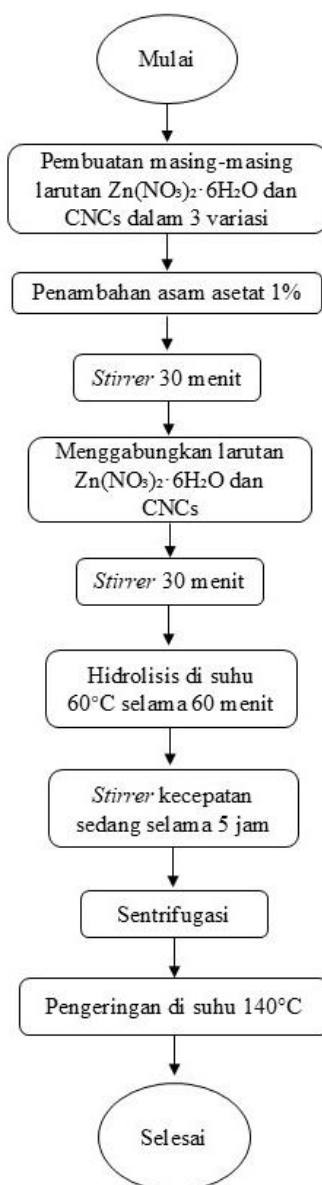
Gambar 3.2 Diagram Alir Isolasi Nanokristal Selulosa (CNC)

Proses dimulai dengan menyiapkan larutan hidrolisis asam, yaitu larutan asam sulfat 65% (b/v) yang akan digunakan untuk tahap hidrolisis. Selanjutnya, hidrolisis

dilakukan dengan mencampurkan selulosa dan larutan asam sulfat dalam perbandingan 1:20. Campuran tersebut diolah pada suhu 60°C selama 3 jam sambil terus diaduk untuk memastikan reaksi berlangsung merata. Setelah proses hidrolisis selesai, campuran ditambahkan dengan akuades dingin untuk menghentikan reaksi, kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Campuran ini kemudian diproses melalui sentrifugasi pada kecepatan 1000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan endapan. Endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades hingga pH mencapai 8 untuk memastikan netralisasi. Tahap berikutnya adalah pengeringan endapan menggunakan oven pada suhu 140°C selama 2 jam untuk menghilangkan sisa air. Setelah kering, sampel digerus menggunakan agate mortar hingga halus. Sampel yang telah selesai diproses ini kemudian siap untuk dianalisis lebih lanjut dalam proses karakterisasi.

3.5.3 Pembuatan Nanokomposit CNC/ZnO

Setelah selulosa CNC berhasil disintesis, langkah-langkah untuk membuat nanokomposit CNC/ZnO dimulai. Adapun prosedur penelitian pada pembuatan nanokomposit CNC/ZnO ini ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Nanokomposit CNC/ZnO

Prosedur dimulai dengan mencampurkan CNC dan Zn(NO₃)₂·6HO dalam tiga variasi komposisi, yaitu: variasi pertama dengan rasio 2:0,6 gram, variasi kedua dengan rasio 2:0,8 gram, dan variasi ketiga dengan rasio 2:1 gram. Setiap campuran kemudian dicampur dengan larutan asam asetat 1% (b/v) dan diaduk selama 30 menit untuk memastikan homogenitas larutan. Selanjutnya, larutan CNC dan

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ digabungkan, kemudian diaduk kembali selama 30 menit. Proses ini diikuti dengan tahap hidrolisis pada suhu 60°C selama 60 menit untuk mendukung reaksi kimia yang terjadi. Setelah itu, campuran diaduk pada kecepatan sedang selama 8 jam untuk memastikan distribusi material yang merata.

Setelah proses pengadukan selesai, campuran disentrifugasi pada kecepatan 500 rpm selama 10 menit untuk memisahkan padatan dari larutan. Padatan yang diperoleh dicuci sebanyak empat kali menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa zat yang tidak diinginkan. Kemudian, hasil pencucian dikeringkan pada suhu 140°C selama 2 jam hingga diperoleh material kering. Sebagai langkah terakhir, sampel yang telah dikeringkan dikarakterisasi lebih lanjut untuk mengevaluasi sifat dan kualitasnya sesuai kebutuhan penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Telah dilakukannya pembuatan selulosa nanokomposit CNC/ZnO dari limbah kulit bawang putih sebagai bahan dasar pembuatan selulosa dan ZnO sebagai prekursor. Dari hasil yang telah diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi massa nanokomposit CNC/ZnO berpengaruh terhadap efisiensi fotodegradasi metil jingga, di mana peningkatan massa dapat menghasilkan efisiensi degradasi yang lebih tinggi. Efisiensi ini menurun pada massa yang terlalu besar akibat terjadinya aglomerasi partikel dan penurunan kemampuan sinar UV untuk menembus permukaan aktif (fotokatalis).
2. Waktu paparan radiasi UV yang lebih lama cenderung meningkatkan aktivitas fotokatalitik nanokomposit CNC/ZnO dalam menyerap dan mendegradasi metil jingga. Waktu paparan terbaik diperoleh pada menit ke-120, yang ditunjukkan oleh perubahan warna larutan paling signifikan berdasarkan hasil pengamatan visual

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, terdapat beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya. Adapun saran yang disampaikan sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi efektivitas Fotodegradasi di bawah cahaya matahari alami agar dapat diaplikasikan secara langsung di lingkungan terbuka.

2. Pengujian ulang menggunakan konsentrasi awal metil jingga yang berbeda perlu dilakukan untuk melihat kapasitas maksimum degradasi komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamri, H., & Low, I. M. 2012. Mechanical properties and water absorption behaviour of recycled cellulose fibre reinforced epoxy composites. *Polymer Testing*. Vol. 31. No. 6. Hal. 620-628.
- Alemдар, A., & Sain, M. 2008. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues - Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*. Vol. 99. No. 6. Hal. 1664-1671.
- Al-Mutairi, N. H., Mehdi, A. H., Kadhim, B. J. 2022. Nanocomposites Materials Definitions, Types and Some of Their Applications: A Review. *European Journal of Reasearch Development and Sustainability (EJRDS)*. Vol. 3. No. 2. Hal. 102-108.
- American Chemical Society. 2017. *ACS Reagent Chemicals: Specifications and Procedures for Reagents and Standard-Grade Reference Materials*. American Chemical Society.
- Azizi, S., Ahmad, M., Mahdavi, M., & Abdolmohammadi, S. 2013. Preparation, characterization, and antimicrobial activities of ZnO nanoparticles/cellulose nanocrystal nanocomposites. *BioResources*. Vol. 8. No. 2. Hal. 1841–1851.
- Bagheaei, B., dan Skridvars, M. 2020. All-Cellulose Composites: A Review of Recent Studies on Structure, Properties and Applications. *Molecules*. Vol. 25. No. 12. Hal. 28-36.
- Bagheri, M., & Rabieh, S. 2013. Preparation and characterization of cellulose-ZnO nanocomposite based on ionic liquid ([C4mim]Cl). *Cellulose*. Vol. 20. Hal. 699-705.
- Bhole, D. K., Puri, R. G., Meshram, P. D., & Sirsam, R. S. 2020. Photocatalytic degradation of methyl orange using doped ZnO nanocatalyst. *Journal of the Indian Chemical Society*, Vol. 97. Hal. 440–445.
- Carolyn, F., Kamalesh, T., Senthil Kumar, P., Hemavathy, R. V., & Rangasamy, G. 2023. A critical review on sustainable cellulose materials and its multifaceted applications. *Industrial Crops and Products*. Vol. 203. No. 117-221.

- Chai, Y. D., Pang, Y. L., Lim, S., Chong, W. C., Lai, C. W., dan Abdullah, A. Z. 2022. Recent Progress on Tailoring the Biomass-Derived Cellulose Hybrid Composite Photocatalysts. *Polymers*. Vol. 14. No. 13. Hal. 1-9.
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. 2001. *Elements of X-ray Diffraction (3rd ed.)*. Prentice Hal. Hal 94.
- Deshmukh, S., Topare, N. S., Jadhav, S. R., Thora, P. V., Bokil, S. A., dan Khan, A. 2022. Orange Peel Activated Carbon Produced From Waste Orange Peels for Adsorption of Methyl Red. *Aqua-Water Infrastructure, Ecosystems and Society*. Vol. 71. No.12. Hal 1-19.
- Dey, S., Mohanty, D. I., Divya, N., Bakshi, V., Mohanty, A., Rath, D., Das, S., Mondal, A., Roy, S., Sabui, R. 2024. A Critical Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Properties and Biomedical Applications. *Intelligent Pharmacy*.
- Elemike, E.E., Onwudiwe, D.C. & Mbonu, J.I. 2021. Facile Synthesis of Cellulose–ZnO-hybrid Nanocomposite Using *Hibiscus Rosa-Sinensis* Leaf Extract and Their Antibacterial Activities. *Applied Nanoscience*. Vol. 11. Hal. 1349–1358.
- Estefan, E., Elystia, S., Kuan, W.-H., & Sasmita, A. 2023. Removal of methyl orange textile dye using magnetic chitosan microspheres adsorbent. *Water Practice & Technology*. Vol. 18. No. 12. Hal. 3280–3290.
- Folawewo, A. D., dan Bala, M. D. 2022. Nanocomposite Zinc Oxide-Based Photocatalysts: Recent Developments in Their Use for the Treatment of Dye-Polluted Wastewater. *Water*. Vol. 14. No. 23. Hal. 38-99.
- French, A. D. 2014. Idealized powder diffraction patterns for cellulose polymorphs. *Cellulose*. Vol. 21. Hal. 885–896.
- Ginting, A., & Sinabariba, N. Y. 2023. Synthesis of Methyl Cellulose from Rice Husk Cellulose (*Oryza sativa* L.) with Methylene Chloride Through Etherification Reaction. *Journal of Chemical Natural Resources*. Vol. 5. No. 2. Hal. 115-122.
- Goebbert, D. J., Garand, E., Wende, T., Bergmann, R., Meijer, G., Asmis, K. R., & Neumark, D. M. 2009. Infrared Spectroscopy of the Microhydrated Nitrate Ions $\text{NO}_3\text{-(H}_2\text{O)}_1\text{-6}$. *The Journal of Physical Chemistry A*. Vol. 113. No. 27. Hal. 7584-7592.
- Gong, J., Li, J., Xu, J., Xiang, Z., & Mo, L. 2017. Research on cellulose nanocrystals produced from cellulose sources with various polymorphs. *RSC Advances*. Vol. 7. Hal. 33486–33493.

- Griffiths, P. R., & de Haseth, J. A. 2007. *Fourier transform infrared spectrometry* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley-Interscience.
- Guell, F., Martinez, A. G., Alanis, P. R. M., Catto, A. C., Silva, L. F. D., Mastelaro, V. R., Santana, G., dan Dutt, A. 2023. ZnO-based Nanomaterials Approach for Photocatalytic and Sensing Applications: Recent Progress and Trends. *Materials Advances*. Vol. 4. No. 17. Hal. 3673-3896.
- Han, C., Lu, S., & Lin, Jin-Ming. 2020. Mechanistic investigation of reactive species in ZnO/g-C₃N₄ heterojunction for dye degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 268, Hal. 118-635.
- Hasanpour, M., Motahari, S., Jing, D., & Hatami, M. 2021. Statistical analysis and optimization of photodegradation efficiency of methyl orange from aqueous solution using cellulose/zinc oxide hybrid aerogel by response surface methodology (RSM). *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 14. Hal. 103401.
- Hernández-Varela, J. D., Chanona-Pérez, J. J., Calderón Benavides, H. A., Cervantes Sodi, F., & Vicente-Flores, M. (2020). *Effect of ball milling on cellulose nanoparticles structure obtained from garlic and agave waste*. Carbohydrate Polymers. Vol. 254 No. 117347. Hal. 1-8.
- Hospodarova, V., Singovszka, E., & Stevulova, N. 2018. Characterization of cellulosic fibers by FTIR spectroscopy for their further implementation to building materials. *American Journal of Analytical Chemistry*. Vol. 9. No. 6. Hal. 303–310.
- Jamal, N., Radhakrishnan, A., Raghavan, R., and Bhaskaran, B. 2020. Efficient photocatalytic degradation of organic dye from aqueous solutions over zinc oxide incorporated nanocellulose under visible light irradiation. *Main Group Metal Chemistry*. Vol. 43. No. 1. Hal. 84-91.
- Janotti, A., & Van de Walle, C. G. 2009. Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor. *Reports on Progress in Physics*. Vol. 72. No. 12. Hal. 1-29.
- Jha, A. K., and Sit, N. 2022. Extraction of Bioactive Compounds From Plant Materials Using Combination of Various Novel Methods: A Review. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 119. Hal. 579-591.
- Jordanov, B., Tsankova, D., & Korteb, E. H. 2003. Peculiarities in the stretching vibrations of the methylene groups. *Journal of Molecular Structure*. Vol. 651. Hal. 101–107.
- Joseph, B., Sagarika, V. K., Sabu, C., Kalarikkal, N., and Thomas, S. 2020. Cellulose Nanocomposites: Fabrication and Biomedical Applications, *Journal of Bioresources and Bioproducts*. Vol. 5. No. 4. Hal. 223-237.

- Ju, X., Bowden, M., Brown, E. E., & Zhang, X. 2015. An improved XRD method for cellulose crystallinity index measurement. *Cellulose*. Vol. 22. Hal. 463–471.
- Kargarzadeh, H., Ahmad, I., Abdullah, I., Dufresne, A., Zainudin, S. Y., & Sheltami, R. M. 2012. Effects of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers. *Cellulose*. Vol. 19. No. 3. Hal. 855-866.
- Khalil, H. P. S. A., Bhat, A. H., & Yusra, A. F. I. 2012. Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 87. No. 2. Hal. 963-979.
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. 2011. Nanocelluloses: A new family of nature-based polymers. *Angewandte Chemie International Edition*. Vol. 50. No. 24. Hal. 5438-5466.
- Li, Y., Yan, M., Li, X., & Ma, J. 2024. Construction of Cu₂O-ZnO/cellulose composites for enhancing the photocatalytic performance. *Catalysts*. Vol. 14. No. 8. Hal. 476.
- Mishra, N., Gulati, S., Moriya, Y., Kumar, S., dan Dubey, G. 2024. Enhanced Photocatalytic Degradation of Hazardous Dyes Under Visible Light with Biogenically Synthesized ZnO-decked Multi-Walled Carbon Nanotubes (ZnO/MWCNT) Nanocomposite: Catalyst Fabrication, Performance and Mechanistic Insight. *Nano-Structures & Nano-Objects*. Vol. 39. Hal. 1-10.
- Modi, S., & Fulekar, M. H. 2020. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles and zinc oxide/cellulose nanocrystals nanocomposite for photocatalytic degradation of Methylene blue dye under solar light irradiation. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, Vol. 5. No.1. Hal. 18.
- Modi, S., Yadav, V. K., Gacem, A., Ali, I. H., Dave, D., Khan, S. H., Yadav, K. K., Rather, S. U., Ahn, Y., Son, C. T., dan Jeon, B. H. 2022. Recent and Emerging Trends in Remediation of Methylene Blue Dye from Wastewater by Using Zinc Oxide Nanoparticles. *Water*. Vol. 14. No. 11.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. 2019. How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. Vol. 4. No. 1. Hal. 97–118.
- Nishiyama, Y., Sugiyama, J., Chanzy, H., & Langan, P. 2002. Crystal Structure and Hydrogen Bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *Journal of the American Chemical Society*. Vol. 124. No. 47. Hal 9074-9082.

- Nishiyama, Y., Sugiyama, J., Chanzy, H., & Langan, P. 2003. Crystal Structure and Hydrogen Bonding System in Cellulose Ia from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *Journal of the American Chemical Society*. Vol. 125. No. 47. Hal. 14300-14306.
- Okamoto, M. 2023. Nanokomposit Polimer. *English*. Vol. 4. No. 1, Hal. 457-479.
- Pandey, A., Pathak, V. M., Navneet, & Rajput, M. 2024. A feasible approach for azo-dye (methyl orange) degradation by textile effluent isolate *Serratia marcescens* ED1 strain for water sustainability: AST identification, degradation optimization and pathway hypothesis. *Heliyon*, Vol. 10. No. e32339. Hal. 1-21.
- Park, S., Baker, J. O., Himmel, M. E., Parilla, P. A., & Johnson, D. K. 2010. Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpretation. *Biotechnology for Biofuels*. Vol. 3. No. 1. Hal. 1-10.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. 2014. *Introduction to spectroscopy* (5th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.
- Pinto, E., Anggrey, W. N., Boayke, P., Amenuvor, G., Neuyam, Y. A. S., Fokuo, M. K., Karimaie, H., Sarkodie, K., Adenutsi, C. D., Erzuah, S., dan Rockson, M. A. D. 2022. Cellulose Processing From Biomass and its Derivatization Into Carboxymethylcellulose: A review. *Scientific African*. Vol. 15. Hal 1-14.
- Planck, M. 1901. On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum. *Annalen der Physik*. Vol. 4. No. 553. Hal. 1–10.
- Poletto, M., Ornaghi, H. L., & Zattera, A. J. 2014. Native cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials*. Vol. 7. No. 9. Hal. 6105–6119.
- Prabhu, Y. T., Rao, K. V., Kumar, V. S. S., & Kumari, B. S. 2014. X-ray analysis by Williamson–Hall and size–strain plot methods of ZnO nanoparticles with fuel variation. *Materials Research*. Vol. 17. No. 1. Hal. 96–101.
- Rajani, A., Chauhan, P., dan Dave, P. Y. 2021. Nanocomposites: A New Tendency of Structure in Nanotechnology and Material Science. *Journal of Nanoscience and Technology*. Vol. 7. No. 1. Hal. 937-941.
- Rana, M. S., Rahim, M. A., Mosharraf, M. P., Tipu, M. F. K., Chowdhury, J. A., Haque, M. R., Kabir, S., Amran, M. S., & Chowdhury, A. A. 2023. Morphological, spectroscopic and thermal analysis of cellulose nanocrystals extracted from waste jute fiber by acid hydrolysis. *Polymers*. Vol. 15. No. 6. Hal. 1-15.

- Reddy, J. P., & Rhim, J.-W. 2018. Extraction and characterization of cellulose microfibrils from agricultural wastes of onion and garlic. *Journal of Natural Fibers*, Vol. 15. No. 4. Hal. 465–473.
- Sarker, A., Ahmmed, R., Ahsan, S. M., Rana, J., Ghosh, M. K., dan Nandi, R. 2024. A Comprehensive Review of Food Waste Valorization for The Sustainable Management of Global Food Waste. *Sustainable Food Technology*. Vol. 2. Hal. 48-69.
- Segal, L., Creely, J. J., Conrad, M., & Martin, A. E. 1958. Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*, October. Vol. 29. No. 10. Hal. 786-794.
- Shapourabadi, M. S., Elkoun, S., dan Robert, M. 2023. Microwave-Assisted Chemical Purification for Extraction of Nano-Fibrillated Cellulose From Potato Peel Waste. *Macromol*. Vol. 3. Hal. 766-781.
- Singh, A., Ahmed, A., Sharma, A., Sharma, C., Paul, S., Khosla, A., & Arya, S. 2021. Promising photocatalytic degradation of methyl orange dye via sol-gel synthesized Ag-CdS@Pr-TiO₂ core/shell nanoparticles. *Physica B: Physics of Condensed Matter*. Vol. 616. Hal. 1-13.
- Smith, B. C. 2011. *Infrared spectral interpretation: A systematic approach*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Sowa, H., & Ahsbahs, H. 2006. High-pressure X-ray investigation of zincite ZnO single crystals using diamond anvils with an improved shape. *Journal of Applied Crystallography*. Vol. 39. No. 1. Hal. 44-52.
- Stuart, B. H. 2004. *Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Suciyati, S. W., Junaidi, J., Situmeang, R., & Manurung, P. 2024. Nano-ZnO prepared by using chaya and mango leaves extract for photocatalyst of methylene blue. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. Vol. 34. No. 1. Hal. 1-9.
- Suciyati, S. W., Manurung, P., Sembiring, S., & Situmeang, R. (2021). Comparative study of *Cladophora* sp. cellulose by using FTIR and XRD. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1751. No. 1. Hal. 1-9.
- Sun, Y., Zhang, W., Li, Q., Liu, H., Wang, X. 2023. Preparations and Applications of Zinc Oxide Based Photocatalytic Materials. *Advanced Sensor and Energy Materials*. Vol. 2. No. 3. Hal. 1-19.

- Susmanto, P., Yandriani, Midelin, P., Khoirunnisa, S., Vanesya, S., Maharani, S., & Armelia, E. 2023. Pembuatan Superabsorben Dari Akrilamida Dan Selulosa Serat Daun Mahkota Nanas Dengan Inisiator Amonium Persulfat. *Jurnal Integrasi Proses*. Vol. 12. No. 2. Hal. 66-72.
- Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. 1966. Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Germanium. *Physica Status Solidi (b)*. Vol. 15. No. 2. Hal. 627–637.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. 2007. *Physics for Scientists and Engineers (6th ed.)*. W.H. Freeman and Company.
- Tuara, Z. I., Raya, I., & Gaffar, M. 2019. Study of crystallinity extract cellulose from corn stalk fiber. *Proceedings of ICOST 2019*, Makassar, Indonesia.
- Wang, E. Z., Wang, Y., dan Xiao, D. 2021. Polymer Nanocomposites for Photocatalytic Degradation and Photoinduced Utilizations of Azo-Dyes. *Polymers (Basel)*. Vol. 13. No. 8. Hal. 1-18.
- Wasim, M., Shi, F., Liu, J. Farooq, A., Khan, S. U., Salam, A., Hassan, T., dan Zhao, X. 2021. An overview of Zn/ZnO Modified Cellulosic Nanocomposites and Their Potential Applications. *Journal of Polymer Research*. Vol. 28. No. 338. Hal. 1-22.
- Wei, B., Zheng, K., Ji, Y., Zhang, Y., Zhang, Z., & Han, X. 2012. Size-Dependent Bandgap Modulation of ZnO Nanowires by Tensile Strain. *Nano Letters*. Vol. 12. No. 9. Hal. 4595-4599.
- Wu, S., Cheng, L., & Wang, Q. 2017. Excitonic effects and related properties in semiconductor nanostructures: roles of size and dimensionality. *Materials Research Express*, No.4. Vol. 8. Hal. 1-13.
- Xue, C., Dong, Z., & Zhou, Y. (2021). Visible light-induced photocatalytic degradation of methyl orange using MnCoO/CNT nanocomposites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol.9 No. 5. Hal. 104-110.
- Xu, Q., Chen, C., Rosswurm, K., Yao, T., & Janaswamy, S. 2016. A facile route to prepare cellulose-based films. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 149. Hal. 274-281.
- Zaman, A., Ali, M. S., Orasugh, J. T., Banerjee, P., dan Chattopdhyay, D. 2022. Biopolymer-Based Nanocomposites for Removal of Hazardous Dyes from Water Bodies. *Innovations in Enviromental Biotechnology*. Hal. 759-783.