

***GREEN SYNTHESIS* NANOPARTIKEL ZnO DENGAN
EKSTRAK KAYU BAJAKAH SEBAGAI BIOREDUKTOR
UNTUK DEGRADASI PEWARNA DAN ANTIBAKTERI**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat Sarjana S1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Lailatul Machfudhoh

20106020019

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1170/Un.02/DST/PP.00.9/06/2025

Tugas Akhir dengan judul : Green Synthesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Ekstrak Kayu Bajakah Untuk Degradasi Pewarna dan Antibakteri

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : LAILATUL MACHFUDHOH
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020019
Telah diujikan pada : Selasa, 10 Juni 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 6851faf36c18e



Penguji I
Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 68512f32af666



Penguji II
Andi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 685130e544fc4



Yogyakarta, 10 Juni 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 68521cf34948e

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lailatul Machfudhoh

NIM : 20106020019

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "*Green Synthesis* Nanopartikel ZnO Dengan Ekstrak Kayu Bajakah Sebagai Bioreduktor Untuk Degradasi Pewarna dan Antibakteri" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 3 Maret 2025

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAR
YOGYAKARTA



Lailatul Machfudhoh
NIM. 20106020019

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Lailatul Machfudhoh
NIM : 20106020019
Judul Skripsi : *Green Synthesis* Nanopartikel ZnO Dengan Ekstrak Kayu Bajakah Sebagai Bioreduktor Untuk Degradasi Pewarna dan Antibakteri

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunafasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 3 Maret 2025

Pembimbing II

Pembimbing I


Dr. Widayanti, S.Si., M.Si.,
NIP. 19760526 200604 2 005


Asih Melati, S.Si., M.Sc., PhD
NIP. 19841110 201101 2 017

MOTTO

“Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri.”

– (QS. Ar-Ra’d:11) –

“Dan mungkin, saya membuat kesalahan kemarin. Tapi saya yang kemarin, tetaplah saya. Hari ini, saya tetaplah saya dengan segala kesalahan dan keburukan saya. Besok saya mungkin menjadi sedikit lebih bijaksana dan itu adalah saya juga. Kesalahan dan keburukan ini adalah diriku yang menciptakan bintang-bintang yang paling terang dalam konstalasi kehidupanku. Saya telah mencintai diri saya untuk saya yang sekarang, untuk saya dimasa lalu, dan untuk saya di masa yang akan datang.”

– RM BTS –

“Jika jalannya terlihat terlalu mudah, mungkin kamu berada di jalan yang salah.”

– Monkey D. Luffy –

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

Allah SWT

Nabi Muhammad SAW

Ibu tercinta Muawanah dan Bapak Jamaludin

Mbak Nurul dan Keluarga

Mas Miftakhul Huda dan Keluarga

Adek M. Yusuf Efendi

Teman-teman Fisika 2020

Study Club Fisika Material

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT sang pencipta alam semesta beserta isinya, berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “*Green Synthesis* Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Kayu Bajakah Sebagai Bioreduktor untuk Degradasi Pewarna dan Antibakteri“. Sholawat serta salam tidak lupa termurnikan kepada nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya di yaumul akhir. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Ibu dan Bapak yang tanpa henti memberi dukungan, kasih sayang, motivasi, semangat, dan do'a kepada penulis.
3. Embak, Mas, dan adik yang selalu memberikan semangat, hiburan, dan doa kepada penulis.
4. Bapak Prof. Noorhaidi, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Ibu Dr. Widayanti, S.Si, M.Si selaku Kepala Program Studi Fisika, Dosen Pembimbing akademik, serta Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa memberi arahan dan masukan selama penulis menempuh pendidikan ini

7. Ibu Asih Melati, S.Si, M.Sc, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang selalu memberikan motivasi, masukan, pengarahan, dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan sampai terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Bapak Indra Noviyanto, S.Si selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Kimia yang telah memberikan bantuan dan kemudahan fasilitas Lab Kimia kepada penulis selama penelitian tugas akhir.
9. Ibu Ethik Susiawati Purnomo, S.Si., selaku Pranata Laboratorium Biologi yang telah membantu, memberikan arahan, dan kemudahan fasilitas Laboratorium Biologi kepada penulis selama penelitian tugas akhir.
10. Bapak Asim Septiyansyah, S.Si., dan Agung Nugroho, S.Si., selaku Pranata Laboratorium Fisika mempermudah peminjaman alat-alat dan ruangan Laboratorium Nano Material kepada penulis selama penelitian tugas akhir.
11. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Fisika yang telah memberikan nasihat dan memberikan ilmunya selama penulis menempuh pendidikan ini.
12. Teman-teman Fisika Angkatan 2020, teman-teman Komplek El-Hawa terutama anggota kamar Detim dan semua pihak yang memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
13. Diri sendiri sebagai penulis, yang sudah mampu berjuang melawan sakit, rasa malas, dan mengesampingkan hal lain untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
14. MbK Nisa Fajria selaku partner penelitian yang senantiasa memberikan motivasi, masukan, dan semangat selama penulis menempuh proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.

15. Terimakasih kepada *bangtan*, yang selalu menemani dan menginspirasi dengan karya-karyanya dalam menjalani kehidupan penulis.

16. Para kru mugiwara, yang telah hadir dalam proses penulisan tugas akhir, dan menjadikan penulis sebagai nakama.

Demikian penulis menyadari adanya keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga skripsi tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun dan penulisan ini dapat menambah inspirasi dan wawasan bagi pembaca

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 10 Juni 2025

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL ZnO DENGAN EKSTRAK KAYU BAJAKAH SEBAGAI BIOREDUKTOR UNTUK DEGRADASI PEWARNA DAN ANTIBAKTERI

Lailatul Machfudhoh

20106020019

INTISARI

Dewasa ini pencemaran lingkungan khususnya pada air sungai semakin banyak, contohnya seperti pembuangan limbah warna secara ilegal. Zat warna yang digunakan seperti *Methylene Blue*, *Crystal Violet* dll. Selain itu limbah zat cair memicu tumbuhnya patogen berbahaya seperti keberadaan bakteri *Escherichia coli*. Oleh karena itu upaya mendegradasi zat warna *Crystal Violet* dan dekontaminasi bakteri *E. coli* perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas air. Salah satu manfaat nanopartikel adalah untuk degradasi zat warna dan sterilisasi bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel ZnO, mengkarakterisasi nanopartikel ZnO, serta menganalisis kemampuan degradasi *Crystal Violet* dan sifat antibakteri *E. coli*. Metode *green synthesis* digunakan untuk sintesis nanopartikel ZnO dengan bioreduktor ekstrak kayu bajakah. Nanopartikel ZnO yang dihasilkan digunakan sebagai katalis untuk fotodegradasi *Crystal Violet* dengan variasi berat 0,05 dan 0,1 gram. Dua variasi berat nanopartikel tersebut dilakukan dalam ruangan tertutup (tidak terpapar UV) selama 30 menit dan ruangan terbuka (terpapar sinar UV) selama 30 dan 60 menit. Metode difusi cakram digunakan untuk menganalisa kemampuan antibakteri terhadap bakteri *E. coli*. Proses karakterisasi nanopartikel ZnO menggunakan SEM-EDX, XRD, dan UV-Vis. Hasil karakterisasi menunjukkan sintesis nanopartikel ZnO berhasil dilakukan dengan ukuran 50.6 nm. Hasil EDX menunjukkan persentase Zn 47,10% dan O 52,90%. Dari hasil XRD menunjukkan puncak tertinggi terdapat pada sudut difraksi 2 θ kisaran 36° bidang hkl [101] dan diikuti dengan puncak 2 θ kisaran 31° serta 34° yang mencerminkan struktur heksagonal. Sedangkan hasil pengujian fotokatalik 0,1gram nanopartikel ZnO selama 60 menit absorbansi dalam ruang terbuka menunjukkan hasil yang paling maksimum dimana *Crystal Violet* yang terdegradasi mencapai 69,53%. Aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO terhadap bakteri *E. coli* menghasilkan diameter zona hambat sebesar 20 mm. Dapat disimpulkan nanopartikel ZnO memiliki kemampuan mendegradasi *Crystal Violet* dan memiliki resistensi yang kuat terhadap bakteri *E. coli*.

Kata kunci: Antibakteri, Fotokatalis, *Green Synthesis*, Nanopartikel, ZnO.

GREEN SYNTHESIS OF ZnO NANOPARTICLES WITH BAJAKAH WOOD EXTRACT AS A BIOREDUCTOR FOR DYE DEGRADATION AND ANTIBACTERIAL

Lailatul Machfudhoh

20106020019

ABSTRACT

Nowadays, environmental pollution, especially in rivers, is increasing, for example, illegal disposal of dye waste. Dyes used include Methylene Blue, Crystal Violet, etc. In addition, liquid waste triggers the growth of dangerous pathogens such as *Escherichia coli* bacteria. Therefore, efforts to degrade Crystal Violet dye and decontaminate *E. coli* bacteria need to be carried out to improve water quality. One of the benefits of nanoparticles is their ability to degrade dyes and sterilize bacteria. This study aims to synthesize ZnO nanoparticles, characterize ZnO nanoparticles, and analyze their ability to degrade Crystal Violet and their antibacterial properties against *E. coli*. A green synthesis method was used to synthesize ZnO nanoparticles using a bioreductant from Bajakah wood extract. The resulting ZnO nanoparticles were used as a catalyst for the photodegradation of Crystal Violet with variations in weight of 0.05 and 0.1 grams. These two variations in nanoparticle weight were conducted in a closed room (not exposed to UV) for 30 minutes and an open room (exposed to UV light) for 30 and 60 minutes. The disk diffusion method was used to analyze the antibacterial activity against *E. coli* bacteria. The characterization of ZnO nanoparticles was performed using SEM-EDX, XRD, and UV-Vis. The characterization results indicated that the synthesis of ZnO nanoparticles was successful with a size of 50.6 nm. The EDX results showed a percentage of Zn 47.10% and O 52.90%. The XRD results showed the highest peak at a diffraction angle of 2θ in the range of 36° on the hkl [101] plane, followed by peaks at 2θ in the range of 31° and 34° , indicating a hexagonal structure. Meanwhile, the photocatalytic testing of 0.1 grams of ZnO nanoparticles for 60 minutes in an open space showed the maximum results, with Crystal Violet degradation reaching 69.53%. The antibacterial activity of ZnO nanoparticles against *E. coli* bacteria resulted in an inhibition zone diameter of 20 mm. It can be concluded that ZnO nanoparticles have the ability to degrade Crystal Violet and exhibit strong resistance against *E. coli* bacteria.

Keywords: Antibacterial, Photocatalyst, Green Synthesis, Nanoparticles, ZnO.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iv
MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTISARI.....	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
GLOSARIUM	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Studi Pustaka.....	10
2.2 Landasan Teori	15
2.2.1 <i>Green Synthesis</i>	15
2.2.2 Nanopartikel ZnO.....	17
2.2.3 Seng Asetat Dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).....	19
2.2.5 Pewarna <i>Crystal Violet</i>	22
2.2.6 Bakteri <i>Escherichia coli</i>	24
2.2.7 Kopresipitasi	25
2.2.8 Aktivitas Fotokatalis nanopartikel ZnO	27
2.2.9 <i>Scanning Electron Microscope</i>	29
2.2.10 <i>Energy Dispersive X-ray</i> (EDX)	32
2.2.11 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	34

2.2.12 Spektrofotometer UV-Vis.....	36
BAB III METODE PENELITIAN.....	38
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.3 Prosedur Penelitian.....	39
3.3.1 Ekstraksi Kayu Bajakah	39
3.3.2 <i>Green Synthesis</i> Nanopartikel ZnO.....	40
3.3.3 Karakterisasi Sampel.....	41
3.3.4 Pengujian Fotokatalis	43
3.3.5 Uji Antibakteri.....	45
3.4 Metode Analisis Data	47
3.4.1 Uji Fotokatalis.....	47
3.4.2 Uji Antibakteri.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Sintesis Nanopartikel ZnO	50
4.2 Karakterisasi Sampel.....	51
4.2.1 Karakterisasi SEM-EDX.....	51
4.2.2 Karakterisasi XRD	54
4.3 Uji Fotokatalis.....	56
4.3.1 Panjang Gelombang Maksimum <i>Crystal Violet</i>	56
4.3.2 Kurva Kalibrasi.....	57
4.3.3 Uji Degradasi <i>Crystal Violet</i>	58
4.4 Uji Antibakteri.....	61
4.5 Integrasi-Interkoneksi	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan pustaka	15
Tabel 3. 1 Alat-alat penelitian.....	38
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian	39
Tabel 3. 3 Kategori kekuatan antibiotik.....	46
Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi XRD	55
Tabel 4. 2 Absorbansi kurva standar.....	58
Tabel 4. 3 Nilai absorbansi, konsentrasi akhir, dan persentase degradasi Crystal Violet	60
Tabel 4. 4 Hasil uji antibakteri nanopartikel ZnO terhadap E. coli	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 a. serbuk ZnO; b. Struktur kristal nanopartikel ZnO	18
Gambar 2. 2 Struktur kimia seng asetat dihidrat	20
Gambar 2. 3 a. kayu bajakah. b. pohon kayu bajakah	21
Gambar 2. 4 a. struktur kimia b. serbuk kristal violet.....	22
Gambar 2. 5 Bakteri E. coli	24
Gambar 2. 6 Proses kopresipitasi	27
Gambar 2. 8 Proses fotokatalis	28
Gambar 2. 7 (a) Elektron terksitasi (b) dan rekombinasi	29
Gambar 2. 9 Bagian-bagian SEM	31
Gambar 2. 10 SEM.sintesis ZnO menggunakan alga. a) ZnO (seng asetat) resolusi tinggi b) ZnO (seng asetat) resolusi rendah c) ZnO (seng nitrat) resolusi tinggi, d) ZnO (seng nitrat) resolusi tinggi rendah	32
Gambar 2. 11 diagram analisa EDX pada atom.....	33
Gambar 2. 12 Hasil XRD nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun buah delima	35
Gambar 2. 13 cara kerja spektrofotometri UV-Vis	37
Gambar 2. 14 Hasil Absorpsi menggunakan UV-Vis	38
Gambar 3. 1 Diagram alir ekstraksi kayu bakajah.....	40
Gambar 3. 2 Diagram alir sintesis nanopartikel ZnO	41
Gambar 3. 3 Diagram alir karakterisasi sampel	42
Gambar 3. 4 Diagram alir roses uji fotokatalis.....	44
Gambar 3. 5 Diagram alir uji antibakteri.....	46
Gambar 3. 6 Diagram alir aplikasi produk	47
Gambar 4. 1 Hasil Sintesis Nanopartikel ZnO. a) proses pengendapan. b) serbuk ZnO	50
Gambar 4. 2 Gambar hasil karakterisasi SEM a) 1 mikrometer dan b) 5 mikrometer	52
Gambar 4. 3 Hasil pengukuran partikel menggunakan ImageJ dan OriginPro ...	52
Gambar 4. 4 Hasil EDX.....	53
Gambar 4. 5 Difraktogram XRD	54
Gambar 4. 6 Panjang gelombang maksimum	57
Gambar 4. 7 Kurva standar crystal violet	58
Gambar 4. 8 Aplikasi fotokatalis ZnO a) katalis ZnO 0,05 gram b) katalis ZnO 0,1 gram selama 0, 30, 60 menit.....	59
Gambar 4. 9 Grafik pengaruh konsentrasi katalis dan waktu penyinaran dengan persentase degradasi pewarna	60
Gambar 4. 10 Aplikasi antibakteri a) nanopartikel ZnO, b) kontrol positif, dan c) kontrol negatif terhadap bakteri E. coli.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Ekstraksi kayu bajakah	75
Lampiran 2. Sintesis nanopartikel ZnO.....	75
Lampiran 3. Pembuatan serbuk ZnO.....	76
Lampiran 4. Karakterisasi SEM-EDX.....	76
Lampiran 5. Pengukuran gambar SEM menggunakan ImageJ	77
Lampiran 6 Hasil karakterisasi XRD	79
Lampiran 7. JCPDS 36-1451 ZnO	81
Lampiran 8. Uji degradasi	81
Lampiran 9. Perhitungan konsentrasi akhir dan persentase degradasi uji fotokatalis	81

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

GLOSARIUM

A

- Adhesi** kecenderungan partikel atau permukaan yang berbeda untuk saling menempel
- Agegrat** material granular yang dibuat melalui proses manufaktur, bukan berasal dari sumber alami seperti batu pecah atau pasir.
- Anthelmintik** Obat yang digunakan untuk mengobati infeksi cacing (helminthiasis) pada manusia atau hewan.

B

- Biokompatibilitas** kemampuan suatu material untuk berinteraksi dengan sistem biologis tanpa menimbulkan efek negatif.
- Bioreduktor** zat pereduksi alami yang berasal dari bahan alam, seperti tumbuhan, untuk mereduksi perak dalam sintesis nanopartikel.

D

- Degradasi** penurunan
- Dekontaminasi** proses menghilangkan kontaminan dari suatu objek atau area, termasuk bahan kimia, mikroorganisme, dan/atau zat radioaktif, untuk mengurangi risiko paparan dan infeksi.
- Destruktif** Bersifat merusak, memusnahkan, atau menghancurkan

E

- Eksitasi** peningkatan energi suatu sistem, seperti atom atau molekul, ke keadaan yang lebih tinggi dari keadaan dasarnya
- Ekstensif** luas, meluas, atau mencakup banyak aspek
- Ekstraintestinal** Kondisi yang terjadi di luar saluran pencernaan, meskipun bisa saja berasal dari infeksi usus.
- Enkapsulasi** teknik membungkus atau menggabungkan data dan metode ke dalam satu unit.
- EQ (Ekivalen kuersetin)** cara untuk menyatakan kadar flavonoid dalam suatu sampel.
- Eter** gugus yang terdiri dari atom oksigen yang terikat pada dua gugus alkil atau aril.

F

- Fabrikasi nanomaterial** proses pembuatan material dengan ukuran di skala nanometer (1-100 nanometer).
- Fenolik** kelompok senyawa yang lebih luas, yang mencakup flavonoid, dan juga berperan sebagai antioksidan
- Flavonoid** kelompok senyawa fenolik yang berperan sebagai pigmen tanaman dan memiliki berbagai aktivitas biologis, termasuk antioksidan dan antiinflamasi.
- Fotokatalitik** proses percepatan reaksi kimia menggunakan cahaya dan katalis.
- Fotovoltaik** teknologi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung

H

Permeabilitas	kemampuan material melewati fluida.
Polifenol	senyawa alami pada tumbuhan yang berperan sebagai antioksidan di dalam tubuh.
Ppm	part per million, jenis satuan yang digunakan untuk mengukur jumlah kontaminan atau konsentrasi yang terdapat dalam suatu zat.
Pulp	campuran bahan selulosa, seperti kayu, kertas, kain bekas yang dilumatkan dan dimasukkan ke dalam air untuk membuat kertas, bubuk kertas.
R	
Resisten	kemampuan untuk menentang atau melawan sesuatu
S	
Salami kering	Daging olahan yang difermentasi dan dikeringkan, biasanya terbuat dari daging sapi atau babi yang dicampur dengan lemak, garam, rempah-rempah, dan kadang bahan pengawet, lalu dibiarkan mengering dalam waktu tertentu.
Saponin	senyawa yang dapat membentuk busa dalam air dan memiliki berbagai aktivitas biologis termasuk antimikroba dan antiinflamasi.
Semikonduktor	Suatu bahan yang memiliki sifat listrik diantara konduktor dan isolator.
Sintesis	reaksi kimia antara dua atau lebih zat membentuk satu zat baru.
Sitoplasma	sitoplasma adalah bagian sel yang terbungkus oleh membran sel dan mengelilingi inti sel
Spektrum	rentetan warna kontinu yang diperoleh apabila cahaya diuraikan ke dalam komponen
Strain bakteri	varian genetik atau sub tipe dari bakteri.
Substrat	senyawa yang mengalami perubahan oleh hasil kerja enzim.
T	
Tanin	termasuk dalam kelompok fenolik, memiliki sifat astringen (kesat) dan dapat berfungsi sebagai antibakteri.
Terapeutik	kemampuan material untuk membantu penyembuhan atau pemulihan kesehatan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil di Indonesia merupakan sektor yang dinamis dan penting. Permintaan yang kuat dari pasar domestik maupun internasional telah mendorong pertumbuhan positif di sektor tekstil, pakaian jadi, dan alas kaki. Secara spesifik, pada kuartal pertama tahun 2024, minat ekspor untuk produk-produk ini menunjukkan peningkatan volume yang signifikan, tekstil sebanyak 7,34%, pakaian jadi sebanyak 3,08%, alas kaki sebanyak 12,56% (Kemenperin, 2024).

Dalam pelaksanaan produksi, industri tekstil menghasilkan limbah. Limbah dalam industri tekstil dapat dikategorikan menjadi tiga jenis utama, yaitu, limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah cair merupakan limbah terbesar yang dihasilkan saat proses produksi (Christiany dkk., 2019). Limbah ini berasal dari proses pencucian, pewarnaan, dan *finishing*, mengandung pewarna, bahan kimia, dan zat pengotor (Eco, 2023). Dalam proses pewarnaan, air limbah yang dihasilkan mengandung 20% warna sintesis yang berbahaya dan sulit diurai (Eshandriana, 2022).

Zat pewarna banyak digunakan pada industri tekstil untuk memperindah produk yang dihasilkan. Salah satu pewarna yang digunakan dalam industri tekstil adalah *Crystal Violet* yang sangat dikenal memiliki sifat karsinogenik dan mutagenik bagi sel mamalia. Pewarna ini dapat diserap melalui kulit dan menyebabkan iritasi kulit, saluran pencernaan, mata. Dalam kasus ekstrim, dapat menyebabkan komplikasi pernapasan, gagal ginjal dan kebutaan permanen. Hal ini disebabkan karena *Crystal Violet* dapat dengan mudah berinteraksi dengan

permukaan membran sel yang bermuatan negatif, masuk ke dalam sel dan terakumulasi di dalam sitoplasma karena sifatnya yang kationik (Cheruiyot dkk., 2019). Zat warna ini sulit dimetabolisme oleh mikroorganisme sehingga tetap berada di lingkungan karena untuk jangka waktu yang lama tanpa pengolahan yang memadai (Irawati dkk., 2018). Apabila pewarna ini masuk ke dalam perairan, keberadaannya akan menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu aktivitas fotosintesis pada mikroalga (Sastrawidana dkk., 2012). Dampak lainnya adalah berkurangnya pasokan oksigen yang terlarut pada air dan memicu aktivitas mikroorganisme, termasuk bakteri (Cheruiyot dkk., 2019).

Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal, dan secara umum diklasifikasikan menjadi Gram-positif dan Gram-negatif berdasarkan struktur dinding sel. Bakteri Gram-positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal pada dinding selnya. Bakteri Gram-negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis namun memiliki membran luar (Sizar dkk., 2023). Berdasarkan klasifikasi tersebut, bakteri Gram-negatif memiliki sifat lebih resisten terhadap antibiotik juga bersifat endotoksin dan dapat menyebabkan respons inflamasi atau peradangan yang kuat pada inang seperti *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, dan lain-lain (Zeinab dkk., 2023).

Escherichia coli atau *E. coli* adalah bakteri yang terdapat di banyak tempat, termasuk di lingkungan, makanan, air, dan usus manusia dan hewan. Beberapa jenis *E. coli* dapat menyebabkan penyakit pada manusia, seperti diare, infeksi saluran kemih, pneumonia, sepsis, dan penyakit lainnya. Virulensinya menyebabkan kemampuan *E. coli* untuk menghindari pertahanan inang dan mengembangkan

resistensi terhadap antibiotik umum (Sihaloho dkk., 2025). Bakteri *E. coli* yang tumbuh di air tercemar bisa menjadi resisten terhadap pewarna. Hal ini dikarenakan pewarna tersebut mengandung nutrisi organik yang mendukung pertumbuhan bakteri. (Irawati et al., 2018).

Dampak-dampak dari adanya pencemaran lingkungan oleh limbah warna *Crystal Violet* merupakan hasil dari perlakuan buruk manusia yang tidak mengolah limbahnya dengan baik sehingga menimbulkan masalah-masalah baru seperti pertumbuhan patogen yang tidak terkontrol. Allah berfirman dalam Al-Quran Surat Ar-Rum ayat 41-42 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ 41

فَلَّ سَيْرُوَا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلُ ۖ كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُشْرِكِينَ 42

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). Katakanlah (Muhammad), "Bepergianlah di bumi lalu lihatlah bagaimana kesudahan orang-orang dahulu. Kebanyakan dari mereka adalah orang-orang yang mempersekutukan (Allah)."

Ayat tersebut menjelaskan bahwa sering kali, manusia abai terhadap perannya sebagai pemimpin di bumi. Allah menegaskan, bahwa kerusakan yang terjadi di bumi merupakan hasil dari hawa nafsu yang dimiliki manusia. Hawa nafsu tersebut membuat manusia melakukan pemanfaatan alam tanpa diiringi upaya pelestarian. Pada akhirnya, keserakahan dan perlakuan buruk sebagian manusia terhadap alam justru menimbulkan kerusakan dan penderitaan bagi diri mereka sendiri (Ariyadi, 2018). Berbagai upaya telah dilakukan untuk menjaga kelestarian

alam. Terutama untuk mengurangi volume zat warna pada limbah cair serta mengontrol pertumbuhan patogen.

Dalam pengolahan limbah warna, ada beberapa metode yang diterapkan untuk menghilangkan atau mendegradasi zat pewarna sebelum dibuang ke lingkungan. Metode-metode ini secara umum dapat dikategorikan sebagai fisika, kimia, biologi, dan kombinasi dari ketiganya. Metode fisika berfokus pada pemisahan pewarna melalui proses seperti adsorpsi, misalnya menggunakan karbon aktif (Lubis dkk., 2020). Kelebihan metode ini terletak pada kemudahannya dan tidak melibatkan bahan kimia tambahan, namun kekurangannya adalah sering kali menghasilkan lumpur pekat dan tidak efektif untuk pewarna yang sangat terlarut dan stabil (Sivamani dan Leena Grace, 2009). Sementara itu, metode kimia melibatkan reaksi untuk mengubah struktur molekul pewarna, dengan oksidasi kimia, misalnya, menggunakan ozon (Helmy dan Syafila, 2023), menjadi pendekatan yang umum. Metode ini sangat efektif menghilangkan warna dan mengurangi COD, namun berpotensi membentuk produk sampingan toksik, dan menghasilkan lumpur kimia berbahaya (Poyatos dkk., 2011). Di sisi lain, metode biologi memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi pewarna melalui biodegradasi aerobik atau anaerobik (Dimawarnita dkk., 2022). Kelemahan dari metode ini adalah waktu prosesnya cenderung lebih lama dan sensitif terhadap fluktuasi kondisi lingkungan serta toksisitas limbah (Rouf, 2021).

Fotodegradasi adalah salah satu teknologi yang sangat menjanjikan untuk mengatasi limbah zat warna. Teknologi ini bekerja dengan mendegradasi zat warna menggunakan foton, dan yang paling penting, prosesnya ramah lingkungan karena

hanya menghasilkan air dan karbon dioksida sebagai produk akhirnya. Prinsip kerja fotodegradasi sering kali melibatkan penggunaan fotokatalis, yang merupakan material semikonduktor, seperti Seng Oksida (ZnO) (Raganata dkk., 2020), TiO_2 (Hikmah dan Wahyuni, 2023), dan Fe_3O_4 (Syihabuddin, 2024).

Sedangkan untuk mengontrol pertumbuhan patogen, Choramo (2022) menuliskan terdapat dua cara yang biasa digunakan, yaitu kontrol fisik dan kimia. Kontrol fisik mencakup metode pengendalian seperti suhu tinggi atau rendah, pengeringan, tekanan osmotik, radiasi, dan penyaringan. Kontrol kimia mengacu pada penggunaan disinfektan, antiseptik, antibiotik, dan bahan kimia antimikroba kemoterapi. Evaluasi sifat agen antibakteri partikel dapat dilakukan menggunakan metode difusi (cakram dan sumuran) dan dilusi (tabung atau agar) (Nurhayati dkk., 2020). Metode cakram adalah teknik standar yang umum digunakan untuk menentukan resistensi patogen terhadap agen antibakteri. Kelebihan dari metode ini adalah cepat, mudah, dan dapat digunakan untuk senyawa polar seperti ZnO (Kim dkk., 2022), MgO (Ningrum dan Jumaeri, 2022), Fe_3O_4 (Madhu dkk., 2019).

Agan antibakteri dapat berupa organik (minyak esensial, madu, dan ekstrak tumbuhan) dan anorganik (logam oksida). Namun, agen organik terlalu sensitif terhadap kondisi lingkungan seperti suhu tinggi dan tekanan. Dibandingkan dengan agen antibakteri organik, keunggulan utama agen antibakteri anorganik adalah stabilitasnya yang baik pada suhu dan tekanan tinggi serta umur simpan yang panjang (Doan Thi dkk., 2020). Nanopartikel logam oksida telah dipelajari secara ekstensif untuk mengeksplorasi kegunaannya sebagai agen antibakteri yang potensial. Pengendapan nanopartikel pada permukaan bakteri atau akumulasi

nanopartikel dalam sitoplasma di daerah periplasma menyebabkan terganggunya fungsi seluler atau gangguan dan disorganisasi membran (Brayner dkk., 2006). Antibakteri tersedia dalam berbagai bentuk, seperti, bentuk padatan (Sebuk, tablet, dan kapsul), cairan (larutan, suspensi, dan injeksi), dan semi-padat (krim, gel, dan pasta) (Adepu dan Ramakrishna, 2021).

Dalam proses fotodegradasi dan aktivitas antibakteri, ukuran partikel mempengaruhi hasil yang diperoleh. Partikel dengan ukuran 1-100 nanometer atau biasa disebut nanopartikel memberikan nanopartikel sifat-sifat yang unik dan berbeda dengan material pada skala makro (Rahman dkk., 2022). Sifat-sifat unik nanopartikel memberikan potensi yang besar untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti bidang medis, energi, dan lingkungan. Salah satu nanopartikel yang memiliki potensi besar untuk aplikasi fotokatalitik dan antibakteri adalah nanopartikel ZnO (Dehghani dan Ghadam, 2023).

Nanopartikel ZnO dapat dihasilkan dengan menggunakan berbagai metode kimia, fisika, dan biologi. Dari ketiga metode sintesis tersebut, metode biologi dinilai lebih aman digunakan, selain itu, produk yang dihasilkan seringkali memiliki stabilitas dan sifat unik (Rahman dkk., 2022). Sintesis dengan metode biologi merupakan sintesis yang memanfaatkan ekstrak bagian tumbuhan, sebagai bioreduktor, yang memiliki kandungan flavonoid seperti daun, bunga, biji, buah, akar, rimpang, batang, kulit kayu, alga dan mikroorganisme. Flavonoid merupakan kandungan yang menjadi syarat digunakannya kayu bajakah menjadi bioreduktor pada proses *green synthesis* (Campisi dkk., 2016). Zat ini merupakan senyawa polifenol yang telah terbukti memiliki berbagai efek positif seperti memiliki sifat

antioksidan, antibakteri, antikolesterol, antihiperlipidemia, antivirus, antidiabetes, antiinflamasi, dan antikanker (Natasya dkk., 2023). Berbagai penelitian terbaru terkait sintesis nanopartikel ZnO dengan metode *green synthesis* yang memanfaatkan material-material ramah lingkungan salah satunya adalah sintesis nanopartikel ZnO menggunakan air ekstra buah delima untuk aplikasi katalis dan antibakteri (Fouda dkk., 2023). Dapat diamati bahwa metode *green synthesis* lebih menjanjikan karena lebih ramah lingkungan, proses yang sederhana, dan bahan-bahan yang digunakan mudah didapatkan. Contoh bioreduktor pada proses *green synthesis* yang telah diteliti para ahli diantaranya buah delima (Al-Zahrani dkk., 2023), buah pala (Faisal dkk., 2021), dan sebagainya.

Salah satu bahan alam yang belum diteliti para ahli dalam proses *green synthesis* adalah kayu bajakah. Kayu bajakah memiliki beragam varietas, bajakah terbaik yang dapat digunakan sebagai obat menurut Sandi (2022) adalah bajakah tampala (*Spatholobus littoralis Hassk*), bajakah kalalawit (*Uncaria Gambir Roxb*), bajakah kuning (*Arcangelisia flava (L.) Merr*). Setiap jenis kayu bajakah memiliki karakteristik dan manfaat masing-masing. Bajakah jenis tampala dapat digunakan sebagai bioreduktor karena memiliki kandungan flavonoid, fenolik, tanin, dan saponin (Fitriani dkk., 2020). Setiap bagian tumbuhan kayu bajakah tampala, seperti daun, batang, maupun akar memiliki kandungan flavonoid yang berbeda-beda. Kadar flavonoid dalam satuan ekuivalen kuersetin yang terkandung dalam batang kayu bajakah tampala dan diekstraksi menggunakan etanol 70% memiliki nilai sebesar 11,40 mg EQ/g (Anggriani dkk., 2024). Hasil ini lebih besar dibandingkan dengan kandungan flavonoid yang ada di kayu secang sebesar 11,36

mg EQ/100 ml. Dengan kandungan flavonoid yang ada, kayu bajakah tampala dapat dimanfaatkan sebagai bioreduktor pada proses *green synthesis* nanopartikel ZnO.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kayu bajakah. Nanopartikel ZnO yang dihasilkan akan digunakan untuk mendegradasi pewarna *Crystal Violet* juga sebagai antibakteri *E. coli*. Selain untuk degradasi pewarna *Crystal Violet* dan agen antibakteri, nanopartikel ZnO hasil *green synthesis* dengan kayu bajakah sebagai bioreduktor diharapkan dapat digunakan untuk aplikasi dalam bidang lingkungan dan kesehatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan pada latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil pembuatan nanopartikel ZnO dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak kayu bajakah?
2. Bagaimana karakteristik material nanopartikel ZnO?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi zat warna dan waktu kontak terhadap kemampuan nanopartikel ZnO sebagai fotokatalis pada degradasi *Crystal Violet*?
4. Bagaimana efektivitas nanopartikel ZnO hasil *green synthesis* menggunakan kayu bajakah sebagai antibakteri *E. coli*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mensintesis nanopartikel ZnO dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak kayu bajakah sebagai bioreduktor.

2. Menganalisis hasil karakterisasi nanopartikel ZnO menggunakan SEM-EDX dan XRD.
3. Menganalisis kemampuan nanopartikel ZnO sebagai fotokatalis pada degradasi pewarna
4. Menganalisis efektivitas nanopartikel ZnO sebagai antibakteri *E. coli*.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut

1. Metode yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel ZnO adalah metode *green synthesis* menggunakan ekstrak kayu bajakah.
2. Jenis kayu bajakah yang digunakan adalah kayu bajakah jenis tampala.
3. Zat pewarna yang akan digunakan dalam uji fotokatalis merupakan *Crystal Violet* dengan larutan uji dengan konsentrasi 4 ppm.
4. Bakteri uji yang digunakan adalah *E. coli*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang akan dilakukan, diharapkan memiliki manfaat dari penelitian ini adalah

1. Dapat memberikan kontribusi riset terkait sintesis nanopartikel ZnO menggunakan kayu bajakah.
2. Dapat menerapkan aplikasi nanopartikel ZnO untuk teknologi remediasi lingkungan dan kesehatan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Produk nanopartikel ZnO menggunakan kayu batak berhasil disintesis. Dihasilkan produk ZnO yang berwarna putih kemerah-mudaan.
2. Hasil karakterisasi morfologi menggunakan SEM menunjukkan bahwa nanopartikel yang dihasilkan memiliki ukuran partikel sebesar 50,6 nm dan berbentuk *nanoflakes*. Dari hasil karakterisasi EDX didapatkan Zn dan O, memiliki persentase atom 52,90% dan 47,10%. Dari hasil karakterisasi kristalisasi menggunakan XRD puncak tertinggi terdapat pada sudut difraksi 2θ kisaran 36° bidang hkl [101] dan diikuti dengan puncak 2θ kisaran 31° serta 34° yang mencerminkan struktur heksagonal.
3. Nanopartikel ZnO berhasil diaplikasikan sebagai fotokatalis. Pada variasi berat 0,1 gram dan 0.05 gram nanopartikel ZnO yang ditambahkan, sampel dengan 0,1 gram nanopartikel ZnO yang disinari selama 60 menit memiliki degradasi warna tertinggi yaitu sebesar 69,53% dengan nilai konsentrasi awal 4 ppm menjadi 1,22 ppm.
4. Nanopartikel ZnO mampu diaplikasikan sebagai antibakteri, khususnya bakteri *E. coli* dibuktikan dengan metode cakram dan terukur zona hambat dengan diameter 20 mm.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Menambahkan variasi setiap perlakuan pembuatan nanopartikel ZnO seperti variasi banyak ekstrak yang digunakan, variasi suhu pada saat *annealing*.
2. Proses *annealing* sebaiknya menggunakan *furnace*.
3. Pada penelitian selanjutnya aktivitas fotokatalis dilakukan penambahan variasi pH agar efisiensi degradasi mencapai >90%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adepu, S., & Ramakrishna, S. (2021). Controlled drug delivery systems: Current status and future directions. *Molecules*, 26(19). <https://doi.org/10.3390/molecules26195905>
- Afreen, A. (2021). Biosynthesis of Gold and Silver Nanoparticles and Its Applications. *Asian Journal of Biology*, 11(3), 15–24. <https://doi.org/10.9734/ajob/2021/v11i330143>
- Al-Zahrani, S. A., Patil, M. B., Mathad, S. N., Patil, A. Y., Otaibi, A. A., Masood, N., Mansour, D., Khan, A., Manikandan, A., & Syafri, E. (2023). Photocatalytic Degradation of Textile Orange 16 Reactive Dye by ZnO Nanoparticles Synthesized via Green Route Using Punica Granatum Leaf Extract. *Crystals*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/cryst13020172>
- Anggriani, R., Harini, N., Husna, A., Sukardi, S., & I, M. D. N. (2024). Properties Of Bajakah Tampala Wood (*Spatholobus Littoralis* Hassk) Ethanol Extract Against α -Amylase Inhibition as An Antidiabetic Compound Candidate and Its Fortification in Kapok Honey. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, 16(01). <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.17969/jtipi.v16i1.28522>
- Ariyadi. (2018). Al-Qur'an Views Relating to Environmental Conservation. *Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.33084/daun.v5i1.319>
- Ayuchecaria, N., Alfiannor Saputera, M. M., & Niah, R. (2020). Penetapan Kadar Fenolik Total Ekstrak Batang Bajakah Tampala (*Spatholobus Littoralis* Hassk.) Menggunakan Spektrofotometri UV-Visible. *Jurnal Insan Farmasi Indonesia*, 3(1), 132–141. <https://doi.org/10.36387/jifi.v3i1.478>
- Basavaraju, M., & Gunashree, B. S. (2022). Escherichia coli: An Overview of Main Characteristics. *Intech*. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Borah, D., Baruah, M. K., Saikia, P. P., Senapoty, K. K., Barua, M., & Singha, R. (2016). Structural Characterization and Surface Environment of ZnO Nanoflowers. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(1), 331–336.
- Campisi, S., Schiavoni, M., Chan-Thaw, C. E., & Villa, A. (2016). Untangling the role of the capping agent in nanocatalysis: Recent advances and perspectives. *Catalysts*, 6(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/catal6120185>
- Cheruiyot, G. K., Wanyonyi, W. C., Kiplimo, J. J., & Maina, E. N. (2019). Adsorption of toxic crystal violet dye using coffee husks: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study. *Scientific African*, 5, 1–11.

<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00116>

- Choramo, A. (2022). A Review on Chemical and Physical Methods of Controlling Microbial Growth. *Journal of Community Medicine & Public Health Care*, 9, 107. <https://doi.org/10.24966/CMPH-1978/1000107>
- Christianity, A., Suprihatin, & Indrasti, N. (2019). Potensi Teknis - Ekonomis Daur Ulang Air Limbah Industri Tekstil Menggunakan Aplikasi Arang Aktif. *JPSL*, 9(2), 229–240. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.229-240>
- Cullity, B. D. (1978). *Elements of Diffraction* (M. Cohen (ed.); 2 ed.). Addison-Wesley Publishing Company. diakses pada 10 Agustus 2024 melalui [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Courses/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D. Cullity, S.R. Stock - Elements of X-Ray Diffraction-Pearson Education Limited \(2014\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Courses/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D.Cullity,S.R.Stock-ElementsofX-RayDiffraction-PearsonEducationLimited(2014).pdf)
- Dehghani, M., & Ghadam, P. (2023). *Green Synthesis of ZnO-NPs by Juglans regia Green Husk Aqueous Extract*. 7. <https://doi.org/10.3390/iocn2023-14444>
- Dimawarnita, F., Syarif, A. M., Faramitha, Y., Prakoso, H. T., Dimawarnita, F., Syarif, A. M., Faramitha, Y., & Widiastuti, H. (2022). Dekolorisasi Pewarna Tekstil Menggunakan Teknik Batch Dan Rotary Biological Contactor Dengan Tiga Jenis Agen Hayati Decolorization Of Textile Dyes Using Batch And Rotary Biological Contactor Techniques With Three Types Of Biological Agents. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(3), 295–304.
- Doan Thi, T. U., Nguyen, T. T., Thi, Y. D., Ta Thi, K. H., Phan, B. T., & Pham, K. N. (2020). Green Synthesis Of Zno Nanoparticles Using Orange Fruit Peel Extract For Antibacterial Activities. *RSC Advances*, 10(40), 23899–23907. <https://doi.org/10.1039/d0ra04926c>
- Eco, U. (2023). *Pengolahan dan Bahaya Limbah Tekstil*. diakses pada 10 Juni 2025 melalui <https://www.universaleco.id/blog/detail/pengolahan-bahaya-limbah-industri-pakaian-tekstil/52>
- Eshandriana. (2022). *Langkah-Langkah Pengelolaan Limbah Industri Tekstil*. Advanced Analytics Asia. diakses pada 10 September 2024 melalui <https://lab.id/limbah-industri-tekstil/>
- Everzinc. (2023). *Zinc Oxide*. diakses pada 10 September 2024 melalui <https://www.everzinc.com/en/zinc-oxide>
- Faisal, S., Jan, H., Shah, S. A., Shah, S., Khan, A., Akbar, M. T., Rizwan, M., Jan, F., Wajidullah, Akhtar, N., Khattak, A., & Syed, S. (2021). Green Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles Using Aqueous Fruit Extracts of Myristica fragrans: Their Characterizations and Biological and Environmental

Applications. *ACS Omega*, 6(14), 9709–9722.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00310>

Febiyanto. (2017). *Mengenal Material Fotokatalis dan Proses Fotokatalisis*. Catatan Kimianawan. diakses pada 7 Juli 2025 melalui <https://catatankimiawan.blogspot.com/2017/09/mengenal-material-fotokatalis-dan-proses-fotokatalisis.html>

Fitriani, Sampepana, E., & Saputra, S. H. (2020). Karakteristik Tanaman Akar Bajakah (*Spatholobus littoralis* Hassk) dari Loakulu Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2), 365–376.
<https://doi.org/10.26578/jrti.v14i2.6590>

Fouda, A., Saied, E., Eid, A. M., Kouadri, F., Alemam, A. M., Hamza, M. F., Alharbi, M., Elkelish, A., & Hassan, S. E. D. (2023). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using an Aqueous Extract of *Punica granatum* for Antimicrobial and Catalytic Activity. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/jfb14040205>

Gonçalves, R. A., Toledo, R. P., Joshi, N., & Berengue, O. M. (2021). Green synthesis and applications of zno and tio2 nanostructures. *Molecules*, 26(8). <https://doi.org/10.3390/molecules26082236>

Hameed, H., Waheed, A., Sharif, M. S., Saleem, M., Afreen, A., Tariq, M., Kamal, A., Al-onazi, W. A., Al Farraj, D. A., Ahmad, S., & Mahmoud, R. M. (2023). Green Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles from Green Algae and Their Assessment in Various Biological Applications. *Micromachines*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/mi14050928>

Hamzah, H., Tunjung Pratiwi, S., Asriullah Jabbar, Aldo Pratama, & Renita Mahardhika Putri. (2022). *Tumbuhan Bajakah Kalimantan (Spatholobus littoralis Hassk.)*. CV. Penulis Cerdas.

Han, Y., Guo, J., Luo, Q., & Ma, C. Q. (2023). Solution-Processable Zinc Oxide for Printed Photovoltaics: Progress, Challenges, and Prospect. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 4(10). <https://doi.org/10.1002/aesr.202200179>

Hashim, N., Muda, Z., Isa, I. M., Bakar, N. A., Mahamod, W. R. W., Ali, N. M., Sharif, S. N. M., Jajuli, M. N., Zobir, S. A. M., & Suyanta, S. (2023). Synthesis and Application of Zinc Layered Hydroxide: A Short Review. *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(3), 881–898. <https://doi.org/10.22146/ijc.82281>

Hasna, L. Z., Sehkhamei, P., & Aviciena, M. A. (2021). Review: Akar Kayu Bajakah dan Manfaatnya untuk Kesehatan. *FoodTech: Jurnal Teknologi Pangan*, 4(1), 32. <https://doi.org/10.26418/jft.v4i1.56637>

- Helmy, Q., & Syafila, M. (2023). Dekolorisasi Zat Warna Azo Menggunakan Advanced Oxidation Process Berbasis Ozon. *Arena Tekstil*, 38(1). <https://doi.org/10.31266/at.v38i1.8142>
- Hikmah, M., & Wahyuni, N. (2023). Sintesis Fotokatalis TiO₂ untuk Degradasi Zat Warna Sintetis Metilen Biru dengan Bantuan Sinar Tampak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(3), 878. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i3.70903>
- Hudzicki, J. (2012). Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol Author Information. *American Society For Microbiology*, December 2009, 1–13. <https://www.asm.org/Protocols/Kirby-Bauer-Disk-Diffusion-Susceptibility-Test-Pro>
- IARC. (2022). *Gentian Violet, Leucogentian Violet, Malachite Green, Leucomalachite Green, and CI Direct Blue 218*. (hal. 1–178). IARC Monogr Identif Carcinog Hazards Hum.
- Irawati, H., Hidayat Aprilita, N., & Sugiharto, E. (2018). Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet Menggunakan Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta*). *Berkala MIPA*, 25(1), 18–31.
- Isik, T., Hilal, M. E., & Horzum, N. (2019). *Green Synthesis of Zinc Oxide Nanostructures*. 1–2. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.83338>
- Jin, S. E., Jin, J. E., Hwang, W., & Hong, S. W. (2019). Photocatalytic antibacterial application of zinc oxide nanoparticles and self-assembled networks under dual UV irradiation for enhanced disinfection. *International Journal of Nanomedicine*, 14, 1737–1751. <https://doi.org/10.2147/IJN.S192277>
- Joy, D. C. (2019). Scanning Electron Microscopy: Theory, History and Development of the Field Emission Scanning Electron Microscope. *Biological Field Emission Scanning Electron Microscopy: Volume I: Volume II*, 1–2, 1–6. <https://doi.org/10.1002/9781118663233.ch1>
- Kemenperin. (2024). *Industri Tekstil, Pakaian Jadi, dan Alas Kaki Makin Ekspansif di Triwulan Pertama 2024*. diakses pada 10 Juni 2025 melalui <https://bbt.kemenperin.go.id/blog/industri-tekstil-pakaian-jadi-dan-alas-kaki-makin-ekspansif-di-triwulan-pertama-2024>
- Kim, S., Park, H., Pandey, S., Jeong, D., Lee, C. T., Do, J. Y., Park, S. M., & Kang, M. (2022). Effective Antibacterial/Photocatalytic Activity of ZnO Nanomaterials Synthesized under Low Temperature and Alkaline Conditions. *Nanomaterials*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/nano12244417>

- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v3i2.19531>
- Madhu, G., Jaianand, K., Rameshkumar, K., Eyini, M., Balaji, P., & Veeramanikandan, V. (2019). Solanum tuberosum extract mediated synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles for their antibacterial and antioxidant activity. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(1-s), 5–15. <https://doi.org/10.22270/jddt.v9i1-s.2238>
- Magvirah, T., Marwati, M., & Ardhani, F. (2020). Uji Daya Hambat Bakteri Staphylococcus Aureus Menggunakan Ekstrak Daun Tahongai (Kleinhovia hospitaL.). *Jurnal Peternakan Lingkungan Tropis*, 2(2), 41. <https://doi.org/10.30872/jpltrop.v2i2.3687>
- Mani, S., & Bharagava, R. N. (2015). Exposure to Crystal Violet, Its Toxic, Genotoxic and Carcinogenic Effects on Environment and Its Degradation and Detoxification for Environmental Safety. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23573-8_4
- Mekuye, B., & Abera, B. (2023). Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications. *Nano Select*, 4(8), 486–501. <https://doi.org/10.1002/nano.202300038>
- Nanakoudis, A. (2019). *EDX Analysis with SEM: How Does it Work?* Thermo Fisher Scientific. diakses pada 10 Agustus 2024 melalui <https://www.thermofisher.com/blog/materials/edx-analysis-with-sem-how-does-it-work/>
- Natasya, E., Daulay, A. S., Ridwanto, R., & Rahayu, Y. P. (2023). Penetapan kadar flavonoid total ekstrak kayu raru (Cotylelobium lanceolatum Craib) berdasarkan perbedaan konsentrasi etanol dengan metode spektrofotometri Uv-Vis. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 6(4), 1804–1810. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v6i4.305>
- NCBI. (2024). *Gentian Violet*. PubChem Compound LCSS for CID 11057. diakses pada 10 Agustus 2024 melalui <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Gentian-Violet#datasheet=LCSS>
- NCBI. (2025). *PubChem Compound Summary for CID 11192, Zinc Acetate*. National Center for Biotechnology Information. diakses pada 8 Agustus 2024 melalui <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Zinc-Acetate>

- Ningrum, A. N. K., & Jumaeri, J. (2022). Preparation of Magnesium Oxide Nanoparticles from a Sea Water Bittern as an Antibacterial Agent Against *Escherichia coli*. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(1), 9–15. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v10i3.51041>
- Norouzi Jobie, F., Ranjbar, M., Hajizadeh Moghaddam, A., & Kiani, M. (2021). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Amygdalus scoparia* Spach stem bark extract and their applications as an alternative antimicrobial, anticancer, and anti-diabetic agent. *Advanced Powder Technology*, 32(6), 2043–2052. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.04.014>
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., & Hidayatulloh, A. (2020). Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 1(2), 41. <https://doi.org/10.24198/jthp.v1i2.27537>
- Pasieka, A. (2025). *Escherichia coli* bacteria, SEM. Science Photo Library. diakses pada 7 Mei 2025 melalui <https://www.sciencephoto.com/media/394286/view/escherichia-coli-bacteria-sem>
- Patel, A. (2024). *Zinc Acetate Dihydrate*. diakses pada 20 September 2024 melalui <https://annexechem.com/guide-to-zinc-acetate-dihydrate/>
- POWO. (2023). *Spatholobus littoralis* Hassk. diakses pada 20 September 2025 melalui <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:519160-1>
- Poyatos, J. M., Munio, M., Al, ecija, M., Torres, Hontoria, & Osorio, F. (2011). Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. *Water Environment Research*, 205(1), 233–242. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0065-1>
- Raganata, T. C., Aritonang, H., & Suryanto, E. (2020). Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO Untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*, 12(2), 54–58. <https://doi.org/10.35799/cp.12.2.2019.27923>
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S., & Komalasari, E. (2018). *Escherichia coli*: Patogenitas, Analisis, dan Kajian Risiko. *IPB Press*, 1–151.
- Rahman, F., Majed Patwary, M. A., Bakar Siddique, M. A., Bashar, M. S., Haque, M. A., Akter, B., Rashid, R., Haque, M. A., & Royhan Uddin, A. K. M. (2022). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Cocos nucifera* leaf extract: characterization, antimicrobial, antioxidant and photocatalytic activity. *Royal Society Open Science*, 9(11). <https://doi.org/10.1098/rsos.220858>

- Rahmayani, R., Sahara, & Zelviani, S. (2020). Pengukuran Dan Analisis Dosis Proteksi Radiasi Sinar-X Di Unit Radiologi Rs. Ibnu Sina. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 7(2020), 87–96. <https://doi.org/10.24252/jft.v8i2.23379>
- Ramanarayanan, R., Bhabhina, N. M., Dharsana, M. V., Nivedita, C. V., & Sindhu, S. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using extract of Averrhoa bilimbi(L) and their photoelectrode applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(8), 16472–16477. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.05.150>
- Rhamdiyah, F. K., & Maharani, D. K. (2022). Biosynthesis of ZnO Nanoparticles from Aqueous Extract of Moringa Oleifera L.: Its Application as Antibacterial and Photocatalyst. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(2), 91–102. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v11i2.52498>
- Rouf, U. A. (2021). Uji Degradasi Pewarna Rhodamine B Oleh Senyawa Aurivillius Lapis Dua SrBi₂Ta₂O₉. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(1), 51–57. <https://doi.org/10.26874/jkk.v4i1.76>
- Safitri, B., Hariani, P. L., & Kusumawati, H. Y. (2024). Green Synthesis Nanomagnetic Mnfe₂O₄ Using Breadfruit Leaf Extract (Artocarpus Altilis) And Anti-Bacterial Activity Test Against E.Coli And S. Aureus. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 9(01), 1–12. <https://dx.doi.org/10.23960/analit.v9i01.177>
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p117-123>
- Sandi. (2022). *Jenis Kayu Bajakah Ada Banyak, Jangan Sampai Salah Pilih*. akarbakajakahtunggal.id. diakses pada 12 Januari 2025 melalui <https://akarbajakahtunggal.id/jenis-kayu-bajakah/>
- Sastrawidana, I. D. K., Lay, B. W., Fauzi, A. M., & Santosa, D. A. (2012). Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium Dari Lumpur Limbah Tekstil. *Echotrophic*, 3(2), 55–60. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/ECOTROPHIC>
- Shihab, M. . Q. (2002). TAFSIR AL-MISHBAH: Pesan , Kesan dan Keserasian al-Qur'an. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Nomor 1). Lentera Hati.
- Sihaloho, S. M., Tugiyono, Suharmanto, Apriliana, E., & Pramesona, B. A. (2025). Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Keberadaan Escherichia Coli (E. Coli) pada Makanan dan Minuman. *Language and Health*, 6(1), 35–42. <https://jurnal.globalhealthsciencegroup.com/index.php/JLH/article/view/5736/3935>

- Sivamani, S., & Leena Grace, B. (2009). Removal of dyes from wastewater using adsorption – A review. *International Journal of BioSciences and Technology*, 2(June), 47–51.
- Sizar, O., Leslie, S. W., & Unakal, C. G. (2023). *Gram-Positive Bacteria*. NIH. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470553/#:~:text=Etiology,variable growth and resistance patterns>.
- Susanto, D. S., & Ruga, R. (2012). Studi Kandungan Bahan Aktif Tumbuhan Meranti Merah (*Shorea leprosula* Miq) Sebagai Sumber Senyawa Antibakteri. *Mulawarmnan Scientifie*, 11(2), 181–180. <https://onsearch.id/Record/IOS1.INLIS00000000%0A00613962>
- Syihabuddin, M. (2024). Green Synthesis Nanopartikel Fe₃O₄ Dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Mimba (*Azadirachta indica*): Aplikasi Sebagai Material Fotokatalis Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 13, 118–123. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia/article/download/63535/48200/146771>
- Temiz, C. (2022). Scanning Electron Microscopy. In *Electron Miscroscopy*. IntechOpen. diakses pada 7 Juli 2025 melalui <https://doi.org/doi:10.5772/intechopen.103956>
- Thattil, P. P., & Leema Rose, A. (2020). Enhanced removal of crystal violet dye using zinc oxide nanorods and air oxidation under sunlight radiation. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(2), 1166–1173. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1325558>
- Tulasi, S. L., Swamy, A. V. V. S., Pavani, P., & Subhashini, V. (2022). Green Synthesis of Nanostructured Zinc Particles Using Aqueous Leaf Extract of *Schrebera Swietenoides* Roxb. and Their Catalytic Application in Degradation of Methyl Orange, Crystal Violet Dyes and Chromium Metal. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 14(2), 308–314. <https://doi.org/10.22159/ijap.2022v14i2.43697>
- van Niekerk, J. N., Schoening, F. R. L., & Talbot, J. H. (1953). The crystal structure of zinc acetate dihydrate, Zn(CH₃COO)₂·2H₂O. *Acta Crystallographica*, 6(8), 720–723. <https://doi.org/10.1107/s0365110x53002015>
- Verma, P. R., Khan, F., & Banerjee, S. (2020). *Salvadora persica* root extract-mediated fabrication of ZnO nanoparticles and characterization. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 0(0), 1–7. <https://doi.org/10.1080/24701556.2020.1793355>
- Vogt, C., Wondergem, C. S., & Weckhuysen, B. . (2023). *Ultraviolet-Visible (UV-*

Vis) Spectroscopy. Springer, Cham.
https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-07125-6_11

WFO. (2024). *Spatholobus littoralis Hassk.* diakses pada 7 Juli 2025 melalui
 diakses pada 2 September 2024 melalui
<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000207208>

WHO. (2018). *E.coli.* diakses pada 2 September 2024 melalui
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>

Yassin, M. T., Al-Otibi, F. O., & Al-Askar, A. A. (2023). Photocatalytic Removal of Crystal Violet Dye Utilizing Greenly Synthesized Iron Oxide Nanoparticles. *Separations*, 10(9).
<https://doi.org/10.3390/separations10090513>

Zeghoud, S., Hemmami, H., Ben Seghir, B., Ben Amor, I., Kouadri, I., Rebiai, A., Messaoudi, M., Ahmed, S., Pohl, P., & Simal-Gandara, J. (2022). A review on biogenic green synthesis of ZnO nanoparticles by plant biomass and their applications. *Materials Today Communications*, 33(October), 104747.
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104747>

Zeinab, B., Buthaina, J., & Rafik, K. (2023). Resistance of Gram-Negative Bacteria to Current Antibacterial Agents and Approaches to Resolve It. *Molecules*, 25(6), 1–23.

Zuhrotun, A., Oktaviani, D. J., & Hasanah, A. N. (2023). Biosynthesis of Gold and Silver Nanoparticles Using Phytochemical Compounds. *Molecules*, 28(7).
<https://doi.org/10.3390/molecules28073240>