

**SINTESIS NANOKOMPOSIT ZnO/Ag DENGAN VARIASI
SENG NITRAT HEKSAHIDRAT ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) SEBAGAI AGEN
ANTIBAKTERI TERHADAP *ESCHERICHIA COLI* (*E. COLI*)**

(Skripsi)

Oleh

ZEIFFA ALIFIA MAULITA



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

ABSTRAK

SINTESIS NANOKOMPOSIT ZnO/Ag DENGAN VARIASI SENG NITRAT HEKSAHIDRAT ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) SEBAGAI AGEN ANTIBAKTERI TERHADAP *ESCHERICHIA COLI* (*E. COLI*)

Oleh

ZEIFFA ALIFIA MAULITA

Telah dilakukan sintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi konsentrasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yaitu 0,04 M; 0,06 M; 0,08 M; dan 0,1 M. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil karakterisasi sintesis nanokomposit ZnO/Ag dan mengetahui hasil uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri *E.coli*. Prosedur penelitian melibatkan tiga tahapan utama yaitu sintesis nanokomposit ZnO/Ag, karakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), serta uji aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi cakram. Hasil XRF menunjukkan bahwa Zn adalah unsur dominan dalam struktur material, sedangkan Ag terdeteksi dalam jumlah lebih kecil, mengindikasikan keberhasilan doping. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan struktur kristal dengan tingkat kristalinitas tinggi. Hasil SEM-EDX menunjukkan bahwa partikel ZnO/Ag memiliki morfologi yang homogen dengan struktur kristal heksagonal *wurtzite* (ZnO) dan Ag dengan struktur *Face Centered Cubic* (FCC). Hasil uji aktivitas antibakteri menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ZnO, semakin besar pula zona hambat yang terbentuk terhadap bakteri *E.coli*. Hal ini membuktikan bahwa nanokomposit ZnO/Ag memiliki aktivitas antibakteri yang efektif.

Kata kunci: Antibakteri, *E.coli*, nanokomposit ZnO/Ag.

ABSTRACT

SYNTHESIS OF ZnO/Ag NANOCOMPOSITES WITH VARIATIONS OF ZINC NITRATE HEXAHYDRATE ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) AS AN ANTIBACTERIAL AGENT AGAINST ESCHERICIA COLI (E.COLI)

By

ZEIFFA ALIFIA MAULITA

The synthesis of ZnO/Ag nanocomposites was carried out with varying concentrations of $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, namely 0.04 M, 0.06 M, 0.08 M, and 0.1 M. This study aimed to determine the results of the characterization of the synthesized ZnO/Ag nanocomposites and to determine the results of the antibacterial activity test against E. coli bacteria. The research procedure involved three main stages, namely the synthesis of ZnO/Ag nanocomposites, characterization using X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), as well as antibacterial activity testing using the disc diffusion method. The XRF results showed that Zn was the dominant element in the material structure, while Ag was detected in smaller amounts, indicating successful doping. The XRD characterization results showed a crystal structure with a high degree of crystallinity. The SEM-EDX results showed that the ZnO/Ag particles had a homogeneous morphology with a hexagonal wurtzite crystal structure (ZnO) and Ag with a Face Centered Cubic (FCC) structure. Antibacterial activity test results show that the higher the ZnO concentration, the larger the inhibition zone formed against E. coli bacteria. This proves that ZnO/Ag nanocomposites have effective antibacterial activity.

Keywords: Antibacterial, E.coli, nanocomposites ZnO/Ag.

**SINTESIS NANOKOMPOSIT ZnO/Ag DENGAN VARIASI
SENG NITRAT HEKSAHIDRAT ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) SEBAGAI AGEN
ANTIBAKTERI TERHADAP *ESCHERICHIA COLI* (*E. COLI*)**

Oleh

ZEIFFA ALIFIA MAULITA

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh 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 Skripsi

: SINTESIS NANOKOMPOSIT ZnO/Ag
DENGAN VARIASI SENG NITRAT
HEKSAHIDRAT ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) SEBAGAI
AGEN ANTIBAKTERI TERHADAP
ESCHERICHIA COLI (E.COLI)

Nama Mahasiswa

: ZEIFFA ALIFIA MAULITA

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117041010

Jurusan

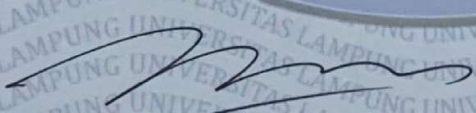
: Fisika

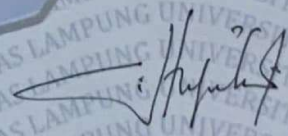
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

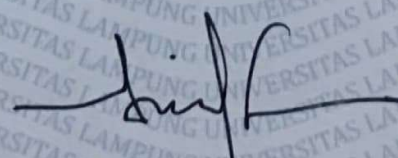


1. Komisi Pembimbing


Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.
NIP 195903081991031001


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

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.

Sekretaris

: Suprihatin, S.Si., M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Ing. Aery Satria, S.Si., M.Si.

NIDN 10012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 September 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zeiffa Alifia Maulita
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041010
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul "**Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag dengan Variasi Seng Nitrat Heksahidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai Agen Antibakteri *Escherichia Coli* (*E.coli*)**" adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 17 September 2025

Yang Menyatakan,



Zeiffa Alifia Maulita
NPM. 2117041010

RIWAYAT HIDUP



Penulis Bernama Zeiffa Alifia Maulita, dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 9 Mei 2003. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Yoga Subarja dan Ibu Selvi Martini. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak Telkom Sandhyputra Bandar Lampung pada tahun 2009, kemudian melanjutkan ke Sekolah Dasar Negeri (SDN) 2 Sawah Lama pada tahun 2015, dan melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 5 Bandar Lampung pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 12 Bandar Lampung pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN tahun 2021.

Di samping menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik maupun non-akademik. Pada tahun 2021, penulis menjadi anggota magang Paduan Suara Mahasiswa (PSM) Universitas Lampung. Penulis juga memiliki pengalaman sebagai asisten Praktikum Elektronika Dasar dan asisten Praktikum Fisika Eksperimen. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Lampung dengan laporan berjudul “Teknik Kalibrasi Volumetrik dengan Metode AS.2162.1-1996 ‘*Verification and use of Volumetric Apparatus*’ di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Bandar Lampung”. Pada tahun 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung di Desa Sukaraja Nuban, Kecamatan Batanghari Nuban, Kabupaten Lampung Timur. Sebagai tugas akhir, penulis menyusun skripsi dengan judul “Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag dengan Variasi Seng Nitrat Heksahidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai Agen Antibakteri terhadap *Escherichia coli* (E.coli)”.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah: 5)

“Sesungguhnya ketetapan-Nya, apabila dia menghendaki sesuatu, dia hanya berkata kepadanya: ‘Jadilah!’ maka, jadilah (sesuatu) itu”

(Q.S. Ya-Sin: 82)

“Long story short, I survived”

(Taylor Swift)

“Whatever the result, be proud of every process you have gone through, appreciate yourself for continuing to try to be better”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati dan ucapan syukur kepada Allah SWT. Atas rahmat karunia-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik, maka kupersembahkan skripsi ini kepada:

Laki-laki Terhebatku BapakYoga Subarja

Sosok ayah yang tidak pernah mengenal rasa lelah, selalu bekerja keras, dan memberikan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan masa program studi ini sampai selesai. Terimakasih karena selalu mengusahakan apapun untuk anak perempuanmu ini.

Ibuku Tercinta Ibu Selvi Martini

Terimakasih sebesar-besarnya kepada beliau atas segala bentuk bantuan, semangat, dan doa yang telah diberikan selama ini. Terimakasih atas nasihat yang selalu diberikan meski terkadang pikiran kita tidak sejalan, terima kasih atas kesabaran dan kebesaran hati menghadapi penulis yang keras kepala.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran dan berkat karunia-Nya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini yang bertempat di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, dengan judul **“Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag dengan Variasi Seng Nitrat Heksahidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai Agen Antibakteri terhadap *Escherichia Coli* (*E.coli*)”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan tugas akhir dan juga salah satu mata kuliah wajib di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penulisan berikutnya lebih baik lagi. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 2025

Zeiffa Alifia Maulita
NPM. 2117041010

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dengan kerendahan dan ketulusan hati, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah bersedia memberikan bimbingan, saran dan masukan selama penulisan skripsi ini.
2. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Kedua yang telah bersedia memberikan bimbingan, saran, dan masukan selama penulisan skripsi.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Penguji yang telah berkenan memberikan masukan dan saran yang membangun kepada penulis.
4. Bapak Drs. Amir Supriyanto, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama proses perkuliahan.
5. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu dan pengalamannya yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
6. Orang tua penulis Bapak Yoga Subarja dan Ibu Selvi Martini, dan adikku M.Revaldo Subarja Putra yang selalu memberikan dukungan penuh dan doa terbaiknya.
7. Sahabat “AAL”, terimakasih telah mendengarkan, memberikan bantuan dan hiburan selama penulis menyusun skripsi ini.
8. Katarina Sihotang, terima kasih telah menjadi sahabat sekaligus pendengar setia selama masa perkuliahan ini, yang selalu siap menerima segala keluh kesah, serta memberikan saran, motivasi, dan ilmu berharga yang telah kita jalani bersama.

9. Teman tim penelitian Gracesia Elfrika Hutapea yang sudah banyak membantu dalam proses penelitian.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 21. Terimakasih atas kenangan dan pengalamannya.
11. Kepada seseorang yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, serta keyakinan untuk terus berjuang hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. terima kasih telah menjadi bagian penting dalam proses perjalanan penulis menyusun skripsi.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi kepada penulis.

Semoga Allah, senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak sehingga skripsi ini dapat selesai.

Bandar Lampung, 2025
Penulis,

Zeiffa Alifia Maulita

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN.....	18
1.1. Latar Belakang	18
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Nanokomposit	5
2.2. Nanopartikel <i>Zinc Oxide</i> (ZnO).....	6
2.3. Nanopartikel Perak (Ag)	8
2.4. Nanokomposit ZnO/Ag	10
2.5. <i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>).....	12

2.6. Karakterisasi Nanokomposit ZnO/Ag	14
2.6.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	14
2.3.2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	17
2.6.3. <i>X-Ray Fluorescence Spectroscopy</i> (XRF)	20
III. METODE PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	22
3.2.1. Alat Penelitian.....	22
3.2.2. Bahan Penelitian	22
3.3. Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1. Pembuatan Larutan <i>Stock</i>	23
A. Larutan <i>Stock</i> ZnO(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	23
B. Larutan <i>Stock</i> AgNO ₃	23
C. Larutan <i>Stock</i> NaOH	24
D. Larutan <i>Stock</i> PVA	24
3.3.2. Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag	25
3.3.3. Karakterisasi Nanokomposit ZnO/Ag	26
3.3.4. Uji Aktivitas Antibakteri <i>E.coli</i>	26
A. Persiapan <i>Muller Hilton Agar</i> (MHA).....	26
B. Persiapan Suspensi Bakteri <i>E.coli</i>	27
C. Uji Aktivitas Antibakteri <i>E.coli</i>	27
3.4. Diagram Alir.....	28
3.4.1. Diagram Alir Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag.....	28
3.4.2. Diagram Alir Uji Aktivitas Antibakteri <i>Escherichia Coli</i>	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Hasil Karakterisasi XRF Nanokomposit ZnO/Ag.....	30
4.2. Hasil Karakterisasi XRD Nanokomposit ZnO/Ag	32
4.2.1. Analisis Kualitatif XRD Nanokomposit ZnO/Ag	32
4.3.2. Hasil Analisis Kuantitatif XRD Nanokomposit ZnO/Ag	35
4.3. Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive</i>	38
4.4. Hasil Uji Aktivitas Antibakteri	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Stuktur Kristal ZnO (<i>wurtzite</i>).....	7
Gambar 2.2. Stuktur Kristal Ag	9
Gambar 2.3. Bakteri <i>E.coli</i>	13
Gambar 2.4. Skema Kerja XRD	15
Gambar 2.5. Skema Hukum Bragg.....	15
Gambar 2.6. Hasil difraksi XRD Nanokomposit ZnO/Ag (AZO-1 - AZO-7)	17
Gambar 2.7. Instrumen SEM.....	18
Gambar 2.8. Karakterisasi Nanokomposit ZnO/Ag menggunakan SEM.....	19
Gambar 2.9. Skema Kerja XRF	21
Gambar 3.1. Diagram Alir Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag.....	28
Gambar 3.2. Diagram Alir Uji Aktivitas Antibakteri <i>Escherichia coli</i>	29
Gambar 4.1. Hasil karakterisasi XRD nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO 0,1 M.....	32
Gambar 4.2. Hasil <i>refirement</i> data XRD nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO 0,1M.	36
Gambar 4.3. Hasil karakterisasi SEM-EDX (a) Analisis morfologi dan (b) Penyebaran unsur kimia nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO 0,1 M.....	38
Gambar 4.4. (a) Hasil zona hambat kontrol positif dan negatif terhadap bakteri <i>E.coli</i> , (b) dan (c) Hasil Zona Hambat Nanokomposit ZnO/Ag terhadap bakteri <i>E.coli</i> . Keterangan: 1 = ZnO/Ag 0,4 M; 2 = ZnO/Ag 0,6 M; 3 = ZnO/Ag 0,8 M; 4 = ZnO/Ag 1 M.....	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Variasi $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ dan komposisi bahan sintesis nanokomposit ZnO/Ag.....	26
Tabel 4.1. Komposisi Unsur dan Oksida Nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO (0,1 M)	30
Tabel 4.2. Selisih Nilai Δd (Å) pada Sampel nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO (0,1 M)	34
Tabel 4.3. Puncak Tertinggi Sudut 2θ dan ukuran partikel nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO (0,1 M)	35
Tabel 4.4. Hasil parameter <i>refinement</i> data XRD nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi ZnO (0,1 M)	37
Tabel 4.5. Sel Parameter Nanokomposit ZnO/Ag.	37
Tabel 4.6. Hasil Komposisi Unsur Nanokomposit ZnO/Ag.....	39
Tabel 4.7. Hasil Pengamatan Zona Hambat Nanokomposit ZnO/Ag	43

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infeksi yang disebabkan oleh patogen, seperti *Eschericia coli* (*E.coli*), menjadi masalah kesehatan yang cukup serius di berbagai belahan dunia. *E.coli* sebenarnya merupakan bagian alami dari mikrobiota usus manusia dan hewan, namun beberapa strain-nya dapat bersifat patogen dan menyebabkan penyakit serius, seperti diare, infeksi saluran kemih, hingga sepsis (Kolopita *et al.*, 2022). Menurut laporan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), *E.coli* merupakan salah satu penyebab utama angka kematian, terutama pada anak-anak. Statistik menunjukkan bahwa diare menyebabkan sekitar 2,2 juta kematian setiap tahunnya, dengan *E.coli* sebagai salah satu faktor utamanya (WHO, 2015). Hal tersebut menimbulkan masalah untuk mencari alternatif baru dalam pengendalian infeksi bakteri, termasuk pengembangan agen antibakteri yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

Nanoteknologi telah muncul sebagai salah satu pendekatan inovatif yang menjanjikan, terutama dalam mengatasi resistensi bakteri terhadap antibiotik konvensional. Salah satu material yang banyak dikembangkan adalah nanopartikel seng oksida (ZnO), yang dikenal memiliki sifat antibakteri terhadap berbagai jenis bakteri, termasuk *E.coli* (Fatoni *et al.*, 2020). Selain itu, nanokomposit adalah kombinasi dua atau lebih material yang berukuran nano dengan diameter kurang dari 300 nm yang telah terbukti mampu meningkatkan aktivitas biologis dan kimia material (Azam *et al.*, 2012).

Berbagai upaya modifikasi untuk meningkatkan efektivitas ZnO, salah satunya dengan membentuk nanokomposit melalui penambahan logam perak (Ag). Doping ZnO dengan Ag diketahui mampu memberikan efek sinergis yang memperkuat sifat antibakterinya. Ag tidak hanya meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS), tetapi juga memiliki mekanisme tersendiri dalam merusak protein, DNA, dan sistem metabolisme bakteri (Agarwal *et al.*, 2017). Penelitian oleh Amrute *et al.*, (2024), menunjukkan bahwa doping Ag pada ZnO menurunkan nilai *band gap* dari 3,04 eV menjadi 2,81 eV yang berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas antibakteri. Uji difusi cakram yang dilakukan menunjukkan zona hambat yang lebih besar pada ZnO yang telah didoping Ag dibandingkan ZnO murni, terutama terhadap bakteri *E.coli*.

Selain itu, efektivitas antibakteri ZnO juga dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk partikel. Penelitian yang dilakukan oleh Raghupathi *et al.*, (2011), menunjukkan bahwa aktivitas antibakteri ZnO sangat bergantung pada ukuran partikel, yang dimana semakin tinggi daya hambatnya terhadap bakteri. Mekanisme antibakteri yang diusulkan mencakup produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan penetrasi fisik partikel ke dalam membran sel bakteri, yang mengakibatkan disorganisasi dan kematian sel. Dalam studi tersebut, ZnO nanopartikel berukuran sekitar 12 nm yang menunjukkan efektivitas penghambatan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, proses sintesis menjadi aspek krusial dalam menentukan performa akhir nanomaterial. Salah satu metode sintesis yang umum digunakan adalah metode endapan basah (*wet chemical precipitation*), karena prosesnya yang sederhana, biaya rendah, serta kemampuannya menghasilkan ukuran partikel yang seragam dan terkendali (Chand Gurjar *et al.*, 2023)

Prekursor yang digunakan dalam sintesis juga berpengaruh terhadap hasil akhir. Seng nitrat heksahidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) merupakan salah satu yang banyak digunakan dalam sintesis ZnO karena kelarutannya yang tinggi dan kestabilan reaksinya (Rompis *et al.*, 2020).

Variasi konsentrasi dari prekursor $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dapat secara langsung mempengaruhi proses pertumbuhan kristal selama sintesis, yang pada akhirnya dapat menentukan morfologi, ukuran partikel, tingkat kristalinitas dan distribusi ukuran dari nanokomposit ZnO/Ag yang terbentuk. Karakteristik struktur dan morfologi partikel yang dihasilkan dari variasi konsentrasi ini sangat berpengaruh terhadap antibakteri. Partikel dengan ukuran lebih kecil dan struktur kristal yang baik umumnya memiliki luas permukaan lebih besar yang memungkinkan interaksi lebih efektif dengan dinding sel bakteri.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi konsentrasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, yaitu 0,04 M; 0,06 M; 0,08 M; dan 0,1 M, menggunakan metode presipitasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur material, struktur kristal, dan morfologi hasil nanokomposit melalui analisis *X-Ray Fluorescence Spectroscopy* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), serta menguji efektivitas antibakterinya terhadap *E.coli* menggunakan metode difusi cakram.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil analisis sintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang diperoleh dari karakterisasi XRF, XRD dan SEM?
2. Bagaimana efektivitas daya hambat antibakteri dari sintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terhadap pertumbuhan bakteri *E.coli*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan memahami hasil karakterisasi sintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ melalui teknik XRF, XRD, dan SEM.
2. Mengetahui hasil aktivitas antibakteri dari sintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ melalui uji hambat pertumbuhan bakteri *E.coli*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berfokus pada sintesis nanokomposit ZnO/Ag dengan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor.
2. Analisis komposisi sampel, ukuran kristalit, dan morfologi menggunakan teknik XRF, XRD, dan SEM-EDX.
3. Aktivitas antibakteri nanokomposit ZnO/Ag hanya diuji terhadap bakteri *E.coli*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang variasi konsentrasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam pembentukan nanokomposit ZnO/Ag terutama dalam uji aktivitas antibakteri *E.coli*.
2. Sebagai tambahan referensi untuk penulis selanjutnya di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanokomposit

Nanokomposit merupakan material komposit yang dibentuk dari kombinasi antara matriks utama, seperti polimer, logam, atau keramik, dengan partikel penguat berukuran nano. Partikel nano tersebut dapat berupa *nanosfera*, *nanotube*, *nanorod*, maupun *nanoplatelet*. Tujuan utama dari kombinasi ini adalah untuk meningkatkan berbagai sifat material dasar, seperti kekuatan mekanik, kestabilan termal, konduktivitas, serta sifat optik (Kumar and Krishnamoorti, 2010).

Menurut Azam *et al.*, (2012), nanokomposit didefinisikan sebagai material hasil penggabungan dua atau lebih komponen dengan ukuran partikel tidak lebih dari 300 nanometer. Partikel berukuran nano yang digunakan sebagai penguat memainkan peran penting dalam menentukan performa akhir material yang dihasilkan (Yang *et al.*, 2020). Penambahan partikel nano dalam matriks utama meningkatkan luas permukaan spesifik dan memperkuat ikatan antar partikel, sehingga menghasilkan material dengan kekuatan mekanik yang lebih tinggi. Selain itu, sifat kimia dan fisika nanokomposit juga cenderung lebih unggul dibandingkan dengan material dalam bentuk makroskopik (*bulk*), karena fenomena skala nano dapat meningkatkan aktivitas permukaan dan reaktivitas material (Sriyanti, 2009).

Nanokomposit secara umum diklasifikasikan berdasarkan jenis matriksnya menjadi tiga kategori utama, yaitu komposit matriks polimer, komposit matriks logam, dan komposit matriks keramik. Ketiga jenis ini memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda, namun semuanya menawarkan potensi yang luar biasa dalam berbagai bidang teknologi.

Nanokomposit yang berstruktur nano menjanjikan terobosan baru dalam pengembangan berbagai aplikasi canggih, seperti komponen ringan yang diperkuat secara mekanis, perangkat optik non-linear, baterai katoda dan ionik, kabel nano, sensor, serta sistem fungsional lainnya (BONDE, 2011).

Salah satu contoh aplikasi penting nanokomposit adalah dalam bidang biomedis, khususnya sebagai agen antibakteri. Nanopartikel ZnO yang didoping dengan unsur tanah seperti Ce, Nd, Sm, dan Er telah terbukti meningkatkan sifat antibakteri melalui mekanisme pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS). Dalam penelitian oleh Navarro-López *et al.*, (2022), nanopartikel ZnO yang telah didoping berhasil disintesis menggunakan metode *combustion-assisted*, sehingga menghasilkan struktur *wurtzite* heksagonal dengan ukuran kristalin rata-rata di bawah 10 nm. Kombinasi tersebut meningkatkan efektivitas terhadap bakteri patogen.

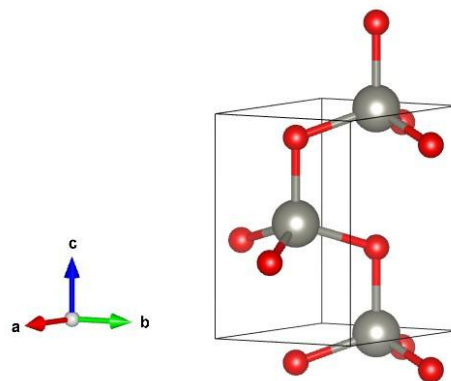
2.2. Nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO)

Menurut penelitian Khan *et al.*, (2019), nanopartikel memperlihatkan karakteristik khas yang membedakannya dari material berskala makro, terutama karena perbandingan luas permukaan terhadap volume yang tinggi serta adanya efek kuantum pada skala nano. Ciri-ciri utama dari nanopartikel mencakup ukurannya yang sangat kecil, luas permukaan yang besar, serta sifat fisikokimia yang dapat diubah sesuai kebutuhan (Jeevanandam *et al.*, 2018). Berdasarkan jenis material penyusunnya, nanopartikel dapat dikategorikan menjadi beberapa kelompok, seperti nanopartikel logam (Au, Ag, dan Cu), nanopartikel oksida logam (TiO₂, ZnO, dan Fe₂O₃), nanopartikel karbon, nanopartikel polimer dan nanopartikel komposit (Singh *et al.*, 2018).

Di antara berbagai jenis nanopartikel, ZnO merupakan salah satu yang paling banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir, karena memiliki karakteristik unik untuk berbagai aplikasi pada teknologi maupun biomedis (Dey *et al.*, 2024). Selain itu, ketersediaannya yang melimpah dan biaya produksinya yang relatif rendah.

Seng oksida merupakan sebuah senyawa kimia dengan rumus molekul ZnO dan termasuk ke dalam material semikonduktor (Özgür *et al.*, 2005). ZnO termasuk semikonduktor tipe II-VI yang memiliki celah pita (*band gap*) yang cukup besar, yaitu 3,37 eV, serta energi ikatan eksiton sebesar 60 MeV. Material ini mampu menyerap cahaya tampak dengan baik dan tetap menunjukkan aktivitas fotokatalik yang tinggi saat terpapar sinar ultraviolet (Shaba *et al.*, 2021).

Struktur kristal ZnO dapat ditemukan dalam tiga bentuk, yaitu *hexagonal wurtzite*, *cubiczincblende*, dan *cubicrocksalt*. Di antara ketiganya, bentuk *wurtzite* merupakan struktur yang paling stabil pada suhu ruang dan paling umum digunakan. ZnO ditemukan secara alami di kerak bumi sebagai mineral *zincite* yang memiliki stuktur kristal *sphalerite*. Dalam susunannya, atom Zn terletak pada sudut dan pusat bidang dari stuktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC), sedangkan untuk atom oksigen (O) berada di antara atom-atom Zn tersebut. Struktur kristal *wurtzite*, yang berbentuk heksagonal yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1**, adalah struktur yang paling banyak digunakan karena stabil pada kondisi suhu normal. Sementara itu, stuktur *rocksalt* terbentuk di bawah tekanan tinggi, yaitu lebih dari 10 GPa (Özgür *et al.*, 2005).



Gambar 2.1. Stuktur Kristal ZnO (*wurtzite*). Parameter kisi $a = 3,24940 \text{ \AA}$, $b = 3,24940 \text{ \AA}$, dan $c = 5,20380 \text{ \AA}$. Pemodelan menggunakan VESTA (COD:82029.cif) (Sawada *et al.*, 1996).

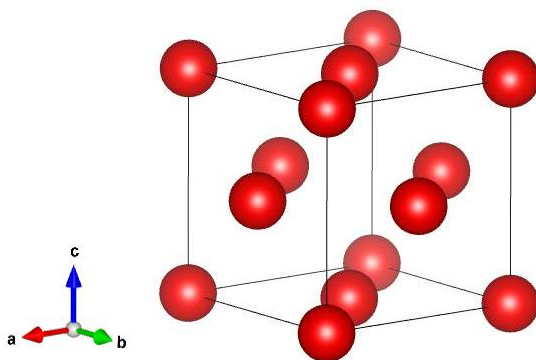
Secara keseluruhan, ZnO memiliki berbagai keunggulan, seperti kestabilan tinggi, tidak beracun, mudah ditemukan di alam, serta biaya produksi yang relatif rendah. Hal-hal tersebut menjadikan ZnO sebagai material pilihan untuk berbagai aplikasi, antara lain sensor gas, biosensor, sensor kimia, bahan antibakteri dan antimikroba, serta bidang lain yang relevan. Kombinasi dari sifat-sifat ini menjadikan ZnO, sangat menjanjikan untuk pengembangan teknologi masa depan, terutama dalam bidang biomedis dan sebagai agen antimikroba (Amin dan Ananda, 2020).

Nanopartikel ZnO bagus untuk antibakteri ukurannya yang kecil dan luas permukaan yang tinggi membuatnya sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Jayaseelan *et al.*, 2012). Pada bakteri yang diberi perlakuan dengan ZnO, bakteri tidak dapat mengembangkan mekanisme adaptasi karena ZnO mempunyai beberapa mekanisme serangan untuk menghambat dan mematikan sel bakteri. Aktivitas antibakteri dari ZnO berhubungan dengan beberapa mekanisme dimana ZnO dapat secara langsung berinteraksi dengan sel-sel mikroba, misalnya mengganggu transfer elektron, menembus membran sel, atau oksidasi komponen sel, atau menghasilkan produk sekunder misalnya *Reactive Oxygen Species* (ROS) atau ion-ion logam berat terlarut yang menyebabkan kerusakan (Li *et al.*, 2009).

2.3. Nanopartikel Perak (Ag)

Nanopartikel perak (Ag) adalah partikel logam perak yang berukuran nanometer (1-100 nm) yang memiliki kemampuan antimikroba yang sangat tinggi. Logam Ag merupakan unsur kimia golongan I B, tergolong sebagai logam transisi lunak dan logam mulia, berwarna putih, dengan nomor atom 47 dan massa atom 107,87 g/mol. Ag dikenal memiliki konduktivitas listrik, konduktivitas termal, serta daya pantul (reflektivitas) tertinggi dibandingkan logam lainnya, selain itu juga menunjukkan ketahanan kimia yang sangat baik (Andren, 1997).

Dari segi struktur, nanopartikel Ag memiliki bentuk kristal *Face Centered Cubic* (FCC) dengan grup ruang $Fm\bar{3}m$ dan parameter kisi $a = b = c = 4,086 \text{ \AA}$ pada suhu kamar (Paramelle *et al.*, 2014). Struktur kristal FCC yang dapat dilihat pada **Gambar 2.2** merupakan bentuk yang paling stabil secara termodinamis, di mana setiap atom perak dikelilingi oleh 12 atom perak lainnya dalam pola koordinasi *octahedral cubic* (Kumar *et al.*, 2008). Variasi morfologi nanopartikel Ag sangat tergantung pada teknik sintesis dan kondisi reaksi yang digunakan. Bentuk partikel yang umum meliputi sferis, kubik, prisma, batang (*rod*), kawat (*wire*), hingga bentuk yang tidak beraturan (Wiley *et al.*, 2005). Setiap bentuk tersebut memengaruhi bidang kristal dominan yang terbentuk, dan selanjutnya berpengaruh terhadap sifat fisikokimia dan kegunaannya.



Gambar 2.2. Struktur Kristal Ag. Parameter kisi $a = 4,086 \text{ \AA}$, $b = 4,086 \text{ \AA}$, dan $c = 4,086 \text{ \AA}$. Pemodelan menggunakan VESTA (COD:9013045.cif) (Suh *et al.*, 1988).

Selain struktur morfologi, nanopartikel Ag juga memiliki berbagai cacat kristal seperti *twin boundaries*, dislokasi, dan cacat titik. Cacat-cacat ini dapat mempengaruhi sifat mekanik, kestabilan termal, dan reaktivitas partikel (Grzelczak *et al.*, 2008). *Twin boundaries* sering terbentuk pada logam FCC seperti Ag karena energi cacat tumpukan yang relatif rendah, yang memungkinkan terbentuknya struktur kembar yang dapat memengaruhi sifat partikel (Lu *et al.*, 2004).

Nanopartikel Ag banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, terutama sebagai agen antibakteri. Mekanisme kerja antibakteri nanopartikel Ag melibatkan pelepasan ion (Ag^+) yang dapat berinteraksi dengan membran sel bakteri, meningkatkan permeabilitas membran, serta menghambat replikasi DNA dan sintesis protein di dalam sel (Haryono dan Harmami, 2010). Selain itu, nanopartikel Ag juga mampu menghasilkan ROS yang dapat merusak berbagai komponen sel secara oksidatif.

Ukuran partikel Ag memainkan peran penting dalam aktivitas biologisnya. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar luas permukaan yang tersedia, sehingga memperkuat efek antibakteri. Penelitian oleh Wahyudi *et al.*, (2011), menunjukkan bahwa nanopartikel Ag berukuran sekitar 71,8 nm memiliki efektivitas tinggi dalam menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli*.

Saat ini, aplikasi nanopartikel Ag berkembang pesat dalam berbagai sektor, termasuk tekstil antibakteri, kemasan makanan aktif, serta bidang biomedis seperti perawatan luka (Chuchita *et al.*, 2018). Salah satu metode sintesis yang paling umum melibatkan penggunaan perak nitrat (AgNO_3) sebagai prekursor utama karena sifatnya yang mudah larut dalam air dan kemampuannya melepaskan ion (Ag^+) secara stabil (Manalu *et al.*, 2024; Sati *et al.*, 2025). Berdasarkan sifat-sifat tersebut, AgNP yang dihasilkan dari AgNO_3 menjadi salah satu jenis nanomaterial yang paling banyak dipelajari dan diterapkan di berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

2.4. Nanokomposit ZnO/Ag

Nanokomposit ZnO/Ag merupakan material yang menggabungkan sifat-sifat unik dari Ag dan ZnO dalam skala nano. Kombinasi tersebut banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang terutama di bidang antibakteri, fotokatalis, dan elektronik. Nanopartikel perak dikenal karena aktivitas antibakterinya yang kuat, sedangkan ZnO memiliki sifat semikonduktor dan fotokatalis yang baik (Zhang *et al.*, 2016). Nanokomposit ZnO/Ag dapat disintesis melalui berbagai metode, termasuk metode sol-gel, hidrotermal, dan pengendapan kimia.

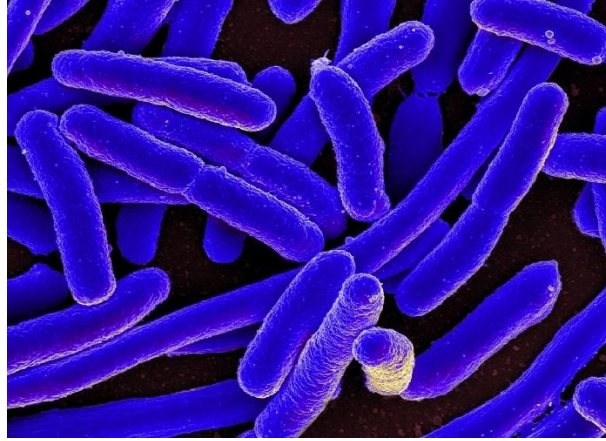
Menurut penelitian oleh Matai *et al.*, (2014), nanokomposit ZnO/Ag merupakan material yang menarik perhatian dalam bidang nanoteknologi dan biomedis, terutama karena sifat antibakteri yang dimilikinya. Kombinasi antara Ag dan ZnO dalam bentuk nanokomposit telah terbukti efektif dalam mengatasi masalah infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme resisten terhadap antibiotik, terutama terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif. Penelitian ini juga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi fotokatalis, yang menunjukkan bahwa nanokomposit ZnO/Ag dapat meningkatkan efisiensi degradasi senyawa organik di bawah cahaya UV. Nanokomposit ZnO/Ag merupakan material yang menarik perhatian dalam penelitian karena potensi aplikasinya dalam bidang antibakteri.

Menurut penelitian oleh Cuadra *et al.*, (2022), nanokomposit ZnO/Ag disintesis menggunakan metode kimia yang menghasilkan struktur fase terpisah, yaitu struktur *wurtzite hexagonal* untuk ZnO dan struktur kubik untuk nanopartikel Ag. Meskipun nanokomposit ZnO/Ag menunjukkan banyak keunggulan, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satunya adalah aglomerasi nanopartikel pada konsentrasi tinggi, yang dapat mengurangi luas permukaan dan efektivitas antibakteri. Menurut penelitian Prasetya *et al.*, (2020), nanokomposit ZnO/Ag memiliki aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap berbagai jenis bakteri, termasuk bakteri *E.coli*. Mekanisme dari nanokomposit ini melibatkan kombinasi dari efek antibakteri Ag dan produksi ROS oleh ZnO, yang secara sinergis meningkatkan kemampuan dalam membunuh bakteri.

2.5. *Escherichia Coli* (*E.coli*)

Bakteri *E.coli* seperti **Gambar 2.3** merupakan bakteri gram negatif yang termasuk dalam keluarga *Enterobacteriaceae*. Bakteri ini secara alami hidup di dalam saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas sebagai bagian dari flora normal usus besar. Dalam kondisi normal, *E.coli* berperan penting dalam proses pencernaan, termasuk membantu pembusukan makanan dalam sintesis vitamin K. namun, meskipun sebagian besar strain *E.coli* bersifat nonpatogenik dan tidak menimbulkan penyakit, beberapa strain tertentu diketahui bersifat patogen dan dapat menyebabkan berbagai penyakit serius. Salah satu strain yang paling dikenal adalah *E.coli* O₁₅₇:H₇, yang dapat menghasilkan toksin berbahaya, yang mampu merusak lapisan usus dan menyebabkan gejala klinis seperti diare berdarah, kram perut yang hebat, dan dalam kasus parah dapat berkembang menjadi sindrom hemolitik uremik (*Hemolytic Uremic Syndrome/HUS*), yang berpotensi menyebabkan gagal ginjal dan kematian, terutama pada anak-anak dan lansia. Selain itu, infeksi *E.coli* juga dapat memicu penyakit lain seperti infeksi saluran kemih (ISK), meningitis neonatal, dan infeksi saluran pernapasan, tergantung pada jenis dan lokasi infeksi (Kolopita *et al.*, 2022). Oleh karena itu, pengendalian penyebaran *E.coli*, terutama strain patogenik, sangat penting dalam menjaga kesehatan masyarakat serta menjamin keamanan pangan dan air minum.

Dalam konteks pengendalian infeksi bakteri, pendekatan konvensional yang mengandalkan antibiotik semakin menghadapi tantangan akibat meningkatnya resistensi antibiotik, yaitu kondisi ketika bakteri menjadi tidak responsif terhadap pengobatan. Hal ini mendorong banyak peneliti untuk mencari alternatif lain yang lebih efektif dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan material berbasis nano, seperti nanopartikel logam, yang telah terbukti memiliki sifat antibakteri yang kuat. Penggunaan nanopartikel sebagai agen antimikroba telah menarik perhatian yang besar dari kalangan ilmuwan dan praktisi kesehatan karena sifat unik material pada skala nano, termasuk rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, kemampuan berinteraksi langsung dengan membrane sel bakteri, dan potensi untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang dapat merusak struktur sel mikroba (Rompis *et al.*, 2020).



Gambar 2.3. Bakteri *E.coli* (Wikipedia, 2013).

Menurut penelitian Oktariani *et al.*, (2021), *E.coli* ATCC 10536 dimanfaatkan untuk menguji efektivitas antimikroba dari zeolite yang dimodifikasi dengan perak (Ag-zeolit) dan seng (Zn-zeolit) dalam bahan pelapis polivinil nitrat. Penelitian menunjukkan bahwa ion logam seperti perak (Ag^+) memiliki mekanisme penghambat pertumbuhan bakteri melalui mekanisme penghambatan molekuler dan sel, dengan efektivitas yang bergantung pada konsentrasi agen antimikroba.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Cahyaningsih *et al.*, (2015), *E.coli* diuji sebagai salah satu target untuk mengevaluasi aktivitas antibakteri dari membrane bionanokomposit selulosa bakteri yang terintegrasi dengan nanopartikel perak. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan antibakteri yang efektif sebagai alternatif dalam menghadapi masalah resistensi antibiotik yang semakin meningkat. Resistensi antibiotik merupakan tantangan besar dalam pengobatan infeksi bakteri dan pengembangan bahan baru yang memiliki mekanisme kerja yang berbeda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa membran bionano komposit selulosa bakteri yang disintesis dengan menggunakan prekursor AgNO_3 pada konsentrasi 0,5 mM dan 1mM memiliki kemampuan untuk menurunkan *Optical Density* (OD) *E.coli* sebesar 22,91% dan 32,59%. Penurunan OD ini menunjukkan adanya kematian sel bakteri, yang merupakan indikasi dari aktivitas antibakteri yang efektif.

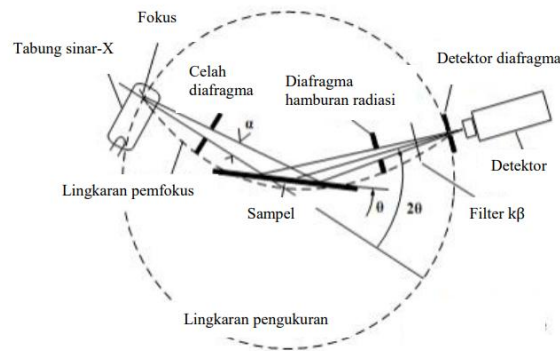
2.6. Karakterisasi Nanokomposit ZnO/Ag

Karakterisasi material merupakan tahap penting dalam penelitian nanomaterial untuk memahami sifat fisik, kimia, dan struktural yang berpengaruh terhadap aktivitas biologis. Karakterisasi nanokomposit ZnO/Ag umumnya dilakukan menggunakan berbagai teknik analisis untuk mengonfirmasi keberhasilan sintesis, menentukan ukuran partikel, morfologi, dan komposisi unsur. Karakterisasi nanokomposit ZnO/Ag yang digunakan yaitu karakterisasi XRF, XRD dan SEM.

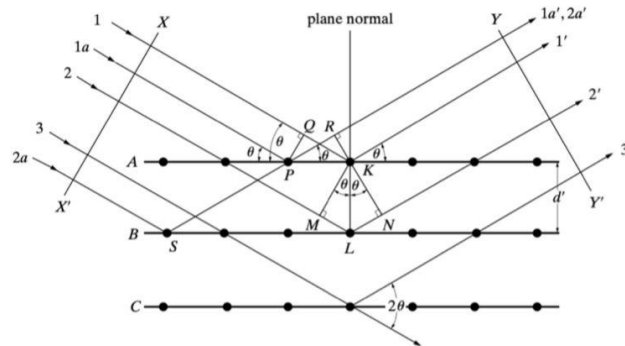
2.6.1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

XRD adalah metode karakterisasi material yang berfungsi untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam suatu material. Proses ini dilakukan dengan menentukan parameter kisi terlebih dahulu guna memperoleh ukuran kristalnya. Metode XRD ini memanfaatkan sifat gelombang sinar-X yang dapat berinteraksi dengan atom dalam suatu kristal, menghasilkan pola difraksi yang uni untuk setiap jenis material. XRD merupakan alat yang sangat penting dalam ilmu material, kimia, fisika, dan mineralogi karena dapat memberikan informasi tentang fase, ukuran butir, dan strain dalam material (Cullity and Stock, 2001).

Teknik difraksi sinar-X bergantung pada tiga komponen utama yaitu; sumber sinar, area sampel dan detektor. Prinsip kerja XRD dapat dilihat pada **Gambar 2.4** yaitu pada saat tabung sinar-X memancarkan seberkas sinar yang mengarah pada sampel kemudian sebagian berkas sinar-X tersebut akan ditransmisikan melalui detektor dan sebagian lagi akan dihamburkan dan terdifraksi. Detektor diperlukan untuk mengubah foton sinar-X menjadi sinyal tegangan yang selanjutnya diubah kembali menjadi informasi mengenai intensitas dan posisi berkas sinar-x yang terdifraksi. Berkas sinar-X yang memiliki fase sama akan memperkuat satu sama lain, sedangkan berkas sinar-X dengan fase yang berbeda akan saling menghilangkan. (Cullity, 1978).



Gambar 2.4. Skema Kerja XRD (Cullity,1978).



Gambar 2.5. Skema Hukum Bragg (Cullity, 1978).

Pada **Gambar 2.5** memperlihatkan dua berkas sinar-X yang mengenai atom K pada bidang pertama dan L pada bidang selanjutnya. Jarak antar bidang K dan L adalah d , dan θ adalah sudut difraksi. Berkas-berkas tersebut memiliki panjang gelombang yaitu λ , yang jatuh pada bidang kristal dengan jarak d dan sudut θ . Jarak $ML + LN$ merupakan sebuah jarak tambahan yang harus sama dengan nilai sebuah n jika dikalikan dengan λ seperti pada Persamaan (2.1)

$$ML + LN = n \lambda \quad (2.1).$$

Berkas-berkas sinar-X jatuh pada jarak d dan sudut θ . Sehingga dapat dituliskan pada Persamaan (2.2).

$$\sin \theta = \frac{ML}{KL} = \frac{ML}{d} \quad (2.2).$$

$$d \sin \theta = ML \quad (2.3).$$

Pada **Gambar 2.5** jarak $ML = LN$, maka persamaan (2.1) dapat dituliskan pada Persamaan (2.4) sebagai berikut.

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.4).$$

Dengan n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang, d adalah jarak antar bidang dalam kristal dan θ adalah sudut difraksi, n adalah orde difraksi (0, 1, 2,...) (Cullity, 1978). Untuk dapat melihat ukuran partikel pada hasil XRD yang telah didapatkan persamaan yang didasarkan pada rumus Dybe Scherrer.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2.5).$$

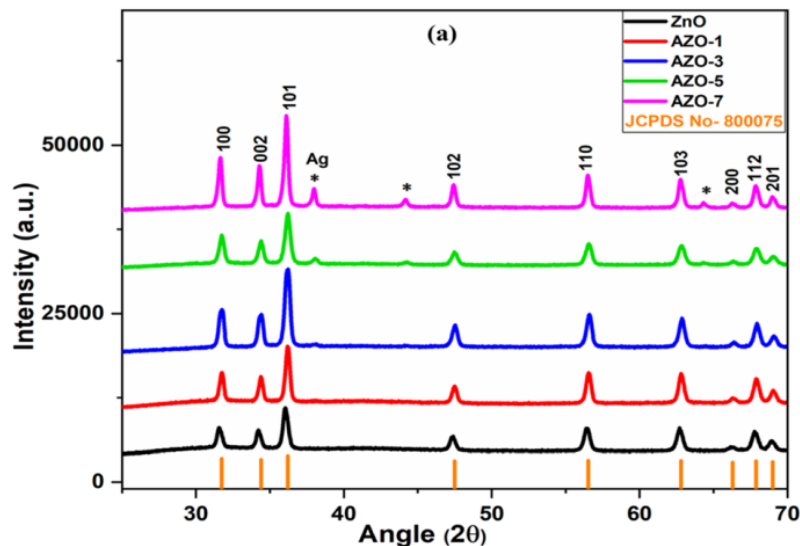
Dengan keterangan D adalah ukuran partikel suatu kristal (nm), β adalah lebar setengah puncak pada *Full Width at Half Maximum* (FWHM), k adalah konstanta Scherrer (= 0,89 – 0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X (= 1,54 nm). Pada rumus Scherrer ini satuannya adalah radian. Bila data difraksi masih diantara sudut 2θ dan intensitas, maka FWHM satuannya adalah derajat ($^{\circ}$).

Metode analisis XRD merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi sifat-sifat material kristalin, baik dari segi struktur (kualitatif), fasa (kuantitatif), maupun ukuran butir dalam suatu sampel, dengan memanfaatkan radiasi elektromagnetik berupa sinar-X. Teknik ini memungkinkan pendekteksian senyawa tertentu melalui pengamatan pola difraksi yang dihasilkan ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan susunan atom dalam kisi kristal material tersebut. Sinar-X sendiri adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar antara 10^{-3} nm hingga 10 nm (Lee, 2017).

XRD sering digunakan untuk analisis fase dalam material, yang memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi komposisi mineral dalam sampel. Misalnya dalam penelitian yang dilakukan oleh (Kurniawan *et al.*, 2023), XRD digunakan untuk menganalisis struktur kristal dari bahan yang diuji, memberikan informasi penting tentang fase yang ada dan ukuran butir kristal. Hasil analisis XRD dapat digunakan untuk memahami sifat fisik dan kimia dari material, serta untuk mengoptimalkan proses sintesis dan aplikasi material tersebut. Dalam konteks ini, XRD berfungsi

sebagai alat yang sangat berguna untuk karakterisasi material, yang dapat membantu dalam pengembangan material baru dengan sifat yang diinginkan.

Menurut penelitian oleh Amrute *et al.*, (2024), pola difraksi yang diperoleh yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6** menunjukkan bahwa semua sampel memiliki struktur kristal heksagonal *wurtzite* yang khas dari ZnO. Puncak-puncak tajam dan intens yang muncul pada sudut 2θ sekitar $31,5^\circ$, $34,2^\circ$, dan $36,0^\circ$ masing-masing diasosiasikan dengan bidang kristal (100), (002), dan (101), yang menandakan sifat kristalinitas tinggi dari material yang disintesis. Selain itu, munculnya puncak tambahan pada 2θ sekitar 38° , 44° , dan 64° pada konsentrasi Ag yang lebih tinggi menandakan keberadaan fasa Ag yang terdispersi dalam matriks ZnO.



Gambar 2.6. Hasil difraksi XRD Nanokomposit ZnO/Ag (AZO-1 - AZO-7) (Amrute *et al.*, 2024).

2.3.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah teknik mikroskopi yang digunakan untuk memperoleh gambar permukaan suatu sampel dengan resolusi tinggi. Teknik ini bekerja dengan memindai permukaan sampel menggunakan berkas elektron yang terfokus, yang menghasilkan informasi tentang morfologi, komposisi, dan sifat fisik dari material yang diteliti (Goldstein *et al.*, 1975). Salah satu keunggulan

SEM dibandingkan dengan teknik mikroskopi lainnya adalah kemampuannya untuk memberikan resolusi yang jauh lebih tinggi (Reimer and Kohl, 2007).

Proses pengambilan gambar dalam SEM dimuai dengan mempersiapkan sampel yang sering kali memerlukan pelapisan dengan material konduktif, terutama untuk sampel non-konduktif. Pelapisan bertujuan menghindari pengumpulan muatan yang dapat mengganggu gambar yang dihasilkan (Murtey and Ramasamy, 2021). Setelah sampel siap, berkas elektron diarahkan ke permukaan sampel, sehingga interaksi antara elektron dan atom dalam sampel menghasilkan sinyal yang dapat diukur (Goldstein *et al.*, 1975).

Tembakan elektron dapat mempercepat energi elektron antara 100 – 30.000 eV. Namun, ukuran titik pusat dari berkas elektron terlalu besar untuk menghasilkan gambar yang jelas, sehingga SEM dilengkapi dengan lensa yang berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron pada sampel seperti pada **Gambar 2.7**.

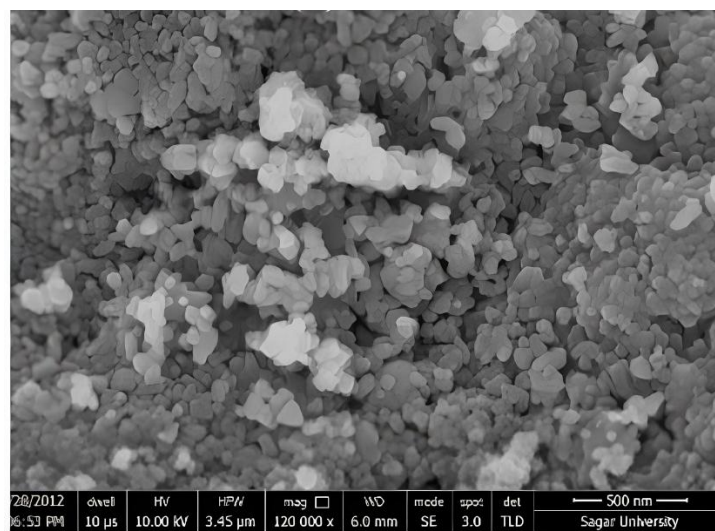


Gambar 2.7. Instrumen SEM (Wikipedia, 2025).

Pada **Gambar 2.7**, menunjukkan instrumen SEM, di mana sumber elektron dihasilkan dari elektron yang dipercepat oleh medan listrik tinggi melalui tembakan elektron, lalu diarahkan ke anoda. Dalam proses tersebut lensa kondensor memfokuskan elektron ke arah sampel, sementara anoda berfungsi membatasi elektron dengan sudut hambur besar. Elektron yang telah difokuskan kemudian memindai seluruh permukaan sampel dengan bantuan lensa kondensor. Ketika elektron tersebut mengenai sampel, maka sampel akan memancarkan elektron

sekunder yang diterima oleh detektor. Sinyal dari detektor kemudian dikirim ke monitor untuk diproses menjadi gambar mikroskopik dari hasil analisis suatu sampel (Choudhary and Priyanka, 2017).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Amrute *et al.*, (2024) dilakukan sintesis nanokomposit ZnO/Ag. Kemudian hasil sintesis yang didapat dikarakterisasi menggunakan SEM. Hasil karakterisasi menggunakan SEM ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8. Karakterisasi Nanokomposit ZnO/Ag menggunakan SEM (Amrute *et al.*, 2024).

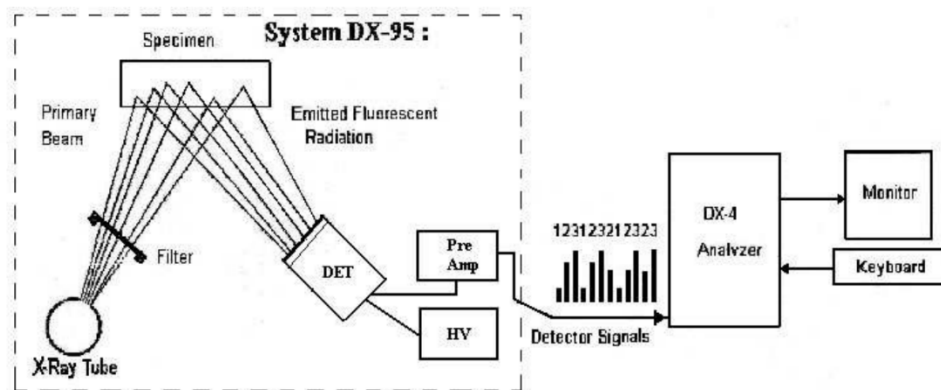
Pada **Gambar 2.8** menunjukkan bahwa baik ZnO murni maupun ZnO yang didoping dengan Ag memiliki morfologi partikel berbentuk hampir *sferis*. Hasil SEM tersebut memperlihatkan bahwa partikel-partikel ZnO tersusun secara agregat dan menyebar secara merata di permukaan. Berdasarkan analisis ukuran rata-rata partikel untuk ZnO murni adalah sekitar 46,89 nm sedangkan untuk ZnO/Ag meningkat menjadi sekitar 67,33 nm yang menunjukkan bahwa doping Ag menyebabkan pertumbuhan ukuran butir.

Dibalik kelebihan kinerjanya, SEM juga memiliki keterbatasan seperti sampel yang digunakan harus tahan terhadap kondisi vakum, sehingga tidak cocok untuk bahan hidup atau basah tanpa persiapan khusus. Selain itu, proses pelapisan sampel dengan logam konduktif, seperti emas atau platinum yang dapat mengubah karakteristik asli sampel (Reimer and Kohl, 2007).

2.6.3. *X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)*

XRF merupakan teknik analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia material berdasarkan prinsip emisi sinar-X karakteristik dari atom-atom dalam sampel. Teknik ini telah menjadi salah satu metode analisis yang paling penting dalam berbagai bidang aplikasi (Potts *et al.*, 2005).

Prinsip kerja alat XRF yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9** didasarkan pada proses pemancaran sinar-X fluoresensi oleh sampel yang sebelumnya disinari oleh sinar-X primer yang berasal dari tabung sinar-X (*X-Ray Tube*). Tabung ini menghasilkan radiasi sinar-X dengan memanfaatkan energi listrik dari sumber tegangan sekitar 1200 volt. Ketika radiasi ini mengenai sampel, energi dari sinar-X menyebabkan elektron dalam atom bahan tereksitasi dan berpindah ke tingkat energi yang lebih rendah. Proses ini disertai dengan emisi sinar-X karakteristik dari masing-masing unsur. Sinar-X karakteristik tersebut kemudian dideteksi oleh detektor, diubah menjadi sinyal listrik (tegangan), diperkuat oleh penguat awal (preamp), dan selanjutnya dikirim ke analiser untuk diproses menjadi data spektrum. Energi maksimum sinar-X yang dihasilkan dipengaruhi oleh besar tegangan dan arus listrik yang diberikan pada sistem (Jamaludin dan Adiantoro, 2012).



Gambar 2.9. Skema Kerja XRF (Wolff, 2006).

Analisis kualitatif XRF didasarkan pada identifikasi puncak-puncak spectral pada energi atau panjang gelombang yang spesifik untuk setiap elemen. Setiap elemen memiliki spectral yang unik yang memungkinkan identifikasi yang pasti. Analisis kuantitatif XRF melibatkan pengukuran intensitas sinar-X dan korelasinya dengan konsentrasi elemen dalam sampel (Wolff, 2006).

Aplikasi XRF sangat luas dan mencakup berbagai bidang. Di bidang metalurgi, XRF digunakan untuk kontrol kualitas dan analisis komposisi alloy, memungkinkan analisis cepat dan akurat komposisi logam dalam proses produksi. Sifat non-destruktif XRF membuatnya sangat berharga dalam studi arkeologi dan konservasi objek bersejarah dan memberikan informasi tentang komposisi material. Keunggulan utama XRF meliputi sifat non-destruktif yang dimana sampel tidak mengalami kerusakan selama analisis, kemampuan multi-elemen untuk menganalisis berbagai elemen secara simultan, dan rentang konsentrasi yang luas dari ppm hingga persen (Oyedotun, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai Juni 2025 di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Uji karakterisasi XRF dan XRD dilakukan di Lab Terpadu Universitas Negeri Padang (UNP), karakterisasi SEM dilakukan di UPT LTSIT Universitas Lampung, dan Uji antibakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Balai Veteriner Lampung.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini: gelas beaker, *furnace*, kertas whatman no.41, gelas ukur, timbangan, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, spatula, *aquades*, mikropipet, *hotplate*, oven, kertas pH meter, mortar dan alu, cawan petri, cawan krusibel, *furnace*, tempat sampel, inkubator, kertas cakram, XRF PANalytical Epsilon 3, XRD X'Pert PRO PANalytical PW3040/60, dan SEM ZEISS EVO MA 10.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ 99% Merck, AgNO_3 99,98% Merck, *Sodium Hydroxide* (NaOH) 98% Merck, *aquades* (H_2O), etanol, *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 93% Sigma Aldrich, dan suspensi bakteri *E.coli*.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan terdiri dari: sintesis nanokomposit ZnO/Ag, karakterisasi nanokomposit ZnO/Ag, dan uji aktivitas antibakteri *Escherichia coli*.

3.3.1. Pembuatan Larutan *Stock*

A. Larutan *Stock* $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Pembuatan larutan *stock* $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti gelas beker, stirrer, timbangan digital, *aquades*, dan $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ disiapkan.
2. Sebanyak 500 ml *aquades* dituang ke dalam gelas beker.
3. Sebanyak 15 gram $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditimbang menggunakan timbangan digital.
4. $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah berisi *aquades*, aduk menggunakan *stirrer* selama 15 menit pada suhu 80°C hingga $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ larut sempurna.

B. Larutan *Stock* AgNO_3

Pembuatan larutan *stock* AgNO_3 dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti gelas beker, stirrer, timbangan digital, *aquades*, dan AgNO_3 disiapkan.
2. Sebanyak 400 ml *aquades* dituang ke dalam gelas beker.
3. Sebanyak 6,8 gram AgNO_3 ditimbang menggunakan timbangan digital.
4. AgNO_3 yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah berisi *aquades*, lalu diaduk menggunakan *stirrer* selama 15 menit hingga AgNO_3 larut sempurna.

C. Larutan *Stock* NaOH

Pembuatan larutan *stock* NaOH dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti gelas beker, stirrer, timbangan digital, *aquades*, dan NaOH disiapkan.
2. Sebanyak 100 ml *aquades* dituang ke dalam gelas beker.
3. Sebanyak 4 gram NaOH ditimbang menggunakan timbangan digital.
4. NaOH yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah berisi *aquades*, lalu diaduk menggunakan stirrer selama 15 menit hingga NaOH larut sempurna.

D. Larutan *Stock* PVA

Pembuatan larutan *stock* PVA dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti gelas beker, stirrer, timbangan digital, batang pengaduk, *hotplate*, *aquades*, dan PVA disiapkan.
2. Sebanyak 20 ml *aquades* dituang ke dalam gelas beker.
3. *Aquades* dipanaskan menggunakan *hotplate* pada suhu 80°C, namun tidak sampai mendidih.
4. Sebanyak 2 gram PVA ditimbang menggunakan timbangan digital.
5. PVA yang sudah ditimbang dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam *aquades* yang sedang dipanaskan sambil diaduk agar tidak menggumpal.
6. PVA dibiarkan hingga larut sempurna, yang dapat memakan waktu selama 60 menit. Larutan akan berubah menjadi bening dan kental saat PVA benar-benar larut.

3.3.2. Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag

Sintesis nanokomposit ZnO/Ag dilakukan dengan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan selama proses sintesis disiapkan.
2. Larutan $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi 0,04 M, 0,06 M, 0,08 M, dan 0,1 M disiapkan.
3. Semua variasi larutan $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tersebut di *stirrer* selama 10 menit.
4. Etanol sebanyak 5 ml, 10 ml, 15 ml, dan 20 ml ditambahkan untuk setiap variasi $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menggunakan mikropipet, sambil di *stirrer*.
5. Larutan PVA sebanyak 1 ml ditambahkan menggunakan mikropipet di setiap variasi larutan $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
6. Larutan NaOH ditambahkan menggunakan mikropipet untuk setiap variasi $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ guna mencapai pH 13, dengan volume masing-masing sebanyak 10 ml, 15 ml, 20 ml, dan 25 ml ditambahkan.
7. Larutan AgNO_3 sebanyak 100 ml ditambahkan sedikit demi sedikit untuk setiap variasi larutan $\text{ZnO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sembari diaduk menggunakan *stirrer*.
8. Larutan ZnO/Ag ditutup menggunakan plastik *wrap* untuk menghindari kontaminasi, kemudian di *stirrer* selama 24 jam guna memastikan larutan tercampur sempurna.
9. Setelah 24 jam, *stirrer* dimatikan dan larutan dibiarkan pada suhu ruang untuk memperoleh endapan.
10. Endapan yang didapat kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman no.41 untuk memisahkan larutan dan endapan.
11. Endapan yang telah disaring kemudian diletakkan di atas cawan petri lalu dioven pada suhu 90°C selama 120 menit hingga mengering.
12. Endapan yang telah kering kemudian diletakkan di cawan krusibel lalu di *furnace* dengan cara dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 100°C selama 1 jam, kemudian suhu dinaikkan hingga 250°C dan ditahan selama 4 jam, lalu dibiarkan hingga mencapai suhu ruang.
13. Endapan yang sudah di *furnace* dihaluskan menggunakan mortar dan alu hingga berbentuk bubuk.
14. Bubuk dapat digunakan untuk karakterisasi.

Perbandingan variasi $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ seperti pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Variasi $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ dan komposisi bahan sintesis nanokomposit ZnO/Ag.

No.	$(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ (M)	NaOH (M)	AgNO_3 (M)
1.	0,04	1	0,1
2.	0,06	1	0,1
3.	0,08	1	0,1
4.	0,1	1	0,1

3.3.3. Karakterisasi Nanokomposit ZnO/Ag

Nanokomposit yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi menggunakan:

1. XRF untuk menentukan komposisi unsur-unsur pada nanokomposit ZnO/Ag.
2. SEM untuk mengetahui struktur morfologi pada nanokomposit ZnO/Ag.
3. XRD untuk mengetahui stuktur kristal yang terbentuk pada nanokomposit ZnO/Ag.

3.3.4. Uji Aktivitas Antibakteri *E.coli*

A. Persiapan *Muller Hilton Agar* (MHA)

Persiapan MHA dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti gelas beker, timbangan digital, *autoclave*, cawan petri, MHA, dan *aquades* disiapkan.
2. Timbang MHA sebanyak 3,4 g, lalu larutkan ke dalam *aquades* 100 ml.
3. Masukkan MHA ke dalam *autoclave* selama 15 menit pada suhu 121°C .
4. MHA dituangkan ke dalam cawan petri sebanyak 20 ml, kemudian diamkan hingga menjadi agar.

B. Persiapan Suspensi Bakteri *E.coli*

Persiapan suspensi bakteri *E.coli* dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti cawan petri, loop steril, MHA, dan bakteri *E.coli* disiapkan.
2. Sebanyak 1 ml koloni bakteri *E.coli* diambil dari media padat menggunakan loop steril.
3. Koloni bakteri *E.coli* dimasukkan ke dalam 10 ml media LB Borth di dalam tabung reaksi.
4. Kultur bakteri *E.coli* diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam di dalam inkubator hingga mencapai fase pertumbuhan.
5. Suspensi bakteri telah siap dan dapat digunakan untuk proses pengujian.

C. Uji Aktivitas Antibakteri *E.coli*

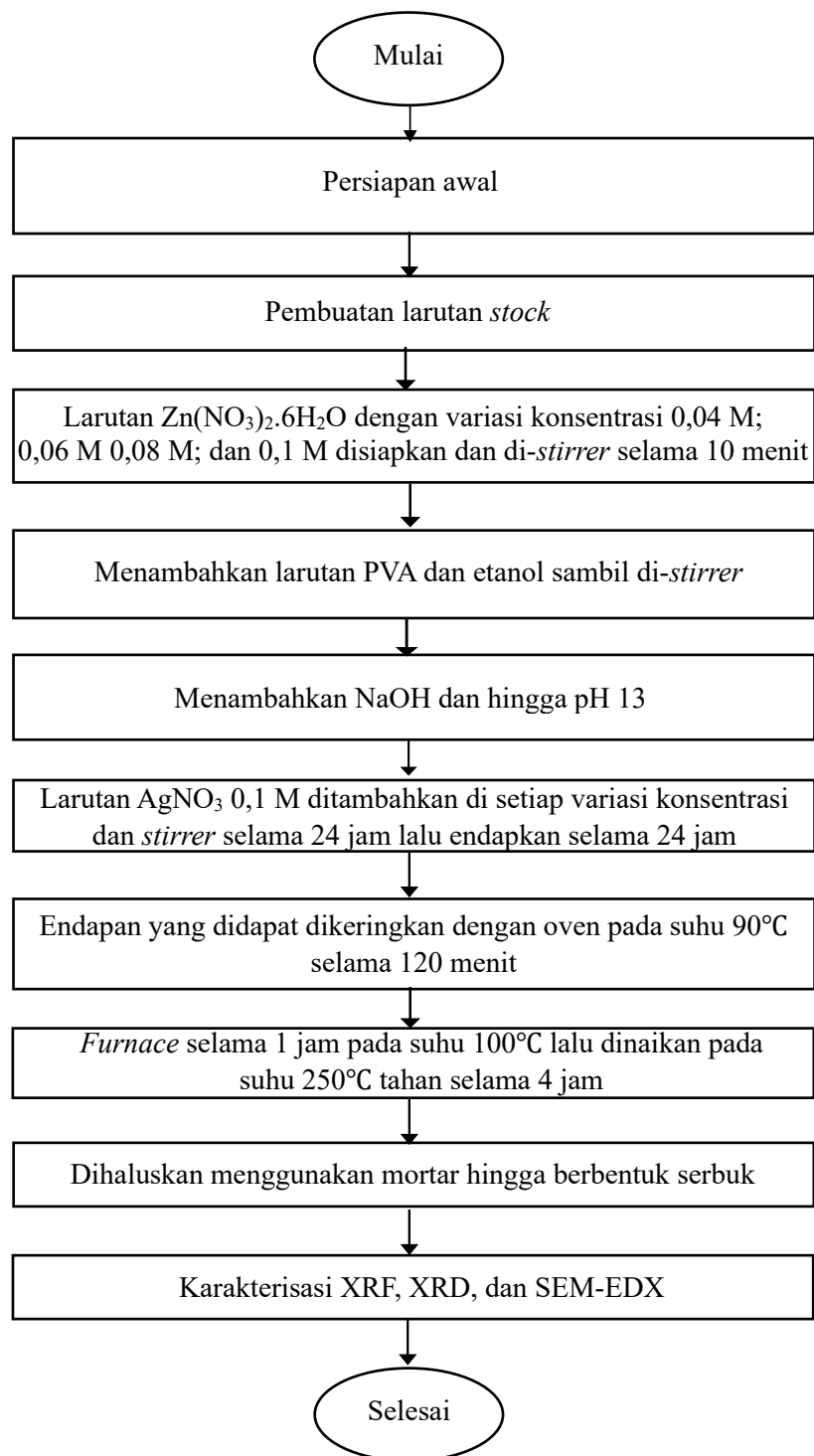
Persiapan uji antibakteri *E.coli* dilakukan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan yang akan digunakan seperti kertas cakram, cawan petri, jangka sorong, MHA, larutan ZnO/Ag, dan bakteri *E.coli* disiapkan.
2. Sebanyak 0,1 g serbuk nanokomposit ZnO/Ag dengan variasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,04 M, 0,06 M, 0,08 M dan 0,1 M) terlebih dahulu dilarutkan dalam 1 ml *aquades*, kemudian diaduk menggunakan *stirrer*.
3. Media MHA yang telah dibuat sebelumnya diambil, kemudian sebanyak 0,2 ml suspensi bakteri diambil menggunakan loop steril dan disebarakan secara merata pada permukaan agar MHA.
4. Kertas cakram steril direndam dalam larutan ZnO/Ag dengan variasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,04 M; 0,06 M; 0,08 M; dan 0,1 M.
5. Kertas cakram diletakkan di atas permukaan MHA yang telah diinkolasi dengan bakteri.
6. Perlakuan yang sama dilakukan untuk kontrol (+) menggunakan suspensi *gentamisin* dan kontrol (-) dengan suspensi *aquades*.
7. Sampel diinkubasi selama 24 jam pada suhu 36°C.
8. Diameter zona hambat di sekitar cakram diamati dan diukur menggunakan jangka sorong digital.

3.4. Diagram Alir

3.4.1. Diagram Alir Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag

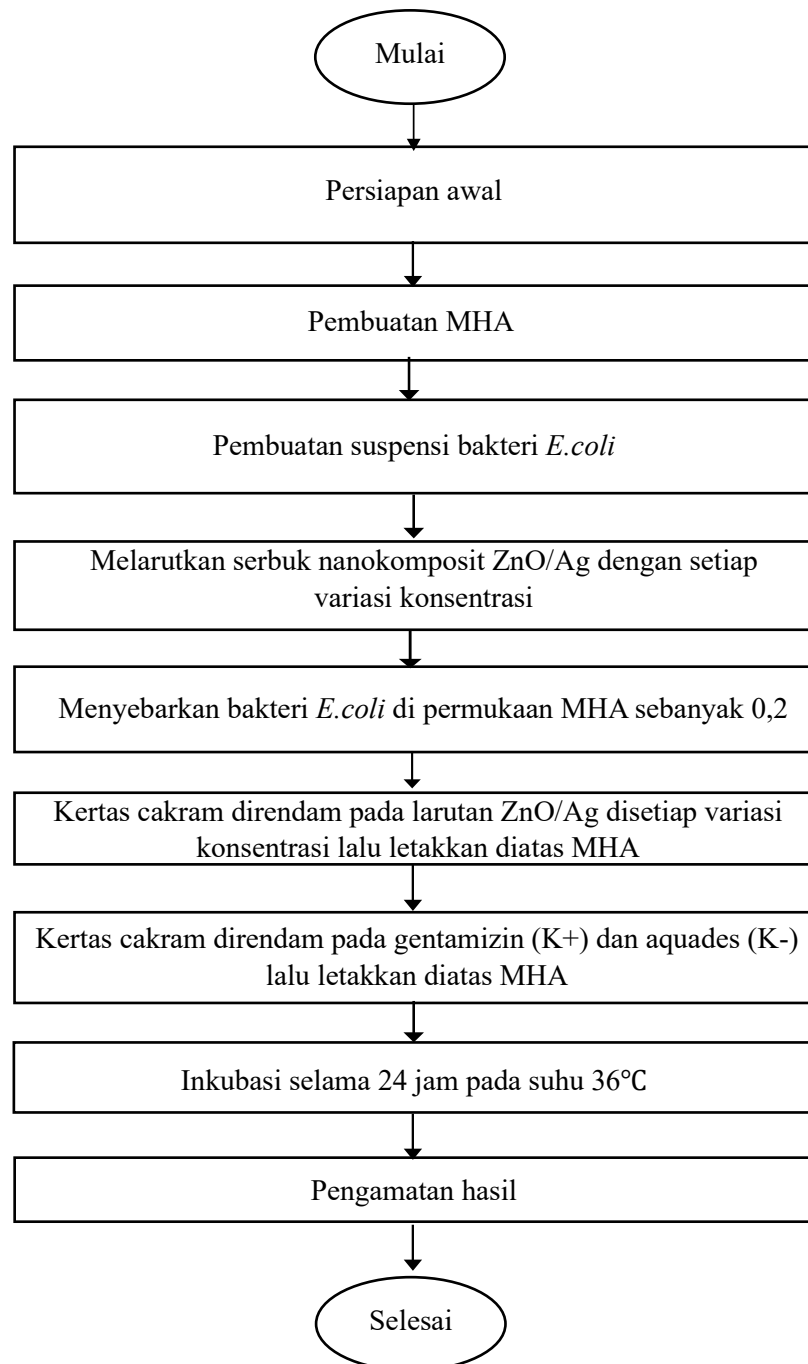
Diagram alir sintesis nanokomposit ZnO/Ag ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Diagram Alir Sintesis Nanokomposit ZnO/Ag.

3.4.2. Diagram Alir Uji Aktivitas Antibakteri *Escherichia Coli*

Diagram alir uji aktivitas antibakteri *Escherichia coli* ditunjukkan pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3.2. Diagram Alir Uji Aktivitas Antibakteri *Escherichia coli*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Nanokomposit ZnO/Ag berhasil disintesis dengan variasi konsentrasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,04 M; 0,06 M; 0,08 M; dan 0,1 M). Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa Zn merupakan unsur dominan dalam material, sementara Ag berhasil didoping dalam jumlah lebih rendah. Hasil XRD menunjukkan bahwa partikel ZnO/Ag memiliki struktur kristal heksagonal *wurtzite* (ZnO) dan FCC untuk struktur kristal Ag. SEM-EDX menunjukkan morfologi partikel yang homogen, menandakan struktur material yang baik.
2. Uji aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi cakram menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, semakin besar zona hambat terhadap bakteri *E.coli*. Hal ini membuktikan bahwa nanokomposit ZnO/Ag memiliki aktivitas antibakteri yang efektif, dan efektivitasnya meningkat seiring bertambahnya konsentrasi prekursor ZnO.

5.2. Saran

Diperlukan perlakuan lebih baik agar hasil yang diperoleh menjadi lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, H., Venkat Kumar, S., and Rajeshkumar, S. 2017. A Review on Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles – An Eco-friendly Approach. *Resource-Efficient Technologies*. Vol. 3. No. 4. Pp. 406–413.
- Akbarizadeh, M. R., Sarani, M., and Darijani, S. 2022. Study of Antibacterial Performance of Biosynthesized Pure and Ag-doped ZnO Nanoparticles. *Rendiconti Lincei*. Vol. 33. No.3. Pp. 613–621.
- Al-Ariki, S., Yahya, N. A. A., Al-A'nsi, S. A., Jumali, M. H. H., Jannah, A. N., and Abd-Shukor, R. 2021. Synthesis and Comparative Study on the Structural and Optical Properties of ZnO doped with Ni and Ag Nanopowders fabricated by Sol-gel Technique. *Scientific Reports*. Vol. 11. No.1. Pp. 1–11.
- Alharthi, F. A., Alghamdi, A. A., Al-Zaqri, N., Alanazi, H. S., Alsyahi, A. A., Marghany, A. El, dan Ahmad, N. 2020. Facile one-pot Green Synthesis of Ag–ZnO Nanocomposites Using Potato Peel and their Ag Concentration Dependent Photocatalytic Properties. *Scientific Reports*. Vol.10 No. 1. Pp. 1–14.
- Ali, A., Chiang, Y. W., and Santos, R. M. 2022. X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*. Vol. 12 No. 2. Pp. 1-25.
- Amin, A., dan Ananda, S. R. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Zn Menggunakan Kitosan Sebagai Reduktor. *Fullerene Journal of Chemistry*. Vol. 5 No. 2. Hal. 102.
- Amrute, V., Monika, N., Supin, K. K., Vasundhara, M., and Chanda, A. 2024. Observation of Excellent Photocatalytic and Antibacterial Activity of Ag doped ZnO Nanoparticles. *RSC Advances*. Vol. 14. No. 45. Pp. 32786–32801.
- Andren, A. W. 1997. *Fate and Effects*. Hamilton. Argentum. Pp. 5-59.
- Asamoah, R. B., Annan, E., Mensah, B., Nbelayim, P., Apalangya, V., Onwona-Agyeman, B., and Yaya, A. 2020. A Comparative Study of Antibacterial Activity of CuO/Ag and ZnO/Ag Nanocomposites. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 1. No.1. Pp. 1-18.

- Azam, A., Ahmed, A. S., Oves, M., Khan, M. S., Habib, S. S., and Memic, A. 2012. Antimicrobial Activity of Metal Oxide Nanoparticles Against Gram-positive and Gram-negative Bacteria: A comparative study. *International Journal of Nanomedicine*. Vol. 13. No.1. Pp. 1-17.
- Bagha, G., Samavati, K., Naffakh-Moosavy, H., and Matin, L. F. 2024. Controlling Surface Morphology of Ag-doped ZnO as a Buffer Layer by Dispersion Engineering in Planar Perovskite Solar Cells. *Scientific Reports*. Vol. 14. No. 1. Pp. 1–18.
- Bearden, J. A. 1967. X-Ray Wavelengths. *Review of Modern Physics*. Vol. 39. No. 1. Pp. 86-99.
- Bonde, S. 2011. A Biogenic Approach for Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of *Foeniculum Vulgare* and its Activity Against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Nusantara Bioscience*. Vol. 3 No. 2. Pp. 59-63.
- Burlibaşa, L., Chifiriuc, M. C., Lungu, M. V., Lungulescu, E. M., Mitrea, S., Sbarcea, G., Popa, M., Măruţescu, L., Constantin, N., Bleotu, C., and Hermenean, A. 2020). Synthesis, Physico-chemical Characterization, Antimicrobial Activity and Toxicological Features of Ag–ZnO Nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 13. No. 2. Pp. 4180–4197.
- Cahyaningsih, D., Dahliaty, A., Linggawati, A., Program Studi, M. S., Biokimia Jurusan Kimia, B., dan Kimia Fisika Jurusan Kimia, B. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Membran Bionanokomposit Selulosa Bakteri-Ag Sebagai Membran Antibakteri. *Jom Fmipa*. Vol. 2. No. 1. Hal. 222–231.
- Chand Gurjar, K., Agrawal, A., Kumar, S., Sharma, R., Pandey, K., Pandey, H., and Awasthi, A. 2023. Antimicrobial Efficacy of Ag-doped ZnO Nanocomposite Against *Bacillus Subtilis*. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 95. No. 8. Pp. 61–66.
- Choudhary, O. P., and Priyanka. 2017. Scanning Electron Microscope. Advantages and Disadvantages in Imaging Components and Applications. *Colloquium-Journal*. Vol. 6. No. 5. Pp. 1878–1879.
- Chuchita, Santoso, S. J., dan Suyanta. 2018. Sintesis Nanopartikel dari Perak Nitrat dengan Tirosin sebagai Reduktor dan Agen Pengkaping untuk Membentuk Nanokomposit Film AgNPs-Poli Asam Laktat sebagai Antibakteri. *Berkala MIPA*. Vol. 25. No. 2. Hal. 140–153.
- Cuadra, J. G., Scalschi, L., Vicedo, B., Guc, M., Izquierdo-Roca, V., Porcar, S., Fraga, D., and Carda, J. B. 2022. ZnO/Ag Nanocomposites with Enhanced Antimicrobial Activity. *Applied Sciences (Switzerland)*. Vol. 12. No. 10. Pp. 1–13.

- Cullity and Stock, B. D. and S. R. 2001. *Elements of X-Ray Diffraction, Third Edition*. United States. PEARSON. 283-290.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Ray Diffraction: Second Edition*. California. Addison Wesley Publishing Company Inc. 85-95.
- Davis, W. W., and Stout, T. R. 1971. Disc Plate Method of Microbiological Antibiotic Assay. II. Novel Procedure Offering Improved Accuracy. *Applied Microbiology*. Vol. 22. No. 4. Pp. 666–670.
- Dey, S., Mohanty, D. lochan, Divya, N., Bakshi, V., Mohanty, A., Rath, D., Das, S., Mondal, A., Roy, S., and Sabui, R. 2024. A Critical Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Properties and Biomedical Applications. *Intelligent Pharmacy*. Vol. 5. No. 1. Pp. 1-18.
- Fatoni, A., Hilma, H., Rasyad, A. A., Novriyanti, S., dan Hidayati, N. 2020. Biosintesis ZnO Nanopartikel dari Ekstrak Air Daun Jambu Biji (*Psidium guajava* L) dan Ion Zn^{2+} serta Interaksinya dengan Kitosan sebagai Antibakteri *Escherichia coli*. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*. Vol. 7. No. 2. Hal. 151.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., and Joy, D. C. 1975. Scanning Electron Microscopy and Microanalysis. In *Physicochemical Methods of Mineral Analysis*. Vol. 9. No. 5. Pp. 421-450.
- Grzelczak, M., Pérez-Juste, J., Mulvaney, P., and Liz-Marzán, L. M. 2008. Shape Control in Gold Nanoparticle Synthesis. *Chemical Society Reviews*. Vol. 37. No. 9. Pp. 1783–1791.
- Haryono, A., dan Harmami, Sri, B. 2010. Aplikasi Nanopartikel Perak pada Serat Katun sebagai Produk Jadi Tekstil Antimikroba. *Jurnal Kimia Indonesia*. Vol. 5. No. 1. Hal. 1–6.
- Jayaseelan, C., Rahuman, A. A., Kirthi, A. V., Marimuthu, S., Santhoshkumar, T., Bagavan, A., Gaurav, K., Karthik, L., and Rao, K. V. B. 2012. Novel Microbial Route to Synthesize ZnO Nanoparticles using *Aeromonas Hydrophila* and their Activity Against Pathogenic Bacteria and Fungi. *Spectrochimica Acta-Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Vol. 90. No. 3. Pp. 78–84.
- Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufresne, A., & Danquah, M. K. 2018. Review on Nanoparticles and Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity and Regulations. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. Vol. 9. No. 1. Pp. 1050–1074.
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. 2019. Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 12. No. 7. Pp. 908–931.

- Kolopita, P. S., Hariyadi, H., Sambou, C. N., dan Tulandi, S. S. 2022. Uji Aktivitas Antibakteri Kulit Batang Alpukat (*Persea americana* Mill) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* Dan *Escherichia coli*. *Majalah INFO Sains*. Vol. 3. No. 1. Hal. 19–26.
- Kumar, A., Vemula, P. K., Ajayan, P. M., and John, G. 2008. Silver-nanoparticle-embedded Antimicrobial Paints based on Vegetable oil. *Nature Materials*. Vol. 7. No. 3. Pp. 236–241.
- Kumar, S. K., and Krishnamoorti, R. 2010. Nanocomposites: Structure, Phase Behavior, and Properties. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*. Vol. 1. No. 1. Hal. 37–58.
- Kurniawan, H. M., Zuhdi, N., dan Nasution, A. N. 2023. Uji Sensitivitas Antibiotik Terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* secara In Vitro. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains*. Vol. 1. No. 1. Hal. 712–718.
- Lee, M. 2017. *X-Ray Diffraction for Materials Research: From Fundamentals to Applications*. Canada. CRC Press. Pp. 90-150.
- Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y., and Hu, Q. 2009. Effect of Nano-packing on Preservation Quality of Chinese Jujube (*Ziziphus Jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). *Food Chemistry*. Vol. 114. No. 2. Pp. 547–552.
- Lu, L., Shen, Y., Chen, X., Qian, L., and Lu, K. 2004. Ultrahigh Strength and High Electrical Conductivity in Copper. *Science*. Vol. 304. No. 5669. Pp. 422–426.
- Manalu, R., Muchtar, D., dan Indrianti, E. 2024. Pembuatan Nanopartikel Perak (AgNP) dengan Antibakteri Bio reduktor Ekstrak Ampas Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*). *Jurnal Teknologika*. Vol. 14. No. 2. Pp. 560–570.
- Matai, I., Sachdev, A., Dubey, P., Uday Kumar, S., Bhushan, B., & Gopinath, P. 2014. Antibacterial Activity and Mechanism of Ag-ZnO Nanocomposite on *S. aureus* and GFP-expressing antibiotic resistant *E. coli*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. Vol. 115. No.5. Pp. 359–367.
- Murtey, M. D., and Ramasamy, P. 2021. Life Science Sample Preparations for Scanning Electron Microscopy. *Acta Microscopica*. Vol. 30. No. 2. Pp. 80–91.
- Navarro-López, D. E., Sánchez-Huerta, T. M., Flores-Jimenez, M. S., Tiwari, N., Sanchez-Martinez, A., Ceballos-Sanchez, O., Garcia-Gonzalez, A., Fuentes-Aguilar, R. Q., Sanchez-Ante, G., Corona-Romero, K., Rincón-Enríquez, G., and López-Mena, E. R. 2022. Nanocomposites based on Doped ZnO Nanoparticles for Antibacterial Applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Vol. 652. No. 2. Pp. 1-15.

- Noei, H., Qiu, H., Wang, Y., Löffler, E., Wöll, C., and Muhler, M. 2008. The Identification of Hydroxyl Groups on ZnO Nanoparticles by Infrared Spectroscopy. *Physical Chemistry Chemical Physics*. Vol. 10. No. 47. Pp. 7092–7097.
- Oktariani, E., Iriyani, N., dan Dwijayani, M. 2021. Sintesis Aditif Antimikroba Ag/Zn-zeolit dalam Bahan Pelapis Polivinil Nitrat Synthesis of Ag/Zn-zeolite Antimicrobial Additives in Polyvinyl Acetate Coatings. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 27. No. 3. Hal. 95–101.
- Oyedotun, T. D. T. 2018. X-ray Fluorescence (XRF) in the Investigation of the Composition of Earth Materials: A Review and an Overview. *Geology, Ecology, and Landscapes*. Vol. 2. No. 2. Pp. 148–154.
- Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S. J., and Morkoç, H. 2005. A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices. *Journal of Applied Physics*. Vol. 98. No. 4. Pp. 1–103.
- Paramelle, D., Sadovoy, A., Gorelik, S., Free, P., Hobley, J., and Fernig, D. G. 2014. A Rapid Method to Estimate the Concentration of Citrate Capped Silver Nanoparticles from UV-visible Light Spectra. *Analyst*. Vol. 139. No. 19. Pp. 4855–4861.
- Potts, P. J., Ellis, A. T., Kregsamer, P., Streli, C., Vanhoof, C., West, M., and Wobrauschek, P. 2005. Atomic Spectrometry Update. X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Vol. 20. No. 10. Pp. 1124–1154.
- Prasetya, Yulianto Ade, Nisyak, K., dan Hisbiyah, A. 2020. Potensi Nanokomposit Seng Oksida-Perak (ZnO-Ag) Metode Gelombang Mikro dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Escherichia coli Penghasil Extended Spectrum Beta Lactamases (ESBLs). *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek (SNPBS)*. Vol. 5. No. 1 Hal. 729–734.
- Raghupathi, K. R., Koodali, R. T., and Manna, A. C. 2011. Size-dependent Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles. *Langmuir*. Vol. 27. No. 7. Pp. 4020–4028.
- Reimer, L., and Kohl, H. 2007. *Optical Sciences*. Atlanta. Georgia Institute of Technology Press. Pp. 5-15.
- Rompas, S. A. T., Wewengkang, D. S., and Mpila, D. A. 2022. Antibacterial Activity Test of Marine Organisms Tunicates Polycarpa aurata Against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. *Pharmacon*. Vol. 11. No. 1. Pp. 1271–1278.

- Rompis, J., Aritonang, H., dan Pontoh, J. 2020. Sintesis Nanokomposit ZnO-MgO dan Analisis Efektivitas sebagai Antibakteri. *Chemistry Progress*. Vol. 13. No. 1. Pp. 56–62.
- Sa'adah, H., Supomo, dan Musaenah. 2020. Aktifitas Antibakteri Ekstrak Air Kulit Bawang Merah (*Allium Cepa L.*) Terhadap Bakteri *Propionibacterium Acnes* Antibacterial Activity Of Shallot Peels (*Allium Cepa L.*) Water Extract On Bacteria *Propionibacterium Acnes*. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*. Vol. 2. No. 2. Hal. 80–88.
- Sari, K.-, Utomo, A. B. S., Toruan, P. L., dan Khoryanton, A. 2022. Kajian Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) Dan Konstanta Dielektrik Membran Polimer Kitosan/PEG4000 dengan Lithium Triflat (LiCF₃SO₃). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Vol. 18. No. 2. Hal. 169.
- Sati, A., Ranade, T. N., Mali, S. N., Ahmad Yasin, H. K., and Pratap, A. 2025. Silver Nanoparticles (AgNPs): Comprehensive Insights into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and Toxicity—A 2024 Update. *ACS Omega*. Vol. 10. No.2. Pp. 1-16.
- Sawadah, H., Wang, R., and Sleght, A. W. 1996. An electron Density Residual Study of Zinc Oxide. *Journal of Solid State Chemistry*. Vol. 122. No. 1. Pp. 148-150.
- Shaba, E. Y., Jacob, J. O., Tijani, J. O., and Suleiman, M. A. T. 2021. A Critical Review of Synthesis Parameters Affecting the Properties of Zinc Oxide Nanoparticle and its Application in Wastewater Treatment. *Applied Water Science*. Vol. 11. No. 48. Pp. 1-41.
- Shrestha, D. K., Magar, A. B., Bhusal, M., Baraili, R., Pathak, I., Joshi, P. R., Parajuli, N., and Sharma, K. R. 2024. Synthesis of Silver and Zinc Oxide Nanoparticles Using *Polystichum Lentum* Extract for the Potential Antibacterial, Antioxidant, and Anticancer Activities. *Journal of Chemistry*. Vol. 5. No. 1. Pp. 1-15.
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., and Kumar, P. 2018. “Green” Synthesis of Metals and their Oxide Nanoparticles: Applications for Environmental Remediation. *Journal of Nanobiotechnology*. Vol. 16. No. 1. Pp. 1–24.
- Sowa, H., and 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. 2. Pp. 169–175.
- Sriyanti, I. 2009. Nanocomposite Prepared by Simple Mixing Method. *Proceeding Of The Third International Seminar On Science Education*. Vol. 1. No. 1. Pp. 1-6.

- Suh, I. K., Ohta, H., and Waseda, Y. 1988. High-temperature Thermal Expansion of Six Metallic Elements Measured by Dilatation Method and X-ray Diffraction. *Journal of Materials Science*. Vol. 23. No.1. Pp. 757-760.
- Tran, Q. H., Nguyen, V. Q., and Le, A. T. 2013. Silver nanoparticles: Synthesis, Properties, Toxicology, Applications and Perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. Vol. 4. No. 3. Pp. 1-20.
- Wagh, S. S., Kadam, V. S., Jagtap, C. V., Salunkhe, D. B., Patil, R. S., Pathan, H. M., and Patole, S. P. 2023. Comparative Studies on Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Ag Doped ZnO Nanoparticles. *ACS Omega*. Vol. 8. No. 8. Pp. 7779–7790.
- Wahyudi, T., Sugiyana, D., dan Helmy, Q. 2011. Sintesis Nanopartikel Perak dan Uji Aktivitasnya terhadap Bakteri E.coli dan S.aureus. *Arena Tekstil*. Vol. 26. No. 1. Hal. 55-60.
- Wiley, B., Sun, Y., Mayers, B., and Xia, Y. 2005. Shape-controlled Synthesis of Metal Nanostructures: The case of silver. *Chemistry - A European Journal*. Vol. 11. No. 2. Pp. 454–463.
- Wolff, N. L. R. W. H. 2006. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Berlin. Springer. Pp. 36-52.
- World Health Organization. 2015. *Global Action Plan on Antimicrobial Resistance*. Retrieved from WHO website.
- Wyckoff, R. W. G. 1963. *Crystal Structure*. Interscience Publishers, New York, New York Cubic closest packed, ccp, structure Crystal Structures. Pp. 7-83.
- Yang, H., Zhao, K., Nie, J., and Liu, X. 2020. The enhanced superplasticity of a 2024 matrix nanocomposite reinforced by TiC particles. *Materials Science and Engineering: A*. Vol. 774. No. 1. Pp. 1-15.
- Zare, M., Namratha, K., Alghamdi, S., Mohammad, Y. H. E., Hezam, A., Zare, M., Drmash, Q. A., Byrappa, K., Chandrashekar, B. N., Ramakrishna, S., and Zhang, X. 2019. Novel Green Biomimetic Approach for Synthesis of ZnO-Ag Nanocomposite; Antimicrobial Activity against Food-borne Pathogen, Biocompatibility and Solar Photocatalysis. *Scientific Reports*. Vol. 9. No. 1. Pp. 1–15.
- Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W., & Gurunathan, S. 2016. Silver nanoparticles: Synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 17. No. 9. Pp. 1-10.