

**UJI AKTIVITAS ANTI BAKTERI NANO ZnO DAN ZnO/Ag  
MENGUNAKAN EKSTRAK DAUN KELOR**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Miranti Adelia  
1917041011**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## **ABSTRAK**

### **UJI AKTIVITAS ANTI BAKTERI NANO ZnO DAN ZnO/Ag MENGUNAKAN EKSTRAK DAUN KELOR**

**Oleh**

**MIRANTI ADELIA**

Telah dilakukan sintesis nano-ZnO dari daun kelor menggunakan metode *green synthesis* yang divariasikan menjadi 2 jenis yakni, ZnO dan ZnO/Ag dari daun kelor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui morfologi dan ukuran nanopartikel serta aktivitas antibakteri dari ZnO dan ZnO/Ag dari daun kelor. Proses sintesis dilakukan melalui tiga tahap yakni, ekstraksi daun kelor, sintesis nano-ZnO, dan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), uji antibakteri menggunakan bakteri *E.coli*, dan karakterisasi SEM. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa sampel ZnO dan ZnO/Ag memiliki fasa ZnO yang dominan, bahkan pada sampel ZnO hanya ditemukan fasa ZnO. Sementara pada sampel ZnO/Ag selain fasa ZnO, juga ditemukan fasa Ag. Faktor yang memengaruhi terbentuknya fasa Ag pada sampel B karena adanya penambahan  $\text{AgNO}_3$ , sehingga masih terbentuk fasa selain ZnO. Hasil pemindaian SEM menggambarkan morfologi berbentuk seperti batuan karang Selain itu, hasil analisis uji antibakteri terhadap bakteri *E.coli*, ditemukan zona hambat pada sampel ZnO/Ag sebesar 7 mm.

Kata kunci: Ag, Anti Bakteri, Daun Kelor, ZnO.

## **ABSTRACT**

### **ANTIBACTERIAL ACTIVITY TEST OF NANO ZnO AND ZnO/Ag USING MORINGA LEAF EXTRACT**

**By**

**MIRANTI ADELIA**

*Synthesis of nano-ZnO from Moringa leaves has been carried out using a green synthesis method which is varied into 2 types, namely ZnO and ZnO/Ag from Moringa leaves. This study aims to determine the morphology and size of nanoparticles as well as the antibacterial activity of ZnO and ZnO/Ag from Moringa leaves. The synthesis process was carried out through three stages, namely Moringa leaves extraction, nano-ZnO synthesis, and characterization using X-Ray Diffraction (XRD), antibacterial test using E. coli bacteria, and SEM characterization. The results of the XRD analysis showed that the ZnO and ZnO/Ag samples had a dominant ZnO phase, even in the ZnO sample a new ZnO phase was found. Meanwhile, in the ZnO/Ag sample, in addition to the ZnO phase, an Ag phase was also found. The factor that influenced the formation of the Ag phase in sample B was the addition of AgNO<sub>3</sub>, so that phases other than ZnO were still formed. The results of SEM scanning showed a morphology that resembled coral rock. In addition, the results of the antibacterial test analysis against E. coli bacteria showed an inhibition zone in both samples, which was ZnO/Ag 7 mm.*

*Keywords: Ag, Antibacterial, Moringa Leaves, ZnO.*

**UJI AKTIVITAS ANTI BAKTERI NANO ZnO DAN ZnO/Ag MENGGUNAKAN  
EKSTRAK DAUN KELOR**

**Oleh**

**MIRANTI ADELIA**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA SAINS**

**Pada**

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**



Judul Laporan

Uji aktivitas anti bakteri nano ZnO dan ZnO/Ag menggunakan ekstrak daun kelor

Nama Mahasiswa

Miranti Adefia

Nomor Pokok Mahasiswa

1917041011

Jurusan

Fisika

Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 22 Oktober 2025



Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si, Ph.D.  
NIP. 195903091991031001

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

2. Ketua Jurusan Fisika

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



## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua

Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., PhD.

Sekretaris

Suprihatin, S.Si, M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing

Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.

### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 22 Oktober 2025



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Oktober 2025



Miranti Adelia

1917041011

## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis bernama Miranti Adelia dilahirkan di Kembang Mumpo (Bengkulu) pada tanggal 16 mei 2001. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Patli dan Ibu Amnun. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 79 Seluma pada tahun 2013, dilanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 14 Seluma pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 05 Seluma pada tahun 2019.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN tahun 2019. Selama menjadi mahasiswa, penulis beberapa kali aktif dalam beberapa kegiatan, seperti tergabung dalam keanggotaan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada periode 2019- 2020.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PDAM Way Rilau Bandar Lampung dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung di Desa Adirejo Jabung Lampung Timur pada tahun 2022.



## **MOTTO**

"Teruslah bergerak maju, bahkan jika langkahmu kecil." (**Anonim**)

"Setiap kesulitan akan membawa kemudahan" (**QS. Al-Insyirah: 5-6**).

“Langkahku mungkin lambat bahkan beberapa kali aku memilih berhenti. Tapi aku yakin, kaki ini masih cukup kuat untuk melangkah dan takdir sudah tertakar, maka aku tak khawatir akan tertukar.” (**Penulis**)

## **PERSEMBAHAN**

Dengan rasa syukur yang tak hingga kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala,  
kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang aku cintai:

**Ayah dan ibuku tercinta**

**Bapak Patli dan Ibu Amnun**

Terima kasih bapak/ibu sudah mau menemani langkahku hingga di titik ini, pasti tak mudah bagimu membesarkan dan membimbingku. Namun, engkau terus mendukung kemana pun langkahku pergi.

**Suamiku terkasih**

**Nara Putra Arjuna**

Engkau adalah lelaki hebat setelah ayah. Terima kasih telah mengiringi langkahku, mari saling menggenggam lebih erat untuk hidup yang lebih lama dan saling tumbuh bermekaran.

**Anakku tersayang**

**Khayra Fayolla Arjuna**

Nak, terima kasih telah hadir di hidup ibu. Tumbuhlah menjadi bunga yang tak hanya indah, tapi juga menyejukkan untuk orang-orang disekelilingmu

**Almamater Tercinta**

Universitas Lampung

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkat karunia-Nya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini yang bertempat di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dengan judul “Uji aktivitas anti bakteri nano ZnO dan ZnO/Ag menggunakan ekstrak daun kelor”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan syarat memenuhi salah satu mata kuliah wajib di Universitas Lampung.

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

Bandar Lampung, 22 Oktober 2025

Miranti Adelia  
1917041011



## SANWACANA

Assalamu'alikum Warahtullahi Wabarakaatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Uji aktivitas anti bakteri nano ZnO dan ZnO/Ag menggunakan ekstrak daun kelor”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, saran, dan mencurahkan ilmunya kepada penulis selama penelitian dan penulisan skripsi.
2. Ibu Suprihatin, S.Si, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Kedua yang sudah meluangkan waktunya selama penelitian dan penulisan skripsi.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Penguji yang telah berkenan untuk memberikan kritik dan saran kepada penulis.
4. Bapak Drs. Syafriadi M.Si sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberi nasihat dan motivasi selama menempuh pendidikan di Jurusan Fisika.
5. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu dan pengalamannya yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, para staff, dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
6. Orangtua penulis Bapak Patli dan Ibu Amnun, kakakku satu-satunya Efan Toro S.Si, suamiku Nara Putra Arjuna, anakku Khayra Fayolla Arjuna, mertua bapak Herman dan ibu Sudiawati serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan penuh kepada penulis.

7. Teman Sohib, Aulia Wahida, Amapel, Jihan Puspita, Bernitha, dan Fidhea yang telah menemani perjalanan selama di Fisika.
8. Teman penelitian ZnO, Muhammad Asrizal, Chairunissa Benyamin, Sofiyana Rahayu, Hikmah Nurcahayaniati, dan Fegi Liani yang sudah banyak membantu dalam proses penelitian.
9. Teman masa kecil, Anisa Nur Islami, Okte Tri, Nora Santia, dan Nuraini yang telah tumbuh bersama hingga sekarang.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika 2019 dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan doa, motivasi, bantuan moril maupun materil kepada penulis.

Semoga Allah SWT. senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak untuk penulis.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Bandar Lampung, 22 Oktober 2025

**Miranti Adelia**

## DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>ABSTRAK .....</b>                                | <b>ii</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                               | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                          | <b>iv</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>                      | <b>v</b>    |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>                      | <b>vii</b>  |
| <b>RIWAYAT HIDUP .....</b>                          | <b>viii</b> |
| <b>MOTTO .....</b>                                  | <b>ix</b>   |
| <b>PERSEMBAHAN.....</b>                             | <b>x</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                          | <b>xi</b>   |
| <b>SANWACANA .....</b>                              | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                              | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                           | <b>xvi</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                           | <b>xvii</b> |
| <b>I. PENDAHULUAN</b>                               |             |
| 1.1 Latar Belakang .....                            | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                           | 5           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                         | 5           |
| 1.4 Batasan Masalah.....                            | 6           |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                        | 6           |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>                         |             |
| 2.1 Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) .....            | 7           |
| 2.2 Nanopartikel Perak (Ag) .....                   | 9           |
| 2.3 Daun Kelor (Moringa Oliefera).....              | 11          |
| 2.4 Sintesis Hijau ( <i>Green Synthesis</i> ) ..... | 12          |
| 2.5 X- Ray Diffraction (XRD) .....                  | 14          |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.6 Scanning Elektron Microscopy (SEM).....                    | 17        |
| 2.7 Mekanisme ZnO/Ag sebagai Anti Bakteri .....                | 20        |
| 2.8 Alur Kerja Antibakteri .....                               | 22        |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b>                                  |           |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....                          | 24        |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....                            | 24        |
| 3.3 Prosedur Penelitian.....                                   | 25        |
| 3.3.1 Pembuatan Larutan Ekstrak Daun Kelor .....               | 25        |
| 3.3.2 <i>Green Synthesis</i> Nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag ..... | 26        |
| 3.3.3 Pengujian Aktivitas Antibakteri .....                    | 27        |
| 3.4 Diagram Alir Ekstrak Daun Kelor.....                       | 29        |
| 3.5 Diagram Alir Sintesis Nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag.....     | 30        |
| 3.6 Diagram Alir Uji Antibakteri .....                         | 31        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                |           |
| 4.1 Hasil Sintesis Daun Kelor .....                            | 32        |
| 4.2 Hasil Analisis XRD Nanopartikel ZnO.....                   | 34        |
| A. Hasil Analisis Kualitatif XRD Nanopartikel ZnO.....         | 34        |
| B. Hasil Analisis Kuantitatif XRD Nanopartikel ZnO .....       | 38        |
| 4.3 Hasil Analisis SEM Nanopartikel ZnO/Ag.....                | 41        |
| 4.4 Hasil Analisis Antibakteri Nanopartikel ZnO .....          | 43        |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>                                 |           |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 45        |
| 5.2 Saran.....   | 45        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                    | <b>46</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>51</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>Gambar 2.1</b> Struktur Kristal ZnO .....                                | 8       |
| <b>Gambar 2.2</b> Struktur kristal Perak.....                               | 9       |
| <b>Gambar 2.3</b> Daun kelor .....  | 11      |
| <b>Gambar 2.4</b> Senyawa aktif daun kelor .....                            | 12      |
| <b>Gambar 2.5</b> Diagram XRD.....  | 14      |
| <b>Gambar 2.6</b> Skema XRD .....   | 15      |
| <b>Gambar 2.7</b> Karakterisasi ZnO/Ag menggunakan XRD.....                 | 17      |
| <b>Gambar 2.8</b> Skema instrumen SEM .....                                 | 18      |
| <b>Gambar 2.9</b> Karakterisasi ZnO/Ag menggunakan SEM .....                | 19      |
| <b>Gambar 2.10</b> Analisis antibakteri ZnO/Ag.....                         | 22      |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram alir ekstak daun kelor.....                       | 29      |
| <b>Gambar 3.2</b> Diagram alir sintesis nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag.....    | 30      |
| <b>Gambar 3.3</b> Diagram alir uji antibakteri ZnO dan ZnO/Ag .....         | 31      |
| <b>Gambar 4.1</b> Hasil ekstraksi daun kelor.....                           | 32      |
| <b>Gambar 4.2</b> Bubuk halus sampel ZnO dan ZnO/Ag .....                   | 33      |
| <b>Gambar 4.3</b> Difraktogram XRD nanopartikel sampel ZnO dan ZnO/Ag ..... | 35      |
| <b>Gambar 4.4</b> Hasil refine XRD sampel ZnO dan ZnO/Ag. ....              | 39      |
| <b>Gambar 4.5</b> Hasil Analisis SEM sampel ZnO/Ag.....                     | 42      |
| <b>Gambar 4.6</b> Uji antibakteri nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag.....          | 43      |

## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>Tabel 3.1</b> Alat-alat penelitian .....                                     | 24      |
| <b>Tabel 3.2</b> Bahan-bahan penelitian .....                                   | 25      |
| <b>Tabel 3.3</b> Komposisi sampel .....   | 26      |
| <b>Tabel 4.1</b> Puncak tertinggi sudut $2\theta$ dan ukuran partikel ZnO ..... | 36      |
| <b>Tabel 4.2</b> Selisih nilai $\Delta d$ (Å) pada sampel ZnO. ....             | 37      |
| <b>Tabel 4.3</b> Selisih nilai $\Delta d$ (Å) pada sampel ZnO/Ag .....          | 37      |
| <b>Tabel 4.4</b> Parameter <i>refinement</i> data XRD ZnO .....                 | 40      |
| <b>Tabel 4.5</b> Sel parameter Nanopartikel ZnO.....                            | 41      |



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam dunia kesehatan, penyakit infeksi bakteri menjadi salah satu permasalahan yang penting. Penggunaan formula dalam dunia medis yang dikenal dengan antibiotik umumnya dapat menimbulkan efek samping bagi tubuh yang tak jarang merugikan penggunaannya. Oleh karena itu, pengembangan agen antibakteri menjadi alternatif menarik yang dapat digunakan. Agen antibakteri alternatif adalah pemanfaatan nanomaterial, seperti zink oksida (ZnO) dan dengan pencampuran silver (Ag). ZnO dan Ag adalah nanomaterial yang telah mendapatkan perhatian karena memiliki aktivitas antibakteri yang kuat. Aktivitas antibakteri yang kuat biasanya merujuk pada kemampuan bakteri untuk melakukan berbagai fungsi atau aktivitas biologis dengan tingkat efisiensi dan intensitas yang tinggi. Aktivitas bakteri yang kuat dapat diukur dari berbagai aspek, termasuk laju pertumbuhan, produksi metabolit, kemampuan untuk menguraikan senyawa tertentu, atau kemampuan untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem (Ajitha *et al.*, 2015).

Nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag dapat mengganggu membran sel bakteri dan menghasilkan radikal bebas oksigen yang merusak sel bakteri. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) berdampak pada lahirnya teknologi masa depan yaitu nanoteknologi. Nanopartikel berperan penting sebagai fondasi untuk berbagai aplikasi nanoteknologi (Ajitha *et al.*, 2015). Nanopartikel oksida logam menarik untuk diteliti karena menunjukkan sifat fisik seperti dimensi, distribusi ukuran yang seragam, morfologi, dan kristalinitas serta sifat kimia yang lebih baik dibandingkan dengan material berukuran besar atau *bulk* material. Diantara nanopartikel oksida logam lain, nanopartikel ZnO lebih disukai karena sifatnya

yang tidak beracun, sehingga mampu memberikan mobalitas yang tinggi dan stabilitas termal yang baik. Nanopartikel ZnO adalah semikonduktor anorganik tipe-n yang memiliki fase heksagonal dan struktur wurtzite dengan *wide band gap* sebesar 3,37 eV karena energi ikatan eksiton yang tinggi. ZnO memiliki emisi sinar ultraviolet (UV) yang kuat yaitu 60 MeV, kelebihan dari penggunaan ZnO adalah ketersediaannya yang sangat melimpah di alam sehingga harganya murah dan sintesisnya yang mudah (Gingasu *et al.*, 2016).

Etilena glikol (*ethylene glycol*) adalah senyawa kimia yang termasuk dalam golongan alkohol poliol, rumus kimianya  $C_2H_6O_2$  dan strukturnya mengandung dua gugus hidroksil ( $-OH$ ) yang melekat pada dua atom karbon terhubung melalui ikatan ganda. Senyawa ini memiliki sifat hidrofilik dan larut dalam air. Etilena glikol memiliki berbagai kegunaan, dan salah satu aplikasi utamanya adalah sebagai bahan pendingin dalam cairan pendingin (*antifreeze*) untuk mesin kendaraan bermotor dan juga digunakan dalam industri untuk pembuatan plastik, resin, cat, dan pelarut. Etilena glikol berbentuk cairan tidak berwarna, tidak berbau, dan memiliki rasa manis dan titik didihnya sekitar 198 °C (388 °F) dan titik beku sekitar -12 °C (10 °F).

Penggunaan etilena glikol sebagai pelarut dalam sintesis nanomaterial ZnO/Ag dapat memberikan beberapa keuntungan. Etilena glikol merupakan senyawa berstruktur glikol dan memiliki gugus hidroksil yang dapat berperan sebagai pelarut organik, yang memungkinkan pembentukan nanopartikel dengan ukuran dan morfologi yang diinginkan. Beberapa pertimbangan terkait penggunaan etilena glikol sebagai pelarut dalam sintesis nanomaterial ZnO/Ag adalah:

1. Pembentukan nanopartikel yang seimbang

Etilena glikol dapat membentuk kompleks dengan ion logam, seperti ion zinc ( $Zn^{2+}$ ) dan ion silver ( $Ag^+$ ), yang membantu mengendalikan laju pertumbuhan dan ukuran nanopartikel. Ini memungkinkan pembentukan nanopartikel ZnO/Ag yang seimbang dan seragam.

2. Stabilisasi koloid

Etilena glikol dapat berperan sebagai agen stabilisasi, mencegah agregasi atau

penggumpalan nanopartikel dalam larutan. Hal ini dapat menghasilkan koloid yang stabil dan homogen.

### 3. Selarut yang bersifat nonpolar

Etilena glikol bersifat nonpolar, yang dapat memberikan keuntungan dalam solubilitas dan interaksi dengan senyawa nonpolar seperti oleat dan oleylamine, yang sering digunakan dalam sintesis nanomaterial.

### 4. Kemampuan reduksi

Dalam beberapa metode sintesis, etilena glikol dapat berperan sebagai agen reduksi, terutama dalam pembentukan nanopartikel perak (Ag). Ini terkait dengan kemampuan etilena glikol untuk menghasilkan radikal hidroksil ( $\text{OH}^\cdot$ ) selama proses sintesis.

### 5. Kemampuan pembentukan kompleks dengan Ag

Etilena glikol memiliki gugus hidroksil yang dapat membentuk kompleks dengan ion perak ( $\text{Ag}^+$ ), mendukung pembentukan nanopartikel perak dalam larutan.

### 6. Kompatibilitas dengan metode sintesis tertentu

Metode sintesis nanomaterial seperti solvothermal atau sol-gel, memanfaatkan pelarut organik seperti etilena glikol. Kompatibilitas etilena glikol dengan metode ini dapat meningkatkan efisiensi sintesis.

Pemilihan pelarut dan kondisi sintesis dapat memengaruhi sifat dan karakteristik akhir nanomaterial. Oleh karena itu, pemilihan etilena glikol sebagai pelarut dalam sintesis ZnO/Ag harus diperhatikan dalam konteks metode sintesis dan kebutuhan spesifik aplikasi nanomaterial tersebut (Adam *et al.*, 2019). Karena titik beku yang rendah, etilena glikol umumnya digunakan sebagai cairan pendingin di daerah dengan suhu beku yang rendah.

Dalam cairan pendingin, etilena glikol dicampur dengan air untuk mencegah pembekuan pada suhu rendah dan pemanasan berlebih pada suhu tinggi. Campuran etilena glikol dan air ini sering disebut sebagai *coolant* atau *radiator fluid*. Aditif seperti *korosif inhibitor* dan bahan warna juga sering ditambahkan ke dalam campuran cairan pendingin. Meskipun etilena glikol umumnya dianggap

aman untuk digunakan sebagai cairan pendingin, senyawa ini bersifat toksik jika tertelan. Oleh karena itu, perlu mengambil langkah-langkah keamanan dan pengamanan saat menangani etilena glikol, terutama jika digunakan dalam konteks yang tidak sesuai. Etilena glikol dapat mengalami oksidasi menjadi senyawa yang lebih tinggi pada suhu tinggi, dan dalam kondisi tertentu, dapat terjadi pembentukan asam oksalat yang bersifat korosif. Etilena glikol merupakan bahan kimia yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan otomotif, tetapi perlu diingat bahwa penggunaannya harus sesuai dengan pedoman keamanan dan lingkungan yang berlaku (Mydeen *et al.*, 2020).

ZnO/Ag (ZnO/perak) adalah komposit yang terdiri dari ZnO (ZnO) dan perak (Ag). Kombinasi ini sering digunakan dalam bidang nanoteknologi, khususnya dalam pengembangan bahan antimikroba atau antibakteri. Efektivitas antibakteri ZnO dan Ag keduanya dikenal memiliki sifat antimikroba yang signifikan. Partikel ZnO dapat memberikan efek antimikroba melalui produksi radikal bebas dan pembentukan ion zinc, sedangkan perak memiliki efek toksis terhadap mikroorganisme. Kombinasi keduanya dapat meningkatkan efektivitas antibakteri. Spektrum aktivitas ZnO/Ag dapat menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap berbagai jenis bakteri, termasuk bakteri gram-positif dan gram-negatif dan aktivitasnya juga dapat melibatkan beberapa jenis patogen yang umumnya resisten terhadap antibiotik.

Mekanisme aksi ZnO/Ag melibatkan beberapa proses, seperti pembentukan radikal oksigen reaktif, kerusakan membran sel bakteri, dan interaksi dengan materi genetik bakteri. Hal ini dapat menyebabkan kematian bakteri atau mencegah pertumbuhan dan reproduksi mereka. ZnO/Ag sering diintegrasikan ke dalam bahan atau kain untuk aplikasi anti bakteri dalam tekstil, peralatan medis, atau permukaan tahan kuman. Hal ini dapat membantu mengurangi penyebaran infeksi dan mempertahankan kebersihan. Penggunaan ZnO/Ag sebagai antimikroba mencerminkan kemajuan dalam bidang nanoteknologi. Nanopartikel ini dapat memiliki luas permukaan yang tinggi, meningkatkan area kontak dengan bakteri, dan meningkatkan efektivitas antibakteri. Seiring dengan manfaat

antibakteri, penting untuk menilai potensi dampak kesehatan manusia dan lingkungan dari penggunaan ZnO/Ag. Penelitian terus dilakukan untuk memastikan keamanan dan dampak yang minimal. Beberapa produk komersial telah mengadopsi ZnO/Ag sebagai agen antimikroba, termasuk pembalut, pakaian medis, dan produk lainnya. Namun, perlu diingat bahwa sementara ZnO/Ag menawarkan potensi antimikroba yang signifikan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami secara menyeluruh tentang cara kerjanya, potensi resistensi bakteri, serta dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Rhamdiah *et al.*, 2022).

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, dipandang perlu untuk melakukan penelitian mengenai uji aktivitas anti bakteri ZnO dan ZnO/Ag menggunakan ekstrak daun kelor. Sampel bahan yang digunakan yaitu berupa ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) yang mengandung senyawa-senyawa aktif, seperti alkaloid, flavonoid, dan senyawa-senyawa bioaktif lainnya dan telah lama dikenal memiliki sifat anti mikroba. Setelah ekstrak daun kelor dijadikan serbuk, dilakukan uji aktivitas antibakteri pada ZnO dan didopping dengan Ag. Setelah hasil uji aktivitas terlihat, dilanjutkan karakterisasi XRD dan SEM untuk mengetahui ukuran partikel yang terbentuk.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi ZnO/Ag terhadap morfologi dan ukuran nanopartikel menggunakan karakterisasi XRD dan SEM.
2. Bagaimana pengaruh ZnO dan ZnO/Ag dari daun kelor terhadap aktivitas antibakteri *E. Coli*.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui morfologi dan ukuran nanopartikel terhadap variasi ZnO/Ag

melalui karakteristik XRD dan SEM.

2. Mengetahui aktivitas antibakteri *E. Coli* terhadap variasi ZnO dan ZnO/Ag dari daun kelor.

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan, penulis membatasi masalah yang dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Proses sintesis nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag menggunakan metode sintesis hijau.
2. *Dopping* ZnO menggunakan logam perak AgNO<sub>3</sub>.
3. Pelarut yang digunakan ZnO/Ag *Ethylene glycol* 99,5% Merck kGAa.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman tentang mekanisme aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag dari daun kelor.
2. Sebagai referensi penelitian selanjutnya mengenai sintesis hijau ZnO dari daun kelor, khususnya untuk jurusan Fisika.



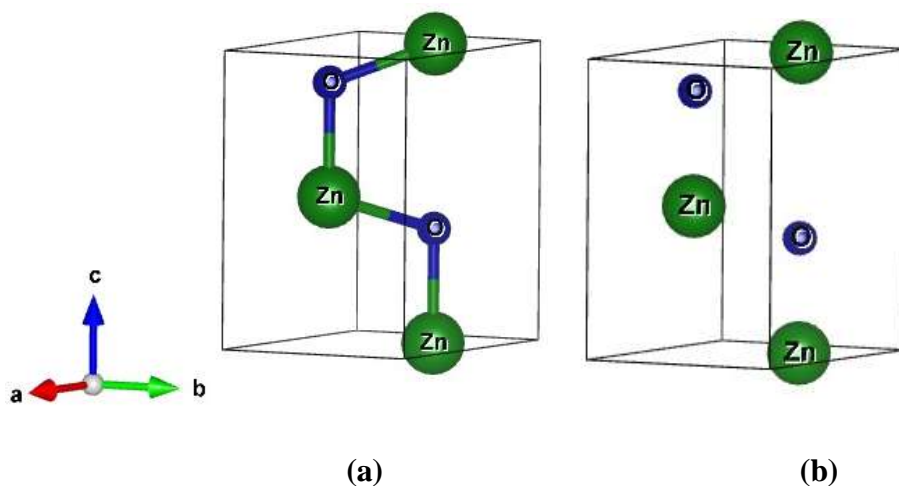
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO)

ZnO adalah suatu material semikonduktor yang paling menjanjikan karena telah berhasil disintesis dan menghasilkan partikel berukuran nano. Adanya efek ukuran yang dinamakan *quantum size effect* dapat memperluas aplikasi nanomaterial dimana dengan semakin kecilnya ukuran partikel akan memperbesar nilai energi celah pita sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya organik atau dapat menggantikan sel surya silikon karena dapat diproduksi dengan teknik yang mudah. Bahan semikonduktor ZnO telah banyak diketahui secara alami mempunyai sifat pembawa muatan elektron atau sering disebut sebagai semikonduktor tipe-n. Selain itu, karena sifat-sifatnya yang sangat berguna seperti agen penghambat sinar ultraviolet (UV), energi gap yang lebar, energi exciton yang tinggi membuat bahan ZnO banyak memasuki dunia industri (Panwar, 2011).

Nanopartikel adalah partikel dengan ukuran 1-100 nm. ZnO merupakan komponen anorganik dengan rumus kimia ZnO dan merupakan senyawa semikonduktor paduan golongan II dan VI yaitu antara logam dan oksida yang memiliki sifat elektronik dan fotonik yang baik karena memiliki stabilitas termal yang baik, energi celah pita (*band gap*) sebesar 3,37 eV dan *excitation binding energy* yang besar yaitu 60 eV (Ajitha *et al.*, 2015). Berdasarkan bahan asalnya, nanopartikel dapat digolongkan dalam dua kelompok yaitu nanopartikel organik dan anorganik. Nanopartikel organik adalah nanopartikel karbon sedangkan nanopartikel anorganik diantaranya nanopartikel magnetik, nanopartikel logam mulia, dan nanopartikel semikonduktor (seperti titanium dioksida dan zink oksida) (Sirelkhatim *et al.*, 2019).

Menurut Nohavica and Gladkov (2010), serbuk ZnO dapat diaplikasikan terkait dengan berbagai sifat yang dimilikinya seperti sensitivitas gas yang baik, aktivitas fotokatalitik, antibakteri, kemampuan sebagai katalisator, dan sifat *non toxic* pada konsentrasi yang cukup rendah. ZnO mengkristal dalam dua jenis struktur yaitu struktur heksagonal yaitu susunan tiga dimensi yang memiliki bentuk dasar enam sisi dan kubik yaitu sel satuan berbentuk kubus. Struktur heksagonal ZnO dikenal sebagai struktur wurtzite, sedangkan struktur kubik, terbagi menjadi dua yaitu struktur kubik *zinc blende* dan struktur kubik *rock salt*. Pada suhu rendah, umumnya berbentuk heksagonal *wurtzite* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1** yang dibuat dengan perangkat lunak vsta menggunakan model struktur *ball and stick* (Sawada *et al.*, 1996).



**Gambar 2.1** Struktur kristal ZnO (*wurtzite*). Parameter kisi  $a = 3,24940 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,24940 \text{ \AA}$  dan  $c = 5,20380 \text{ \AA}$ . (Sawada *et al.*, 1996). (a) dengan ikatan dan (b) tanpa ikatan. Warna biru = Ion O dan warna hijau = Ion Zn.

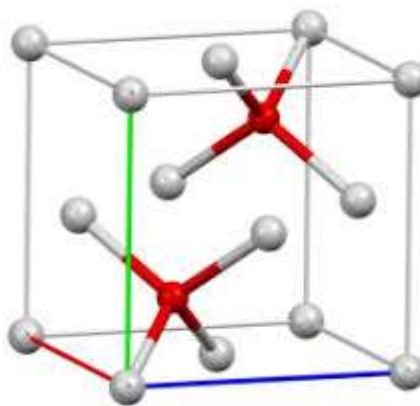
Pada kondisi ambien (suhu ruang), struktur yang stabil adalah *wurtzite* dengan bentuk heksagonal. Struktur ZnO *zinc-blende* berbentuk kubus yang tersedia sebagai mineral alam. Struktur *rocksalt* hanya dapat diperoleh pada tekanan tinggi, dari induksi tekanan yang menyebabkan transisi dari *wurtzite* ke *rocksalt* dengan tekanan sekitar 10 GPa (Sawada *et al.*, 1996).

Meski ZnO terdapat pada kerak bumi dalam bentuk mineral yang dinamakan

zincite, namun pada umumnya produksi ZnO secara komersial dilakukan secara sintesis (Xu *et al.*, 2016). Berdasarkan sintesis yang telah dilakukan, beberapa bentuk kristal ZnO yang berhasil ditemukan antara lain, berdimensi satu seperti *rod*, *tube*, *wire*, *sheet*, *hexagon* serta berdimensi tiga berupa *flower* (Zhang *et al.*, 2007).

## 2.2 Nanopartikel Perak (Ag)

Nanopartikel perak memiliki banyak manfaat dalam kehidupan manusia, terutama sebagai agen antijamur dan antibakteria sehingga sering digunakan pada industri produk konsumsi. Penggunaan partikel nano logam perak (Ag), tembaga (Cu) dan oksida logam seperti TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan MgO pada proses penyempurnaan akan menghasilkan tekstil yang mempunyai fungsi sebagai antimikroba yang berukuran nanometer. Partikel Ag dapat mengikat protein, sehingga metabolisme sel mikroba menjadi terhambat dan akhirnya mikroba mati. Seluruh nanopartikel perak logam memiliki karakteristik warna tersendiri karena ukurannya yang sangat kecil ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Efek ini disebut sebagai *surface plasma resonance* yang terjadi akibat osilasi secara serempak elektron-elektron pada permukaan (Bhuyan *et al.*, 2011).



**Gambar 2.2** Struktur kristal Silver (Norby *et al.*, 2002).

Aktivitasnya sebagai agen antifungal dan antibakteri yang baik dikarenakan luas permukaannya yang besar. Nanopartikel perak (Ag) merujuk pada partikel perak

yang memiliki ukuran dalam skala nanometer, biasanya dengan diameter kurang dari 100 nanometer. Ukuran nanoskala memberikan sifat dan perilaku unik pada partikel tersebut dibandingkan dengan partikel perak yang lebih besar (Avadi *et al.*, 2010). Banyak teknik yang dapat digunakan dalam memproduksi nanopartikel perak seperti cara reduksi kimia, fotokimia, sonokimia, dan lain-lain. Akan tetapi cara yang sangat populer karena alasan faktor kemudahan, biaya yang relatif murah serta kemungkinannya untuk diproduksi dalam skala besar adalah dengan cara reduksi kimia. Berbagai zat pereduksi dapat digunakan mulai dari yang bersifat lemah (contoh glukosa), reduktor yang bersifat medium, hingga yang bersifat kuat (hidrazin dan natrium borohidrida). Satu hal yang penting diperhatikan adalah bagaimana upaya untuk menstabilkan partikel koloid nanopartikel perak yang terbentuk agar tidak mengalami proses aglomerasi (penggumpalan) antar partikel (Lu and Cao, 2006).

Menurut Avadi *et al.*, (2010), setelah melakukan penelitian terdapat 5 jenis tanaman yang berpotensi sebagai agen pereduksi pada proses biosintesis nanopartikel perak, yaitu *Azadirachta indica* (mimba), *Pometia pinnata* (matoa), *Diospyros blancoi* (bisbul), *Cerberamanghas* (bintaro), dan *Dilleniaindica* (dillenia atau simpur). Nanopartikel perak yang terbentuk, dapat diamati secara visual setelah larutan ekstrak dicampur dengan larutan  $\text{AgNO}_3$ , larutan berubah warna menjadi kuning atau coklat. Semakin bertambah waktu kontak warna larutan menjadi semakin gelap. Saat terbentuk nanopartikel perak, data spektrum serapan UV-Vis pada panjang gelombang antara 400 - 500 nm dan nilai absorbansi semakin besar dengan semakin bertambahnya waktu kontak. Menurut Avadi *et al.*, (2010), beberapa metode telah dikembangkan dalam preparasi nanopartikel perak untuk mendapatkan kontrol yang baik terhadap bentuk dan ukuran partikel perak.

Nanopartikel cenderung mengalami agregasi membentuk *bulk* kembali. Nanopartikel perak mempunyai karakteristik mudah mengalami aglomerasi antar partikel dan mudah teroksidasi sehingga pada umumnya pada proses pembentukan nanopartikel perak ditambahkan zat untuk menstabilkan ukuran.

Senyawa yang biasa digunakan untuk menstabilkan ukuran nanopartikel adalah polimer. Polimer diharapkan mampu menjadi dinding penghalang terjadinya proses aglomerasi dan proses oksidasi yang tidak diinginkan. Beberapa jenis surfaktan seperti NaDDBS, SDS, TW80, CTAB dan juga beberapa polimer seperti PVP, PAA, PAH, CMC telah digunakan dalam sintesis nanopartikel. Ukuran nanopartikel perak dapat dikontrol dengan berbagai cara, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengatur jenis atau konsentrasi dari agen pereduksinya. Reaksi reduksi yang cepat akan membentuk nanopartikel yang banyak pada permulaan proses sintesisnya. Jumlah nanopartikel yang banyak ini akan menghambat nanopartikel yang besar. Konsentrasi larutan yang homogen akan membantu terbentuknya nanopartikel perak yang homogen (Avadi *et al.*, 2010).

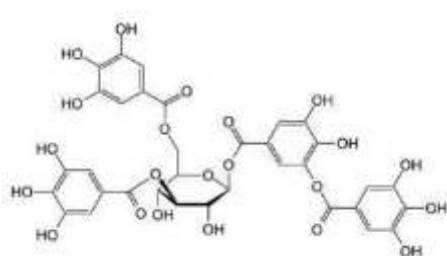
### 2.3 Daun Kelor (*Moringa Oleifera*)

Daun kelor banyak tumbuh luas di negara tropis dan subtropis. Tanaman tersebut ditanam secara komersial di India, Afrika, Amerika Selatan dan Tengah, Meksiko, Hawaii, dan di seluruh Asia (Thurber and Fahey, 2009). Tanaman kelor memiliki ketinggian 7-11 m. Tanaman kelor memiliki buah yang berbentuk panjang dan segitiga dengan panjang sekitar 20-60 cm. Daun kelor berbentuk bulat telur dengan tepi daun rata dan ukurannya kecil-kecil bersusun majemuk dalam satu tangkai. Daun kelor seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**, merupakan tumbuhan yang tergolong aman, efektif, dan mudah ditemukan.

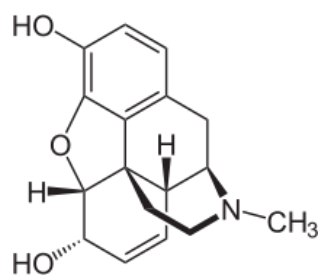


**Gambar 2.3** Daun kelor.

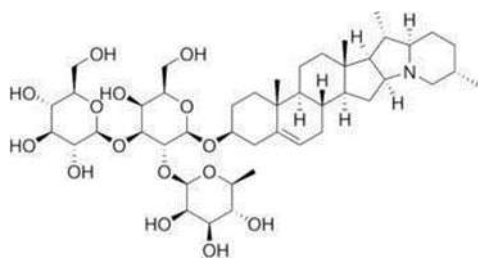
Senyawa aktif pada kelor banyak terdapat pada jaringan daunnya, sehingga untuk mendapatkan senyawa aktif tersebut perlu dilakukan ekstraksi. Proses ekstraksi disesuaikan dengan senyawa aktif yang terkandung dan aplikasinya (Xu *et al.*, 2021). Ekstrak dari air daun kelor ditunjukkan pada struktur kimia, seperti pada **Gambar 2.4** mengandung senyawa metabolit sekunder seperti: flavonoid, saponin, tanin, fenol (Okumu *et al.*, 2016). Kandungan yang terdapat dari ekstrak air daun kelor dapat dikembangkan untuk penelitian dibidang nanomaterial. Hal tersebut dikarenakan senyawa metabolit sekunder dalam ekstrak air daun kelor dapat membantu sebagai agen pereduksi yang akan mereduksi ion  $\text{Zn}^{2+}$  menjadi ZnO (Alamdari *et al.*, 2020).



Tanin ( $\text{C}_{27}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$ )



Alkaloid ( $\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{NO}_4$ )



Saponin ( $\text{C}_{27}\text{H}_{42}\text{O}_3$ )



Fenol ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ )

**Gambar 2.4** Senyawa Aktif Daun Kelor.

## 2.4 Sintesis Hijau (*Green Synthesis*)

Metode sintesis hijau merupakan metode sintesis yang ramah lingkungan, tanpa penggunaan bahan kimia yang keras, beracun dan mahal. Dalam nanoteknologi,



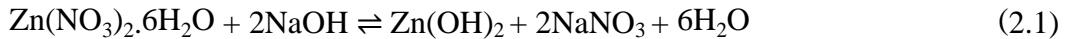
berbagai sintesis nanopartikel logam telah dilakukan menggunakan ekstrak tumbuhan. Metode sintesis hijau dilakukan menggunakan ekstrak tanaman sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel (Mittal *et al.*, 2013).

Salah satu keunggulan dari metode sintesis hijau adalah ramah lingkungan karena mampu meminimalisir penggunaan bahan anorganik yang berbahaya (Feldheim and Foss, 2002). Selain itu, metode ini relatif mudah dan hemat biaya, cepat dalam pengerjaannya, reagen yang tidak toksik, aman untuk manusia dan lingkungan (Mittal *et al.*, 2013). Penggunaan ekstrak tumbuhan dalam sintesis nanopartikel dapat mempengaruhi ukuran, bentuk, dan morfologi nanopartikel (Gingas *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Elumalai *et al.*, (2015) sintesis hijau menggunakan daun mimba (*Azadirachta indica*) mendapatkan nano ZnO dengan ukuran rata-rata 40 nm.

Adam *et al.*, (2020) menggunakan daun kelor (*Moringa Oleifera*) mendapatkan nano ZnO dengan ukuran rata-rata 19,20 nm dan Rhamdiah and Maharani, (2022) menggunakan daun kelor (*Moringa Oleifera*), mendapatkan nano ZnO dengan ukuran rata-rata 16,97 nm. Hal ini membuktikan keefektifan ekstrak daun tumbuhan sebagai agen pereduksi untuk pembentukan nanopartikel ZnO dan menghasilkan ukuran yang sangat sesuai dengan skala nano.

Senyawa metabolit sekunder dalam ekstrak daun akan mereduksi ion  $\text{Zn}^{2+}$  menjadi ZnO (Alamdari *et al.*, 2020). Protein dapat menjebak ion logam pada permukaannya dan mengubahnya menjadi molekul ZnO, selanjutnya molekul ZnO ini akan berkumpul dan membentuk nanopartikel ZnO (Marslin *et al.*, 2018). Kemudian menjadi stabil ketika senyawa metabolit sekunder bekerja dengan membungkus (*capping*) nanopartikel ZnO yang terbentuk agar tidak terjadi agregasi atau penggumpalan, sehingga nanopartikel yang dihasilkan stabil. Reaksi kimia yang terjadi pada pembentukan nanopartikel ZnO dapat dilihat pada persamaan di bawah.

Reaksi larutan  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$



Reaksi hidrolisis asam dan basa



Reaksi larutan saat dicampur menggunakan stirrer

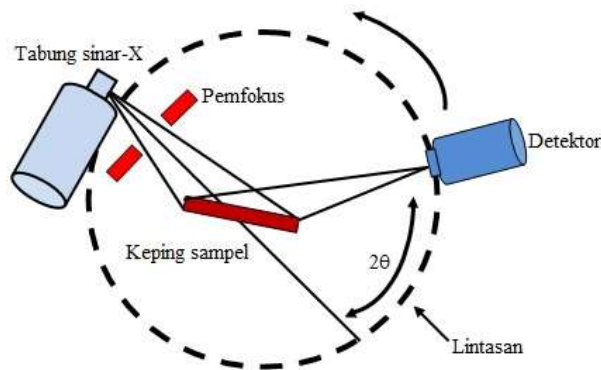


Reaksi larutan ketika sentrifugasi



## 2.5 X- Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebesar 0,01 hingga 10 nm lebih pendek jika dibandingkan dengan gelombang cahaya ( $\lambda = 400 - 800 \text{ nm}$ ) (Smallman, 2000). Panjang gelombang sinar-X merupakan dasar yang digunakan dalam teknik XRD untuk mengetahui struktur mikroskopis dari suatu bahan. Berdasarkan Gambar 2.5 letak monokromator pertama tidak ditunjukkan, akan tetapi yang utama harus diletakkan di antara tabung sinar-X. Setiap mesin memiliki jumlah slit yang berbeda-beda, dan jumlah slit pada Gambar 2.5 adalah lima. Pemasangan monokromator sekunder agar dapat memberikan hasil yang lebih baik, berikut ini merupakan gambar diagram bagian-bagian XRD ditunjukkan pada Gambar 2.5.

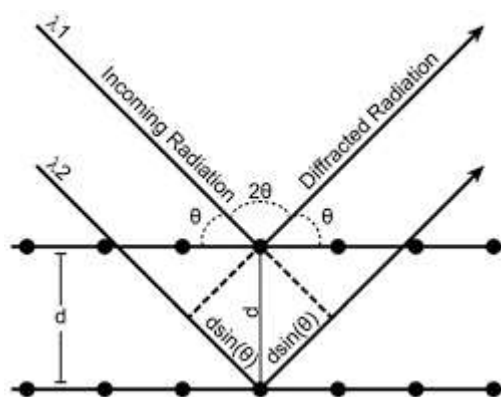


**Gambar 2.5** Diagram XRD (Smallman dan Bishop, 1999).

XRD merupakan metode analisis yang digunakan dalam karakterisasi struktur kristal. Fungsi dari pengujian XRD adalah untuk mengetahui jenis fasa dan ukuran partikel yang terbentuk. Berdasarkan posisi puncak-puncak yang dihasilkan dari data eksperimental XRD berupa besar sudut  $2\theta$  dengan membandingkan data base yang diperoleh dari *International Center for Diffraction Data* (ICDD) atau *Crystallography Open Database* (COD) akan didapatkan fasa sesuai dengan sampel nanopartikel ZnO dari hasil eksperimen.

Metode XRD memiliki peran penting dalam analisis pada kristalin, yaitu untuk meneliti ciri utama struktur dan untuk mengetahui rincian yang lain, misalnya susunan berbagai jenis atom dalam kristal, keberadaan cacat, ukuran butiran, orientasi, ukuran, dan kerapatan presipitat karena pola difraksi untuk tiap unsur terdapat pada Gambar 2.4 adalah spesifik, maka metode ini sangat akurat dalam menentukan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung pada suatu sampel.

Seberkas sinar-X dengan panjang gelombang diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang  $\theta$ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan XRD (Cullity, 1978). Skema dari XRD disajikan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Skema Hukum Bragg (Cullity, 1978).

Suatu atom yang tersusun searah dan rapi dianggap membentuk satu bidang cermin sehingga bila ada sinar datang ke arah bidang tersebut maka akan

dibelokkan sesuai prinsip optik. Persamaan Hukum Bragg sesuai Gambar 2.6 dituliskan sebagai berikut (Cullity, 1978).

$$\Delta POQ = \sin \theta \text{ dan } \Delta QOR = \sin \theta \quad (2.5)$$

$$\sin \theta = \frac{PQ}{d} = \frac{QR}{d} \quad (2.6)$$

$$PQ = \frac{1}{2} \lambda = d \sin \theta \quad (2.7)$$

$$QR = \frac{1}{2} \lambda = d \sin \theta \quad (2.8)$$

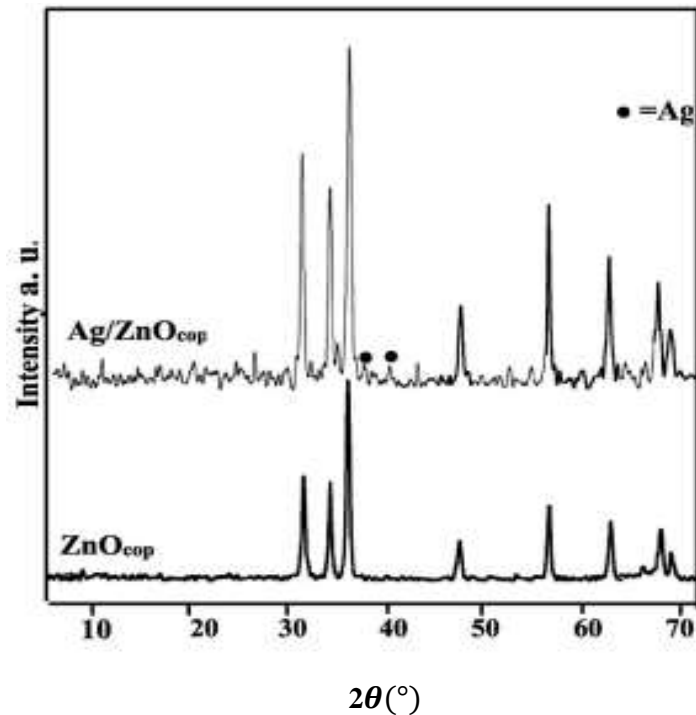
Sehingga

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.9)$$

dengan  $n$  adalah bilangan integer,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $d$  merupakan jarak antar bidang, dan  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang kristal. Setiap bahan akan berbeda-beda pada pola difraksi, intensitas, dan sudut difraksi  $2\theta$ . Interferensi yang diperoleh berupa puncak-puncak intensitas didapat dari hasil proses difraksi, sehingga interferensi terjadi karena interaksi antara X-ray dengan atom-atom pada bidang kristal (Vlack, 1995). Untuk dapat melihat ukuran partikel pada hasil XRD yang telah diperoleh diperlukan persamaan yang didasarkan pada rumus Scherrer.

$$L = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (2.10)$$

dengan keterangan  $L$  merupakan diagonal terpanjang suatu kristal,  $B$  adalah lebar puncak pada *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Pada rumus Scherrer ini satuannya adalah radian. Bila data difraksi masih diantara sudut  $2\theta$  dan intensitas, maka FWHM satuannya adalah derajat ( $^\circ$ ) dan satuan derajat ini harus diubah menjadi radian, dengan  $1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0,01745$  radian.



**Gambar 2.7** Karakterisasi ZnO/Ag menggunakan XRD (Ali *et al.*, 2024).

Gambar 2.7 menunjukkan pola XRD dari Ag/ZnO, pada sampel  $\text{Ag/ZnO}_{\text{cop}}$ , ditemukan dua puncak kecil pada  $37,9^\circ$  dan  $44,2^\circ$ , yang masing-masing sesuai dengan bidang kristal (111) dan (200) perak metalik (Ag). Puncak-puncak ini mengonfirmasi penggabungan Ag ke dalam sampel. Tidak adanya puncak lebih lanjut atau pergeseran signifikan dengan meningkatnya konsentrasi Ag, menunjukkan bahwa tidak ada larutan padat ZnO dan Ag yang terbentuk, atau bahwa ekspansi atau kontraksi kisi dalam  $\text{Ag/ZnO}_{\text{cop}}$  dapat diabaikan. Puncak-puncak ini menunjukkan bahwa penambahan doping Ag menghasilkan pengurangan yang signifikan dalam ukuran kristalit (Chitradevi *et al.*, 2020).

## 2.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi dari senyawa hasil sintesis, distribusi pertumbuhan kristal, perubahan fisika yang terjadi pada kondisi preparasi. SEM adalah salah satu tipe mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi dari sebuah

permukaan sampel. Se jauh ini SEM dikembangkan untuk mengatasi batasan-batasan pada mikroskop optik dan untuk meningkatkan perbesaran dengan resolusi yang jauh lebih besar dari sistem optikal. SEM memiliki kelebihan yaitu sangat kuat untuk menguji dan menginterpretasikan mikro struktur pada suatu material dan digunakan secara luas pada material-material sains. Secara umum SEM diperbesar antara 1.000 – 40.000 kali (Sutton *et al.*, 2007).

Hasil gambar atau foto dari SEM memiliki penampilan tiga dimensi dan berguna dalam menentukan struktur permukaan sebuah sampel. Sebuah *filament* pada SEM berfungsi sebagai pembangkit sinar elektron pada sebuah vakum hasil dari sebuah kamar sampel yang disimpan untuk dianalisis. Sinar elektron diarahkan dengan akurat oleh lensa kondensor elektromagnetik, difokuskan oleh lensa objektif, dipindai melewati permukaan sampel oleh gabungan pendeteksi elektromagnetik, alat SEM seperti yang terlihat pada **Gambar 2.8**.



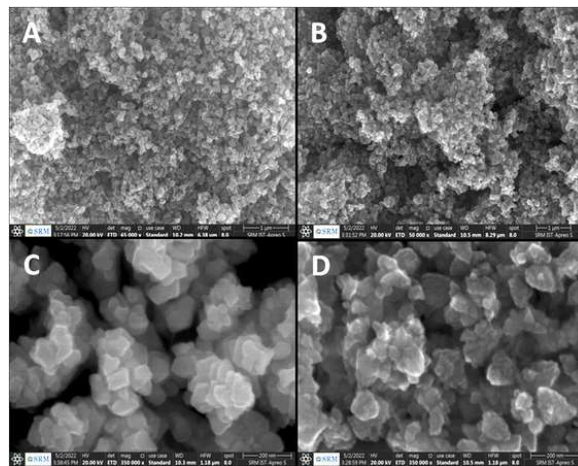
**Gambar 2.8** Skema instrumen SEM.

Pada SEM dikenal dua jenis elektron, diantaranya elektron primer dan elektron sekunder. Elektron primer merupakan elektron yang memiliki energi tinggi hasil dari pancaran katoda (Pt, Ni, W) yang dipanaskan. Sedangkan elektron sekunder adalah elektron berenergi rendah yang dibebaskan oleh atom pada permukaan. Atom ini menembakkan elektron sekunder setelah adanya tembakan oleh elektron primer (Zhou *et al.*, 2006). Detektor pada



SEM berfungsi untuk mendeteksi elektron sekunder yang dipantulkan dan menentukan letak berkas yang dipantulkan pada intensitas paling tinggi. Arah dari pantulan memberikan informasi mengenai identitas permukaan sampel seperti kelandaian dan arah kemiringan. Pada proses pengamatan dengan menghubungkan posisi pemindaian sampel dengan sinyal yang dihasilkan, maka gambar atau foto yang dihasilkan berwarna hitam putih (Sutton *et al.*, 2007).

SEM juga dilengkapi dengan *Electron Dispersive Spectroscopy* (EDS) yang berfungsi untuk mengetahui kandungan unsur secara kuantitatif oleh suatu sampel seperti unsur kimia dan persentasenya. Zat yang diuji menggunakan SEM-EDS akan menampilkan citra dari morfologi sampel dan komponen kimianya karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemurnian suatu zat (Sutton *et al.*, 2007).



**Gambar 2.9** Karakterisasi menggunakan SEM. gambar (A) dan (C) ZnO NPs; gambar (B) dan (D) ZnO–Ag NPs (Dutta *et al.*, 2023).

Gambar 2.9 menunjukkan morfologi permukaan sampel yang dianalisis menggunakan SEM. Pada perbesaran yang lebih rendah, distribusi kedua nanomaterial (ZnO dan ZnO–Ag yang digambarkan pada gambar A dan B, berturut-turut) mengungkapkan struktur agregat dengan tepi kasar. Gambar perbesaran yang lebih tinggi mengungkapkan bahwa partikel kedua bahan tersebut kira-kira bulat dan padat. Untuk nanopartikel ZnO–Ag (Gambar D),

permukaan partikel lebih kasar dan sedikit lebih besar daripada ZnO NP (Gambar C), yang mungkin menunjukkan perkembangan perak pada permukaan ZnO NP.

## 2.7 Mekanisme ZnO/Ag sebagai Antibakteri

Mekanisme ZnO/Ag sebagai agen antibakteri melibatkan beberapa interaksi dan proses di tingkat nano partikel. Penambahan ZnO/Ag memiliki sifat antimikroba yang kuat, dan ketika dikombinasikan dalam bentuk nanomaterial, keduanya dapat memberikan efek sinergis untuk meningkatkan aktivitas antibakteri. Nanopartikel ZnO melepaskan ion zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), sedangkan nanopartikel perak melepaskan ion silver ( $\text{Ag}^+$ ). Kedua jenis ion ini dapat berinteraksi dengan bakteri dan menyebabkan kerusakan struktural dan fungsional.

Ion  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ag}^+$  dapat bertindak sebagai penerima atau donor elektron, berinteraksi dengan komponen sel bakteri dan merusak struktur membran sel bakteri. ZnO dan Ag dapat merangsang pembentukan radikal bebas seperti radikal hidroksil ( $\text{OH}^\cdot$ ) yang bersifat oksidatif. Radikal ini dapat merusak komponen sel bakteri, termasuk lipida membran dan materi genetik. Partikel ZnO/Ag dapat menempel pada permukaan membran sel bakteri, menyebabkan deformasi, penyebaran membran, dan akhirnya kerusakan membran. Ini dapat menghancurkan integritas membran sel, menyebabkan kebocoran dan kematian sel (Adiwibowo, 2020).

Ion  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ag}^+$  dapat memasuki bakteri dan berinteraksi dengan DNA atau RNA, menghambat replikasi dan transkripsi, dan menyebabkan kerusakan pada materi genetik bakteri. Fenomena oligodinamik terjadi ketika jumlah ion yang sangat kecil dapat memberikan efek yang signifikan terhadap mikroorganisme. Dalam konteks ini, konsentrasi rendah ion  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ag}^+$  dari ZnO/Ag mampu memberikan efek antibakteri.

Partikel ZnO/Ag memiliki sifat hidrofilik yang dapat meningkatkan interaksi

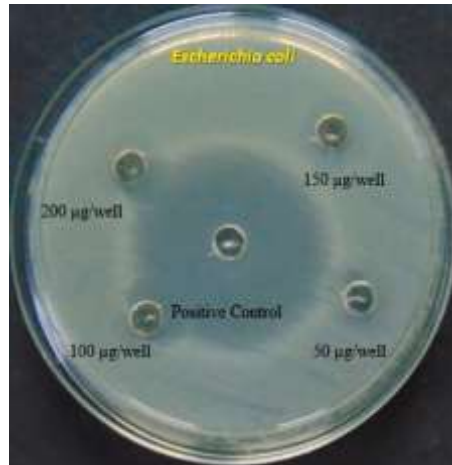
dengan mikroorganisme dalam medium air atau larutan, meningkatkan efektivitas antibakteri. Mekanisme-mekanisme ini bersifat kompleks dan dapat bervariasi tergantung pada ukuran, bentuk, dan distribusi partikel ZnO/Ag, serta jenis bakteri yang dihadapi. Sinergi antara sifat antimikroba ZnO dan Ag membuat kombinasi ini efektif dalam melawan bakteri dan mikroorganisme lainnya. Penting untuk dicatat bahwa sementara sifat antimikroba ZnO/Ag dapat bermanfaat, juga penting untuk memahami dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia untuk memastikan penggunaan yang aman dan berkelanjutan (Reddy and Mandal, 2017).

Nanokomposit dapat dibuat dari dua material yang memiliki sifat sebagai antibakteri yaitu perak (Ag) dan seng-oksida (ZnO). Logam perak efektif melawan lebih dari 650 spesies bakteri patogen, sehingga bersifat spektrum luas (Dastjerdi and Montazer, 2010). Logam ini bekerja dengan cara menghambat sintesis sel bakteri sehingga metabolismenya menjadi terhambat. Perak dalam bentuk nanopartikel mampu menghambat bakteri *P. aeruginosa* pada konsentrasi 5 ppm (Salomoni *et al.*, 2017). Nanopartikel perak selain sebagai antibakteri juga dapat digunakan untuk obat antikanker, anti-inflamasi dan pengobatan luka (Ahmed *et al.*, 2010).

ZnO juga bersifat sebagai antibakteri dan antijamur dengan mekanisme kerja yaitu merusak dinding sel bakteri, menghambat sintesis sel, dan mengganggu metabolisme sel. ZnO banyak digunakan dalam dunia medis karena komponennya yang unik, biokompatibel, dan toksisitasnya rendah. ZnO dalam bentuk nanopartikel mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* (Musdalifa *et al.*, 2019).

Walaupun demikian, belum ada penelitian yang menggunakan ZnO dan Ag sebagai antibiofilm pada *P. aeruginosa*. Nanokomposit ZnO-Ag dapat dibuat dengan menggunakan reduktor secara green synthesis. Metode green synthesis bersifat ramah lingkungan, ekonomis, sedikit menghasilkan produk buangan yang berbahaya dan menghasilkan hasil sintesis yang banyak. Green synthesis dibuat

dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor yang banyak mengandung gugus hidroksil (OH), karboksil (-COOH), ikatan rangkap, dan kaya akan elektron. Salah satu bioreduktor yang berpotensi digunakan untuk green synthesis nanokomposit ZnO-Ag adalah minyak cengkeh (Sawada *et al.*, 1996).



**Gambar 2.10** Analisis antibakteri ZnO/Ag (Biju, 2025).

Gambar 2.10 nanokomposit ZnO/Ag menunjukkan efikasi antimikroba yang kuat terhadap bakteri gram negatif *Escherichia Coli*, sehingga menjadikannya kandidat yang sangat baik untuk pelapis antimikroba di bidang biomedis dan lingkungan.

## 2.8 Alur Kerja Antibakteri

Antibakteri adalah senyawa yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri yang bersifat merugikan. Pengendalian pertumbuhan mikroorganisme bertujuan untuk mencegah penyebaran penyakit dan infeksi, membasmi mikroorganisme pada inang yg terinfeksi, dan mencegah pembusukan serta kerusakan bahan oleh mikroorganisme (Sulistyo, 1971). Senyawa antibakteri merupakan senyawa yang dapat mengganggu pertumbuhan atau metabolisme bakteri (Pelczar and Chan, 1986).

Berdasarkan sifat toksisitasnya, antibakteri dapat bersifat membunuh bakteri (bakterisidal) dan menghambat pertumbuhan bakteri (bakteriostatik). Antibakteri

bakteriostatik hanya menghambat pertumbuhan bakteri dan tidak mematikan, sedangkan bakterisidal dapat membunuh bakteri. Bakteriostatik dapat bersifat bakteriosidal jika dalam konsentrasi yang tinggi. Suatu antibakteri berspektrum luas apabila dapat membunuh bakteri Gram positif dan Gram negatif, spektrum sempit apabila hanya membunuh bakteri Gram positif atau Gram negatif saja, dan spektrum terbatas apabila efektif terhadap satu spesies bakteri tertentu (Dwijoseputro, 1990).

Mekanisme kerja antibakteri dapat melalui berbagai cara, di antaranya menghambat sintesis dinding sel, menghambat ketahanan permeabilitas dinding sel, menghambat protein dinding sel, menghambat sintesis asam nukleat, dan menghambat metabolisme sel mikroba (Jawetz *et al.*, 2005). Senyawa antimikroba yang berasal dari bahan alam yang berasal tumbuhan kini secara terus-menerus dikembangkan, Dimana lebih dari 300 senyawa metabolit alam menunjukkan aktivitas mikroba dan sekitar 145 senyawa berpotensi sebagai antimikroba dengan MIC sebesar 0,02-10 µg/ ml (Salemet *et al.*, 2010).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai bulan April 2025. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Lampung. Karakteristik XRD dilakukan di Universitas Negeri Padang, karakterisasi SEM di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Kimia FMIPA Unila, dan uji antibakteri di LAPKESDA Provinsi Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**.

**Tabel 3.1** Alat-alat Penelitian

| <b>Nama Alat</b>         | <b>Fungsi</b>                   |
|--------------------------|---------------------------------|
| Gelas beker              | Wadah pereaksi                  |
| Spatula                  | Pengaduk                        |
| Gelas ukur               | Pengukuran volume larutan       |
| Kompor Listrik           | Pemanas                         |
| <i>Magnetic stirrer</i>  | Pengaduk                        |
| Kertas pH                | Mengukur keasaman               |
| Kertas saring Whatman    | Penyaring                       |
| <i>Oven</i>              | Pengeringan                     |
| <i>Mortar dan pestle</i> | Menghaluskan seng oksida kering |
| Timbangan digital        | Pengukur massa benda            |



**Tabel 3.2** Bahan-bahan Penelitian

| <b>Nama Bahan</b>   | <b>Fungsi</b>                |
|---|------------------------------|
| Daun kelor  | Sumber seng oksida           |
| <i>Ethylene Glycol</i> ( $C_2H_6O_2$ ) Merk Sigma-Aldrich | Melarutkan prekursor dopping |
| $AgNO_3$ 99,8% merk ROFA                                  | Prekursor dopping            |
| Aquades ( $H_2O$ )  | Melarutkan prekursor         |
| Etanol 70% ( $C_2H_6O$ ) merk ROFA                        | Melarutkan prekursor         |
| $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 98% merk Smart-Lab               | Prekursor                    |

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini meliputi pembuatan larutan ekstrak daun kelor, sintesis nanopartikel, karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) merk Thermoscientific untuk mengetahui jenis fasa dan ukuran partikel yang terbentuk, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk ZEISS EVO MA 10 untuk mengetahui morfologi dari senyawa hasil sintesis, dan uji antibakteri.

#### 3.3.1 Pembuatan Larutan Ekstrak Daun Kelor

Tahap-tahap ekstraksi daun kelor dilakukan sebagai berikut:

1. Sampel daun kelor berwarna hijau tua dikeringkan selama 10 hari untuk menghilangkan kandungan air.
2. Sampel yang telah kering dihaluskan dengan blender.
3. Daun kelor yang sudah halus ditimbang sebanyak 10 g.
4. Daun kelor yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas beker 500 ml yang berisi *aquades*.
5. Ekstrak daun kelor dipanaskan pada suhu  $70^\circ C$  dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan 700 rpm selama 30 menit.
6. Ekstrak daun kelor didinginkan pada suhu ruang dan disaring menggunakan kertas Whatman No.1.
7. Ekstrak daun yang didapat digunakan untuk sintesis nanopartikel ZnO.

### 3.3.2 *Green Synthesis* Nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag Ekstrak Daun Kelor

Tahap-tahap sintesis nanopartikel ZnO dilakukan sebagai berikut:

1. Ekstrak daun kelor diambil sebanyak 50 ml, kemudian direaksikan dengan 50 ml larutan prekursor  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 0,2 M pada gelas ukur 500 ml.
2. Dipanaskan dan campuran diaduk pada suhu  $70^\circ\text{C}$  dan Magnetic stirrer dengan 700 rpm selama 10 menit.
3. Campuran dibiarkan dingin pada suhu ruangan.
4. Tambahkan NaOH (0,2 M) dengan molaritas 0,9 M pada pH 11, disertai pengadukan kontinyu tanpa panas selama 1 jam, NaOH yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.3.
5. Didopping dengan larutan  $\text{AgNO}_3$  dengan tingkat molar 0,3 M (persentase 2%).
6. Larutan dibiarkan semalam sampai terbentuk endapan.
7. Hasil endapan disentrifus pada 1000 rpm selama 5 menit sebanyak tiga kali dan diikuti pencucian berulang dengan etanol dan akuades.
8. Endapan dikumpulkan menggunakan cawan keramik dan dibiarkan kering dalam oven pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama 50 menit.
9. Endapan yang sudah dikeringkan dihaluskan menggunakan mortar hingga menjadi bubuk halus.

**Tabel 3.3.** Komposisi Sampel

| Kode Sampel | $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{M})$<br>0,2 (ml) | NaOH(M) | $\text{AgNO}_3$<br>(%) |
|-------------|--|---------|------------------------|
| ZnO         | 50   | 0,9     | 0                      |
| ZnO/Ag      | 50   | 0,9     | 2                      |

### **3.3.3 Pengujian Aktivitas Antibakteri Nanopartikel ZnO dan ZnO/Ag dari Ekstrak Daun Kelor**

Pengujian aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO dari ekstrak daun kelor terhadap bakteri *Escherichia coli* menggunakan metode cakram dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

#### **A. Persiapan Media**

Tahap-tahap persiapan media dilakukan sebagai berikut:

1. Pembuatan media agar Mueller-Hinton (MH agar).
2. Media steril dituangkn dalam cawan petri.
3. Diamkan hingga agar membeku dan mengeras.

#### **B. Persiapan Kultur E.Coli**

Tahap-tahap persiapan kultur E.Coli dilakukan sebagai berikut:

1. E.coli dari stok murni dibiakkan.
2. Inokulasi ke dalam media cair selama 18-24 jam pada suhu 37°C.
3. Menyesuaikan kekeruhan dengan standar McFarland.

#### **C. Inokulasi Media**

Tahap-tahap inokulasi media dilakukkan sebagai berikut:

1. Kapas steril dicelupkan ke dalam kultur E.Coli yang telah disesuaikan kekeruhannya.
2. Kapas yang telah dicelupkan, selanjutnya diusapkan ke seluruh media agar secara merata, sehingga bakteri tumbuh merata.

#### **D. Pemberian Cakram**

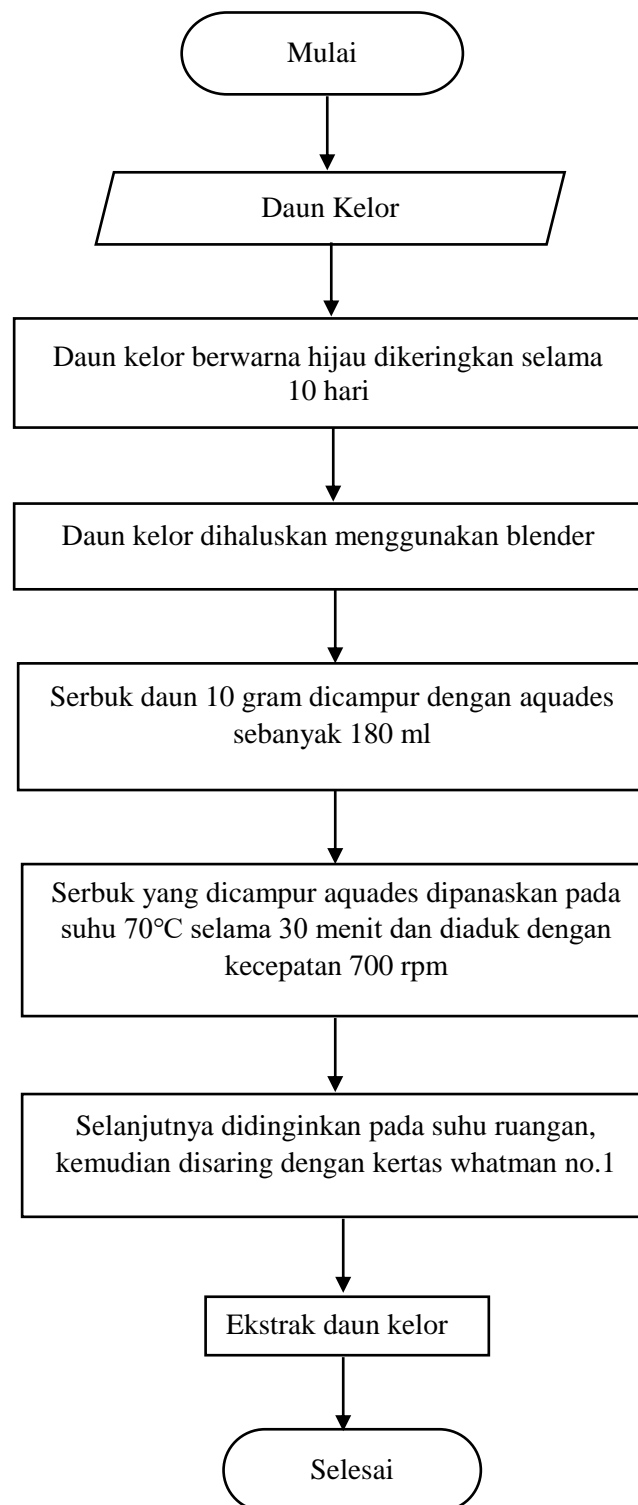
Tahap-tahap pemberian cakram dilakukkan sebagai berikut:

1. Persiapkan cakram kertas steril diameter 6 mm.
2. Larutan uji ditetaskan ke masing-masing cakram.
3. Cakram diletakkan pada permukaan media agar yang sudah diinokulasi.
4. Cawan diinkubasi pada suhu 37°C selama 8-24 jam dalam incubator.

5. Diameter zona bening di sekitar cakram diukur menggunakan penggaris atau jangka sorong.
6. Hasil uji antibakteri diinterpretasikan.

### 3.4 Diagram Alir Ekstraksi Daun Kelor

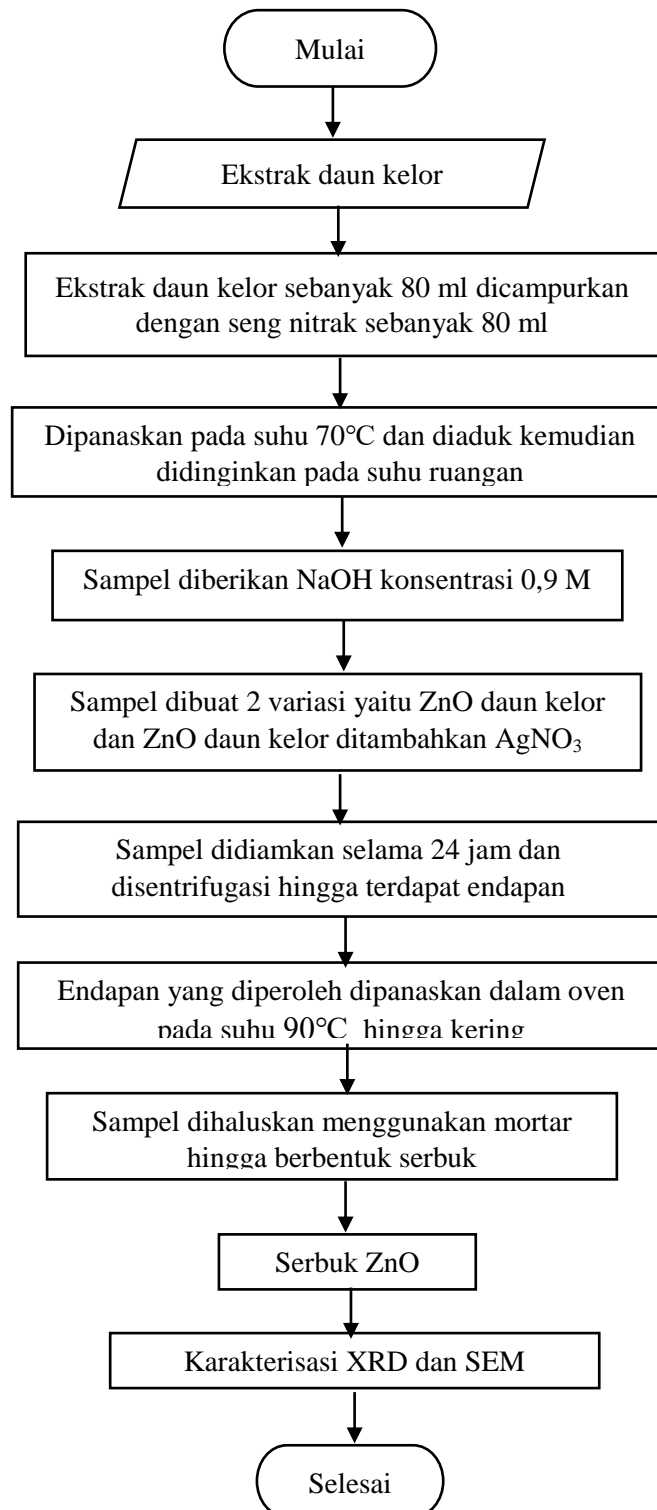
Diagram alir proses ekstraksi daun kelor hijau ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Ekstraksi Daun Kelor.

### 3.5 Diagram Alir Sintesis Nanopartikel ZnO/Ag

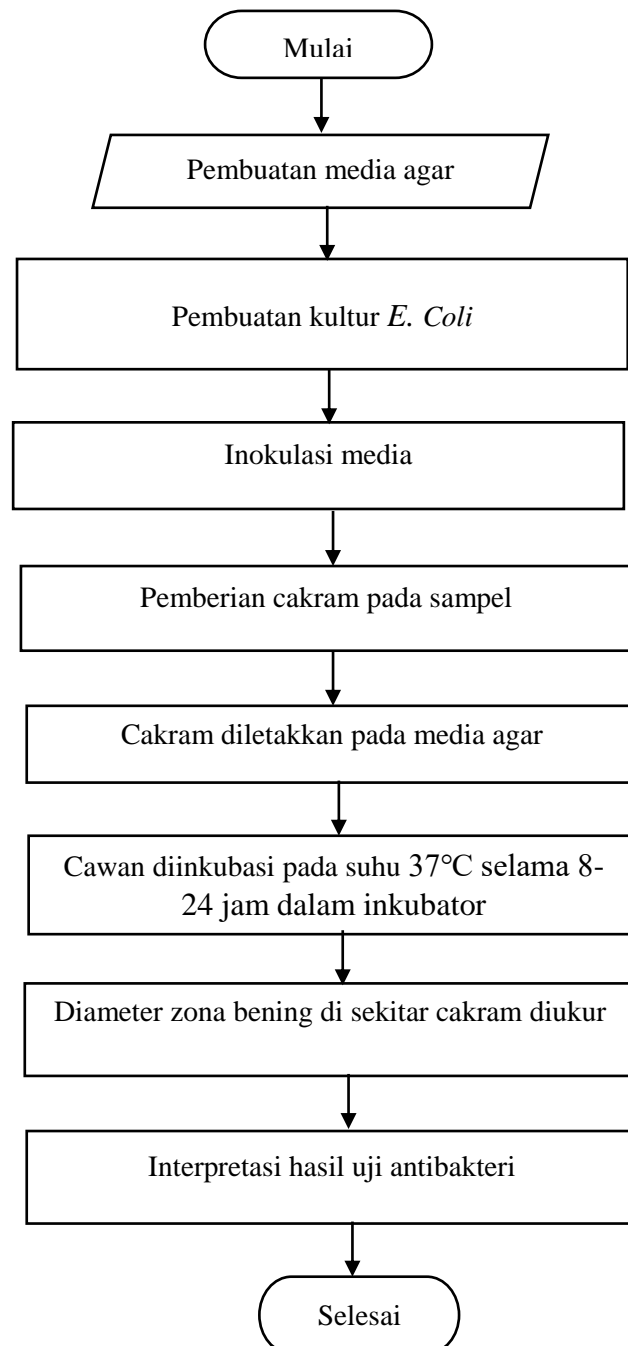
Diagram alir sintesis nanopartikel ZnO/Ag ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Diagram Alir Sintesis Nanopartikel ZnO/Ag.

### 3.6 Diagram Alir Uji Anti Bakteri ZnO dan ZnO/Ag terhadap Bakteri *Escherichia Coli*

Diagram alir proses uji antibakteri ZnO dan ZnO/Ag terhadap bakteri *Escherichia Coli* ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3** Diagram alir uji antibakteri ZnO dan ZnO/Ag

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Fasa yang terbentuk adalah fasa wurtzite dengan puncak tertinggi pada sampel ZnO berada pada  $2\theta$   $36,26^\circ$ . Sedangkan pada sampel ZnO/Ag pada  $2\theta$   $38,27^\circ$  yang diklaim sebagai fasa Ag. Ukuran partikel pada sampel ZnO sebesar 25,74 nm dan pada sampel Ag sebesar 32,17 nm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan  $\text{AgNO}_3$  dapat meningkatkan ukuran partikel ZnO.
2. Pemindaian SEM menggambarkan morfologi berbentuk seperti batuan karang.
3. Sintesis ZnO/Ag telah menunjukkan adanya zona hambat terhadap aktivitas antibakteri menggunakan *E.Coli*. Sementara pada sampel ZnO tidak menunjukkan adanya aktivitas antibakteri secara signifikan.

### **5.2 Saran**

Penelitian lebih lanjut diperlukannya dengan menambahkan variasi  $\text{AgNO}_3$  untuk mengetahui persentase molar  $\text{AgNO}_3$  yang dapat membentuk nanopartikel ZnO secara signifikan. Selain itu, dapat menggunakan bakteri lain untuk mengukur efektivitas ZnO-Ag dari sintesis daun kelor terhadap zona hambat bakteri.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Himawan, A., Aswad, M., and Tahir, D. 2019. Structural properties and bonding characteristic of magnesium (Mg) doped zinc oxide (ZnO). In *Journal of Physics: Conference Series*, 1317(1), 012-051.
- Adiwibowo, A. S., Larasati, O., and Nurmala, P. 2021. Pengaruh free cash flow dan investment opportunity set terhadap kebijakan deviden. *Jurnal Riset Keuangan Dan Akuntansi*, 7(1), 129-138.
- Ahamed, M., AlSalhi, M. S., and Siddiqui, M. K. J. 2010. Silver nanoparticle applications and human health. *Clinica chimica acta*, 411(23-24), 1841-1848.
- Ahmad, M. 2019. Pengaruh lingkungan kerja dan karakteristik individu terhadap kinerja karyawan PT. Cassia Coop Sungai Penuh. *Jurnal Benefita: Ekonomi Pembangunan, Manajemen Bisnis & Akuntansi*, 4(2), 377-385.
- Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., and Reddy, P. S. 2015. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Lantana camara leaf extract. *Materials science and engineering*: 49(4), 373-381.
- Alamdari, S., Sasani Ghamsari, M., Lee, C., Han, W., Park, H. H., Tafreshi, M. J., and Ara, M. H. M. 2020. Preparation and characterization of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of Sambucus ebulus. *Applied Sciences*, 10(10), 3620-3630.
- Avadi, M. R., Sadeghi, A. M. M., Mohammadpour, N., Abedin, S., Atyabi, F., Dinarvand, R., and Rafiee-Tehrani, M. 2010. Preparation and characterization of insulin nanoparticles using chitosan and Arabic gum with ionic gelation method. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6(1), 58-63.
- Ali, I. O., Nady, H., Mohamed, M. I., and Salama, T. M. 2024. Fabrication and characterization of ZnO and Ag/ZnO nanoparticles for efficient degradation of crystal violet dye in aqueous solution. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(12), 101-480.

- Biju, R. F. 2025. Structural, Spectroscopic, Thermal and Morphological Evaluation of Biogenic ZnO/Ag Nanocomposite using Moringa oleifera Seed Extract for Enhanced Antimicrobial Efficacy. *Chemical Physics Impact*, 10(4), 100-850.
- Bhalla, N., Ingle, N., Jayaprakash, A., Patel, H., Patri, S. V., and Haranath, D. 2023. Green approach to synthesize nano zinc oxide via Moringa oleifera leaves for enhanced anti-oxidant, anti-acne and anti-bacterial properties for health & wellness applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(3), 104-506.
- Bhuyan, T., Mishra, K., Khanuja, M., Prasad, R., and Varma, A. 2015. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from Azadirachta indica for antibacterial and photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32(4), 55-61.
- Chitradevi, T., Lenus, A. J., and Jaya, N. V. 2019. Structure, morphology and luminescence properties of sol-gel method synthesized pure and Ag-doped ZnO nanoparticles. *Materials Research Express*, 7(1), 1015-1025.
- Dias, H. B., Bernardi, M. I. B., Marangoni, V. S., de Abreu Bernardi, A. C., de Souza Rastelli, A. N., and Hernandez, A. C. 2019. Synthesis, characterization and application of Ag doped ZnO nanoparticles in a composite resin. *Materials Science and Engineering*: 96(12), 391-401.
- Dutta, G., kumar Chinnaiyan, S., Sugumaran, A., and Narayanasamy, D. (2023). Sustainable bioactivity enhancement of ZnO–Ag nanoparticles in antimicrobial, antibiofilm, lung cancer, and photocatalytic applications. *RSC advances*, 13(38), 26663-26682.
- Dwijoseputro, D. 1990. *Dasar-dasar mikrobiologi (Ed. ke-11)*. Jakarta: Djambtan.
- Elumalai, S., Santhos, B. I., and Kanna, G. R. 2014. Extraction of carotenoid and thin layer chromatography (TLC), GC-MS, FT-IR and HPLC analysis of pharmaceutically important pigment astaxanthin from a new strain of Haematococcus pluvialis. *Weekly Science Research Journal*, 2(8), 2321-7871.
- Fedlheim, D. L., and Foss, C. A. 2002. *Metal nanoparticles: synthesis, characterization, and applications*. CRC press: United, pp 35-38.
- Gingas, D., Mindru, I., Patron, L., Calderon-Moreno, J. M., Mocioiu, O. C., Preda, S., and Chifiriuc, M. C. 2016. Green Synthesis Methods of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Ag-CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Using Hibiscus Extracts and Their Antimicrobial Potential. *Journal of Nanomaterials*, 2016(1), 210-217.
- Janariah, J., Sari, J. O., Sembiring, S., and Junaidi, J. 2022. Studi Pendahuluan Pembentukan Struktur Komposit Perak Silika (Ag/SiO<sub>2</sub>) Berbasis Sekam

- Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 9(2), 25-30.
- Jawetz, E., Melnick, J. L., Adelberg, E. A., Brooks, G. F., Butel, J. S., and Ornston, L. N. 2008. *Mikrobiologi Kedokteran. Edisi ke-20*. EGC: Jakarta.
- Lu, Y., Weng, L., and Cao, X. 2006. Morphological, thermal and mechanical properties of ramie crystallites—reinforced plasticized starch biocomposites. *Carbohydrate polymers*, 63(2), 198-204.
- Ma, H., and Shieh, K. J. 2006. Cholesterol and human health. *The Journal of American Science*, 2(1), 46-50.
- Marslin, G., Siram, K., Maqbool, Q., Selvakesavan, R. K., Kruszka, D., Kachlicki, P., and Franklin, G. 2018. Secondary metabolites in the green synthesis of metallic nanoparticles. *Materials*, 11(6), 940-948.
- Meldayani, R., Iwantono, I., Rini, A. S., and Rati, Y. 2022. Analisa sifat fisis nanopartikel ZnO di-doping Ag yang disintesis menggunakan metode biosintesis. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 19(1), 7-10.
- Mittal, A. K., Chisti, Y., and Banerjee, U. C. 2013. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology advances*, 31(2), 346-356.
- Musdalifa, K., and Purnama, M. N. K. Herawati, H. 2019. Sintesis dan karakterisasi nanopartikel seng oksida (ZnO) dan aplikasinya sebagai agen antibakteri *Staphylococcus aureus* pada kain katun jenis cotton combed. *Indones J Fundamen Sci*, 5(3), 15-25.
- Mydeen, S. S., Kumar, R. R., Kottaisamy, M., and Vasantha, V. S. 2020. Biosynthesis of ZnO nanoparticles through extract from *Prosopis juliflora* plant leaf: Antibacterial activities and a new approach by rust-induced photocatalysis. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(5), 393-406.
- Niu, L., Tao, Y. B., Chen, M. S., Fu, Q., Dong, Y., He, H., and Xu, Z. F. 2016. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine. *Caryologia*, 69(1), 58-66.
- Norby, P., Dinnebier, R., & Fitch, A. N. 2002. Decomposition of silver carbonate; the crystal structure of two high-temperature modifications of Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. *Inorganic chemistry*, 41(14), 3628-3637.
- Nohavica, D., and Gladkov, P. 2010. ZnO nanoparticles and their applications—new achievements. *Olomouc, Czech Republic, EU*, 10, 12-14.
- Okumu, M. O., Mbaria, J. M., Kanja, L. W., Gakuya, D. W., Kiama, S. G., and Ochola, F. O. 2016. Phytochemical profile and antioxidant capacity of leaves of *Moringa oleifera* (Lam) extracted using different solvent

- systems. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5(4), 302-312.
- Pelczar, M. J., and Chan, E. S. C. 1988. *Dasar-dasar mikrobiologi (Edisi ke-2)*. Jakarta: Universitas Indonesia. pp 1-15.
- Reddy, B. P. K., Begum, H., Sunil, N., and Reddy, M. T. 2013. Variance component analysis of quantitative traits in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Trakia J. Sci*, 11(2), 118-124.
- Rhamdiyah, F. K., and 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.
- Saleem, M., Nazir, M., Ali, M. S., Hussain, H., Lee, Y. S., Riaz, N., and Jabbar, A. 2010. Antimicrobial natural products: an update on future antibiotic drug candidates. *Natural product reports*, 27(2), 238-254.
- Salomoni, R., Léo, P., Montemor, A. F., Rinaldi, B. G., and Rodrigues, M. F. A. 2017. Antibacterial effect of silver nanoparticles in *Pseudomonas aeruginosa*. *Nanotechnology, science and applications*, 115-121.
- Saravanadevi, K., Kavitha, M., Karpagavinayagam, P., Saminathan, K., and Vedhi, C. 2020. *Biosynthesis of ZnO and Ag doped ZnO nanoparticles from Vitis vinifera leaf for antibacterial, photocatalytic application*. Proceedings.
- Sawada, H., Wang, R., and Sleight, A. W. 1996. An electron density residual study of zinc oxide. *Journal of Solid State Chemistry*, 122(1), 148-150.
- Shawai, R. S., and Singh, R. 2018. Phytochemical Screening, Anti-Oxidant and Antimicrobial Activity of Ethanolic Extracts of Medicinal Plants. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 7(3):617–630.
- Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H. M., Ann, L. C., Bakhori, S. K. M., and Mohamad, D. 2015. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-micro letters*, 7(3), 219-242.
- Smallman, R.E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material. Edisi Keenam*. Erlangga. Jakarta. pp 1-3.
- Smallman, R.E., and Bishop, R.J. 1999. *Modern physical metallurgy and materials engineering*. Butterworth-Heinemann; Oxford, pp 133-138.
- Sowa, H., & Ahsbahs, H. 2006. High-pressure X-ray investigation of zincite ZnO single crystals using diamond anvils with an improved shape. *Applied Crystallography*, 39(2), 169-175.
- Spreadborough, J., and Christian, J. W. 1959. High-temperature X-ray

- diffractometer. *Journal of scientific instruments*, 36(3), 116-125.
- Sutton, M. A., Li, N., Joy, D. C., Reynolds, A. P., and Li, X. 2007. Scanning electron microscopy for quantitative small and large deformation measurements part I: SEM imaging at magnifications from 200 to 10,000. *Experimental mechanics*, 47(6), 775-787.
- Thurber, M. D., and Fahey, J. W. 2009. Adoption of *Moringa oleifera* to combat under-nutrition viewed through the lens of the “Diffusion of Innovations” theory. *Ecology of food and nutrition*, 48(3), 212-225.
- Vlack, V.L.H. 1995. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam). Edisi kelima*. Erlangga; Jakarta. pp 52-55.
- Wyckoff, R. W. 1963. Cubic closest packed, ccp, structure. *Crystal structures*, 1(2), 7-83.
- Xu, W., Xiao, S., aand Xu, H. 2021. Investigation of the bio-stimulation of children’s reading interest by chromatic pattern visual evoked potential. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2(11):106-410.
- Zhang, Q., Yu, K., Bai, W., Wang, Q., Xu, F., Zhu, Z., and Sun, Y. 2007. Synthesis, optical and field emission properties of three different ZnO nanostructures. *Materials Letters*, 61(18), 3890-3892.
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., and Joy, D. 2006. *Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM)*. In *Scanning microscopy for nanotechnology: techniques and applications*. New York: Springer New York.