

**SINTESIS NANO ZnO MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN
JAMBU BIJI (*Phidium guajava L*)**

(Tesis)

Oleh
PUTRI VIDIA CITRA
2027041006



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

SINTESIS NANO ZnO MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (*Phidium guajava* L)

Oleh

PUTRI VIDIA CITRA

Telah dilakukan pembuatan nano ZnO menggunakan ekstrak daun jambu biji. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan ekstrak daun jambu biji terhadap struktur dan morfologi nano ZnO dan mengetahui ukuran nano ZnO yang terbentuk. Variasi ekstrak daun jambu biji yang digunakan yaitu 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml dan 50 ml. Karakterisasi yang digunakan ialah Difraksi Sinar-X (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan dilakukan juga uji antibakteri. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan fasa yang terbentuk ialah fasa *Wurtzite*, dengan ukuran partikel paling besar pada sample ZnO-10 yaitu 27,78 nm. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan struktur yang terbentuk pada penelitian ini yaitu heksagonal dengan morfologi nano ZnO yang berbentuk bola kristal. Nano ZnO teruji dapat menjadi antibakteri dengan dilakukannya pengujian dengan metode difusi dan didapatkan zona hambat paling besar pada sample ZnO-20 sebesar 8,3 mm.

Kata kunci: ZnO, ekstrak daun jambu biji, XRD, SEM, antibakteri.

ABSTRACT

SYNTHESIS OF NANO ZnO USING GUAJAVA LEAF EXTRACT

(*Phidium guajava L*)

By

PUTRI VIDIA CITRA

Nano ZnO has been made using guajava leaf extract. This research aims to determine the effect of adding guajava leaf extract on the structure and morphology of nano ZnO and determine the size of the nano ZnO formed. Variations in guajava leaf extract used were 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml and 50 ml. The characterization used is X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and an antibacterial test is also carried out. The results of XRD characterization show that the phase formed is the Wurtzite phase, with the largest particle size in the ZnO-10 sample, namely 27.78 nm. The SEM characterization results show that the structure formed in this study is hexagonal with a crystal ball-shaped ZnO nano morphology. Nano ZnO was tested to be antibacterial by testing using the diffusion method and the largest zone of inhibition was found in the ZnO-20 sample at 8.3 mm.

Keywords: ZnO, guava leaf extract, XRD, SEM, antibacterial

SINTESIS NANO ZnO MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI
(Phidium guajava L)

Oleh

Putri Vidia Citra
2027041006

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

MAGISTER SAINS

Pada

Program Studi Magister Fisika

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

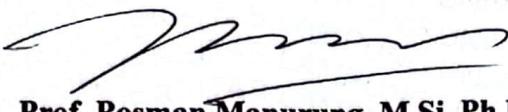
UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

Judul	: SINTESIS NANO ZnO MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (<i>Phidium Guava L</i>)
Nama Mahasiswa	: PUTRI VIDIA CITRA
Nomor Pokok Mahasiswa	: 2027041006
Program Studi	: Magister Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



 Pembimbing I  Prof. Posman Manurung, M.Si, Ph.D.
 NIP. 198206182008121001
 Pembimbing II  Dra. Dwi Asmi, M.Si, Ph.D.
 NIP. 196510211995122001

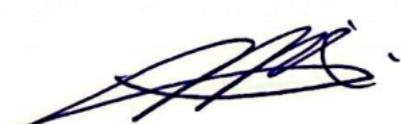
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si, M.T.
 NIP. 198010102005011002

Ketua Program Studi
 Magister Fisika



Dr. Junaidi, S.Si, M.Sc.
 NIP. 198206182008121001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketua

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



Sekertaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing: 1. Dr. Junaidi, S.Si, M.Si

2. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Mursadi, M.Si.

NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 29 Mei 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini yang berjudul “**Sintesis Nano ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Jambu Biji (*Phidium Guava L*)**” tidak terdapat karya orang lain yang sama persis. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis, kecuali yang diacu dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka. Saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Juni 2024



Putri Vidia Citra

NPM 2027041006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 13 November 1996 dari pasangan Bapak Syafe'i MS dan Ibu Pertiwi Handayani sebagai anak pertama dari dua bersaudara.

Penulis telah menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Panjang Utara tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 16 Bandar Lampung pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 10 Bandar Lampung pada tahun 2015.

Pada tahun 2019 penulis menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Tahun 2020 penulis melanjutkan Program Magister Fisika dengan penelitian Sintesis Nano ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Jambu Biji (*Phidium Guava L*) di Program Studi Magister Fisika, Universitas Lampung.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”.- QS. Al Baqarah: 286

“Dan janganlah kamu merasa lemah dan janganlah pula bersedih hati, sebab kamulah yang paling tinggi derajatnya jika kamu orang-orang yang beriman”.- QS. Ali Imran: 139

“Bersemangatlah atas hal-hal yang bermanfaat bagimu. Minta tolonglah pada Allah, jangan engkau lemah’.- HR. Muslim

“They don’t like you. Let them go! They gossip about you? Let them go! They backstab you? Let them go! They cheat you? They hurt you? They lie to you? Let them go! Let them go!! It’s 2024, we don’t have time for toxic leeches in our lives”.- astar4real

PERSEMBAHAN

Dengan ketulusan dan rasa syukur kepada Allah SWT kupersembahkan karya ini kepada:

KEDUA ORANG TUA KU TERCINTA

Motivator terhebat dalam hidupku dan adikku yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, semangat serta mendo'akan kesuksesan dan keberhasilanku.

“Keluarga besar, sahabat dan rekan terbaik dalam hidup”

“Almamater Tercinta Universitas Lampung”

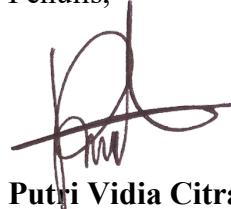
KATA PENGANTAR

Alhamdulillahi rabbil'alamin, segala puji hanya milik Allah SWT atas limpahan rahmat, kesehatan dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Sintesis Nano ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Jambu Biji (*Phidium Guava L*)”**. Adapun tujuan utama penulisan tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains dari Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penulisan tesis ini masih banyak kekurangan dalam penulisan dan penyusunan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, Juni 2024

Penulis,



Putri Vidia Citra

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT, Rabb semesta alam yang menciptakan langit dan bumi serta penguasa atas semua makhluk. Alhamdulillah penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan penulisan tesis ini, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, Ayah dan Ibu tercinta (Bapak Syafe'i. MS dan Ibu Pertiwi Handayani) yang selalu mendo'akan kebaikan bagi penulis.
2. Bapak Prof. Posman Manurung, Ph.D., sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama penelitian, dan memberikan arahan dalam penyelesaian tesis penulis.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D sebagai Pembimbing II dan sekaligus selaku Ketua Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang memberikan masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc sebagai Penguji I yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis dan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si., sebagai Penguji II yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis.
6. Rektor Universitas Lampung Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM, ASEAN Eng.

7. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
8. Direktur Program Pascasarjana Prof. Dr. Ahmad Soudi Samosir, S.T., M.T.
9. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si., sebagai Pembimbing Akademik.
10. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
11. Adikku tercinta Mahsa Anindya Mahirah yang telah mendo'akan dan memberi semangat.
12. Teman seperjuangan penelitian Mia Abi Nisa yang sampai saat ini selalu memberi masukan maupun sebagai tempat diskusi.
13. Sahabatku Ulfah Nurini yang telah memberikan banyak waktunya untuk membantu saya dalam menjalankan pendidikan saya.
14. Sahabat saya lainnya yaitu Hi-five yang selalu memberikan dukungan dan doa terbaiknya selama ini.

Semoga Allah SWT senantiasa memberi rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, Juni 2024

Penulis,



Putri Vidia Citra

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Masalah.....	4
D. Batasan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO)	6
B. Daun Jambu Biji	8
C. Sintesis Hidrotermal	11
D. Difraksi Sinar-X (<i>X-Ray Diffraction</i>)	12
E. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	16
F. ZnO Sebagai Antibakteri	18
G. Metode Difusi	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat penelitian.....	22
B. Alat dan Bahan.....	22

	Halaman
C. Prosedur Penelitian.....	23
1. Pembuatan larutan ekstrak daun jambu biji	23
2. Sintesis nano ZnO	23
3. Karakterisasi	24
4. Uji antibakteri	24
D. Diagram Alir Penelitian	26
1. Pembuatan ekstrak daun jambu biji	26
2. Sintesis nano ZnO.....	27
3. Uji antibakteri	28

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis XRD Nano ZnO.....	29
B. Hasil Analisis SEM nano ZnO.....	35
C. Uji Antibakteri.....	38

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	41
B. Saran.....	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur Kristal ZnO: (a) kubik rocksalt, (b) zinc blende, dan (c) heksagonal wurtzite	7
Gambar 2.2. Daun Jambu Biji	8
Gambar 2.3. Senyawa Fenol	10
Gambar 2.4. Diagram sinar-X	13
Gambar 2.5. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang	14
Gambar 2.6. Skema SEM	16
Gambar 2.7. Pengukuran zona hambat	21
Gambar 3.1. Diagram pembuatan ekstrak daun jambu biji	25
Gambar 3.2. Diagram sintesis nano ZnO	26
Gambar 3.3. Diagram uji antibakteri	27
Gambar 4.1. Difraktogram XRD Sintesis Nano ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Jambu Biji (a) ZnO-10 (b) ZnO-20 (c) ZnO-30 (d) ZnO 40 (e) ZnO-50	29
Gambar 4.2. Hasil <i>refinement</i> data XRD ZnO (a) ZnO-10 (b) ZnO-20 (c) ZnO-30 (d) ZnO-40 (e) ZnO-50.....	32
Gambar 4.3. Hasil <i>output refinement</i> (a) Sel parameter a=b (b) Sel parameter c.....	34
Gambar 4.4. Hasil SEM pada sampel ZnO-10	35
Gambar 4.5. Hasil SEM pada sampel ZnO-20	36
Gambar 4.6. Hasil pengujian antibakteri (a) sampel ZnO-10 (b) sampel ZnO-20.....	37

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Variasi ekstrak daun jambu biji	22
Tabel 4.1. Hasil perhitungan ukuran partikel	29
Table 4.2. Hasil <i>refinement XRD</i> pada setiap sampel.....	32
Tabel 4.3. Hasil pengukuran partikel menggunakan software ImageJ.....	36
Tabel 4.4. Hasil pengukuran zona hambat	38
Tabel 4.5. Kategori kekuatan daya hambat (Surjowardjo <i>et al.</i> , 2015).....	38

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini nanomaterial menjadi perhatian besar bagi seluruh aspek perkembangan teknologi, hal tersebut disebabkan oleh sifat-sifat yang dimiliki material pada skala nano (<100 nm) berbeda dengan sifat yang dimiliki material berukuran besar (*bulk*) walaupun berasal dari bahan yang sama. Sebagai contoh dari banyaknya jumlah studi penelitian pada sifat elektronik dan termal yang menunjukkan ketergantungan terhadap ukuran partikel. Selain itu, dengan semakin kecil ukuran partikel menyebabkan jumlah atom yang berada dipermukaan menjadi lebih banyak sehingga rasio antara jumlah atom dipermukaan terhadap volume partikel menjadi lebih besar (*higher effective surface effect*) begitu pula dengan sifat reaksinya (Cao, 2004).

Perkembangan nanoteknologi ini sangat berkembang pesat mulai dari lingkup penelitian sampai ke pengaplikasian pada bidang-bidang industri komersial dan kesehatan. Beberapa contoh bahan yang dapat dijadikan nanomaterial diantaranya: ZnO, TiO₂, Al₂O₃, CuO, MgO dan SnO₂ (Behera, 2009). ZnO dapat dijadikan material semikonduktor karena menunjukkan sifat-sifat optik dan kelistrikan yang baik sehingga memiliki potensi aplikasi yang baik dalam bidang elektronik,

optoelektronik dan sensor. ZnO memiliki beberapa sifat unggul (elektronik, termal dan optik) dibandingkan bahan metal oksida lainnya seperti lebar *direct band gap* sebesar 3,37 eV pada suhu ruang, semikonduktor tipe-n (tanpa doping), besar *excitation binding energy* yang cukup tinggi (60 meV), titik leleh yang tinggi pada suhu 1975 °C (2248 K), optik transmitan (>80%, n=2.008) pada daerah cahaya tampak, konduktivitas termal pada suhu ruang sebesar 37 W/mK dan tidak beracun (Panwar, 2009).

Dalam sintesisnya nanomaterial memiliki banyak metode yang dapat digunakan, seperti *solid state*, sol-gel dan hidrotermal (Ahmad and J, 2011). Metode hidrotermal merupakan salah satu teknik mempabrikasi kristal dalam lingkup cairan. Metode hidrotermal memiliki beberapa kelebihan diantaranya dapat menghasilkan serbuk dengan tingkatan kristalinitas yang tinggi dan juga dapat menggunakan suhu rendah (Lee *et al.*, 2000). Metode hidrotermal dilakukan dengan suhu <150 °C, memiliki kelebihan dapat mengurangi penggumpalan (aglomerasi) partikel, menghasilkan ukuran kristal yang relatif (Anggoro, 2018).

Untuk memperluas nano ZnO Rahma dkk (2020) menggunakan bahan awal zinc nitrat tetrahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) dengan metode hidrotermal dan variasi NaOH yang digunakan 1 : 2 : 3 : 4 gram. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk wurtzite dengan struktur heksagonal. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa ukuran rata-rata partikel ZnO dan nilai eror pada variasi 1 gram adalah 67 ± 3 nm, sedangkan pada variasi 3 gram adalah 76 ± 6 nm.

Salah satu pengembangan sintesis nanomaterial saat ini adalah menggunakan ekstrak tumbuhan. Saputra dkk. (2020), melakukan penelitian untuk memperoleh ZnO dari ekstrak daun tin (*Ficus carica Linn*) dengan ukuran rata-rata 15,9 nm, sedangkan Elumalai *et al.* (2015) menggunakan daun mimba (*Azadirachta indica*) dan mendapatkan nano ZnO dengan ukuran rata-rata 40 nm. Hal ini membuktikan keefektifan ekstrak daun tumbuhan sebagai agen pereduksi untuk pembentukan ZnO dan menghasilkan ukuran yang sangat sesuai dengan skala nano.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nano ZnO menggunakan ekstrak daun jambu biji dengan metode hidrotermal. Hasil dari nano ZnO dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terikat pada sampel ekstrak daun jambu biji, XRD untuk mengetahui kristalinitasnya dan SEM untuk melihat bentuk morfologinya.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak daun jambu biji terhadap struktur dan morfologi nano ZnO?
2. Berapakah ukuran nano ZnO yang terbentuk?
3. Berapakah daya hambat nano ZnO sebagai antibakteri?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan ekstrak daun jambu biji terhadap struktur dan morfologi nano ZnO.
2. Mengetahui ukuran nano ZnO yang terbentuk.
3. Untuk mengetahui daya hambat nano ZnO sebagai antibakteri.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu zinc nitrat tetrahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), ekstrak daun jambu biji, aquabides, Etanol 96% dan bakteri *Bacillus sp.*
2. Variasi yang digunakan pada ekstrak daun jambu biji sebesar 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml dan 50 ml.
3. Proses sintesis nano ZnO menggunakan metode green synthesis dan hidrotermal dengan suhu 80 °C selama 3 jam.
4. Kalsinasi pada suhu 450 °C selama 2 jam.
5. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan XRD dan SEM.
6. Pengujian antibakteri menggunakan metode dilusi.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh pada penelitian ini sebagai berikut:

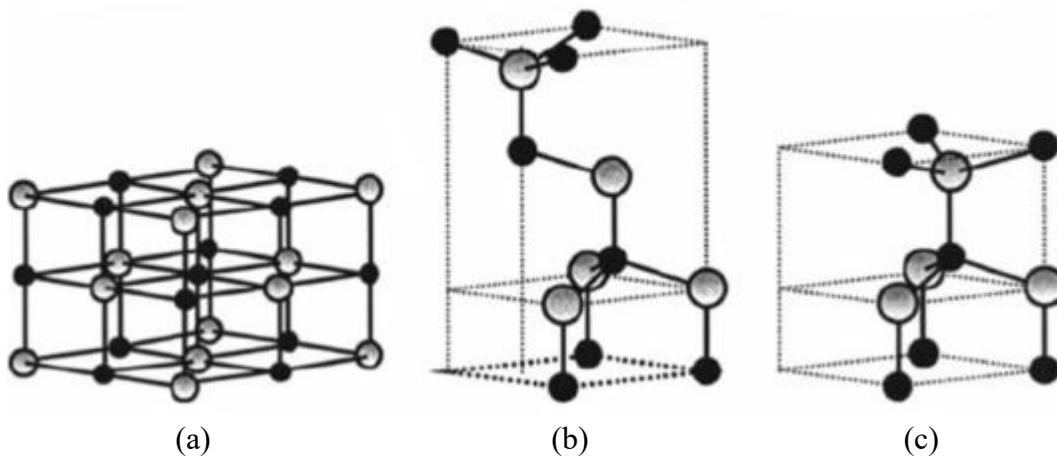
1. Dapat mengetahui pengaruh penambahan ekstrak daun jambu biji terhadap struktur dan morfologi nano ZnO.
2. Dapat mengetahui ukuran nano ZnO yang terbentuk.
3. Dapat mengetahui bahwa nano ZnO memiliki daya hambat sebagai antibakteri.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO)

Nanopartikel adalah partikel dengan ukuran 1-100 nm. Seng oksida merupakan komponen anorganik dengan rumus kimia ZnO dan merupakan senyawa semikonduktor paduan golongan II dan IV 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 (Sirelkhatim *et al.*, 2015). 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 *blocking agent* sinar ultraviolet, mobilitas elektron yang tinggi, energi gap yang lebar, energi *exciton* yang tinggi membuat bahan ZnO banyak memasuki dunia industri dan merupakan salah satu bahan dasar yang sangat penting di dalam masyarakat modern saat ini (Panwar, 2009).

Beberapa penggunaannya juga dapat ditemukan pada cat, kosmetik, pembuatan plastik, elektronik dan farmasi. Seng oksida mengkristal dalam tiga fasa yaitu kubik *rocksalt*, *zinc blende* dan heksagonal *wurtzite*. Jenis-jenis struktur kristal ZnO ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Struktur Kristal ZnO: (a) kubik rocksalt, (b) zinc blende, dan (c) heksagonal wurtzite (Sirelkati *et al.*, 2015).

Bentuk *wurtzite* pada ZnO merupakan struktur kristal yang paling stabil pada suhu kamar. ZnO memiliki sifat yang unggul dan dapat diaplikasikan dalam bidang optik, optoelektronik. Meski ZnO terdapat pada kerak bumi dalam bentuk mineral yang dinamakan *zincite*, namun pada umumnya produksi ZnO secara komersial dilakukan secara sintesis. ZnO memiliki tiga bentuk Kristal berdimensi satu (1D) seperti batang, tabung, kawat, dan *nail*. Berdimensi dua (2D) seperti *sheet*, *hexagon*, *tower*, dan sisi-sisu. Berdimensi tiga (3D) seperti bunga (Xu *et al.*, 2016).

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 demikian dapat meningkatkan efisiensi sel surya organik.

Selain digunakan pada sel surya, ZnO juga dapat berfungsi sebagai elektroluminisens, nano material dan laser untuk piranti pemancar ultraviolet (Azizi *et al.*, 2014).

B. Daun Jambu Biji

Tanaman jambu biji berasal dari Amerika tropis, tumbuh pada tanah yang gembur maupun liat, pada tempat terbuka dan mengandung air cukup banyak. Tanaman ini banyak ditanam sebagai pohon buah. Namun, sering tumbuh liar dan dapat ditemukan pada ketinggian 1-1200 mdpl. Pohon jambu biji berbunga sepanjang tahun dan memiliki percabangan banyak. Daun jambu biji merupakan daun tidak lengkap karena daunnya hanya terdiri dari tangkai (petiolus) dan helaian (lamina) saja yang disebut daun bertangkai (Shruthi *et al.*, 2013). Berikut gambar daun jambu biji ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Daun jambu biji.

Daun jambu biji (*Psidium guajava* L.) memiliki kandungan senyawa fenol yang cukup banyak diantaranya tanin dan flavonoid, sehingga daun jambu biji bersifat antimikroba (Rhamdiyah dkk, 2022). Daun jambu biji mengandung metabolit sekunder yaitu terdiri dari tannin, polifenol, flavonoid, monoterpenoid, siskulterpen, alkaloid, kuinon dan saponoid, vitamin B1, B2, B3, B6 dan vitamin C. Beberapa kandungan akan dijelaskan sebagai berikut (Iravani, 2011):

a. Tanin

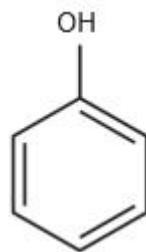
Komponen utama dari daun jambu yaitu tannin yang besarnya mencapai 90.000-150.000 ppm atau sekitar 9%. Pada tanin merupakan senyawa “growth inhibitor” bersifat antibakteri dengan cara mempresipitasi protein. Efek antimikroba tanin melalui reaksi dengan membran sel, inaktivasi enzim, destruksi atau inaktivasi fungsi materi genetik.

b. Alkaloid

Senyawa alkaloid secara umum dikenal sebagai golongan tanin yang dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan. Alkaloid mengandung nitrogen efek farmakologi bagi manusia dan hewan. Alkaloid mengandung nitrogen dan merupakan turunan dari asam amino yang memiliki rasa pahit. Alkaloid memiliki efek farmakologi pada manusia dan hewan sebagai zat antibakteri. Hal ini disebabkan karena alkaloid mempunyai kemampuan dalam menghambat kerja enzim untuk mensintesis protein bakteri. Penghambatan kerja enzim ini dapat mengakibatkan metabolisme bakteri terganggu. Alkaloid juga dapat merusak komponen penyusun peptidoglikan pada sel bakteri, sehingga lapisan dinding sel tidak terbentuk secara utuh dan menyebabkan kematian pada sel tersebut.

c. Fenol

Fenol adalah senyawa yang mempunyai sebuah cincin aromatik dengan satu atau lebih gugus hidroksil. Mekanisme yang menyebabkan penghambatan dalam pertumbuhan bakteri diduga disebabkan karena adanya interaksi senyawa fenol dengan sel bakteri. Senyawa-senyawa ini berikatan dengan protein pada bakteri dan membentuk kompleks protein-fenol. Pada konsentrasi rendah, terbentuk kompleks protein-fenol dengan ikatan yang lemah dan selanjutnya mengalami peruraian, kemudian merusak membran sitoplasma dan menyebabkan kebocoran isi sel, sehingga pertumbuhan bakteri terhambat. Senyawa fenol masuk ke dalam sel bakteri melewati dinding sel bakteri dan membran sitoplasma, di dalam sel bakteri senyawa fenol menyebabkan penggumpalan protein penyusun protoplasma sehingga dalam keadaan demikian metabolisme menjadi inaktif, dan pertumbuhan bakteri menjadi terhambat. Senyawa yang dapat diisolasi dari tumbuhan *Syzygium zeylanicum* bernama zeylaniin A yang termasuk ke dalam golongan senyawa aromatik. Berikut senyawa fenol ditunjukkan pada **Gambar 2.3.**



Gambar 2.3. Senyawa fenol.

h. Flavonoid

Flavonoid berupa senyawa yang larut dalam air. Flavonoid terdapat dalam semua tumbuhan berpembuluh dan dijumpai hanya sebagai campuran, karena jarang sekali dijumpai flavonoid tunggal dalam jaringan tumbuhan. Senyawa flavonoid

diketahui telah disintesis oleh tanaman dalam responnya terhadap infeksi mikroba sehingga tidak mengherankan jika senyawa ini efektif terhadap sejumlah mikroorganisme. Flavonoid ini juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Staphyococcus aureus*.

Tumbuhan umumnya hanya menghasilkan senyawa flavonoid tertentu. Keberadaan flavonoid pada tingkat spesies, genus atau familia menunjukkan proses evolusi yang terjadi sepanjang hidupnya, bagi tumbuhan senyawa flavonoid berperan dalam pertahanan diri terhadap lingkungan. Senyawa Flavonoid telah dilaporkan berfungsi sebagai antibakteri. Sebagai antibakteri flavonoid dapat menghambat pertumbuhan bakteri secara *in vitro*. Flavonoid dapat mengganggu proses difusi makanan ke dalam sel sehingga perumbuhan bakteri terhenti dan akhirnya mati. Senyawa flavonoid adalah senyawa-senyawa polifenol yang mempunyai 15 atom karbon, terdiri dari dua cincin benzene yang dihubungkan menjadi satu oleh rantai linier yang terdiri dari tiga atom karbon. Flavonoid terdapat secara universal pada tumbuhan sebagai kelompok tunggal senyawa cincin oksigen yang terbesar. Kandungan flavonoid yang merupakan senyawa fenol dapat menyebabkan penghambatan terhadap sintesis dinding sel. Oleh karena itu flavonoid merupakan komponen antimikroba yang potensial (Noerbaeti, 2016).

C. Sintesis Hidrotermal

Metode hidrotermal adalah suatu proses yang menggunakan reaksi – reaksi fasa tunggal atau heterogen di dalam larutan air pada suhu tinggi ($T > 25^{\circ}\text{C}$) dan

tekanan > 100 kPa untuk mengkristalisasi material keramik langsung dari larutan. Metode hidrotermal dipilih karena relatif sederhana tanpa menggunakan peralatan yang rumit dan mahal, selain itu juga mempunyai beberapa keuntungan seperti pemanasan cepat, reaksi cepat, hasil lebih bagus, kemurnian tinggi dan efisiensi transformasi energi tinggi (Sadat *et al.*, 2011).

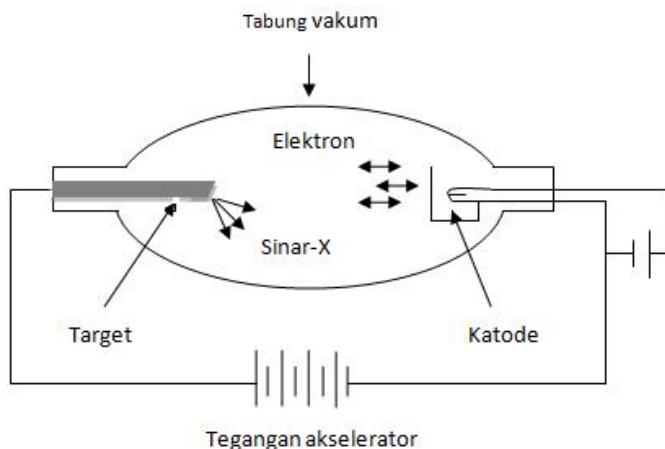
Metode hidrotermal dengan suhu rendah merupakan metode yg digunakan untuk mensintesis nanopartikel dalam pelarut air distilled dan pemanasan pada suhu rendah. Metode ini sesuai untuk menghasilkan bentuk dan komposisi kristal yang diinginkan. Metode hidrotermal suhu rendah mempunyai beberapa kelebihan, yaitu (Alqab dan Sopyan, 2009):

1. Suhu relatif rendah untuk reaksi.
2. Menghasilkan partikel dengan kristalinitas tinggi.
3. Kemurnian tinggi.
4. Distribusi ukuran partikel yang homogen.

D. Difraksi Sinar-X (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X atau yang dikenal dengan XRD adalah alat yang digunakan untuk menentukan struktur dan pengenalan bahan-bahan baik keramik, logam, gelas maupun komposit. Teknik dasar XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi untuk mendapatkan ukuran partikel (Fajaroh dkk, 2009).

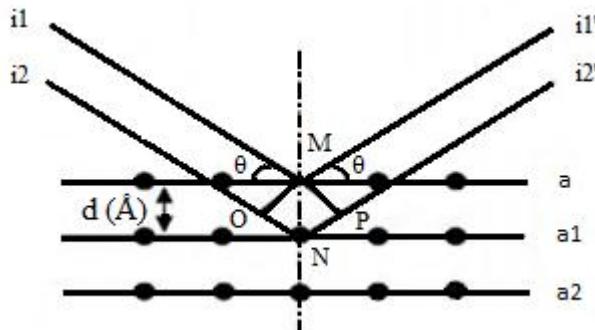
Sinar-X memiliki energi mulai dari sekitar 200 sampai 1 MeV yang ditempatkan diantara sinar- γ dan sinar ultraviolet (UV) dalam spektrum elektromagnetik. Seperti yang diketahui, sinar-x dihasilkan oleh interaksi antara sinar elektron dan elektron eksternal sebuah atom. Panjang gelombang sinar-X bervariasi yaitu antara 10 nm sampai 1 pm. Kisaran gelombang yang berguna untuk studi difraksi sinar-X adalah antara 0,05 sampai 0,25 nm. Jarak interatomik dalam kristal biasanya 0,2 nm (Rosenauer, 2003). Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi beragam bahan, seperti logam, mineral, polimer, katalis, plastik, farmasi, protein, lapisan tipis, keramik dan semikonduktor (McMahon, 2007).



Gambar 2.4. Diagram sinar-X (McMahon, 2007).

Metode difraksi sinar-X memegang peran yang sangat penting untuk analisis padat kristalin, yaitu untuk meneliti ciri utama struktur (parameter kisi dan tipe struktur), dan untuk mengetahui rincian lain misalkan susunan berbagai jenis atom dalam kristal, keberadaan cacat, ukuran butiran, orientasi, ukuran dan kerapatan-presipitat. Oleh karena pola difraksi untuk tiap unsur pada **Gambar 2.4** adalah spesifik, maka metode ini sangat akurat untuk menentukan komposisi unsur dan

senyawa yang terkandung dalam suatu sampel, karena pola yang terbentuk seperti *fingerprint* dari suatu materi (Vlack, 1959). Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang (Cullity, 1978).

Berdasarkan **Gambar 2.5**, difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang atom paralel a dan a_1 yang terpisah oleh jarak d . Dua berkas sinar-X yaitu a dan a_1 dianggap bersifat paralel, monokromatik dan koheren dengan panjang gelombang λ datang pada bidang dengan sudut θ . Jika kedua berkas tersebut terdifraksi berturut-turut oleh M dan N menjadi i_1' dan i_2' yang masing-masing akan membentuk sudut θ terhadap bidang dan bersifat paralel, monokromatik dan koheren. Perbedaan panjang antara i_1-M-i_1' dengan i_2-N-i_2' adalah sama dengan n panjang gelombang, maka persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n\lambda = ON + NP$$

$$n\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta$$

$$= 2 d \sin \theta \quad (8)$$

Persamaan (8) dikenal sebagai Hukum Bragg, dengan n pada bidang tersebut bernilai 1. Persamaan tersebut dapat diturunkan menjadi

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (9)$$

dimana λ = panjang gelombang (m), d = jarak (m), dan θ = sudut difraksi (Richman, 1967). Karena nilai $\sin \theta$ tidak melebihi 1, maka pengamatan berada pada interval $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$, sehingga

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta < 1 \quad (10)$$

Dari persamaan (10) untuk memenuhi nilai $\sin \theta$, maka kondisi untuk difraksi pada sudut 2θ yang teramati adalah

$$\lambda < 2d \quad (11)$$

Persamaan (11) menjelaskan bahwa panjang gelombang sinar-X yang digunakan untuk menentukan struktur kristal harus lebih kecil dari jarak antar atom (Cullity, 1978).

Untuk dapat melihat besarnya ukuran partikel pada hasil XRD yang telah diperoleh diperlukannya persamaan yang didasarkan pada rumus Scherrer, seperti pada Persamaan (12),

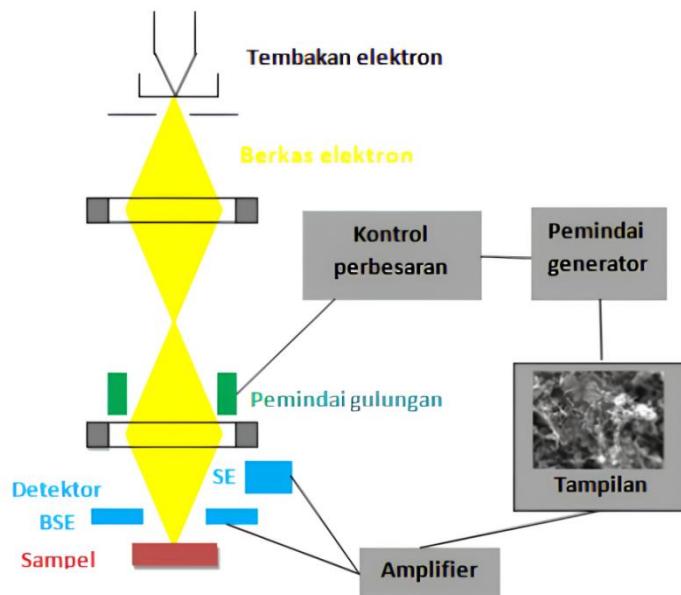
$$L = \frac{0,9\lambda}{B \cos\theta} \quad (12)$$

dengan L adalah diagonal terpanjang suatu Kristal, B adalah lebar puncak pada *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Dalam rumus Scherrer ini satuannya adalah radian. Bila data difraksi masih diantara sudut 2θ dan intensitas, maka FWHM satunya adalah derajat ($^\circ$) dan satuan derajat ini harus dirubah menjadi radian dimana 1° sebesar 0,01745.

E. Scanning Elektron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan karena memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simpel dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel (Cullity, 1978).

SEM digunakan pada sampel yang tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Adanya elektron yang terdifraksikan dapat diamati dalam bentuk pola-pola difraksi. Pola-pola difraksi yang tampak sangat bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. SEM juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data-data kristalografi, sehingga hal ini dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa (Reed, 1993).



Gambar 2.6. Skema SEM (Reed, 1993).

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada **Gambar 2.6**, dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan *strike* yang lain adalah Tabung Sinar Katoda atau *Cathode Ray Tube* (CRT) memberi tampilan yang dapat dilihat oleh operator. Akibat tumbukan pada spesimen dihasilkan satu jenis elektron dan emisi foton. Sinyal yang terpilih dikoleksi, dideteksi dan dikuatkan untuk memodulasi tingkat keterangan dari sinar elektron yang kedua, maka sejumlah besar sinar akan menghasilkan bintik gelap. SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan *scanning* (Reed, 1993).

Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, yaitu *electron column* dan *display console*. *Electron column* merupakan model *electron beam scanning*, sedangkan *display console* merupakan elektron sekunder yang di dalamnya terdapat CRT. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus. Pistol termionik di mana pancaran elektron tercapai dengan pemanasan tungsten atau filamen katode pada suhu 1500 K sampai 3000 K. Katode adalah kutub negatif yang dibutuhkan untuk mempercepat tegangan E_o kali elektron Volt (KeV). Pistol termionik sangat luas penggunaanya karena relatif aman untuk digunakan dalam tabung vakum 10^{-9} Torr, atau lebih kecil dari itu. Sumber alternatif lain dari pistol *field emission* di mana ujung kawat wolfram yang tajam dihubungkan tertutup dengan anode ekstraksi dan diterapkan potensional sampai beberapa ribu Volt (Reed, 1993).

Elektron yang keluar dari kawan wolfram tidak membutuhkan pemanasan yang dapat dilakukan pada suhu kamar, menuju tabung vakum yang dipercepat seperti pada pistol termionik ke arah anode. Pistol *field emission* tergantung dari permukaan emitter yang secara otomatis bersih, sehingga harus bekerja pada operasi kevakuman yang ultra tinggi kira-kira 10^{-9} Torr, namun jika lebih besar maka akan lebih baik. Jarak panjang emitter *electron column*. Pemancaran elektron dari elektron column pada *chamber* harus dipompa dukup vakum menggunakan *oil-difussion, turbo molecular*, atau pompa ion (Chan and Beck, 1993).

SEM dilengkapi dengan EDS yang dapat menentukan unsur dan analisis komposisi kimia. Bila suatu berkas elektron ditembakkan atau dikenai pada sampel akan terjadi interaksi berupa elektron yang keluar dari atomnya, maka elektron tersebut mempunyai tingkat energi lebih rendah dari yang lain. Hal ini menyebabkan atom menjadi kurang stabil, sedangkan suatu atom mempunyai kecenderungan ingin menjadi stabil. Oleh karena itu, elektron yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi akan turun (transisi) ke tingkat yang lebih rendah (Chan and Beck, 1993).

F. ZnO Sebagai Antibakteri

Salah satu antibakteri yang berkembang saat ini yakni menggunakan bahan nanomaterial yang didapatkan melalui sintesis nanopartikel. Salah satu material nanopartikel adalah seng oksida (ZnO). Material nano ZnO dapat digunakan

sebagai senyawa antibakteri karena memiliki ion logam seng dan ukuran ZnO nanopartikel yang sangat kecil (nanometer) sehingga dapat terbentuknya spesies oksigen reaktif (*reactive oxygen species*) di dalam dinding sel bakteri yang mengakibatkan rusaknya dinding sel bakteri (Sirelkhatim et al, 2015).

Menurut penelitian Pasaribu dkk (2013) Zinc Oxide (ZnO) adalah suatu material yang mampu menghasilkan OH⁻, O₂⁺ dan H₂O₂ yang mampu merusak membran sel mikroorganisme sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif baru untuk membasmi bakteri S. Aureus. Semakin kecil ukuran nano ZnO maka semakin efektif menghambat perkembangan S. Aureus.

Pada penelitian Palanikumar et al (2019) juga mengatakan bahwa ZnO dapat digunakan sebagai agen antibakteri yang baik terhadap bakteri Gram positif dan Gram negatif.

G. Metode Difusi

Uji aktivitas antibakteri dapat dilakukan dengan metode difusi yang dilakukan dengan mengukur diameter zona bening (clear zone) yang merupakan petunjuk adanya respon penghambatan pertumbuhan bakteri oleh suatu senyawa antibakteri (Hermawan dkk, 2007). Metode difusi dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu

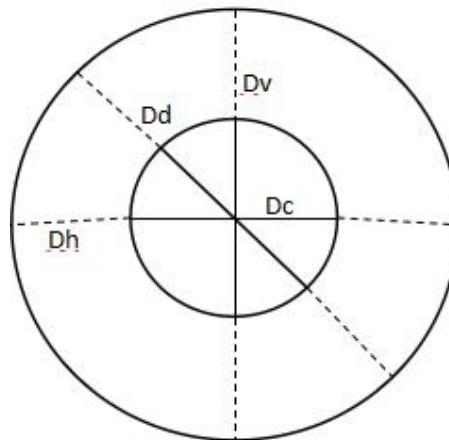
metode silinder, metode lubang/sumuran dan metode cakram kertas (Agustini, 2007).

- a. Metode silinder yaitu dengan menggunakan silinder gelas yang steril diletakkan di atas agar yang berisi suspensi mikroba yang telah membeku. Kemudian silinder tersebut diisi dengan zat yang akan diperiksa lalu diinkubasikan pada suhu 35 °C selama 18-24 jam. Lalu diameter hambatnya diukur. Kelebihan dari metode ini yaitu jumlah zat yang dimasukkan dalam media agar jelas, sedangkan kekurangannya mempunyai resiko tinggi karena silinder dapat jatuh.
- b. Metode perforasi yaitu media agar yang masih cair pada suhu 45-50 °C dicampurkan dengan suspensi mikroba pada cawan petri steril, kemudian dibiarkan membeku. Setelah agar membeku, dibuat lubang dengan perforator. Lubang tersebut dimasukkan zat yang akan diperiksa daya antimikrobanya. Kemudian diinkubasi selama 18-24 jam pada suhu 37 °C, lalu diameter yang terjadi diukur. Kelebihan metode ini adalah media yang digunakan tidak terlalu tebal sedangkan kekurangannya adalah terkadang lubang yang dibuat kurang sempurna.
- c. Metode cakram kertas yaitu metode dengan menggunakan cakram kertas saring yang mendukung zat antimikroba dengan kekuatan tertentu. Cakram kertas tersebut diletakkan pada permukaan agar yang telah ditanami mikroba uji, lalu diinkubasi selama 18-24 jam pada suhu 37 °C, kemudian diameter hambatnya diukur. Kelebihan dari metode ini adalah jumlah zat yang digunakan dapat diatur namun kekurangannya tidak kuantitatif.

Untuk mengetahui luas zona hambat, maka dilakukan perhitungan dengan rumus (Harti, 2015),

$$R = \frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc) + (Dd - Dc)}{3} \quad (13)$$

Dimana R adalah diameter zona hambat, Dv adalah diameter vertikal, Dh adalah diameter horizontal, Dd adalah diameter diagonal dan Dc adalah diameter kertas cakram seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Pengukuran zona hambat

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 sampai Februari 2024 di Laboratorium Fisika Material Universitas Lampung, karakterisasi XRD di Laboratorium Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), karakterisasi SEM di PUI Baterai Litium Universitas Sebelas Maret dan Uji antibakteri di Laboratorium Biologi Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass*, gelas ukur, spatula, *micro pipet*, pipet tip, corong, neraca digital, *magnetic stirrer*, *stir bar*, *centrifuge*, oven, kertas saring, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, batang drigalsky, XRD dan SEM. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun jambu biji, zinc nitrat tetrahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), etanol 96%, aquabides, media Nutrient Agar (NA) dan Nutrient Broth (NB).

C. Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu pembuatan larutan ekstrak daun jambu biji, sintesis nano ZnO, karakterisasi dan uji antibakteri.

1. Pembuatan larutan ekstrak daun jambu biji

Proses eksktraksi dilakukan dengan metode maserasi yaitu serbuk daun jambu biji sebanyak 500 gram dimasukan ke dalam botol yang berisi etanol 96 % selama 24 jam (Mukhriani, 2014). Hasil maserasi tersebut disaring menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat. Filtrat dari hasil maserasi akan diuapkan menggunakan alat penguap putar vakum (*rotary evaporator*) pada suhu 50 °C hingga menghasilkan ekstrak pekat.

2. Sintesis nano ZnO

Mencampurkan ekstrak daun jambu biji dengan 2 gram Zn(NO₃)₂.4H₂O dan di stirrer selama 2 jam pada suhu 80 °C (Saputra dkk, 2020). Kemudian didiamkan dalam suhu ruang sampai dingin. Selanjutnya larutan disaring dan dibilas dengan etanol serta aquabides beberapa kali sehingga memperoleh endapan. Kemudian endapan dikeringkan pada suhu 100 °C selama 3 jam. Variasi ekstrak daun jambu biji yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Variasi ekstrak daun jambu biji

Sampel	Ekstrak Daun Jambu Biji (ml)	Zn(NO ₃) ₂ .4H ₂ O (g)
ZnO-10	10	2
ZnO-20	20	2
ZnO-30	30	2
ZnO-40	40	2
ZnO-50	50	2

3. Karakterisasi

Pada tahap ini sampel akan dikarakterisasi menggunakan XRD yang bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel dan SEM untuk mengetahui struktur sampel.

4. Uji antibakteri

Uji antibakteri dilakukan dengan metode dilusi yang memiliki beberapa tahap sebagai berikut:

- a. Preparasi media NA dilakukan dengan cara mencampurkan serbuk NA dengan aquades 160 ml dan dipanaskan pada suhu 80 °C di atas *hot plate stirrer* sampai homogen. Setelah terlihat homogen tuangkan media NA ke 8 cawan petri dengan volume masing-masing 20 ml dan tunggu sampai padat selama 24 jam untuk melihat ada atau tidaknya kontaminasi pada media NA.
- b. Membuat larutan nano ZnO konsentrasi 10% dilakukan dengan melarutkan 1 gr serbuk nano ZnO dengan 10 ml aquades. Kemudian larutan nano ZnO tersebut dituangkan ke cawan petri sebanyak 10 ml. Selanjutnya meletakkan kertas cakram ke dalam cawan petri yang berisi larutan nano ZnO dan rendam selama 24 jam agar meresap.
- c. Preparasi bakteri *Bacillus sp* dilakukan dengan memasukkan 5 ml media NA ke dalam Tabung Agar Miring kemudian masukkan 1 ose bakteri *Bacillus sp* ke dalam Tabung Agar Miring media NA secara *streak* (zig-zag) dan tunggu selama 24 jam sampai tumbuh induk bakteri. Setelah induk bakteri tumbuh, induk bakteri diambil sebanyak 1 ose dan diinokulasi (dimasukkan) ke media

NB 100 ml, selanjutnya diinkubasi dengan *shaker incubator* selama 24 jam.

Suspensi bakteri *Bacillus* sp diambil 0,1 ml menggunakan *micro pipet* dan disebarluaskan ke cawan petri yang berisi NA padat kemudian diratakan dengan menggunakan batang *drigalsky*.

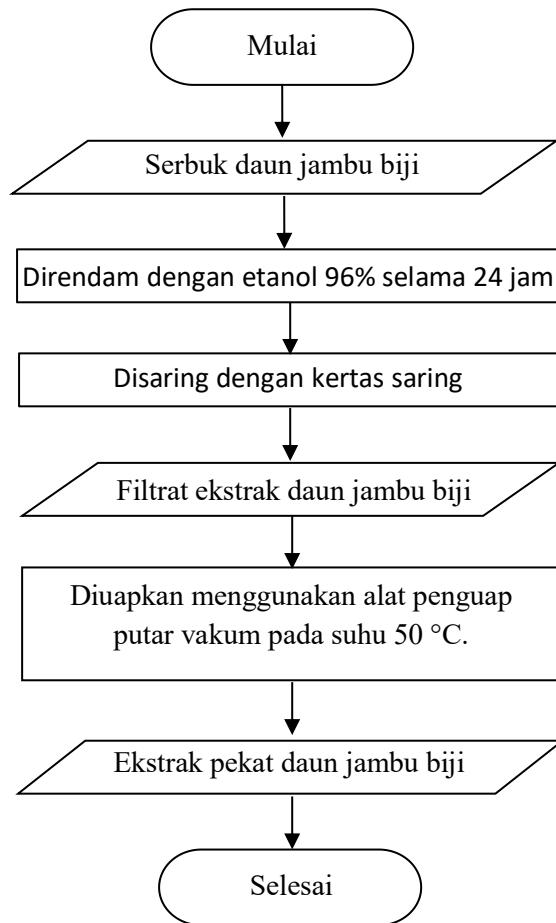
- d. Pengujian zona hambat antibakteri nano ZnO dilakukan dengan mengambil kertas cakram yang sudah bercampur dengan larutan nano ZnO dan meletakkannya dipermukaan cawan petri yang berisi bakteri *Bacillus* sp, kemudian diinkubasi didalam *incubator* suhu 37° selama 24 jam. Hasilnya sampel ZnO-10 dan ZnO-20 positif dapat menghambat bakteri *Bacillus* sp ditandai dengan munculnya zona jernih/zona hambat disekitar kertas cakram.
- e. Menghitung besarnya zona hambat antibakteri nano ZnO dilakukan dengan mengukur diameter zona jernih dan zona kertas cakram secara horizontal dan vertikal dan menghitung selisihnya.

D. Diagram Alir

1. Pembuatan ekstrak daun jambu biji

Diagram alir preparasi pembuatan ekstrak daun jambu biji ditunjukkan pada

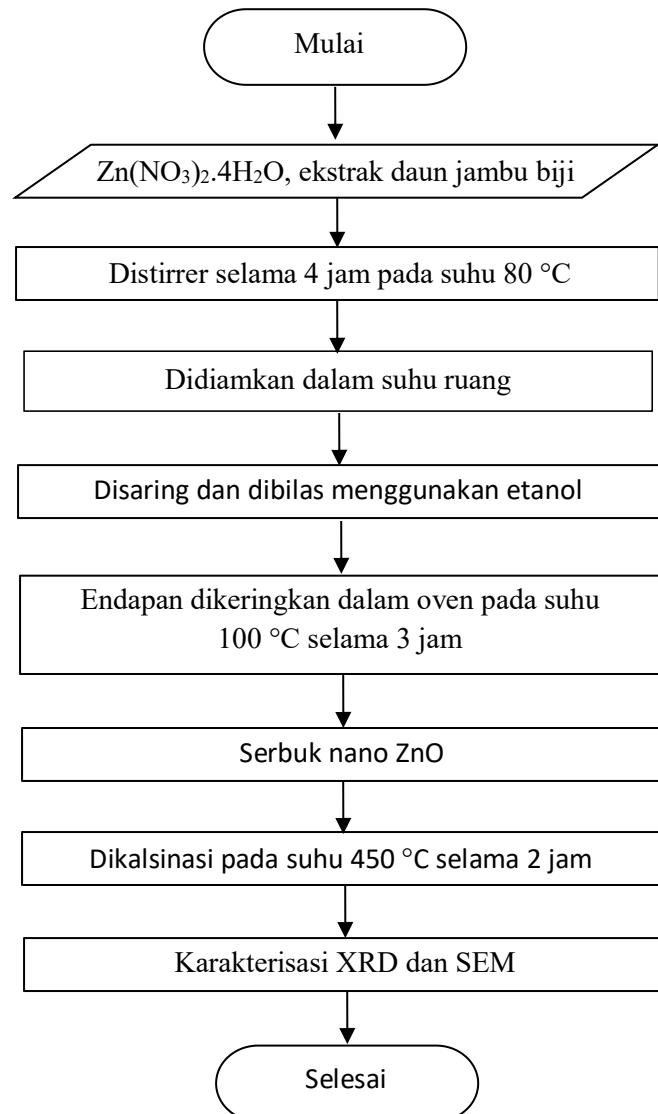
Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram pembuatan ekstrak daun jambu biji.

2. Sintesis nano ZnO

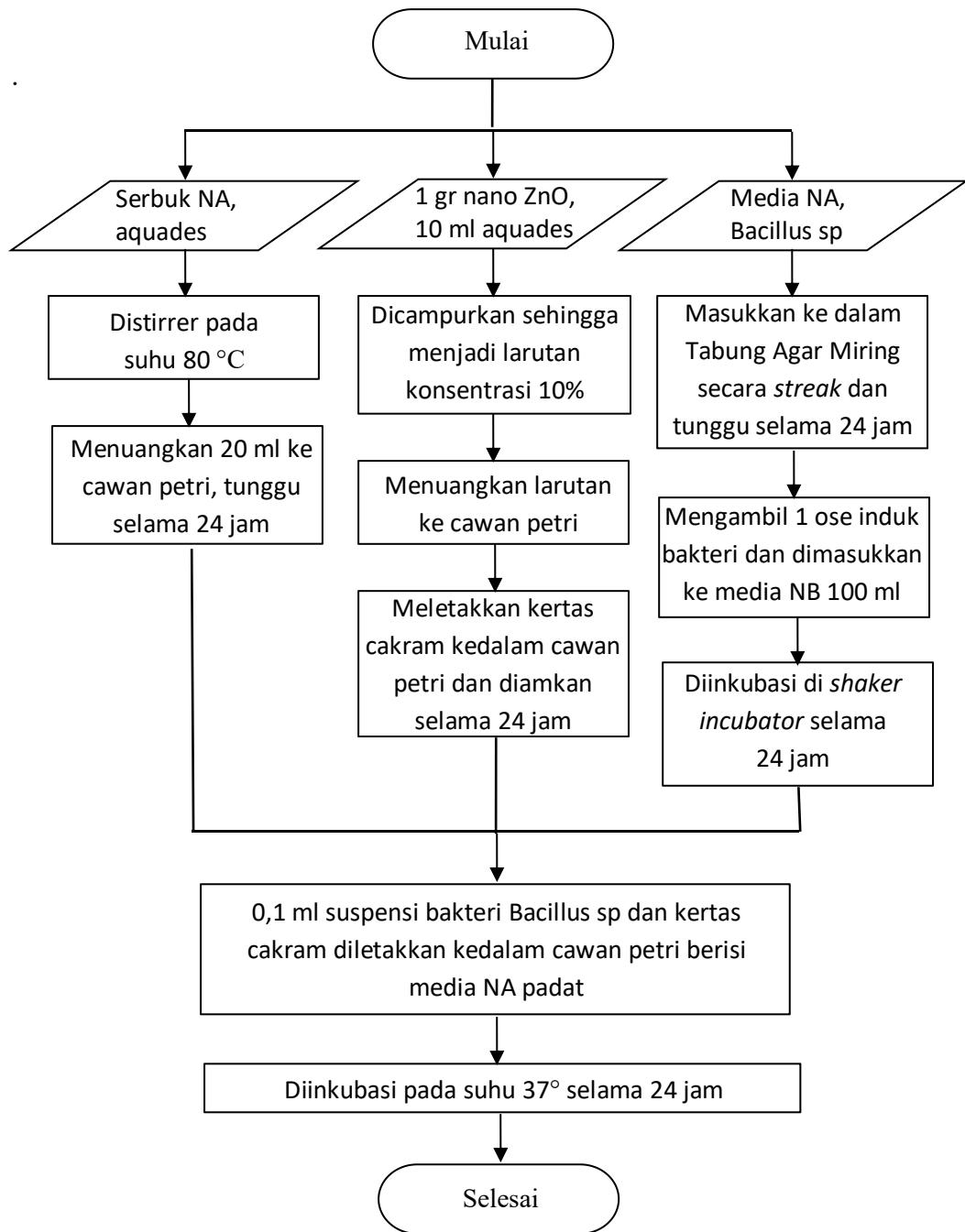
Diagram alir sintesis nano ZnO ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2. Diagram sintesis nano ZnO.

3. Uji antibakteri

Diagram alir uji antibakteri nano ZnO ditunjukkan pada **Gambar 3.3**

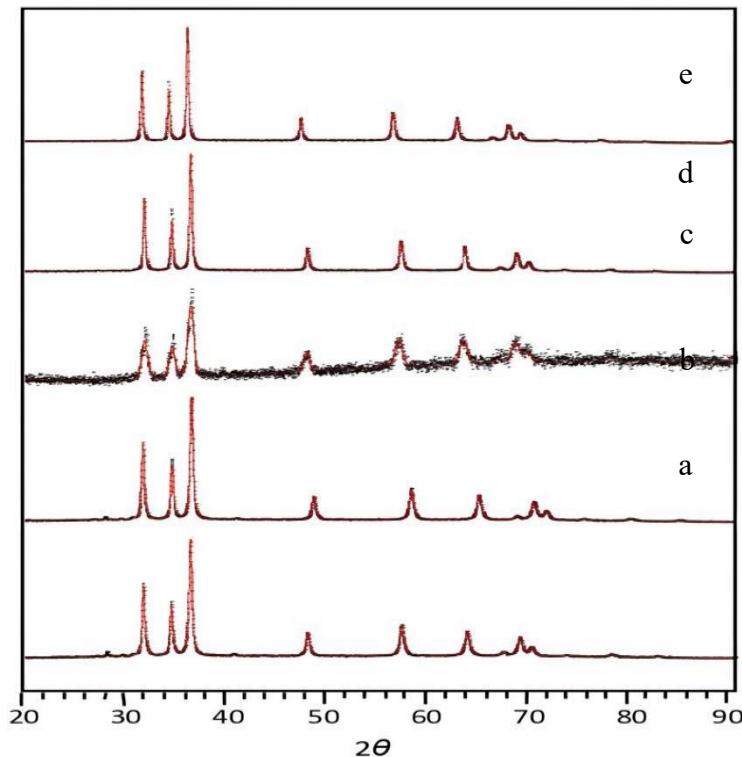


Gambar 3.3. Diagram uji antibakteri.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis XRD Nano ZnO

Dilakukannya karakterisasi XRD yang bertujuan untuk mendapatkan ukuran partikel pada serbuk ZnO. Dari pengujian ini diperoleh data dalam bentuk difaktogram yang menggambarkan hubungan antara intensitas dengan nilai sudut 2θ . Di dalam difraktogram tersebut memiliki puncak-puncak tertentu dimana untuk menentukan fasa dan struktur kristal. Untuk mengetahui fasa yang terbentuk maka dilakukan analisis kualitatif terhadap hasil XRD yang diperoleh dengan cara melakukan pencocokan data. Data acuan yang akan dicocokan diperoleh dari pangkalan data *Powder Diffraction File database* (PDF), pencocokan ini mengacu pada hasil senyawa yang terkandung didalamnya yang diperoleh dari hasil sampel tersebut. Aplikasi yang digunakan untuk mengolah hasil data sampel yaitu *High Score Plus* (HSP). Hasil difraktogram dari sintesis nano ZnO ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Analisis kuantitatif juga dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Rietica* untuk mendapatkan ukuran kristal. Untuk dapat melihat besarnya ukuran suatu partikel pada hasil XRD diperlukannya perhitungan yang didasarkan dari **Persamaan 12** seperti terlampir pada **Lampiran 2** dan hasil perhitungan ukuran partikel tersebut disajikan pada **Tabel 4.1**.



Gambar 4.1. Difraktogram XRD Sintesis Nano ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Jambu Biji (a) ZnO-10 (b) ZnO-20 (c) ZnO-30 (d) ZnO-40 (e) ZnO-50

Tabel 4.1. Hasil perhitungan ukuran partikel

Sampel	2 Theta (2θ) ($^{\circ}$)	Full Width at Half Maximum (FWHM)	Ukuran Partikel (nm)
ZnO-10	35,9	0,3	27,8
ZnO-20	35,9	0,3	26,0
ZnO-30	36,4	0,7	12,8
ZnO-40	35,9	0,4	21,6
ZnO-50	35,9	0,4	20,7

Berdasarkan **Tabel 4.1** menunjukkan bahwa secara umum variasi konsentrasi ekstrak pada penelitian ini tidak membuat puncak difraksi bergeser, semua puncak konsisten pada sudut yang relatif sama. Puncak FWHM pada kelima sampel tersebut pun memiliki perolehan nilai yang berbeda-beda. Pada sampel

ZnO-10, ZnO-20, ZnO-40, dan ZnO-50 semakin bertambah variasi konsentrasi ekstrak daun jambu biji maka puncak 2θ juga akan semakin tinggi, sedangkan semakin kecil nilai FWHM maka ukuran partikel nano ZnO semakin besar. Sedangkan pada sampel ZnO-30 terjadi perbedaan yang cukup signifikan, dimana sample tersebut memiliki nilai FWHM yang besar dibandingkan sample lainnya dan hal tersebut berpengaruh pada ukuran partikel ZnO-30 yang menjadi kecil. Hal ini dimungkinkan karena deformasi pada ikatan struktur kimia sampel, sehingga sampel tersebut tidak terbaca intensitasnya dan secara statistik perhitungan kristal tidak dapat dilakukan. Pada sampel ZnO-10, ZnO-20, ZnO-40, dan ZnO-50 diperoleh ukuran partikel yang relatif sama. Hasil analisis seluruh sampel tersebut juga telah menunjukkan adanya fasa yang terbentuk yaitu *Wurtzite* dengan struktur heksagonal.

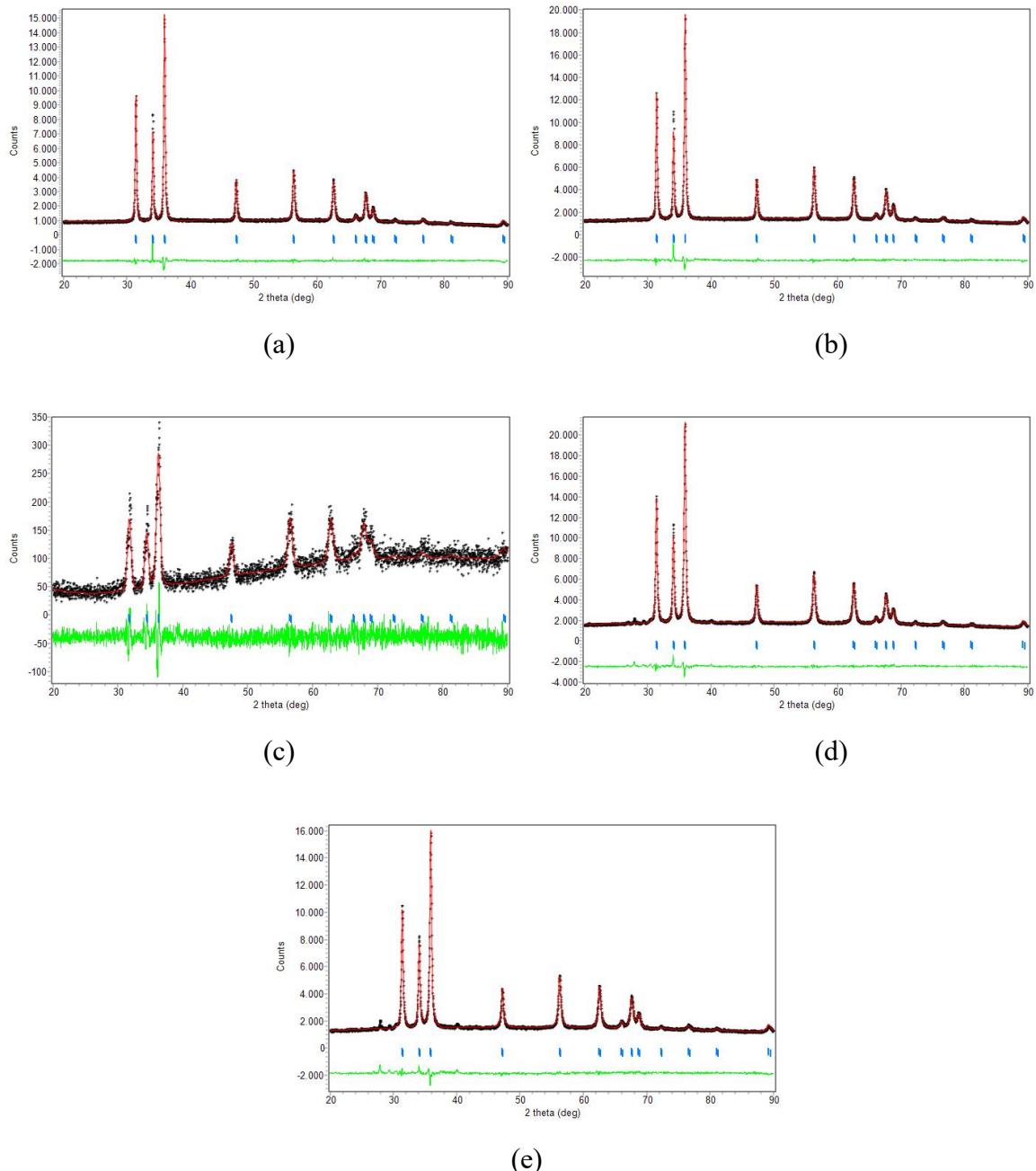
Hasil serupa dikatakan dalam penelitian Rhamdiyah *et al* (2022) ukuran kristal pada sampel ZnO yang diperoleh menggunakan ekstrak daun kelor dengan proses sintesis yang berlangsung selama 5 jam pada suhu 100 °C diperoleh ukuran partikel rata-rata sebesar 20,97 nm. Penelitian lain disebutkan oleh Fatoni *et al* (2020) sintesis ZnO dengan ekstrak air daun jambu biji memperoleh ukuran partikel rata-rata sebesar 21,45 nm.

Berdasarkan penelitian ini seiring naiknya konsentrasi ekstrak intensitas terus meningkat, yang dapat menyebabkan kristalinitas ZnO meningkat. Hal ini dijelaskan oleh Yadav (2008) seiring dengan kenaikannya konsentrasi menjadi faktor penting di dalam pertumbuhan kristal ZnO karena semakin tinggi

konsentrasi maka Zn^{2+} mengalami hidrolisis yang sangat cepat dan mengakibatkan distibusi ion Zn^{2+} .

Pada penelitian ini analisis kuantitatif juga dilakukan untuk mengetahui komposisi setiap fasa-fasa tersebut yang dilakukan dengan *refinement* data XRD. Sebelum melakukan refinement perlu memasukkan model file input ke dalam perangkat lunak *Rietica*. Model file input ini dipilih karena setelah beberapa kali mencoba melakukan *refine* menghasilkan nilai-nilai parameter yang paling kecil. Parameter yang direfine pada setiap sampel antara lain, latar (B-1 sampai B3), *zero* (α_0), *phase scale*, sel parameter (a, b, dan c), U, V, W, *preferred orientation* (PO), γ_0 dan γ_1 . Setelah menghasilkan hasil penghalusan yang memadai dengan menurunnya nilai faktor *R* seperti *Rwp*, *Rp*, dan *Rexp* serta *GOF*, maka proses *refine* dapat diselesaikan. Hasil penghalusan ditunjukkan pada **Gambar 4.2**.

Dari **Gambar 4.2** terlihat bahwa berdasarkan pola garis selisih antara data pengamatan (berwarna hitam) dan data input (berwarna merah) memiliki pola hasil perhitungan (berwarna hijau) hampir rata, yang berarti bahwa selisih antara hasil perhitungan dan data pengamatan relatif kecil. Setelah selesai me-*refine* masing-masing data, dapat dilihat harga R pada *file output* seperti yang disajikan pada **Tabel 4.2**.



Gambar 4.2. Hasil *refinement* data XRD ZnO (a) ZnO-10 (b) ZnO-20 (c) ZnO-30
(d) ZnO-40 (e) ZnO-50

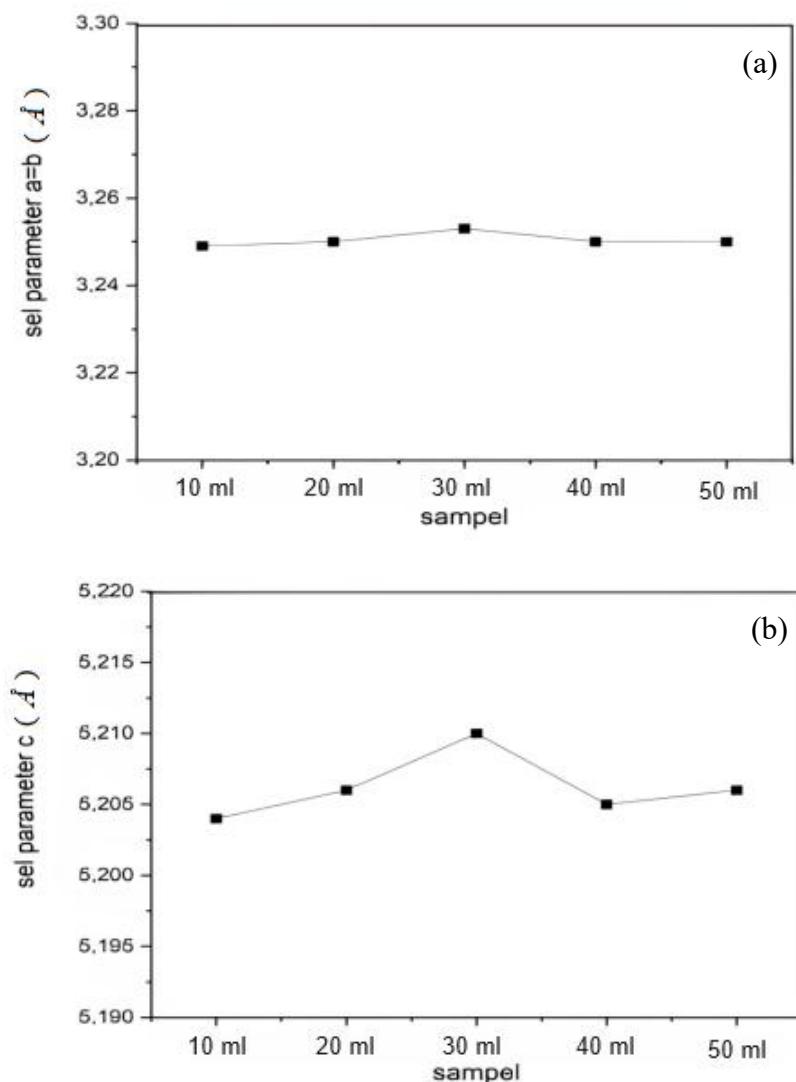
Table 4.2. Hasil *refinement* XRD pada setiap sampel.

Sampel	R_{wp}	R_p	R_{exp}	GOF	R_B
ZnO-10	3,95	3,06	2,90	1,85	1,84
ZnO-20	4,72	3,72	2,45	3,71	1,95
ZnO-30	12,08	9,48	10,66	0,13	2,35
ZnO-40	3,25	2,50	2,18	2,21	1,15
ZnO-50	3,63	2,67	2,37	2,35	1,12

Berdasarkan data pada **Tabel 4.2** dapat dilihat bahwa hasil keluaran *refinement* pada seluruh sampel menunjukkan nilai R_{wp} , R_p , dan R_{exp} kurang dari 20 dan nilai GOF kurang dari 4 serta kesesuaian pola dengan model yang cukup memadai. Sehingga nilai ini memenuhi standar metode Rietveld (Kisi 1994; Young 1993). Kisi (1994) menyatakan bahwa semakin kecil nilai R_p maka kemurnian semakin tinggi dan semakin baik karena kesesuaian antara data teoritis dengan observasi semakin tinggi, juga semakin kecil nilai R_p maka akan semakin baik kritalinitas yang dihasilkan. Salah satu *output refinement* adalah diperolehnya sel parameter dan berikut ini merupakan grafik antara sel parameter $a = b$ dan c yang disajikan pada **Gambar 4.3**.

Berdasarkan **Gambar 4.3** terlihat bahwa posisi puncak bentuk model dengan hasil XRD penelitian sudah sesuai walaupun masih ada sedikit perbedaan. Hal tersebut dapat dilihat dari parameter kisinya yaitu $a = b \neq c$, pada sampel ZnO-10 nilai $a = b \neq c$ sebesar $3,2494 \text{ \AA}$ dan $5,2046 \text{ \AA}$. Kemudian pada sampel ZnO-20 nilai $a = b \neq c$ sebesar $3,2503 \text{ \AA}$ dan $5,2060 \text{ \AA}$. Pada sampel ZnO-30 nilai $a = b \neq c$ sebesar

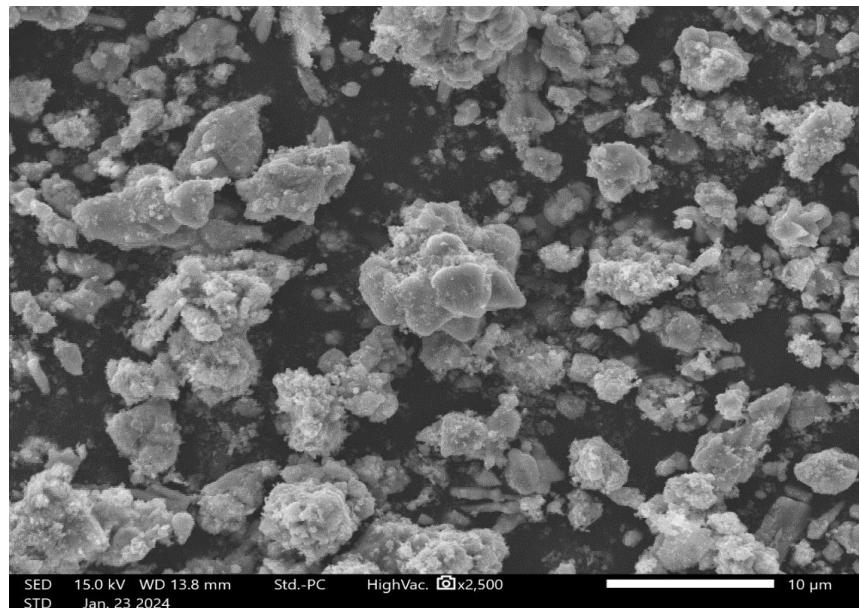
$3,2534 \text{ \AA}$ dan $5,2106 \text{ \AA}$. Pada sampel ZnO-40 nilai $a = b \neq c$ sebesar $3,2501 \text{ \AA}$ dan $5,2051 \text{ \AA}$. Pada sampel ZnO-50 nilai $a = b \neq c$ sebesar $3,2501 \text{ \AA}$ dan $5,2063 \text{ \AA}$. Nilai ini tidak beda jauh dengan parameter kisi standar yaitu $a = b \neq c$ sebesar $3,2523 \text{ \AA}$ dan $5,2096 \text{ \AA}$ dengan $\alpha = \beta \neq \gamma$ sebesar 90° dan 120° . Nilai x , y , z dan *occupancy* pada Zn yaitu sebesar 0,66667; 0,33333; 0,00000; 0,16666. Sedangkan nilai x , y , z dan *occupancy* pada O yaitu sebesar 0,66667; 0,33333; 0,61900; 0,16666.



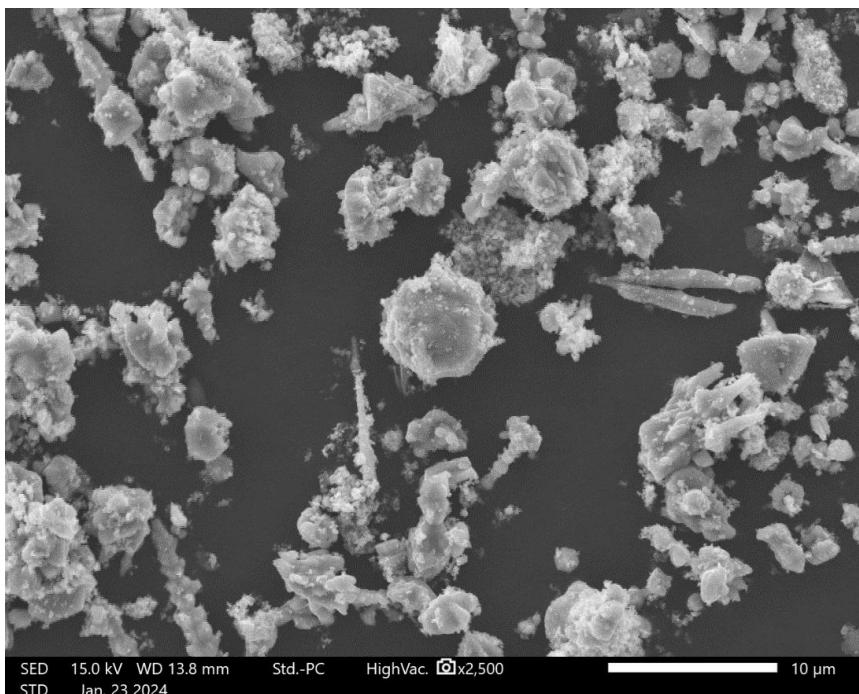
Gambar 4.3. Hasil *output refinement* (a) Sel parameter $a=b$ (b) Sel parameter c

B. Hasil Analisis SEM Nano ZnO

Untuk mengetahui morfologi dan ukuran butir pada sampel ZnO yang bervariasi dibutuhkannya karakterisasi SEM. Pada saat menganalisis SEM diperlukan perangkat lunak untuk mengolah data hasil SEM tersebut, dan perangkat lunak yang digunakan ialah ImageJ dengan versi 64-bit Java 1.8.0_172. Analisis dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ dilakukan dengan cara menarik garis secara horizontal pada diameter sampel untuk mengukur berapa *length* yang diperoleh dan kemudian data di kumpulkan untuk melihat nilai rata- rata. Hasil gambar morfologi dari sampel ZnO variasi konsentrasi ekstrak daun jambu biji ditunjukkan pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**. Berdasarkan **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5** pada perbesaran 2500 kali bahwa terlihat bentuk partikel seperti bola dan kristal yang belum homogen (aglomerasi). Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah di lakukan oleh Saputra *et al* (2020) pada sintesis ZnO menggunakan media ekstrak daun tin pada analisis SEM menghasilkan bentuk partikel yang belum homogen (aglomerasi), hal ini terjadi dari faktor pemberian ekstrak yang terlalu banyak. Kemudian penelitian serupa telah dilakukan oleh Pal *et al* (2018) yaitu sintesis ZnO dengan menggunakan ekstrak daun kelor menghasilkan bentuk partikel seperti bola dan kristal.



Gambar 4.4. Hasil SEM pada sampel ZnO-10



Gambar 4.5. Hasil SEM pada sampel ZnO-20

Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan software ImageJ diperoleh ukuran butir yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**. Pada tabel tersebut menampilkan hasil perolehan rata-rata ukuran butir pada sampel ZnO-10 dan ZnO-20. Pada

sampel ZnO-10 diperoleh hasil sebesar $27,1 \pm 0,4$ nm dan sampel ZnO-20 diperoleh hasil sebesar $25,0 \pm 0,4$ nm. Jika kita melihat kembali kepada hasil pengujian XRD, ukuran butir yang diperoleh dari hasil pengolahan oleh software ImageJ dan perhitungan hasil XRD mendekati sama dan membuktikan bahwa hasil penelitian ini sudah tergolong nanomaterial.

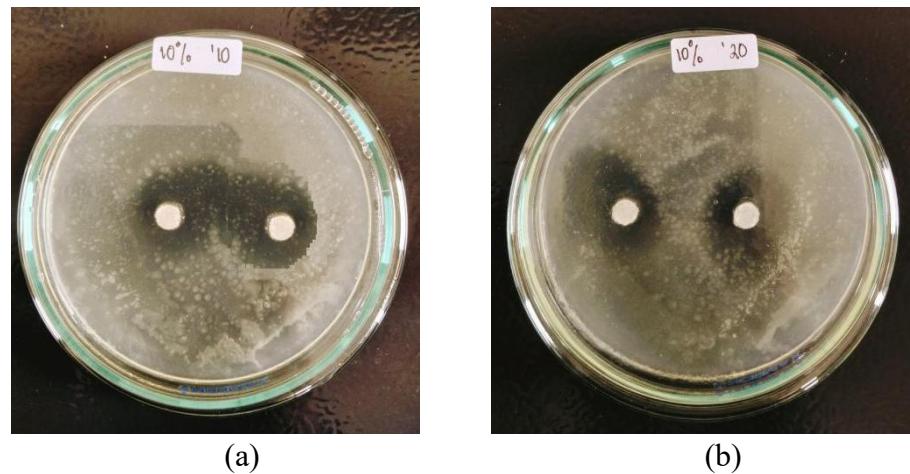
Tabel 4.3. Hasil pengukuran butir menggunakan software ImageJ

Sampel	Ukuran Butir (nm)	Simpangan Baku
ZnO-10	27,1	0,4
ZnO-20	25,0	0,4

C. Uji Antibakteri

Uji ini dilakukan untuk lebih melihat efisiensi dari nano ZnO yang telah disintesis. Pada uji antibakteri ini dilakukan dengan metode difusi. Metode difusi berguna untuk menentukan sensitivitas mikroba uji terhadap agen antimikroba. Metode ini dilakukan dengan menggunakan kertas cakram kedalam media agar yang telah diinokulasi dengan bakteri dan kertas cakram diisi dengan senyawa uji, dalam hal ini ZnO merupakan senyawa uji yang dimaksudkan. Area jernih pada permukaan media agar mengindikasikan adanya hambatan pertumbuhan mikroorganisme oleh agen antimikroba. Kelebihan metode difusi ini adalah mudah dilakukan karena tidak memiliki alat khusus dan mencakup fleksibilitas yang lebih besar dalam memilih obat yang akan diperiksa (Katrín *et al*, 2015). Dalam hal ini mikroba yang akan digunakan yaitu bakteri *Bacillus* sp dan ZnO sebagai agen antimikroba. Masing-masing sampel ZnO-10 dan ZnO-20 di uji untuk mengetahui daya hambat

pada pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. Pengujian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.6.**



Gambar 4.6. Hasil pengujian antibakteri (a) sampel ZnO-10 (b) sampel ZnO-20

Berdasarkan **Gambar 4.6** terlihat bahwa pada pengujian antibakteri sampel ZnO-10 dan ZnO-20 terdapat zona hambat di sekeliling kertas cakram, yang artinya sampel ZnO-10 dan ZnO-20 bisa menghambat bakteri *Bacillus* sp. Untuk mengetahui kekuatan hambatnya kita dapat mengukurnya dengan mengukur seberapa besar diameter vertikal, diameter horizontal dan diameter diagonal pada zona hambat dan kertas cakram pada sampel tersebut (Harti, 2015). Perhitungan Zona Hambat sampel ZnO-10 dan ZnO-20 dilampirkan pada **Lampiran 3**. Untuk hasil dari pengukuran zona hambat sampel ZnO-10 dan ZnO-20 ditunjukkan pada **Tabel 4.4** dan parameter keuatannya akan ditampilkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.4. Hasil pengukuran zona hambat

Sampel	Ukuran Partikel (mm)
ZnO-10	7,8
ZnO-20	8,3

Tabel 4.5. Kategori kekuatan daya hambat (Surjowardjo *et al.*, 2015)

Diameter (mm)	Kekuatan Daya Hambat
≤ 5	Lemah
6 - 10	Sedang
11 - 20	Kuat
≥ 21	Sangat Kuat

Berdasarkan hasil pengukuran zona hambat yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4** dan sesuai dengan kategori kekuatan daya hambat yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5** maka hasil pengujian antibakteri sampel ZnO-10 dan ZnO-20 masuk kedalam kategori sedang dengan ukuran zona hambat diameter sampel ZnO-10 sebesar 7,8 mm dan sampel ZnO-20 sebesar 8,3 mm.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

D. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur yang terbentuk pada penelitian ini yaitu heksagonal dengan morfologi nano ZnO yang berbentuk bola kristal.
2. Hasil XRD menunjukkan fasa yang terbentuk ialah fasa *Wurtzite*, dengan ukuran partikel paling besar pada sample ZnO-10 yaitu 27,8 nm dan pada SEM ukurannya $27,1 \pm 0,4$ nm.
3. Nano ZnO teruji dapat menjadi antibakteri dengan dilakukannya pengujian dengan metode difusi dan didapatkan zona hambat paling besar pada sample ZnO-20 sebesar 8,3 mm.

E. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melanjutkan pengujian antibakteri dengan metode yang berbeda untuk melihat keefektifan nano ZnO sebagai antibakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, N.W.R., Kusmayati., 2007, Uji Aktivitas Senyawa Antibakteri dari Mikroalga (*Porphyridium cruentum*), *J Biod.* Vol. 8. No. 1. Hal. 48-53
- Ahmad, I., Ahmad, F and Pichtel, J . 2011. *Microbes and Microbial Technology: Agricultural and Environmental Applications*. New York: Springer. Pp. 197
- Alqab, A. S. F dan Sopyan, I. 2009. Low Temperature Hydrothermal Synthesis of Calcium Phosphate Ceramics: Effect of Excess Ca Precursor on Phase Behavior. *Indian Journal of Chemistry*. Vol. 48. No. 11. Pp. 1492-1500
- Anggoro, D., Yuniasari, R., Sunarno, H dan Faridawati. 2018. Pengaruh Konsentrasi Doping terhadap Intensitas Emisi Material Luminisensi ZnO:Zn. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 14. No. 1. Hal. 27-42
- Azizi, S., Mansor, B. A., Farideh, N and Rosfarizan, M. 2014. Green Biosynthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using Brown Marine Macroalga *Sargassum muticum* Aqueous Extract. *Materials Letters*. Vol. 7. No. 2. Pp. 275-277
- Behera, J. K. 2009. Synthesis and Characterization of ZnO nanoparticles. *Thesis of Master Science Degree in Physics*. India: National Institute of Technology Rourkela. Pp. 35
- Cao, W. 2004. *Nanostructures and Nanomaterials 1th ed.* London: Imperial Collage Press. Pp. 391
- Chan, S. G and Beck, T. R. 1993. *Electrochemical Technology Corp.* USA: Se Washington. Pp. 218
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Rays Diffraction Second edition*. USA: Addison-Wesley Publishing Company Inc. Pp. 483

- Elumalai, K., Velmurungan, S., Ravi. S., Kathiravan. V and Ashokkumar. S. 2015. Green synthesis of Zinc oxide nanoparticles using Moringa oleifera leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Vol. 143. No. 11. Pp. 158-164
- Fajaroh, F., Setyawan, H and Winardi, S. 2009. Sintesis Nanopartikel Magnetite dengan Metode Elektrokimia Sederhana. *Jurnal Nanosains*. Vol. 8. No. 1. Hal. 2-5
- 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 Zn²⁺ serta Interaksinya dengan Kitosan sebagai Antibakteri Escherichia coli. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*. Vol. 7. No. 2. Hal. 151-157
- Fauza, R., Manurung, P dan Yulianti, Y. 2021. Efek NaOH pada Pembentukan Nano ZnO Metode Hidrotermal. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 8. No. 2. Hal. 1-7
- Harti, S. A., 2015. *Mikrobiologi Kesehatan Peran Mikrobiologi Dalam Bidang Kesehatan*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Andi Offset. Hal. 110-112
- Hermawan, A., 2007. Pengaruh Ekstrak Daun Sirih (Piper betle L.) terhadap Pertumbuhan Staphylococcus aureus dan Escherichia coli Dengan Metode Difusi Disk. *Artikel Ilmiah*. Fakultas Kedokteran Hewan. Universitas Airlangga Surabaya. Vol. 1. No. 2. Hal. 16-19
- Iravani, S. 2011. Green Chemistry Green Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Green Chemistry*. Vol. 13. No. 4. Pp. 2638-2650
- Ismunandar. 2006. *Padatan Oksida Logam: Struktur, Sintesis dan Sifat-Sifatnya*. Bandung: Institut Teknologi Bandung. Pp. 23-25
- Katrin, D., Idiawati, N. dan Sitorus, B. 2015. Uji Aktivitas Antibakteri Dari Ekstrak Daun Malek (Litsea graciae Vidal) Terhadap Bakteri Staphylococcus aureus dan Escherichia coli. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. Vol. 4. No. 1. Pp. 7–12
- Kisi, E. H. 1994. *Rietveld analysis of powder diffraction patterns*. Australia: Materials Forum. Pp. 135-155
- Lee, H., Lee, Y and Yoo, D. 2000. Characteristics of BaTiO₃ Powders Synthesized by Hydrothermal Process. *Journal of Materials Science*. Vol. 35. No. 3. Pp. 4271-4274
- Manurung, P. 2019. *Analisis Data Difraksi Sinar-X Edisi Pertama*. Bandar Lampung: CV. Anugrah Utama Raharja (AURA)

- McMahon, G. 2008. *Analytical Instrumentation: A Guide to Laboratory, Portable and Miniaturized Instruments*. New York: John Wiley & Sons. Pp. 308
- Noerbaeti, E., Pattah, H dan Nuraini, W. 2016. Potensi Ekstrak Daun Gamal Gliricidia sepium Sebagai Antibakteri Vibrio sp. dan Flexibacter Maritimum. *Jurnal Teknologi Budidaya Laut*. Vol. 6. No. 2. Hal. 52-78
- Pal, S., Kudupudi, R., Sunny, M and Datta, R. 2018. Numerical Investigation of Green Water Loading on Flexible StructuresUsing Three-Step CFD-BEM-FEM Approach. *Journal of Marine Science and Application*. Vol. 8. No. 3. Pp. 569-582
- Panwar, R. S. 2009. Preparation of modified ZnO nanoparticles by sol-gel process and their characterization. *Thesis of Master of Technology Degree in Material Science and Engineering*. Patiala: Thapar University. Pp. 1-71
- Pasaribu, K., Ricky, D., Saragih, H. 2013. *Aktivitas Antimikrobal Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) pada Strain Staphylococcus Aureus*. Prosiding Seminar Kontribusi Fisika 2013. Hal. 31-87
- Palanikumar, L., Ramasamy, S, N., Balachandran, C. 2014. Size-dependent antimicrobial response of zinc oxide nanoparticles. *IET Nanobiotechnol*. Vol. 8. No. 2. Pp.111–117.
- Reed, S. J. B. 2005. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Florida: Cambridge University Press. Pp. 23-24
- Rhamdiyah, F. K., dan 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*. Vol. 11. No. 2. PP. 91-102
- Richman. M. H. 1967. *An Introduction to the Science of Metals*. Waltham: Blaisdell Publishing Company. Pp. 231
- Rosenauer, A. 2003. Transmission Electron Microscopy of Semiconductor Nanostructures: Analysis of Composition and Strain State. *Springer Tracts in Modern Physics*. Vol. 182

- S. Shruthi., Roshan. A., Timilsina. S. S and Sunita. S. 2013. A Review on the Medicinal Plant Psidium guajava Linn. *Journal of Drug Delivery & Therapeutic*. Vol. 3. Pp. 162-168
- Sadat, M. S., Siregar, L. A. M dan Setiado. H. 2018. Pengaruh IAA dan BAP Terhadap Induksi Tunas Mikro dari Eksplan Bonggol Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*. Vol. 6. No. 1. Hal. 107- 112
- Saputra, I. S., Suhartati, S., Yulizar, Y., dan Sudirman. 2020. Green Synthesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Media Ekstrak Daun Tin (*Ficus carica* Linn). *Jurnal Kimia dan Kemasan*. Vol. 42. No.1. Hal. 1-6
- Sirelkhatim, A., Mahmud. S., Seenii, A., Kaus. N. H. M., Ann. L. C., Bakhori. S. K. M., Hasan. H and Mohamad. D. 2015. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Lett.* Vol. 7. No. 3. Pp. 219-242.
- Surjowardojo, P., Susilawati, T., Sirait, G. 2015. Daya Hambat Dekok Kulit Apel Manalagi (*Malus sylvestris* Mill.) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas* sp. Penyebab Mastitis Pada Sapi Perah. *Journal of Tropical Animal Production*. Vol. 16. No. 2. Pp. 40-48
- Vlack, V. L. H. 1959. *Elements Of Materials Science An Introductory Text For Engineering Students*. Boston: Addison Wesley Publishing Company. Pp. 37
- Xu, Y., J, Jin., X, Li., Y, Han., H, Meng., T, Wang and Z, Zhang. 2016. Simple Synthesis of ZnO Nanoflowers and Its Photocatalytic Performances toward the Photodegradation of Metaitron. *Materials Research Bulletin*. Vol. 76. No. 18. Pp. 235-239
- Yadav, V. K., Ryu, J., Suda, N., Tanaka, K. F., Gingrich, J. A., Schütz, G., Glorieux, F. H., Chiang, C. Y., Zajac, J. D., Insogna, K. L., Mann, J. J., Hen, R., Ducy, P and Karsenty, G. 2008. Lrp5 controls bone formation by inhibiting serotonin synthesis in the duodenum. *National Center for Biotechnology Information*. Vol. 135. No. 5. Pp. 825-837