



**KOVALEN: Jurnal Riset Kimia**

<https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/kovalen>



## Biosintesis Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Temu Kunci (*Boesenbergia rotunda*) Dibantu Gelombang Mikro, Serta Pengujian Aktivitasnya Terhadap Bakteri

[Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Using Fingerroot (*Boesenbergia rotunda*) Extract Assisted by Microwave and Evaluation of Their Antibacterial Activity]

Yusup Junaedi<sup>1</sup>, Purwantiningsih Sugita<sup>2✉</sup>, Muhammad Farid<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Kimia, Sekolah Pascasarjana IPB University

<sup>2)</sup> Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University

**Abstract.** Numerous ZnO nanoparticles have been successfully synthesized using diverse plant extracts, yet research utilizing *B. rotunda* extract as a capping agent with microwave assistance has been lacking. Hence, this study aimed to employ microwave-assisted *B. rotunda* extract to produce ZnO nanoparticles and test their antibacterial activity. By utilizing 10 mL of 1% (m/v) *B. rotunda* extract at pH 12.5 and calcinating for 3.8 hours at 200°C, coupled with 20 minutes of microwave treatment, ZnO nanoparticles averaging 78.78 nm in diameter were synthesized. Particle size was determined using the ImageJ software to analyze TEM images. UV-Vis absorption spectroscopy indicated a peak wavelength at 360 nm, while FTIR analysis identified compounds from *B. rotunda* extract crucial in nanoparticle formation. Antibacterial testing revealed the nanoparticles' ability to create an inhibition zone against *E. coli* growth.

**Keywords:** ZnO nanoparticle, *B. rotunda*, microwave assisted, biosynthesis

**Abstrak.** Banyak nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis menggunakan berbagai ekstrak tanaman, namun penelitian yang menggunakan ekstrak *B. rotunda* sebagai *capping agent* dengan bantuan gelombang mikro belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk menggunakan ekstrak *B. rotunda* dengan bantuan gelombang mikro untuk menghasilkan nanopartikel ZnO dan menguji aktivitas antibakterinya. Dengan menggunakan 10 mL ekstrak *B. rotunda* 1% (m/v) pada pH 12,5 dan dikalsinasi selama 3 jam 48 menit pada suhu 200°C, ditambah dengan perlakuan gelombang mikro selama 20 menit, nanopartikel ZnO dengan diameter rata-rata 78,78 nm berhasil disintesis. Ukuran partikel ditentukan menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menganalisis gambar TEM. Spektroskopi absorpsi UV-Vis menunjukkan panjang gelombang puncak pada 360 nm, sementara analisis FTIR mengidentifikasi senyawa dari ekstrak *B. rotunda* yang penting dalam pembentukan nanopartikel. Pengujian antibakteri mengungkap kemampuan nanopartikel untuk membentuk zona hambat terhadap pertumbuhan *E. coli*.

**Kata kunci:** Nanopartikel ZnO, *B. rotunda*, gelombang mikro, biosintesis

Diterima: 8 Juli 2024, Disetujui: 19 Agustus 2024

Sitasi: Junaedi, Y., Sugita, P., dan Farid, M. (2024). Biosintesis Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Temu Kunci (*Boesenbergia rotunda*) Dibantu Gelombang Mikro, Serta Pengujian Aktivitasnya Terhadap Bakteri. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 147-157.

✉ Corresponding author

E-mail: [purwantiningsih@apps.ipb.ac.id](mailto:purwantiningsih@apps.ipb.ac.id)

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i2.17229>



2477-5398/ © 2024 Yusup et al.  
This is an open-access article under the CC BY-SA license.

## LATAR BELAKANG

Nanopartikel ZnO menunjukkan aktivitas yang bervariasi dalam konteks kesehatan, seperti kemampuannya sebagai agen antibakteri (Zarrindokht Emami-Karvani, 2012), antitumor (Vidhya *et al.*, 2020), dan anti-inflamasi (Lopez-Miranda *et al.*, 2023). Dalam bidang lingkungan, ZnO berfungsi sebagai katalis dalam pengelolaan limbah (Chimupala *et al.*, 2020), menunjukkan efektivitas yang luar biasa. Dengan berbagai manfaat yang ditawarkannya, nanopartikel ZnO menjadi subjek yang menarik untuk penelitian lebih lanjut.

Sintesis nanopartikel ZnO dapat dilakukan melalui berbagai metode, baik secara fisika, kimia, maupun biologis. Metode fisika dan kimia termasuk teknik hidrotermal (Aneesh *et al.*, 2007), sol-gel (Jurablu *et al.*, 2015), dekomposisi kimia, atau dekomposisi termal (Yang *et al.*, 2004). Sementara itu, sintesis melibatkan organisme hidup seperti bakteri (Rajabairavi *et al.*, 2017) atau menggunakan ekstrak tumbuhan (Xu *et al.*, 2021) dapat dikenal sebagai biosintesis.

Biosintesis memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode fisika dan kimia (Huang *et al.*, 2021). Keunggulan-keunggulan ini meliputi proses yang lebih ramah lingkungan, produk yang lebih biokompatibel, proses yang lebih sederhana dan ekonomis, serta kemampuan untuk mengatur bentuk dan ukuran nanopartikel dengan lebih baik. Keunggulan-keunggulan ini menjadikannya subjek penelitian yang menarik.

Dalam biosintesis nanopartikel, penggunaan gelombang mikro dapat membantu prosesnya (Mallikarjunaswamy *et al.*, 2020). Penelitian ini melibatkan iradiasi

gelombang mikro pada campuran seng nitrat heksahidrat menggunakan jus *Aegle marmelos* dalam pelarut air. Penggunaan gelombang mikro dalam sintesis nanopartikel memberikan keunggulan seperti reaksi yang lebih cepat, kontrol yang lebih baik, efisiensi yang lebih tinggi, dan kemampuan untuk meningkatkan skala produksi. Tantangan dalam sintesis nanopartikel ZnO termasuk mengatur aglomerasi partikel yang dapat terjadi selama pertumbuhannya, yang memerlukan mekanisme yang tepat untuk menghasilkan bentuk dan ukuran yang diinginkan.

Beberapa *capping agen* diketahui dapat membantu dalam proses biosintesis nanopartikel ZnO. Surfaktan, asam amino, polimer, polisakarida, dan bioekstrak dapat digunakan untuk mengatur pertumbuhan nanopartikel ZnO (Basnet & Chatterjee, 2020). Sebagai contoh, ekstrak kulit pisang digunakan sebagai *capping agen* dalam sintesis nanopartikel oleh Marfu'ah *et al.* (2020), sedangkan Elumalai & Velmurugan (2015) menggunakan ekstrak daun *A. indica* dalam biosintesis nanopartikel ZnO. Berbagai tanaman seperti *curcuma neilgherrensis* (Parthasarathy, 2017), temu mangga (*C. amanda*) (Subha & Kalaiselvi, 2019), dan temulawak (*C. longa*) (Jacob & P, 2019) telah digunakan dalam biosintesis nanopartikel ZnO.

Belum pernah dilakukan biosintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak rimpang temu kunci (*Boesenbergia rotunda*) sebagai *capping agent* dengan bantuan gelombang mikro. Ekstrak rimpang *B. rotunda* memiliki potensi sebagai *capping agent* dalam pembentukan nanopartikel ZnO untuk mengontrol bentuk dan ukurannya. Penggunaan gelombang mikro dapat

mempercepat reaksi dan meningkatkan efisiensi proses sintesis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan ekstrak rimpang *B. rotunda* dalam pelarut air dengan bantuan gelombang mikro untuk melakukan biosintesis nanopartikel ZnO, melakukan karakterisasi terhadap nanopartikel yang dihasilkan, dan menguji aktivitas antibakterinya.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Instrumen analitik yang digunakan meliputi spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1900i, spektrometer FTIR Shimadzu IRPrestige-21, analisis ukuran partikel Horiba Scientific SZ-100, dan TEM FEI Tecnai G2 20 S-Twin. Selain itu, peralatan lain yang digunakan dalam sintesis ini mencakup sentrifuge EBA 2000, pH meter Apera PC 9500, microwave Cella CM-009, dan oven Thermo Scientific Heratherm. Bahan-bahan yang digunakan termasuk serbuk rimpang *B. rotunda* (biofarmaka IPB), seng asetat dihidrat pro analisis (Merc), air deion (Water One), dan NaOH pro analisis (Merc).

### Prosedur Penelitian

#### **Ekstraksi rimpang *B. rotunda* menggunakan gelombang mikro**

Metode ekstraksi *B. rotunda* mengikuti pendekatan yang diadaptasi dari (Alupului *et al.*, 2012). Sebanyak 1 gram serbuk kering rimpang *B. rotunda* dicampurkan dengan 100 mL air deion, lalu diaduk hingga merata. Setelah semua serbuk larut, campuran diiradiasi dengan *microwave* pada daya 425W selama 4 menit (dengan siklus 15 detik hidup - 15 detik mati). Campuran dibiarkan mencapai suhu ruangan, lalu disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 6.000 RPM. Filtrat

kemudian disaring menggunakan kertas saring whatman dan disimpan pada suhu 4°C di dalam lemari pendingin untuk penggunaan pada tahapan berikutnya.

### **Sintesis nanopartikel ZnO**

Metode sintesis nanopartikel ZnO mengacu pada (Bayrami *et al.*, 2018) dengan beberapa penyesuaian. Seng asetat dihidrat sebanyak 0,5 gram dilarutkan dalam 10 mL air deion. Selanjutnya, 10 mL ekstrak *B. rotunda* ditambahkan ke larutan tersebut, dan air deion ditambahkan hingga volume total mencapai 100 mL. Larutan diaduk selama 15 menit pada suhu 70°C. NaOH 1M ditambahkan secara bertahap hingga mencapai pH 12,5 sambil terus diaduk. Campuran kemudian diiradiasi menggunakan *microwave* pada daya 425W selama 20 menit (dengan siklus 15 detik hidup - 15 detik mati). Setelah itu, campuran disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 6.000 RPM dan endapan dicuci dengan air deion. Endapan yang dihasilkan kemudian dipisahkan dan dikalsinasi pada suhu 200°C selama 3 jam 48 menit. Sebagai perbandingan, dilakukan metode yang sama untuk sintesis ZnO tanpa menggunakan ekstrak *B. rotunda*.

### **Karakterisasi nanopartikel ZnO**

Nanopartikel ZnO yang dihasilkan dianalisis menggunakan teknik spektroskopi FTIR, spektrofotometer UV-Vis, dan TEM. Sebagai perbandingan, karakterisasi dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR, spektrofotometer UV-Vis, dan analisis ukuran partikel (PSA) untuk nanopartikel ZnO yang disintesis tanpa melibatkan ekstrak *B. rotunda*.

### **Pengujian aktivitas antibakteri dengan metode difusi cakram**

Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan dengan mengikuti protokol uji sensitivitas difusi cakram Kirby-Bauer tahun 2009, menggunakan

bakteri *Escherichia coli* dengan konsentrasi nanopartikel ZnO sebesar 1 mg/mL.

*Escherichia coli* adalah patogen yang umum menginfeksi manusia dan hewan, menyebabkan berbagai kondisi klinis seperti enteritis, infeksi saluran kemih, septikemia, dan meningitis neonatal (Allocati *et al.*, 2013). Karena potensi aplikasinya dalam produk makanan, studi tentang material yang memiliki sifat antibakteri terhadap *E. coli* sangat penting, termasuk nanopartikel ZnO yang dikenal karena sifatnya yang antibakteri dan keamanannya (Espitia *et al.*, 2016).

Untuk pengujian, medium Mueller Hinton Agar yang telah disiapkan dengan cara mencampurkan 3 gram medium dalam 1 liter aquadest dan proses sterilisasi menggunakan autoclave pada suhu 116°C-121°C selama 15 menit. Bakteri *E. coli* yang telah diinokulasi disuspensikan dalam larutan NaCl 0,9% hingga mencapai kekeruhan yang setara dengan standar McFarland.

Nanopartikel ZnO dengan konsentrasi 1 mg/mL diuji terhadap pertumbuhan bakteri *E. coli* dengan menanamkan biakan bakteri pada media Mueller Hinton Agar, diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C selama 24 jam. Kertas cakram berdiameter 0,55 cm dicelupkan ke dalam suspensi nanopartikel ZnO, kemudian ditempatkan di atas agar yang mengandung biakan bakteri dan diinkubasi pada suhu yang sama selama 24 jam. Zona inhibisi yang terbentuk di sekitar kertas cakram diukur sebagai indikasi aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

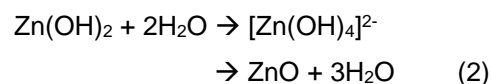
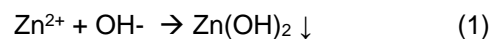
### Produk Nanopartikel ZnO

Ekstraksi *B. rotunda* menggunakan gelombang mikro dilakukan untuk memper-

cepat dan meningkatkan efisiensi proses. Setelah proses sentrifugasi dan penyaringan, dihasilkan ekstrak berwarna coklat bening yang kemudian disimpan di lemari pendingin untuk digunakan pada tahapan berikutnya.

Nanopartikel ZnO dalam bentuk padat berwarna putih keabu-abuan terbentuk setelah proses kalsinasi. Padatan serupa dalam bentuk dan warna juga dihasilkan dari proses kalsinasi ZnO tanpa menggunakan ekstrak *B. rotunda*. Padatan ini kemudian dihaluskan untuk dilakukan karakterisasi.

Reaksi  $Zn^{2+}$  dari larutan  $Zn(CH_3COOH)_2$  dengan NaOH menghasilkan endapan  $Zn(OH)_2$  sesuai dengan persamaan reaksi (1).



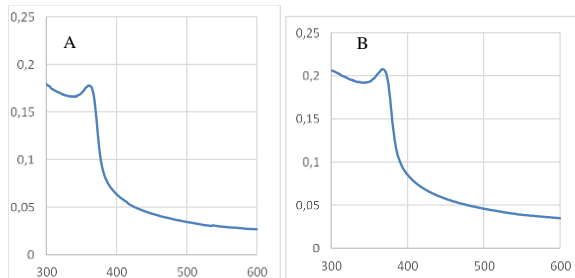
Barreto *et al.* (2013) menunjukkan bahwa iradiasi  $Zn(OH)_2$  menggunakan gelombang mikro menghasilkan kompleks  $[Zn(OH)_4]^{2-}$ , yang selanjutnya berperan dalam pembentukan ZnO (2). Penggunaan gelombang mikro memungkinkan terpolisasinya pertumbuhan kompleks  $[Zn(OH)_4]^{2-}$ , yang dapat mengontrol ukuran partikel ZnO.

### Karakteristik Nanopartikel ZnO

Nanopartikel ZnO dapat dianalisis menggunakan berbagai peralatan. Metode yang umum digunakan termasuk spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur serapan panjang gelombang maksimum. FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terlibat dalam sintesis nanopartikel ZnO. Analisis ukuran partikel (PSA) dapat memberikan informasi tentang distribusi ukuran partikel ZnO. TEM dapat digunakan untuk memvisualisasikan struktur partikel dan dengan bantuan aplikasi *ImageJ*, dapat dilakukan pengukuran diameter partikel yang dihasilkan.

Panjang gelombang ultraviolet (UV) dan cahaya tampak (Visible) berkisar dari 180 hingga 800 nm dalam spektrum elektromagnetik. Absorpsi pada UV-Vis terjadi pada berbagai molekul, terutama senyawa organik, seperti yang dikemukakan oleh L.C. Passos & M.F.S. Saraiva (2019). Spektrometer UV-Vis digunakan untuk karakterisasi molekul karena kemampuannya dalam menangkap proses absorpsi ini.

Nanopartikel ZnO memiliki puncak serapan maksimum pada panjang gelombang antara 350 hingga 390 nm. Dalam penelitian ini, ZnO didispersikan dalam air deionisasi dan kemudian diukur menggunakan UV-Vis spektrometer. Data dari Gambar 1 (A) menunjukkan puncak serapan yang tajam pada 360 nm, yang mengindikasikan pembentukan nanopartikel ZnO. Sementara itu, Gambar 1 (B) menunjukkan puncak serapan pada 370 nm, yang juga menegaskan terbentuknya ZnO dalam larutan tersebut.



**Gambar 1.** (A) Spektrum UV-Vis ZnO dengan ekstrak *B. rotunda*, (B) Spektrum UV-Vis ZnO tanpa ekstrak *B. Rotunda*

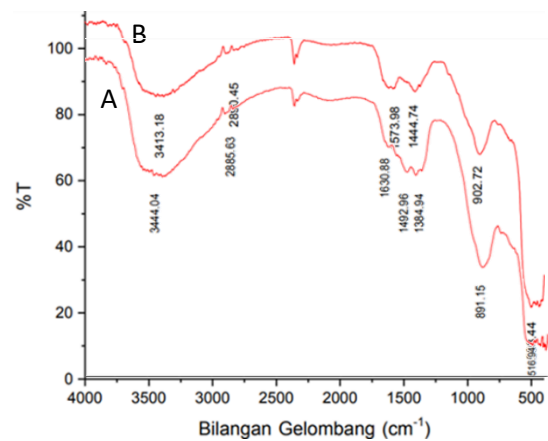
Pada Tabel 1 terlihat bahwa sintesis nanopartikel dengan menggunakan berbagai ekstrak tumbuhan menghasilkan panjang gelombang puncak serapan UV-Vis yang bervariasi.

Spektroskopi inframerah merupakan teknik penting dalam analisis molekuler. Selama beberapa dekade terakhir, metode ini telah menjadi standar dalam karakterisasi

material berskala nano (Baudot et al., 2010). Spektroskopi ini berbasis pada resonansi vibrasi dari ikatan dan gugus fungsi molekul, yang dinyatakan dalam bilangan gelombang (cm<sup>-1</sup>) (Nandiyanto et al., 2019).

**Tabel 1.** Perbandingan panjang gelombang puncak serapan ( $\lambda$  max) dengan ukuran partikel menggunakan berbagai jenis ekstrak

Jenis Ekstrak (dalam pelarut air)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ max) (nm)	Ukuran partikel (nm)	Referensi
<i>Mentha pulegium (L.)</i>	370	40	(Rad et al., 2019)
<i>Plectranthus amboinicus Suaeda</i>	390	88	(Fu & Fu, 2015)
<i>aegyptiaca</i>	377	80	(Rajabi et al., 2017)
<i>Corymbia citriodora</i>	386	64	(Zheng et al., 2019)



**Gambar 2.** (A) Spektrum UV-Vis ZnO tanpa ekstrak, (B) Spektrum UV-Vis ZnO dengan ekstrak

Gambar 2 menunjukkan spektrum FT-IR ZnO dalam dua kondisi: tanpa ekstrak (A) dan dengan ekstrak temu kunci (B). Pada spektrum A, terlihat serapan pada 3444 cm<sup>-1</sup> untuk stretching O-H, 2885 cm<sup>-1</sup> untuk stretching C-H, 1630 cm<sup>-1</sup> untuk stretching C=O, serta 1492 cm<sup>-1</sup>, 1384 cm<sup>-1</sup>, dan 891 cm<sup>-1</sup> untuk bending C-H. Hasil ini mengindikasikan adanya gugus fungsi dari pereaksi yang digunakan, yaitu seng asetat. Di sisi lain, pada spektrum B terdapat



serapan pada  $3413\text{ cm}^{-1}$  untuk stretching O-H,  $2890\text{ cm}^{-1}$  untuk stretching C-H,  $1573\text{ cm}^{-1}$  untuk bending N-H, serta  $1444\text{ cm}^{-1}$  dan  $902\text{ cm}^{-1}$  untuk bending C-H. Penemuan gugus N-H dalam spektrum ini menunjukkan kontribusi dari senyawa ekstrak temu kunci yang digunakan dalam reaksi.

Mikroskopi transmisi elektron (TEM) adalah teknik yang memberikan gambar dengan resolusi hingga skala subnanometer dengan cara mengarahkan serbuk elektron melalui spesimen dan menganalisis serbuk yang ditransmisikan (Mondini *et al.*, 2012).

Pada Gambar 3, terlihat gambar TEM dari partikel ZnO yang menunjukkan bentuk morfologi dan ukuran yang relatif seragam. Keseragaman ini dipengaruhi oleh penggunaan capping agent, yang dikenal mempengaruhi pembentukan bentuk dan ukuran nanopartikel (Restrepo & Villa, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Singh *et al.* (2009) menunjukkan bahwa sintesis nanopartikel ZnO menggunakan metode kimia basah melibatkan Trietanolamina (TEA), Asam Oleat, dan Trietilen glikol. Trietilen glikol dianggap sebagai capping agent yang paling efektif karena menghambat gugus sulfur lebih rendah dibandingkan dengan hambatan sterik dari gugus nitrogen pada TEA.

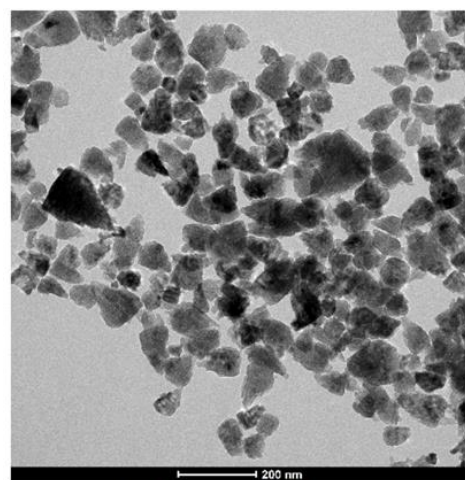
Ekstrak tumbuhan dikenal memiliki kemampuan sebagai *capping agent*. Marfu'ah *et al.* (2020) menunjukkan bahwa ekstrak dari kulit pisang *Musa x paradisiaca* mengandung flavonoid, fenolik, alkaloid, dan saponin, yang semuanya dapat berperan sebagai *capping agent* pada nanopartikel ZnO.

Elumalai & Velmurugan (2015) menggunakan ekstrak *Azadirachta indica* sebagai *capping agent* dalam biosintesis ZnO. Ikatan gugus fungsional seperti  $-\text{CO}-\text{C}-$ ,  $-\text{C}-$

$\text{O}-$ , dan  $-\text{C}=\text{C}-$  berasal dari senyawa heterosiklik dan pita Amida dari protein yang ada dalam ekstrak daun berperan sebagai ligan yang menutupi nanopartikel ZnO. Selain itu, protein dalam medium mencegah aglomerasi dan membantu dalam stabilisasi dengan membentuk lapisan pelindung di sekitar nanopartikel.

*B. rotunda* kaya akan polifenol (Mustafa *et al.*, 2010), flavonoid, dan turunan kalkon (Tan *et al.*, 2015), metabolit sekunder yang potensial menjadi *capping agent* dalam biosintesis nanopartikel ZnO pada penelitian ini.

Gambaran yang dihasilkan oleh TEM kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *ImageJ* (Schneider *et al.*, 2012). Setiap partikel pada citra TEM diukur untuk diameter terpanjangnya, dan *ImageJ* mengolah dan menampilkan distribusi serta diameter rata-rata partikel. Pengolahan ini mengungkapkan bahwa rata-rata diameter partikel adalah  $78,78\text{ nm}$ .

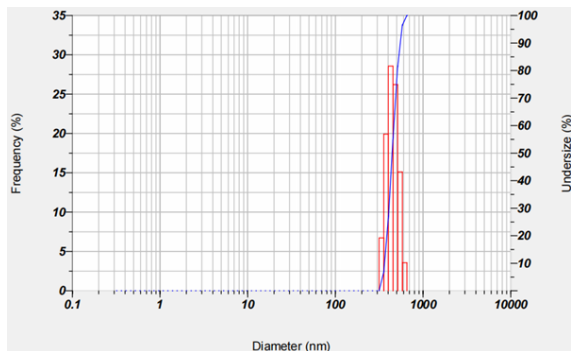


Perbesaran 38.000x

**Gambar 3.** Foto TEM nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak *B. rotunda*

Hasil pengujian menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) (lihat Gambar 4) menunjukkan bahwa rata-rata ukuran partikel ZnO yang dihasilkan tanpa ekstrak *B. rotunda*

adalah 7,81  $\mu\text{m}$ . Dibandingkan dengan penggunaan ekstrak *B. rotunda*, metode tersebut menghasilkan partikel ZnO yang ukurannya jauh lebih besar. Perbedaan ini disebabkan oleh aglomerasi partikel ZnO selama proses reaksi. Temuan ini juga mengonfirmasi bahwa ekstrak *B. rotunda* memiliki peran sebagai *capping agent* dalam pembentukan nanopartikel ZnO.



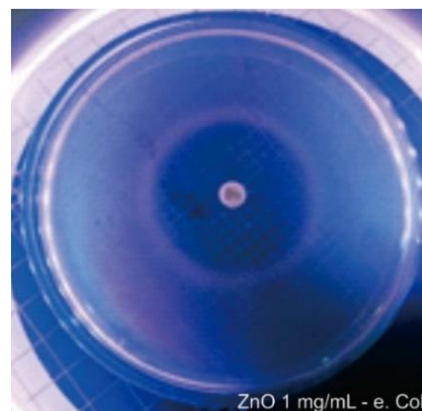
**Gambar 4.** Distribusi ukuran partikel ZnO tanpa ekstrak *B. rotunda*

Ekstrak *B. rotunda* telah terbukti efektif sebagai *capping agent* yang dapat mengontrol ukuran dan bentuk nanopartikel ZnO yang dihasilkan. Dalam dua reaksi yang disebutkan sebelumnya, ukuran rata-rata nanopartikel ZnO adalah 78,78 nm, sedangkan tanpa ekstrak *B. rotunda* ukurannya mencapai 7,81  $\mu\text{m}$ . Selain itu, nanopartikel ZnO yang dihasilkan menunjukkan morfologi yang seragam (Gambar 3).

Peranan *capping agent* sangat penting dalam mengatur ukuran nanopartikel ZnO dan mencegah aglomerasi, terutama selama proses kalsinasi. Studi oleh Ibrahim *et al.* (2017) menggunakan berbagai senyawa seperti urea, laktosa, pati, selulosa, dan polivinilpirolidon (PVP) sebagai *capping agent*, dan mereka menemukan bahwa setiap senyawa tersebut menghasilkan nanopartikel ZnO dengan karakteristik ukuran dan bentuk yang berbeda.

Metode difusi cakram digunakan untuk mengevaluasi aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan konsentrasi 1 mg/mL dengan dua kali pengulangan, mengacu pada studi sebelumnya yang menunjukkan zona hambat dimulai pada konsentrasi 0,5 mg/mL terhadap *E. coli*. Penelitian sebelumnya oleh Dadi *et al.* (2019) mencatat bahwa zona hambat terlihat pada konsentrasi 0,81 mg/mL dengan diameter 27 mm, sedangkan Aldeen *et al.* (2022) menemukan zona hambat pada konsentrasi 4 mg/mL dengan diameter 15,8 mm terhadap *E. coli*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki aktivitas antibakteri terhadap *E. coli* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5 dengan zona hambat sebesar 45,7 mm pada konsentrasi 1 mg/mL. Nanopartikel ZnO efektif dalam merusak lapisan sitoplasma sel bakteri, sesuai dengan temuan oleh Mendes *et al.* (2022).



**Gambar 5.** Foto zona hambat nanopartikel ZnO 1mg/mL terhadap bakteri *E. coli*

Aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO juga dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel tersebut. Nanopartikel ZnO memiliki luas permukaan spesifik yang besar, sebagaimana dijelaskan oleh Mendes *et al.* (2022). Studi oleh Jiang *et al.* (2016)

mengungkapkan bahwa mekanisme interaksi fisik dan kimia antara nanopartikel ZnO dan bakteri *E. coli* menyebabkan kerusakan pada integritas membran sel bakteri, yang dapat dilihat dari kebocoran ion  $K^+$  dari cairan intrasel bakteri.

Konsentrasi nanopartikel ZnO yang lebih tinggi diketahui meningkatkan kemampuan antibakteri terhadap *E. coli* (Aldeen *et al.*, 2022). Selain itu, morfologi dan ukuran partikel juga memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas antibakterinya (Babayevska *et al.*, 2022). Tabel 2 menyajikan perbandingan kemampuan antibakteri nanopartikel ZnO, menunjukkan bahwa ukuran dan konsentrasi partikel ZnO berpengaruh langsung terhadap kekuatan antibakterinya terhadap *E. coli*.

**Tabel 2.** Perbandingan ukuran dan konsentrasi nanopartikel ZnO terhadap kemampuan melawan *E. coli*

Ukuran nano-partikel ZnO (nm)	Konsentrasi (mg/mL)	Zona hambat (mm)	Referensi
15	4	15,8	(Aldeen <i>et al.</i> , 2022)
3	0,81	27	(Dadi <i>et al.</i> , 2019)
87,87	1	45,7	Penelitian ini

## KESIMPULAN

Studi biosintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak temu kunci sebagai *capping agent* dengan bantuan iradiasi gelombang mikro berhasil menghasilkan nanopartikel ZnO berukuran rata-rata 78,78 nm. Di sisi lain, penerapan metode yang sama tanpa menggunakan ekstrak temu kunci

menghasilkan ZnO dalam bentuk bulk dengan distribusi rata-rata ukuran partikel sebesar 7,81  $\mu$ m.

Nanopartikel ZnO telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri terhadap *E. coli* berdasarkan pengujian menggunakan metode difusi cakram. Terlihat zona bening di sekitar nanopartikel ZnO yang menunjukkan hambatan pertumbuhan bakteri, dengan diameter zona hambat mencapai 47,7 mm.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada civitas Kimia IPB, terutama divisi kimia organik. Terimakasih juga kepada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bekasi dan UPTD Laboratorium Lingkungan Kabupaten Bekasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldeen, T. S., Ahmed Mohamed, H. E., & Maaza, M. (2022). ZnO nanoparticles prepared via a green synthesis approach: Physical properties, photocatalytic and antibacterial activity. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2021.110313>
- Allocati, N., Masulli, M., Alexeyev, M. F., & Di Ilio, C. (2013). *Escherichia coli* in Europe: An overview. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 10, Issue 12, pp. 6235–6254). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph10126235>
- Alupului, A., Călinescu, I., & Lavric, V. (2012). MICROWAVE EXTRACTION OF ACTIVE PRINCIPLES FROM MEDICINAL PLANTS. *Bull., Series B*, 74(2).
- Aneesh, P. M., Vanaja, K. A., & Jayaraj, M. K. (2007). Synthesis of ZnO nanoparticles by hydrothermal method. *Nanophotonic Materials IV*, 6639, 66390J. <https://doi.org/10.1117/12.730364>
- Babayevska, N., Przysiecka, Ł., Iatsunskyi, I., Nowaczyk, G., Jarek, M., Janiszewska, E., & Jurga, S. (2022). ZnO size and shape effect on antibacterial activity and cytotoxicity profile. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12134-3>



- Barreto, G. P., Morales, G., & Quintanilla, Ma. L. L. (2013). Microwave Assisted Synthesis of ZnO Nanoparticles: Effect of Precursor Reagents, Temperature, Irradiation Time, and Additives on Nano-ZnO Morphology Development. *Journal of Materials*, 2013, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2013/478681>
- Basnet, P., & Chatterjee, S. (2020). Structure-directing property and growth mechanism induced by capping agents in nanostructured ZnO during hydrothermal synthesis—A systematic review. In *Nano-Structures and Nano-Objects* (Vol. 22). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100426>
- Baudot, C., Tan, C. M., & Kong, J. C. (2010). FTIR spectroscopy as a tool for nano-material characterization. *Infrared Physics and Technology*, 53(6), 434–438. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2010.09.002>
- Bayrami, A., Parvinroo, S., Habibi-Yangjeh, A., & Rahim Pouran, S. (2018). Bio-extract-mediated ZnO nanoparticles: microwave-assisted synthesis, characterization and antidiabetic activity evaluation. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 46(4), 730–739. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1337025>
- Chimupala, Y., Phomma, C., Yimklan, S., Semakul, N., & Ruankham, P. (2020). Dye wastewater treatment enabled by piezo-enhanced photocatalysis of single-component ZnO nanoparticles. *RSC Advances*, 10(48), 28567–28575. <https://doi.org/10.1039/d0ra04746e>
- Dadi, R., Azouani, R., Traore, M., Mielcarek, C., & Kanaev, A. (2019). Antibacterial activity of ZnO and CuO nanoparticles against gram positive and gram negative strains. *Materials Science and Engineering C*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109968>
- Elumalai, K., & Velmurugan, S. (2015). Green synthesis, characterization and antimicrobial activities of zinc oxide nanoparticles from the leaf extract of *Azadirachta indica* (L.). *Applied Surface Science*, 345, 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.176>
- Espitia, P. J. P., Otoni, C. G., & Soares, N. F. F. (2016). Zinc Oxide Nanoparticles for Food Packaging Applications. In *Antimicrobial Food Packaging* (pp. 425–431). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00034-6>
- Fu, L., & Fu, Z. (2015). Plectranthus amboinicus leaf extract-assisted biosynthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic activity. *Ceramics International*, 41(2), 2492–2496. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.10.069>
- Huang, Y., Haw, C. Y., Zheng, Z., Kang, J., Zheng, J. C., & Wang, H. Q. (2021). Biosynthesis of Zinc Oxide Nanomaterials from Plant Extracts and Future Green Prospects: A Topical Review. In *Advanced Sustainable Systems* (Vol. 5, Issue 6). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/adsu.202000266>
- Ibrahim, N. A., Nada, A. A., Hassabo, A. G., Eid, B. M., Noor El-Deen, A. M., & Abou-Zeid, N. Y. (2017). Effect of different capping agents on physicochemical and antimicrobial properties of ZnO nanoparticles. *Chemical Papers*, 71(7), 1365–1375. <https://doi.org/10.1007/s11696-017-0132-9>
- Jacob, V., & P, R. (2019). IN VITRO ANALYSIS: THE ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES FROM CURCUMA LONGA. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 12(1), 200. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2019.v12i1.28808>
- Jiang, Y., Zhang, L., Wen, D., & Ding, Y. (2016). Role of physical and chemical interactions in the antibacterial behavior of ZnO nanoparticles against *E. coli*. *Materials Science and Engineering C*, 69, 1361–1366. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.08.044>
- Jurablu, S., Farahmandjou, M., & Firoozabadi, T. P. (2015). Sol-Gel Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles: Study of Structural and Optical Properties. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 26(3), 281–285. <http://jscienc.es.ut.ac.ir>
- Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol. (2009). [www.atcc.org](http://www.atcc.org)
- L.C. Passos, M., & M.F.S. Saraiva, M. L. (2019). Detection in UV-visible spectrophotometry: Detectors, detection systems, and detection strategies. In

- Measurement: Journal of the International Measurement Confederation (Vol. 135, pp. 896–904). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.045>
- Lopez-Miranda, J. L., Molina, G. A., González-Reyna, M. A., España-Sánchez, B. L., Esparza, R., Silva, R., & Estévez, M. (2023). Antibacterial and Anti-Inflammatory Properties of ZnO Nanoparticles Synthesized by a Green Method Using Sargassum Extracts. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2). <https://doi.org/10.3390/ijms24021474>
- Mallikarjunaswamy, C., Lakshmi Ranganatha, V., Ramu, R., Udayabhanu, & Nagaraju, G. (2020). Facile microwave-assisted green synthesis of ZnO nanoparticles: application to photodegradation, antibacterial and antioxidant. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(2), 1004–1021. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02612-2>
- Marfu'ah, S., Rohma, S. M., Fanani, F., Hidayati, E. N., Nitasari, D. W., Primadi, T. R., Ciptawati, E., Sumari, S., & Fajaroh, F. (2020). Green Synthesis of ZnO Nanoparticles by Using Banana Peel Extract as Capping agent and Its Bacterial Activity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 833(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/833/1/012076>
- Mendes, C. R., Dilarri, G., Forsan, C. F., Sapata, V. de M. R., Lopes, P. R. M., de Moraes, P. B., Montagnolli, R. N., Ferreira, H., & Bidoia, E. D. (2022). Antibacterial action and target mechanisms of zinc oxide nanoparticles against bacterial pathogens. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06657-y>
- Mondini, S., Ferretti, A. M., Puglisi, A., & Ponti, A. (2012). Pebbles and PebbleJuggler: Software for accurate, unbiased, and fast measurement and analysis of nanoparticle morphology from transmission electron microscopy (TEM) micrographs. *Nanoscale*, 4(17), 5356–5372. <https://doi.org/10.1039/c2nr31276j>
- Mustafa, R. A., Hamid, A. A., Mohamed, S., & Bakar, F. A. (2010). Total phenolic compounds, flavonoids, and radical scavenging activity of 21 selected tropical plants. *Journal of Food Science*, 75(1). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01401.x>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Parthasarathy, G. (2017). Biological Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from Leaf Extract of *Curcuma neilgherrensis* Wight. <http://www.ripublication.com>
- Rad, S. S., Sani, A. M., & Mohseni, S. (2019). Biosynthesis, characterization and antimicrobial activities of zinc oxide nanoparticles from leaf extract of *Mentha pulegium* (L.). *Microbial Pathogenesis*, 131, 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.022>
- Rajabairavi, N., Raju, C. S., Karthikeyan, C., Varutharaju, K., Nethaji, S., Hameed, A. S. H., & Shajahan, A. (2017). Biosynthesis of novel zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) using endophytic bacteria *Sphingobacterium thalpophilum*. *Springer Proceedings in Physics*, 189, 245–254. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44890-9\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44890-9_23)
- Rajabi, H. R., Naghiha, R., Kheirizadeh, M., Sadatfaraji, H., Mirzaei, A., & Alvand, Z. M. (2017). Microwave assisted extraction as an efficient approach for biosynthesis of zinc oxide nanoparticles: Synthesis, characterization, and biological properties. *Materials Science and Engineering C*, 78, 1109–1118. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.090>
- Restrepo, C. V., & Villa, C. C. (2021). Synthesis of silver nanoparticles, influence of capping agents, and dependence on size and shape: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100428>
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. In *Nature Methods* (Vol. 9, Issue 7, pp. 671–675). <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Singh, A. K., Viswanath, V., & Janu, V. C. (2009). Synthesis, effect of capping agents, structural, optical and photoluminescence properties of ZnO

nanoparticles. *Journal of Luminescence*, 129(8), 874–878.  
<https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2009.03.027>

<https://doi.org/10.1080/24701556.2019.1661441>

Subha, G., & Kalaiselvi, M. (2019). SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES USING *Curcuma amada* AND IT'S IN VITRO ANTI-DIABETIC ACTIVITY. *American International Journal of Research in Science*, 230. <http://www.iasir.net>

Tan, B. C., Tan, S. K., Wong, S. M., Ata, N., Rahman, N. A., & Khalid, N. (2015). Distribution of flavonoids and cyclohexenyl chalcone derivatives in conventional propagated and in vitro-derived field-grown *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/451870>

Vidhya, E., Vijayakumar, S., Prathipkumar, S., & Praseetha, P. K. (2020). Green way biosynthesis: Characterization, antimicrobial and anticancer activity of ZnO nanoparticles. *Gene Reports*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100688>

Xu, J., Huang, Y., Zhu, S., Abbas, N., Jing, X., & Zhang, L. (2021). A review of the green synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and their prospects for application in antibacterial textiles. In *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* (Vol. 16). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/15589250211046242>

Yang, Y., Chen, H., Zhao, B., & Bao, X. (2004). Size control of ZnO nanoparticles via thermal decomposition of zinc acetate coated on organic additives. *Journal of Crystal Growth*, 263(1–4), 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2003.12.010>

Zarrindokht Emami-Karvani. (2012). Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on Gram-positive and Gram-negative bacteria. *African Journal of Microbiology Research*, 5(18). <https://doi.org/10.5897/ajmr10.159>

Zheng, Y., Huang, Y., Shi, H., & Fu, L. (2019). Green biosynthesis of ZnO nanoparticles by *Plectranthus amboinicus* leaf extract and their application for electrochemical determination of norfloxacin. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 49(9), 277–282.