

Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles from Battery Waste for Antimicrobial Test of Apium graveolens L. Extract against Staphylococcus epidermidis Bacteria

Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dari Limbah Baterai untuk Uji Antimikroba Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L. terhadap Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Apriyan Bima Maulana^a, Putri Jeni Asih^a, Salsabila Nur Azizah^a, Aisyah^a, Dininur Aprilliani^b, Ajeng Yulianti Dwi Lestari^{a*}

^aProgram Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia

^bProgram Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta 55584, Indonesia

*Corresponding author: aydlestari@uii.ac.id

Diterima: 1 Mei 2025, Direvisi: 11 Juli 2025, Diterbitkan: 31 Juli 2025

ABSTRACT

*Battery waste contains hazardous materials that can damage the environment if not properly treated. One innovative solution for managing this waste is the synthesis of zinc oxide (ZnO), known for its strong antimicrobial properties. Additionally, *Apium graveolens* L. extract is recognized for its significant antibacterial activity. This study aims to synthesize ZnO nanoparticles from battery waste and evaluate their effectiveness in enhancing the antimicrobial activity of *Apium graveolens* L. extract against *S. epidermidis*. ZnO was synthesized using the coprecipitation method from Zn-C battery waste, and *Apium graveolens* L. extract was obtained through maceration. The ZnO characterization was conducted using XRD and FTIR, and antimicrobial tests were performed against *S. epidermidis*. The results showed that the synthesized ZnO nanoparticles had an average crystallite size of 41.611 nm with high crystallinity. When combined with *Apium graveolens* L. extract, the crystallite size became smaller, at 16.881 nm. Antimicrobial tests revealed that ZnO effectively inhibited the growth of *S. epidermidis* with an inhibition zone of 16 mm, while the combination of ZnO with *Apium graveolens* L. extract did not show antimicrobial activity. This is due to the antagonistic interaction between phytochemical compounds and the ZnO surface which reduces the antibacterial effectiveness. In addition, the agglomeration of ZnO and the absence of stabilizing agents also limit the diffusion and penetration of particles into bacterial cells. Thus, ZnO synthesized from battery waste is proven to be effective as an antimicrobial agent against *S. epidermidis*. This synthesis method is also environmentally friendly and has broad application potential.*

Keywords: ZnO nanoparticles, *Apium graveolens* L., *S. epidermidis*, battery waste, antimicrobial.

ABSTRAK

Limbah baterai mengandung bahan berbahaya yang dapat merusak lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Salah satu solusi inovatif untuk menangani limbah ini adalah dengan mensintesis seng oksida (ZnO) yang dikenal memiliki sifat antimikroba yang kuat. Di samping itu, ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. juga diketahui memiliki aktivitas antibakteri yang signifikan. Riset ini bertujuan untuk

mensintesis nanopartikel ZnO dari limbah baterai dan mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan aktivitas antimikroba dari ekstrak *Apium graveolens* L. terhadap bakteri *S. epidermidis*. ZnO disintesis menggunakan metode kopresipitasi dari limbah baterai Zn-C, dan ekstrak *Apium graveolens* L. diperoleh melalui metode maserasi. Karakterisasi ZnO dilakukan menggunakan XRD dan FTIR, dan uji antimikroba dilakukan terhadap bakteri *S. epidermidis*. Hasil riset menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang dihasilkan memiliki ukuran kristalit rata-rata 41,611 nm dengan kristalinitas yang tinggi. Ketika dikombinasikan dengan ekstrak *Apium graveolens* L., ukuran kristalit menjadi lebih kecil, yaitu 16,881 nm. Uji antimikroba mengungkapkan bahwa ZnO efektif menghambat pertumbuhan *S. epidermidis* dengan zona hambat sebesar 16 mm, sedangkan kombinasi ZnO dengan ekstrak *Apium graveolens* L. tidak menunjukkan aktivitas antimikroba. Hal ini diakibatkan oleh interaksi antagonistik antara senyawa fitokimia dan permukaan ZnO yang menurunkan efektivitas antibakteri. Selain itu, aglomerasi ZnO dan ketiadaan agen penstabil turut membatasi difusi dan penetrasi partikel ke sel bakteri. Dengan demikian, ZnO yang disintesis dari limbah baterai terbukti efektif sebagai agen antimikroba terhadap *S. epidermidis*. Metode sintesis ini juga ramah lingkungan dan memiliki potensi aplikasi yang luas.

Kata kunci: Nanopartikel ZnO, *Apium graveolens* L., *S. epidermidis*, limbah baterai, antimikroba.

PENDAHULUAN

Permasalahan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) semakin mendesak perhatian, terutama dalam konteks lingkungan dan kesehatan manusia. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2023, limbah B3 di Indonesia mencapai 77.482.036,44 ton, dengan pengolahan yang masih belum optimal. Salah satu limbah B3 yang menjadi sorotan adalah limbah baterai yang mengandung logam berat seperti seng (Santoso dan Halomoan, 2022). Pada tahun 2019, limbah baterai mencapai 16.548,8 ton, menunjukkan peningkatan 17,14% dari tahun sebelumnya (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Meskipun jumlahnya relatif kecil, kandungan bahan berbahaya dan beracun dalam limbah baterai tetap berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan

manusia jika tidak diolah dengan baik (Putra *et al.*, 2019).

Pengolahan dan pemanfaatan kembali limbah baterai, khususnya bagian logam seperti seng, menjadi penting dalam upaya mengurangi dampak negatifnya. Salah satu inovasi yang telah dilakukan adalah sintesis seng oksida (ZnO) dari limbah baterai. ZnO dikenal memiliki sifat antimikroba yang kuat, membuatnya potensial untuk aplikasi biomedis, termasuk sebagai agen antimikroba. Riset oleh Andini, Hadisantoso, dan Setiadji (2023) berhasil mensintesis nanopartikel ZnO dari limbah baterai menggunakan metode presipitasi dan kalsinasi. Hasil riset ini menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki efektivitas tinggi dalam aplikasi antimikroba.

Selain itu, riset oleh Ngelu (2022) terkait potensi tanaman *Apium graveolens* L. yang dikenal memiliki senyawa bioaktif dengan aktivitas antibakteri, termasuk

senyawa fenolik sebagai agen antibakteri potensial, semakin memperkuat ide pemanfaatan ZnO sebagai katalis dalam meningkatkan aktivitas antimikroba tanaman tersebut. Ekstrak dari berbagai bagian tanaman ini, seperti daun, akar, dan biji, telah terbukti efektif melawan bakteri patogen, termasuk *S. epidermidis*, yang sering menjadi masalah kesehatan pada kulit manusia.

Meskipun berbagai riset telah menunjukkan potensi ZnO sebagai agen antimikroba, serta manfaat *Apium graveolens* L. sebagai sumber senyawa antibakteri, kajian mengenai kombinasi keduanya dalam konteks limbah baterai dan penggunaan ZnO sebagai katalis dalam aktivitas antimikroba masih sangat terbatas. Oleh karena itu, riset ini difokuskan pada pemanfaatan limbah baterai untuk mensintesis nanopartikel ZnO dan menguji efektivitasnya dalam meningkatkan aktivitas antimikroba dari tanaman *Apium graveolens* L. terhadap bakteri *S. epidermidis*.

Riset ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi permasalahan limbah baterai, serta mengembangkan alternatif antimikroba yang lebih ramah lingkungan dan efektif. Pendekatan yang digunakan dalam riset ini mengintegrasikan sintesis nanopartikel ZnO dari limbah baterai dengan aplikasi tanaman *Apium graveolens*

L., dengan tujuan untuk menemukan solusi yang berkelanjutan dan inovatif.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam riset ini adalah hot plate stirrer, furnace, oven, blender, ayakan, rotary evaporator, pH universal, neraca analitik, termometer, alat maserasi, X-Ray Diffraction (XRD) merek Bruker D2 Phase, Fourier Transform Infra Red (FTIR) merek ATR Thermoscientific Nicolate i5, mikro pipet, cawan petri, inkubator, tabung reaksi, dan jarum inokulum. Bahan-bahan yang digunakan dalam riset ini adalah HCl pekat 37% (teknis), NaOH 6M (Himedia p.a), logam Zn dari limbah baterai Zn-C 1,5 volt, tanaman *Apium graveolens* L., etanol 96%, bakteri *Staphylococcus epidermidis*, akuades, Mueller-Hinton Agar (MHA), dan Mueller-Hinton Broth (MHB).

Isolasi ZnO dari Limbah Baterai

Sintesis material ZnO dilakukan dengan metode kopresipitasi. Sumber Zn yang digunakan diperoleh dari pemanfaatan limbah baterai Zn-C. Sebanyak 40 gram lempeng Zn yang telah dibersihkan dan dipotong menjadi potongan kecil dilarutkan ke dalam 280 mL HCl dan diaduk dengan pemanasan pada suhu 80°C selama 2 jam. Filtrat yang terbentuk diendapkan menggunakan NaOH 6 M hingga pH larutan mencapai 10. Endapan yang

terbentuk dinetralkan dan kemudian dipanaskan pada suhu 70°C selama 10 jam. Selanjutnya, dikalsinasi pada suhu 400°C selama 3 jam.

Ekstraksi Tanaman *Apium graveolens* L.

Seledri sebanyak tiga kilogram dicuci bersih, dipanaskan hingga kering, lalu sampel dihaluskan menggunakan *blender* hingga menjadi serbuk. Serbuk seledri dimasukkan ke dalam wadah yang tertutup baik dan terlindung cahaya lalu ditambahkan etanol 96% sampai terendam sempurna sambil sekali-sekali diaduk, kemudian diamkan selama 3 hari. Maserat disaring dan diuapkan secara *in vacuo* dengan *rotary evaporator* sehingga diperoleh ekstrak kental.

Sintesis Nanopartikel ZnO dan Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L.

Sampel nanopartikel ZnO yang telah disintesis dan ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L. dicampur tetes demi tetes ke dalam media basa yang dipertahankan pada pH 11 dan pencampuran dilakukan selama 5 jam dengan pengadukan terus menerus. Campuran reaksi selanjutnya diaduk selama 8 jam pada suhu 60 °C untuk memastikan penyelesaian reaksi. Larutan berubah warna menjadi coklat muda, menunjukkan terbentuknya endapan. Endapan disentrifugasi kemudian dicuci beberapa kali menggunakan akuades. Endapan yang diperoleh dikeringkan,

digiling, lalu dikalsinasi pada suhu 400 °C selama 4 jam. Serbuk berwarna keputihan yang diperoleh diberi label nanopartikel ZnO.

Karakterisasi Ekstrak dan Nanopartikel

Nanopartikel ZnO yang telah ditambahkan pada ekstrak seledri dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Karakterisasi menggunakan XRD berfungsi sebagai analisis kristalinitas nanopartikel ZnO dan melihat nilai indeks miller serta ukuran kristalit, dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) digunakan untuk menganalisis struktur kimia dan komposisi senyawa organik dan anorganik.

Ukuran kristalit ditentukan menggunakan rumus Scherrer berdasarkan data XRD pada 9 puncak utama difraksi. Rumus Scherrer dinyatakan sebagai:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Dengan:

D = ukuran kristalit (nm)

K = konstanta Scherrer (0,9)

λ = panjang gelombang sinar-X (Å)

β = lebar puncak pada setengah tinggi (FWHM) dalam radian

θ = sudut difraksi (Bragg angle)

Nilai indeks Miller (hkl) diperoleh dengan mencocokkan posisi puncak-puncak difraksi dari hasil XRD dengan pola difraksi standar ZnO berdasarkan kartu

referensi JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) (Fatimah *et al.*, 2022).

Uji Aktivitas Antimikroba

Konsentrasi nanopartikel ZnO, dan kombinasi nanopartikel ZnO dengan ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L yang telah disiapkan dan pengujian dilakukan pada konsentrasi 500 mg/mL. Secara singkat, sel bakteri ditumbuhkan dalam *Mueller-Hinton broth* (MHB) dan diencerkan hingga densitas sel $1,5 \times 10^8$ colony-forming unit (CFU)/mL sesuai dengan standar MC Farland 0,5. Dilakukan metode *streak plate* dalam isolasi bakteri dengan media *Mueller-Hinton Agar* (MHA) yang mengandung bakteri dengan kekeruhan 10^{-4} dengan jumlah nanopartikel ZnO, kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak seledri yang telah dibuat sesuai konsentrasi. Tempelkan *paper disc* dengan ukuran diameter 6 mm yang telah mengandung larutan sampel, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Diukur diameter zona hambat yang tunjukkan dari aktivitas antimikroba disekeliling *paper disc*.

PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Nanopartikel ZnO dan Ekstraksi Tanaman *Apium graveolens* L.



(a)



(b)



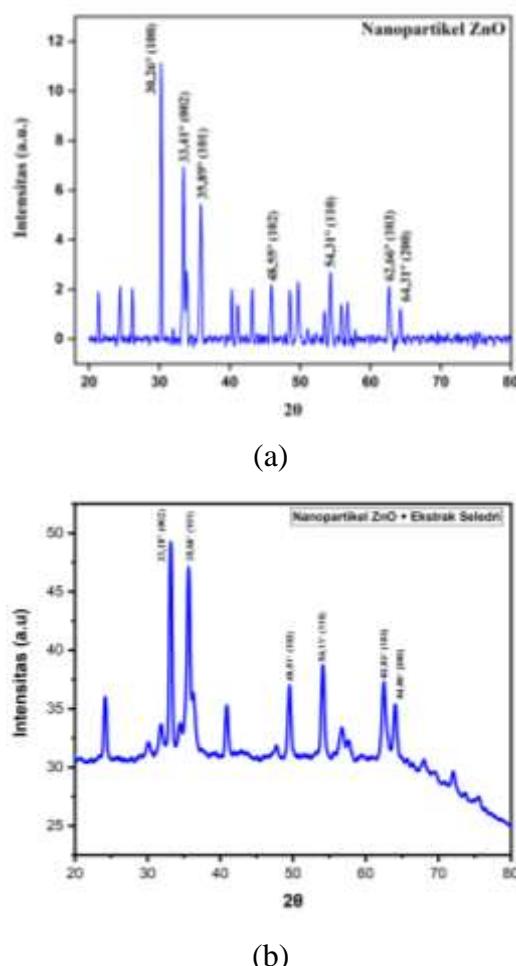
(c)

Gambar 1. Hasil (a) Sintesis Nanopartikel ZnO, (b) Ekstraksi Tanaman *Apium graveolens* L., dan (c) Kombinasi Nanopartikel ZnO dan Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L.

Sintesis nanopartikel ZnO dari limbah baterai dengan metode kopresipitasi menghasilkan serbuk padatan berwarna oranye sebanyak 20 gram. Hasil yang

diperoleh dari ekstraksi tanaman *Apium graveolens* L. dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol yaitu berupa larutan kental berwarna hijau sebanyak 150 mL. Penggabungan nanopartikel ZnO dan ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. menghasilkan serbuk padatan berwarna coklat sebanyak 7,4 gram.

Hasil Karakterisasi dengan XRD dan FTIR



Gambar 2. Pola Difraksi Sinar-X (XRD) (a) Nanopartikel ZnO dan (b) Kombinasi Nanopartikel ZnO dan Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L.

Keberhasilan sintesis ZnO dengan ukuran nanopartikel dibuktikan dengan karakterisasi kristalit menggunakan

instrumen XRD. Berdasarkan Gambar 2, hasil analisis XRD menunjukkan puncak-puncak karakteristik ZnO dengan intensitas yang tinggi dan tajam, mengindikasikan bahwa sampel ZnO memiliki kristalinitas yang baik.

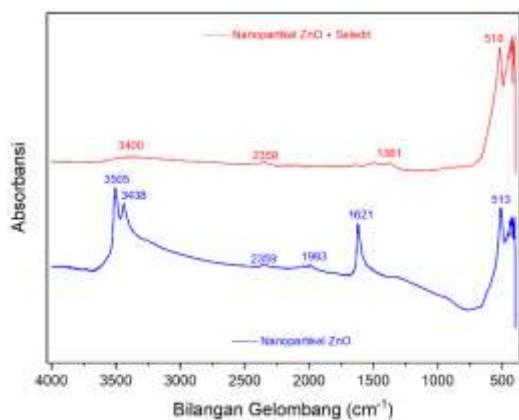
Tabel 1. Ukuran Kristalit Nanopartikel ZnO dan Kombinasi Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L.

Material	Jarak Antar Lapis (nm)	D (nm)	Rata-rata D (nm)
ZnO	0.2951	42.421	41.611
	0.2679	34.705	
	0.2499	95.985	
	0.1874	26.733	
	0.1688	27.990	
	0.1481	21.833	
	2.6975	19.102	
ZnO + Ekstrak Seledri	2.5193	11.077	16.881
	2.2031	18.760	
	1.8394	18.584	
	1.6249	0.562	
	1.4516	15.699	

Pada Tabel 1, hasil analisis XRD nanopartikel ZnO menunjukkan rata-rata ukuran kristalit sekitar 41,611 nm. Sedangkan, kombinasi nanopartikel ZnO dengan ekstrak *Apium graveolens* L. menunjukkan rata-rata ukuran kristalit yang lebih kecil, yaitu 16,881 nm. Ukuran ini berada dalam rentang nanometer, mengonfirmasi bahwa sampel tersebut berbentuk nanopartikel.

Data XRD menunjukkan puncak-puncak difraksi yang tajam dan intens pada 2θ sekitar 31.7°, 34.4°, dan 36.2°, yang sesuai dengan bidang kristal (100), (002), dan (101) dari struktur wurtzit ZnO berdasarkan referensi JCPDS No. 36-1451. Hal ini mengonfirmasi bahwa senyawa yang terbentuk merupakan ZnO dengan struktur kristal heksagonal. Ukuran kristalit

dihitung menggunakan persamaan Scherrer dan diperoleh nilai sebesar 41,611 nm untuk nanopartikel ZnO, serta 16,881 nm untuk kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak *Apium graveolens* L. (Azzahra *et al.*, 2024).



Gambar 3. Spektrum FTIR Nanopartikel ZnO dan Kombinasi Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L.

Hasil nanopartikel ZnO dan kombinasi nanopartikel ZnO dengan Ekstrak *Apium graveolens* L. selanjutnya dianalisis menggunakan instrumen FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 2. Pada hasil analisis nanopartikel ZnO, diperoleh bilangan gelombang 3505 per cm dan 3438 per cm, mewakili getaran peregangan O-H yang dihasilkan dari air yang terserap. Bilangan gelombang 2359 per cm, merupakan serapan ikatan C=O. Bilangan gelombang 1993 per cm, merupakan serapan C-H. Bilangan gelombang 1621 per cm, mewakili getaran gelombang C=C, dan bilangan gelombang 513 per cm, merupakan serapan ikatan Zn-

Cl sebagai bahan dasar pembuatan nanopartikel ZnO.

Tabel 2. Data Hasil Karakterisasi FTIR Nanopartikel ZnO dan Kombinasi Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Tanaman *Apium graveolens* L.

Material	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
Nanopartikel ZnO + ekstrak <i>Apium graveolens</i> L.	3400	N-H
	2359	C=O
	1361	O-H
	518	Zn-Cl
Nanopartikel ZnO	3505	O-H
	3438	O-H
	2359	C=O
	1993	C-H
	1621	C=C
	513	Zn-Cl

Untuk hasil analisis kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak seledri, diperoleh bilangan gelombang 3400 per cm, mewakili getaran peregangan N-H (Nandiyanto *et al.*, 2019). Bilangan gelombang 2359 per cm, merupakan serapan ikatan C=O. Pita serapan pada 2359 cm⁻¹ yang diidentifikasi sebagai ikatan C=O berasal dari senyawa flavonoid seperti apigenin dan luteolin yang terdapat dalam ekstrak *Apium graveolens* L. Senyawa-senyawa ini secara struktural mengandung gugus karbonil (C=O) (Kholieqoh, 2015). Bilangan gelombang 1361 per cm, merupakan serapan O-H yang teridentifikasi sebagai senyawa antimikroba, yaitu fenol dan bilangan gelombang 518 per cm merupakan serapan Zn-Cl yang merupakan bahan dasar pembuatan nanopartikel ZnO (Trivedi dan Jana, 2020).

Hasil Uji Antimikroba

Sampel yang digunakan merupakan hasil dari proses sintesis nanopartikel ZnO dari limbah baterai, ekstrak tanaman *Apium graveolens* L., kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak tanaman *Apium graveolens* L., dan aquades sebagai kontrol. Hasil yang diperoleh dari uji antimikroba terhadap bakteri *S. epidermidis* dengan metode uji difusi cakram berdiameter 6 mm yaitu diameter zona bening horizontal pada sampel nanopartikel ZnO 16 mm, diameter zona bening pada sampel ekstrak tanaman *Apium graveolens* L 0 mm, dan diameter zona bening pada sampel kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. 0 mm. Kemudian diukur diameter vertikal zona bening pada sampel nanopartikel ZnO 15 mm, diameter vertikal zona bening ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. 0 mm, dan diameter vertikal zona bening sampel kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. 0 mm. Hasil zona bening sampel uji ditunjukkan pada Gambar 4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Hasil Zona Bening Sampel, (a) Nanopartikel ZnO, (b) Ekstrak *Apium graveolens* L., dan (C) Campuran Nanopartikel ZnO dan Ekstrak *Apium graveolens* L.

Interpretasi dari uji aktivitas antibakteri adalah terbentuknya daerah yang tidak ditumbuhinya oleh bakteri atau biasa disebut dengan zona hambat, semakin besar zona hambat yang terbentuk maka semakin efektif agen antimikroba yang digunakan (Indrayati & Diana, 2020). Dengan data diameter zona hambat hasil uji antimikroba diperoleh diameter hasil uji akhir pada sampel nanopartikel ZnO 10 mm, diameter zona hambat pada sampel ekstrak tanaman *Apium graveolens* L 0 mm, dan diameter zona hambat pada sampel kombinasi nanopartikel ZnO dan ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. 0 mm. Menurut Kandoli, (2016), diameter zona hambat lebih dari 20 mm

dikategorikan sebagai daya hambat sangat baik, diameter 11-20 mm dikatakan daya hambat kuat, diameter 5-10 mm dikatakan sebagai daya hambat sedang, dan diameter zona hambat 0-4 mm diartikan sebagai daya hambat lemah. Nanopartikel ZnO yang disintesis dari limbah baterai menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *S. epidermidis* dengan diameter zona hambat sebesar 16 mm. Nilai ini berada dalam kisaran efektivitas nanopartikel ZnO pada berbagai studi sebelumnya, seperti nanopartikel ZnO sintetis dengan zona hambat hingga 19 mm (Kadhum, 2017), atau nanopartikel Ag dengan zona hambat hingga 18 mm (Jin dan Jin, 2021), nilai 16 mm yang diperoleh tetap berada dalam rentang yang dapat dikategorikan efektif berdasarkan standar zona hambat antibakteri terhadap bakteri gram positif.

Hasil uji antibakteri ekstrak seledri (*Apium graveolens* L.) terhadap *S. epidermidis* dalam riset ini menunjukkan tidak terbentuknya zona hambat. Perbedaan hasil ini dibandingkan dengan riset Khotimah *et al.* (2020), yang menunjukkan terbentuknya zona hambat sebesar $11,67 \pm 0,57$ mm pada konsentrasi ekstrak 100%, disebabkan oleh durasi ekstraksi. Dalam riset, ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi selama tiga hari, sedangkan riset sebelumnya menggunakan durasi ekstraksi yang lebih panjang, yaitu lima hari. Durasi yang lebih singkat

membatasi kemampuan pelarut dalam mengekstraksi senyawa aktif seperti flavonoid dan fenolik, yang berperan penting dalam aktivitas antibakteri. Ekstraksi seledri secara maserasi dengan durasi 5×24 jam direkomendasikan untuk memperoleh senyawa aktif secara lebih optimal (Lianah *et al.*, 2021; Clements *et al.*, 2020)

Kombinasi antara ekstrak seledri (*Apium graveolens* L.) dengan nanopartikel ZnO dalam riset ini tidak menunjukkan terbentuknya zona hambat terhadap *S. epidermidis*. Tidak terbentuknya zona hambat pada kombinasi tersebut disebabkan oleh adanya interaksi antagonistik antara senyawa fitokimia dalam ekstrak seledri dengan permukaan nanopartikel ZnO, yang dapat menurunkan efektivitas antibakteri masing-masing komponen. Selain itu, aglomerasi partikel ZnO dalam medium ekstrak, serta tidak digunakannya agen penstabil atau pemosialisasi nanopartikel, turut membatasi difusi dan penetrasi partikel ke sel target (Sirelkhatim *et al.*, 2015; Reda *et al.*, 2024). Selain itu terjadi faktor kesalahan dalam tahapannya, paper disc yang telah dicelupkan ke dalam larutan sampel kombinasi ekstrak tanaman Apium graveolens L dan nanopartikel ZnO tidak diambil dengan baik sehingga paper disc jatuh sebelum ditempelkan pada media agar yang sudah distreak suspensi bakteri.

Kemudian, dapat disimpulkan bahwa hasil dari riset yang didapat yaitu diameter zona hambat sebesar 16 mm yang diperoleh pada nanopartikel ZnO, termasuk dalam kategori daya hambat kuat terhadap pertumbuhan bakteri.

KESIMPULAN

Sintesis ZnO dari limbah baterai menggunakan metode kopresipitasi, pelarutan, dan kalsinasi. Hasil analisis XRD ZnO dan kombinasi ZnO dengan ekstrak tanaman *Apium graveolens* L. menunjukkan kristalinitas tinggi dengan ukuran kristalit rata-rata 41,611 nm dan 16,881 nm, mengonfirmasi bentuk nanopartikel kristalin. FTIR ZnO mendeteksi getaran O-H, C=O, C-H, C=C, dan serapan Zn-Cl. Kombinasi ZnO dengan ekstrak seledri menambahkan getaran N-H, serta mempertahankan serapan O-H dan Zn-Cl, membuktikan keberadaan nanopartikel ZnO dalam campuran. Uji antimikroba menunjukkan bahwa ZnO efektif menghambat *S. epidermidis* dengan zona hambat 16 mm, sementara kombinasi dengan ekstrak *Apium graveolens* L. tidak menunjukkan aktivitas antimikroba. Metode ini terbukti ramah lingkungan dan efisien, dengan potensi aplikasi luas dalam pengolahan limbah dan uji antimikroba.

DAFTAR PUSTAKA

Andini, A., Hadisantoso, E.P., dan Setiadji, S. 2023. Sintesis dan Karakterisasi

ZnO dari Limbah Baterai dengan Templat *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 34-40.

Azzahra, R.O.A., Sugihartono, I., Yudasari, N., Alaih, A.F.F. dan Triyono, D. 2024. Studi Awal Biosintesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Ekstrak Daun *Moringa oleifera* Dengan Teknik Presipitasi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. 12(1), 177-184.

Clements, G., Yamlean, P.V.Y. dan Lolo, W.A. 2020. Formulasi dan Uji Aktivitas Antibakteri Krim Ekstrak Etanol Herba Seledri (*Apium graveolens* L.) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *PHARMACON*. 9(2). 226-232.

Fatimah, S., Ragadhita, R., Husaeni, D.F.A. dan Nandiyanto, A.B.D. 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2(1), 65-76.

Indrayati, S. dan Diana, P.E. 2020. Uji Efektifitas Larutan Bawang Putih (*Allium sativum*) terhadap pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus Epidermidis*. *Jurnal Kesehatan Perintis (Perintis's Health Journal)*. 7(1), 22-31.

Jin, S.E. dan Jin, H.E. 2021. Antimicrobial Activity of Zinc Oxide Nano/Microparticles and Their Combinations against Pathogenic Microorganisms for Biomedical Applications: From Physicochemical Characteristics to Pharmacological Aspects. *Nanomaterials*. 11(2), 263

Kadhum, S.A. 2017. The Effect of two Types of Nano-Particles (ZnO and SiO₂) on Different Types of

- Bacterial Growth. *Biomed Pharmacol.* 10(4). 741-751.
- Kandoli, F. (2016). Uji daya hambat ekstrak daun durian (*Durio Zibethinus*) terhadap pertumbuhan *Candida albicans* secara in vitro. *Pharmacon.* 5(1), 46-52.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. Data Limbah B3 Indonesia. URL:<https://pslb3.menlhk.go.id/>. Diakses tanggal 18 Februari 2024.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2023. *Data Limbah B3 Indonesia*. URL:<https://pslb3.menlhk.go.id/>. Diakses tanggal 18 Februari 2024.
- Kholieqoh, A.H., Anam, K. dan Kusrini, D. Isolation and Antioxidant Activity of Flavonoid Compound in Ethanolic Extract of Celery Leaves (*Apium graveolens* L.). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.* 25 (12), 450-455.
- Khotimah, H., Diyantoro, Indriati, D.W. dan Sundari, A.S. 2020. Screening in vitro antimicrobial activity of celery (*apium graveolens*) against *staphylococcus* sp. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences.* 16, 72-77.
- Lianah, W., Ayuwardani, N. dan Hariningsih, Y. 2021. AKTIVITAS ANTIBAKTERI EKSTRAK ETANOL SELEDRI (*Apiumgraveolens* L) TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Actinomyces* sp. dan *Lactobacillus acidophilus*. *Duta Pharma Journal.* 1 (1). 32-39
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R. dan Risti Ragadhita. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopic of Organic Material. *Indonesian Journal of Science & Technology.* 4 (1), 97-118.
- Ngelu, F.Y., Marbun, F.D., Sihombing, A.M., Manalu, Y., Ate, V.R.K.M. dan Riswanto, F.D.O. 2022. POTENSI EKSTRAK SELEDRI (*Apium graveolens* L.) SEBAGAI ANTIBAKTERI. *Jurnal Jamu Kusuma.* 2(1), 23-29.
- Putra, T.I., Setyowati, N. dan Apriyanto, E. 2019. Identifikasi Jenis dan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Rumah Tangga: Studi Kasus Kelurahan Pasar Tais Kecamatan Seluma Kabupaten Seluma. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan.* 8 (2):49-61.
- Reda, A. T., Park, J, Y dan Park, Y. T. 2024. Zinc Oxide-Based Nanomaterials for Microbiostatic Activities: A Review. *Journal of Functional Biomaterials.* 15(4), 103
- Santoso, F.H. dan Halomoan, N. 2022. Kajian Pengelolaan Limbah Baterai Sekali Pakai dari Kegiatan Rumah Tangga di Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan.* 8 (1):117-130.
- Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seen, A., Haida, N., Kaus, M., Ann, L.C., Bakhor, S.K.M., Hasan, H. dan Mohamad, D. 2015. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Lett.* 7, 219–242.
- Trivedi, M.K. and Jana, S. 2020. Physical, Thermal and Spectroscopic Characterization of the Biofield Energy Treated Zinc Chloride. *Food Science & Nutrition Technology.* 5(3), 000248.