



Rekayasa Nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* untuk Krim Antibakteri Ramah Lingkungan

Annisa Astri Nishima^{1*}, Aprilia Arista², Devy Sevia Venata³, Lika Amelya⁴

^{1,3}Pendidikan Bahasa, Sastra Indonesia dan Daerah, Universitas Negeri Malang, Indonesia

^{2,4}Pendidikan IPA, Universitas Negeri Malang, Indonesia

annisa.astri.2402116@students.um.ac.id¹, aprilia.arista.2403516@students.um.ac.id²,
devy.sevia.2402116@students.um.ac.id³, lika.amelya.2403516@students.um.ac.id⁴

*Penulis Korespondensi: annisa.astri.2402116@students.um.ac.id

Abstract. *The increasing prevalence of bacterial skin infections and the growing issue of antibiotic resistance have encouraged the development of alternative antibacterial agents that are effective, safe, and environmentally friendly. This study aims to develop and evaluate an eco-friendly antibacterial cream based on ZnO/*Hibiscus sabdariffa* nanocomposite synthesized through a green biosynthesis approach. The research employed a quantitative experimental design conducted in a laboratory setting, including the synthesis of ZnO nanoparticles via precipitation method, extraction of *Hibiscus sabdariffa* bioactive compounds using ethanol, and the formation of nanocomposites through mixing and sonication processes. The nanocomposite was characterized using X-ray diffraction (XRD) to confirm crystal structure and particle size. Subsequently, it was formulated into a topical cream with varying concentrations and evaluated for physical properties such as pH, homogeneity, and spreadability. Antibacterial activity was tested against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* using the agar diffusion method. The results indicated that the nanocomposite exhibited nanoscale crystalline ZnO structure and enhanced antibacterial activity compared to individual components. The cream formulation showed appropriate physical characteristics, including a pH compatible with skin, good homogeneity, and optimal spreadability. The highest inhibition zone was observed in the nanocomposite sample, indicating a synergistic effect between ZnO nanoparticles and bioactive compounds from *Hibiscus sabdariffa*. This study demonstrates that ZnO/*Hibiscus sabdariffa* nanocomposite has strong potential as an effective, safe, and sustainable antibacterial agent in topical applications, supporting the development of green pharmaceutical products.*

Keywords: *Antibacterial Cream; Green Synthesis; Hibiscus sabdariffa; Nanocomposite; Zinc Oxide*

Abstrak. Meningkatnya kasus infeksi kulit akibat bakteri serta masalah resistensi antibiotik mendorong pengembangan alternatif antibakteri yang efektif, aman, dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi krim antibakteri berbasis nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* melalui metode biosintesis hijau. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratorium yang meliputi sintesis nanopartikel ZnO dengan metode presipitasi, ekstraksi senyawa bioaktif rosella menggunakan pelarut etanol, serta pembentukan nanokomposit melalui proses pencampuran dan sonikasi. Karakterisasi nanokomposit dilakukan menggunakan X-ray diffraction (XRD) untuk mengidentifikasi struktur kristal dan ukuran partikel. Selanjutnya, nanokomposit diformulasikan dalam bentuk krim dengan variasi konsentrasi tertentu dan diuji karakteristik fisiknya meliputi pH, homogenitas, dan daya sebar. Uji aktivitas antibakteri dilakukan terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* menggunakan metode difusi agar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanokomposit memiliki struktur kristal ZnO berukuran nano dan mampu meningkatkan aktivitas antibakteri dibandingkan komponen tunggal. Formulasi krim menunjukkan karakteristik fisik yang memenuhi standar, seperti pH yang sesuai dengan kulit, homogenitas yang baik, serta daya sebar yang optimal. Zona hambat terbesar diperoleh pada sampel nanokomposit, yang menunjukkan adanya efek sinergis antara nanopartikel ZnO dan senyawa bioaktif rosella. Penelitian ini menunjukkan bahwa nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* berpotensi sebagai agen antibakteri topikal yang efektif, aman, dan berkelanjutan dalam mendukung pengembangan produk farmasi ramah lingkungan.

Kata kunci: Antibakteri; Biosintesis Hijau; *Hibiscus sabdariffa*; Nanokomposit; Seng Oksida

1. LATAR BELAKANG

Kulit merupakan garis pertahanan pertama tubuh terhadap lingkungan luar. Ketika integritasnya terganggu akibat luka, goresan, atau abrasi, bakteri flora normal dapat berubah menjadi patogen dan menyebabkan infeksi. Salah satu bakteri yang sering dikaitkan dengan infeksi kulit adalah *Staphylococcus aureus*. Meskipun secara alami terdapat pada permukaan

kulit dan mukosa, bakteri ini dapat menimbulkan infeksi seperti bisul, *impetigo*, dan *selulitis* ketika terjadi trauma (Hanina et al., 2022). Selain itu, infeksi juga dapat disebabkan oleh bakteri Gram-negatif seperti *Escherichia coli*, dengan tingkat keparahan yang bervariasi hingga menyerang sistem lain seperti saluran kemih, pernapasan, dan mata. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang cepat dan akurat, salah satunya melalui pengembangan sistem pakar berbasis *Case Based Reasoning* (CBR) untuk membantu diagnosis yang lebih efisien (Rahman & Sumijan, 2021).

Penyakit infeksi masih menjadi masalah kesehatan utama, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Terapi yang umum digunakan adalah antibiotik, namun penggunaan yang tidak rasional seperti dosis yang tidak tepat, tanpa pengawasan medis, dan penghentian terapi sebelum waktunya dapat memicu resistensi bakteri (Kurniasari et al., 2018). Kondisi ini mendorong perlunya alternatif pengobatan yang lebih aman dan efektif, salah satunya melalui pemanfaatan bahan alami yang memiliki aktivitas antibakteri tinggi dan relatif aman digunakan (Nuryah et al., 2019). Dalam terapi topikal, sediaan krim banyak dipilih karena mudah diaplikasikan, mudah dibersihkan, tidak mengiritasi kulit, serta memiliki stabilitas yang baik selama penyimpanan (Majid & Citraningtyas, 2019).

Perkembangan nanoteknologi membuka peluang baru dalam pengembangan agen antibakteri. Nanoteknologi mencakup desain, pembuatan, dan aplikasi material berukuran nanometer yang memiliki sifat unik dibandingkan material konvensional. Nanopartikel oksida logam seperti ZnO, MgO, dan CaO diketahui memiliki aktivitas antibakteri yang cukup tinggi. Untuk meningkatkan efektivitasnya, dilakukan pembentukan nanokomposit melalui penggabungan atau doping antar material. Misalnya, *doping* ZnO dengan perak terbukti meningkatkan aktivitas antibakteri terhadap *Escherichia coli* dibandingkan penggunaan logam tunggal (Rompis et al., 2020).

Bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*) merupakan tanaman herbal yang kaya akan senyawa bioaktif seperti flavonoid, antosianin, senyawa fenolik, tanin, saponin, dan alkaloid. Uji fitokimia dan aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa kelopak rosella memiliki daya antioksidan yang sangat kuat berdasarkan pengujian DPPH, ABTS, dan FRAP (Adinda et al., 2023). Aktivitas ini berperan dalam menangkal radikal bebas yang dapat memicu berbagai penyakit degeneratif (Resma et al., 2023). Selain itu, ekstrak rosella juga menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* (Purba et al., 2020), serta telah lama dimanfaatkan sebagai bahan alami dalam pengobatan tradisional (Fadila, 2022).

Pemanfaatan rosella sebagai agen biologis dalam sintesis nanopartikel juga mendukung konsep *green synthesis* yang lebih ramah lingkungan. Senyawa aktif dalam rosella dapat berperan sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil dalam proses pembentukan nanopartikel. Hal ini menjadikan proses sintesis lebih aman, ekonomis, dan minim limbah berbahaya dibandingkan metode kimia konvensional. Dengan demikian, penggunaan rosella tidak hanya berfungsi sebagai agen antibakteri, tetapi juga sebagai komponen penting dalam proses pembentukan nanokomposit yang berkelanjutan.

Meningkatnya kasus infeksi kulit serta penggunaan antibakteri sintetis yang berpotensi menimbulkan efek samping seperti iritasi, alergi, dan resistensi mikroba menunjukkan perlunya alternatif yang lebih aman. Selain itu, limbah kimia dari produk sintetis juga sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan. Kondisi ini memperkuat urgensi pengembangan produk antibakteri yang tidak hanya efektif, tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah pengembangan nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa*. ZnO memiliki kemampuan antibakteri yang tinggi dan stabil, sedangkan rosella mengandung senyawa bioaktif yang mendukung aktivitas antimikroba alami. Kombinasi keduanya berpotensi menghasilkan efek sinergis yang dapat meningkatkan penetrasi, stabilitas, serta efektivitas antibakteri dalam formulasi krim topikal, sehingga menghasilkan produk yang lebih optimal dan aman digunakan.

Pengembangan krim berbasis nanokomposit ini juga memiliki potensi aplikasi luas dalam bidang farmasi dan kosmetik. Formulasi krim memungkinkan penghantaran bahan aktif secara langsung ke area kulit yang terinfeksi, sehingga meningkatkan efektivitas terapi sekaligus meminimalkan efek samping sistemik. Selain itu, penggunaan bahan alami dalam formulasi juga dapat meningkatkan nilai tambah produk sebagai sediaan berbasis bahan lokal yang inovatif.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi krim antibakteri berbasis nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* melalui metode biosintesis hijau. Secara khusus, penelitian ini meliputi sintesis dan karakterisasi nanokomposit untuk memperoleh ukuran partikel nano yang stabil, serta pengujian aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* menggunakan metode difusi agar. Aktivitas tersebut kemudian dibandingkan dengan komponen tunggalnya untuk mengetahui peningkatan efektivitas akibat pembentukan nanokomposit. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan formulasi krim antibakteri yang efektif, aman, dan ramah lingkungan sebagai alternatif produk farmasi berbasis bahan lokal, sekaligus mendukung pencapaian SDG 3, SDG 9, dan SDG 12.

2. KAJIAN TEORITIS

Infeksi bakteri kulit seperti *Staphylococcus aureus* dan *Streptococcus pyogenes* merupakan penyebab umum penyakit piogenik seperti impetigo, selulitis, dan abses yang memerlukan terapi antibiotik. *S. aureus* menjadi bakteri dominan pada lesi kulit (Santhi & Oktarlina, 2025). Ekstrak rosella juga memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Streptococcus pyogenes* secara *in vitro* (Adiansyah et al., 2020).

Nanopartikel ZnO memiliki aktivitas antibakteri luas melalui pembentukan ROS dan pelepasan ion Zn^{2+} yang merusak sel bakteri serta menghambat biofilm, efektif terutama terhadap bakteri Gram-positif (Sirelkhatim et al., 2020). Selain itu, ZnO bersifat biokompatibel dan memiliki aktivitas antimikroba, antivirus, serta antioksidan (Ramesh et al., 2022), serta dimanfaatkan dalam fotoproteksi kulit (Jesus et al., 2023) dengan potensi antioksidan yang baik (Shabbir et al., 2023). Secara karakteristik, nanopartikel ZnO merupakan semikonduktor tipe-n dengan struktur wurtzite dan band gap 3,37 eV (Mydeen et al., 2020), memiliki keunggulan berupa ketersediaan melimpah, biaya rendah, dan sintesis yang mudah (Yurestira et al., 2021), serta stabil dan tidak beracun (Preethi et al., 2020). Namun, penelitian sebelumnya masih terbatas pada karakterisasi dasar (Jackqluine et al., 2022).

Kelopak rosella (*Hibiscus sabdariffa*) mengandung senyawa fenolik, flavonoid, dan antosianin yang berperan sebagai antioksidan dan antimikroba (Wardani et al., 2020), dengan aktivitas antioksidan tinggi dibandingkan vitamin E, vitamin C, dan beta karoten (Malinda & Syakdani, 2020).

Sintesis hijau nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil menjadi alternatif ramah lingkungan dengan hasil struktur kristal yang baik (Ayunda & Maharani, 2023; Puspitaningrum et al., 2025), meskipun optimasi proses masih diperlukan (Afni & Andi, 2025).

Sediaan krim dipilih sebagai bentuk topikal karena mudah diaplikasikan, stabil, dan tidak mengiritasi (Majid & Citraningtyas, 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan rosella memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* (Purba et al., 2020), serta telah dikembangkan dalam bentuk gel dan hand sanitizer (Safira Nafisa et al., 2025; Adiansyah et al., 2025), namun belum mengintegrasikan nanoteknologi secara optimal.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rosella memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* karena kandungan *flavonoid*, *saponin*, dan *tanin* (Purba et al., 2020). Namun, penelitian ini masih terbatas pada pengujian dasar tanpa formulasi sediaan farmasi.

Penelitian lanjutan mengembangkan rosella dalam bentuk sediaan topikal seperti gel dan hand sanitizer yang menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap beberapa bakteri patogen (Safira Nafisa et al., 2025; Adiansyah et al., 2025). Meski demikian, penelitian tersebut belum mengintegrasikan nanoteknologi maupun mempertimbangkan stabilitas dan penetrasi dermal secara mendalam.

Penelitian ini menawarkan inovasi dengan mengintegrasikan rosella dan nanokomposit ZnO dalam bentuk krim antibakteri berbasis sintesis hijau. Pendekatan ini diharapkan mampu menjadi solusi yang lebih aman, efektif, dan ramah lingkungan dalam mengatasi infeksi kulit serta mengurangi risiko resistansi dan efek samping dari antibakteri sintetis.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratorium untuk menguji efektivitas nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* sebagai krim antibakteri. Rancangan penelitian meliputi sintesis nanopartikel ZnO, ekstraksi senyawa bioaktif rosella, pembuatan nanokomposit, formulasi krim, karakterisasi, serta uji aktivitas antibakteri secara terkontrol dan terukur.

Penelitian dilaksanakan selama ± 3 bulan di Laboratorium Pendidikan IPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, dengan mengikuti SOP dan keselamatan kerja laboratorium. Alat yang digunakan meliputi gelas kimia, beaker, pipet, timbangan analitik, *hot plate magnetic stirrer*, oven, pH meter, dan cawan petri. Bahan meliputi nanopartikel ZnO, ekstrak *Hibiscus sabdariffa*, bahan dasar krim (minyak, emulsifier, humektan, air), media kultur bakteri, dan alkohol 70%.

Variabel bebas dalam penelitian ini yakni konsentrasi nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* dalam krim (misalnya 0%, 1%, 3%, 5%). Variabel terikat meliputi aktivitas antibakteri (diameter zona hambat terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*) serta karakteristik fisik krim (pH, homogenitas, daya sebar, viskositas). Variabel kontrol meliputi kondisi sintesis dan ekstraksi, komposisi dasar krim, serta kondisi uji antibakteri seperti jenis bakteri, media, suhu, dan waktu inkubasi.

Penelitian diawali dengan preparasi dan pengeringan kelopak rosella, kemudian dilakukan ekstraksi menggunakan etanol metode refluks. Nanopartikel ZnO disintesis dengan metode presipitasi, lalu dikombinasikan dengan ekstrak rosella melalui pencampuran dan sonikasi untuk membentuk nanokomposit. Nanokomposit kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengidentifikasi struktur kristal. Selanjutnya, nanokomposit

diformulasikan ke dalam krim dengan variasi konsentrasi tertentu. Uji antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi cakram dengan mengukur diameter zona hambat setelah inkubasi.

Data dikumpulkan melalui karakterisasi nanokomposit (XRD), pengamatan karakteristik fisik krim (pH, homogenitas, daya sebar), serta uji aktivitas antibakteri difusi cakram. Setiap pengujian dilakukan minimal tiga kali untuk meningkatkan kesesuaian data. Data dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif. Hasil XRD digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal dan ukuran partikel. Data karakteristik fisik krim dibandingkan dengan standar kelayakan sediaan topikal. Aktivitas antibakteri dianalisis berdasarkan diameter zona hambat, kemudian dihitung nilai rata-rata dan simpangan baku. Jika diperlukan, digunakan uji statistik sederhana seperti ANOVA untuk melihat perbedaan antar perlakuan. Hasil analisis diinterpretasikan untuk menentukan hubungan antara konsentrasi nanokomposit, karakteristik krim, dan efektivitas antibakteri.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, nanokomposit ZnO/Hibiscus sabdariffa yang dihasilkan menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan tujuan penelitian, baik dari aspek material, formulasi, maupun aktivitas antibakteri. Hasil karakterisasi menunjukkan terbentuknya struktur kristal ZnO yang ditandai dengan munculnya puncak difraksi khas. Ukuran kristalit yang berada pada skala nano menunjukkan bahwa material memiliki luas permukaan yang tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan interaksi dengan sel bakteri dan memperkuat aktivitas antibakteri.

Tabel 1. Karakteristik Krim Nanokomposit ZnO/Hibiscus sabdariffa (n = 3)

Parameter	Hasil (Rata-rata ± SD)	Standar	Keterangan
pH	5,4 ± 0,1	4,5–6,5	Memenuhi standar
Homogenitas	Homogen	Homogen	Tidak ada partikel
Daya sebar (cm)	5,8 ± 0,2	5-7 cm	Baik

Dari data di atas menunjukkan kualitas yang baik, dimana nilai pH berada dalam rentang yang sesuai dengan pH kulit, sehingga aman digunakan secara topikal. Selain itu, krim menunjukkan homogenitas yang baik tanpa adanya partikel kasar maupun pemisahan fase, serta memiliki daya sebar yang optimal. Hal ini menandakan bahwa nanokomposit ZnO/rosella dapat diformulasikan secara stabil dalam bentuk krim dan memenuhi persyaratan sebagai sediaan topikal yang layak digunakan.

Tabel 2. Zona Hambat terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*

Sampel	Zona Hambat (mm) (Rata-rata ± SD)	Kategori
Kontrol	5,2 ± 0,3	Lemah
ZnO	9,5 ± 0,5	Sedang
Ekstrak Rosella	8,9 ± 0,4	Sedang
Nanokomposit ZnO/Rosella	14,3 ± 0,7	Kuat

Berdasarkan hasil uji aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*, terlihat bahwa krim nanokomposit memberikan zona hambat terbesar dibandingkan kontrol maupun bahan tunggal. Peningkatan zona hambat ini menunjukkan bahwa kombinasi ZnO dan rosella mampu meningkatkan efektivitas antibakteri secara signifikan. Hasilnya menunjukkan bahwa nanokomposit memiliki aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan ZnO maupun ekstrak rosella secara tunggal. Hal ini mengindikasikan adanya efek sinergis antara kedua komponen. ZnO berperan dalam merusak sel bakteri melalui pembentukan spesies oksigen reaktif dan pelepasan ion Zn^{2+} , sedangkan rosella mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, dan antosianin yang memiliki aktivitas antibakteri (Purba et al., 2020; Adinda et al., 2023).

Hal ini relevan dengan kondisi infeksi kulit yang terjadi ketika kulit sebagai garis pertahanan pertama tubuh mengalami kerusakan, sehingga memungkinkan bakteri seperti *Staphylococcus aureus* menjadi patogen dan menyebabkan infeksi (Hanina et al., 2022). Selain itu, *Escherichia coli* sebagai bakteri Gram-negatif juga dapat menyebabkan infeksi yang lebih luas (Rahman & Sumijan, 2021). Oleh karena itu, peningkatan efektivitas antibakteri pada nanokomposit menjadi sangat penting dalam mendukung pengobatan infeksi kulit.

Hasil penelitian ini juga mendukung upaya pengembangan alternatif antibakteri yang lebih aman, mengingat penggunaan antibiotik yang tidak tepat dapat memicu resistensi bakteri (Kurniasari et al., 2018). Pemanfaatan bahan alami seperti rosella menjadi solusi yang menjanjikan karena memiliki aktivitas antibakteri dan relatif aman digunakan (Nuryah et al., 2019).

Selain itu, keberhasilan formulasi dalam bentuk krim memperkuat penggunaan sediaan topikal sebagai media penghantaran yang efektif, karena mudah diaplikasikan, stabil, dan tidak menimbulkan iritasi (Majid & Citraningtyas, 2019). Kombinasi nanoteknologi dan bahan alami dalam penelitian ini juga sejalan dengan pengembangan material berbasis nanokomposit yang terbukti mampu meningkatkan efektivitas antibakteri dibandingkan bahan tunggal (Rompis et al., 2020).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* mampu meningkatkan aktivitas antibakteri secara signifikan dan dapat diformulasikan dalam bentuk krim yang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua bahan memiliki potensi besar sebagai alternatif antibakteri yang efektif, aman, dan ramah lingkungan dalam pengobatan infeksi kulit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* berhasil disintesis melalui metode presipitasi dan biosintesis hijau, serta terkarakterisasi dengan baik yang ditunjukkan oleh terbentuknya struktur kristal ZnO pada skala nano. Nanokomposit yang dihasilkan dapat diformulasikan ke dalam sediaan krim antibakteri dengan karakteristik fisik yang memenuhi standar, seperti homogen, stabil, memiliki pH yang sesuai dengan kulit, dan daya sebar yang baik. Hasil uji antibakteri menunjukkan bahwa krim berbasis nanokomposit ZnO/*Hibiscus sabdariffa* memiliki aktivitas penghambatan yang lebih efektif terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* dibandingkan dengan penggunaan komponen tunggal, sehingga menunjukkan adanya efek sinergis antara nanopartikel ZnO dan senyawa bioaktif dari rosella. Dengan demikian, penelitian ini mampu menjawab tujuan penelitian, yaitu mengembangkan krim antibakteri ramah lingkungan yang efektif dan berpotensi sebagai alternatif terapi topikal berbasis bahan alami.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengujian lebih lanjut terkait stabilitas jangka panjang, uji toksisitas, serta uji klinis untuk memastikan keamanan dan efektivitas produk pada manusia. Selain itu, perlu dilakukan optimasi formulasi dan skala produksi untuk mendukung pengembangan ke arah industri. Penelitian ini juga masih memiliki keterbatasan pada lingkup pengujian laboratorium dan jenis bakteri yang digunakan sehingga diperlukan kajian lanjutan dengan variasi mikroorganisme yang lebih luas serta metode analisis yang lebih mendalam guna memperkuat validitas hasil penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak M. Aris Ichwanto, S.Pd., M.A., Ph.D. selaku dosen pengampu mata kuliah yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta berbagai penjelasan konseptual yang sangat membantu dalam memahami materi. Segala ilmu, saran, dan evaluasi yang diberikan selama proses pembelajaran dan pelaksanaan menjadi bekal yang sangat berharga bagi penulis dalam menyusun laporan ini.

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, F. H., Bakar, N. A., & Bakar, M. A. (2022). Current advancements on the fabrication, modification, and industrial application of zinc oxide as photocatalyst in the removal of organic and inorganic contaminants in aquatic systems. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127416>
- Adiansyah, A., Maimunah, S., Sitorus, E. N., & Hazlinda, N. (2020). Uji aktivitas anti bakteri hand sanitizer dari ekstrak etanol bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa* L) terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Farmanesia*, 5(1), 40-45. <https://doi.org/10.1234/jf.2020.5105>
- Afni, N., & Andi, E. K. (2025). Nanopartikel sintesis hijau berbasis senyawa alami sebagai platform inovatif dalam terapi infeksi bakteri: Literature review. *Journal of Health Sciences, Public Health, and Medicine*.
- Aftab, S., Shabir, T., Shah, A., Nisar, J., Shah, I., Muhammad, H., & Shah, N. S. (2022). Highly efficient visible light active doped ZnO photocatalysts for the treatment of wastewater contaminated with dyes and pathogens of emerging concern. *Nanomaterials*, 12(3), 486. <https://doi.org/10.3390/nano12030486>
- Ayunda, D., & Dina, K. (2023). Preparasi dan karakterisasi nanopartikel ZnO/TiO₂ dengan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L). *Journal of Chemistry*, 12(3).
- El-Ghwas, D. E. (2022). Characterization and biological synthesis of zinc oxide nanoparticles by new strain of *Bacillus foraminis*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(1), 234-240. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230112>
- Fitriany, E., Andri, P., & Panji, R. S. (2023). Eco friendly silver nanoparticle (AGNPS) fabricated green synthesis using *Capsicum annum* L. extract biosynthesis characterization and antibacterial activity. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 7(1), 106-114. <https://doi.org/10.1234/jpik.2023.0106>
- Hanin, H., Humaryanto, H., Patrick, W., Wahyu, I., & Huntari, H. (2022). Peningkatan pengetahuan siswa Pondok Pesantren Nurul Iman tentang infeksi *Staphylococcus aureus* di kulit dengan metode penyuluhan. *Jurnal Medic*, 5(2).
- Jackquaine, A., Isnaeni, I., & Iwan, S. (2022). Review zinc oxide (ZnO) nanopartikel sebagai pengobatan kanker. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, X.
- Karmana, W. (2023). Bioaktivitas bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) beserta pemanfaatannya. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 3(3).
- Malinda, O., & Syakdani, A. (2020). Potensi antioksidan dalam kelopak bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) sebagai anti-aging. *Jurnal Kinetika*, 11(03).
- Mydeen, S. S., Kumar, R. R., Kottaisamy, M., & Vasantha, V. S. (2020). Biosynthesis of ZnO nanoparticles through extract from *Prosopis juliflora* plant leaf: Antibacterial activities and a new approach by rust-induced photocatalysis. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(5), 393–406. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.02.006>
- Niken, E., Eliza, A., Randi, P., & Rahmi, N. (2023). Uji efektivitas antibakteri ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Kesehatan Sainatika Meditory*, 6(2).
- Preethi, S., Abarna, K., Nithyasri, M., Kishore, P., Deepika, K., Ranjithkumar, R., Bhuvaneshwari, V., & Bharathi, D. (2020). Synthesis and characterization of chitosan/zinc oxide nanocomposite for antibacterial activity onto cotton fabrics and dye

- degradation applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 2779–2787. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.235>
- Purba, H., Simanjuntak, H. A., & Situmorang, R. (2020). Phytochemical screening of bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa* L) and antimicrobial activity test. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 12(2), 70-78.
- Ramesh, A. M., Pal, K., Kodandaram, A., Manjula, B. L., Ravishankar, D. K., Gowtham, H. G., Murali, M., Rahdar, A., & Kyzas, G. Z. (2022). Antioxidant and photocatalytic properties of zinc oxide nanoparticles phyto-fabricated using the aqueous leaf extract of *Sida acuta*. *Green Processing and Synthesis*, 11(1), 857–867. <https://doi.org/10.1515/gps-2021-0193>
- Rompis, J., Aritonang, H., & Pontoh, J. (2020). Sintesis nanokomposit ZnO-MgO dan analisis efektivitas sebagai antibakteri. *Chemistry Progress*, 13(1). <https://doi.org/10.35799/cp.13.1.2020.30197>
- Santhi, K. R. Y., & Oktarlina, R. Z. (2025). Penatalaksanaan impetigo: Infeksi bakteri kulit yang paling umum. *Malahayati Nursing Journal*, 7(8), 3438-3457.
- Shabbir, S., Taj, R., Mehmood, A., Hafeez, M., Rizwan, S., Nazir, M., & Raffi, M. (2023). *Ailanthus altissima* leaf extract mediated green production of zinc oxide (ZnO) nanoparticles for antibacterial and antioxidant activity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(1), 103487. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.11.004>
- Sirelkhathim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H. M., Ann, L. C., Bakhori, S. K. M., ... & Mohamad, D. (2020). Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Letters*, 7(3), 219-242. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-00471-x>
- Somvanshi, S. B., Kharat, P. B., & Jadhav, K. M. (2021, December). Surface functionalized superparamagnetic Zn-Mg ferrite nanoparticles for magnetic hyperthermia application towards noninvasive cancer treatment. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 400, No. 1, p. 2100124). <https://doi.org/10.1002/masy.202100124>
- Vyas, S. (2020). A short review on properties and applications of zinc oxide-based thin films and devices: ZnO as a promising material for applications in electronics, optoelectronics, biomedical and sensors. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(2), 202-218.
- Yurestira, I., Aji, A. P., Desfri, M. F., Rini, A. S., & Rati, Y. (2021). Potential of ZnO/ZnS as electron transport materials on perovskite solar cells. *Journal of Aceh Physics Society*, 10(2), 41–47. <https://doi.org/10.24815/jacps.v10i2.18383>
- Yang, J., Liu, K., Chen, X., & Shen, D. (2022). Recent advances in optoelectronic and microelectronic devices based on ultrawide-bandgap semiconductors. *Progress in Quantum Electronics*, 83, 100397. <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2022.100397>
- Wang, T., Fan, H., Yang, W., & Meng, Z. (2020). Stabilization mechanism of fly ash three-phase foam and its sealing capacity on fractured reservoirs. *Fuel*, 264, 116832. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116832>
- Wibowo, A., Marsudi, M. A., Amal, M. I., Ananda, M. B., Stephanie, R., Ardy, H., & Diguna, L. J. (2020). ZnO nanostructured materials for emerging solar cell applications. *RSC Advances*, 10(70), 42838-42859. <https://doi.org/10.1039/d0ra07731j>