

Eksplorasi Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Emas dari Ekstrak Daun Katuk (*Sauropus androgynus*) terhadap Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif

Denok Risky Ayu Paramita^{1*}, Hadi Barru Hakam Fajar Siddiq², Siti Nur Azizah³

¹ DIII Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Jember, Indonesia

^{2,3} DIII Farmasi, Politeknik Kesehatan Jember, Indonesia

Open Access Freely Available Online

Dikirim: 23 Mei 2026

Direvisi: 9 Juni 2026

Diterima: 18 Juni 2026

*Penulis Korespondensi:

E-mail:

denokrisky.ayuparamita@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya kasus resistensi antibiotik mendorong pengembangan agen antibakteri alternatif berbasis nanoteknologi, salah satunya nanopartikel emas (AuNPs). *Green synthesis* merupakan metode sintesis AuNPs yang ramah lingkungan, aman, sederhana dan ekonomis dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan kaya senyawa bioaktif, seperti daun katuk (*Sauropus androgynus*). Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi aktivitas antibakteri AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstrak daun katuk terhadap bakteri Gram positif dan Gram negatif. AuNPs selanjutnya diuji terhadap *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, dan *Escherichia coli* menggunakan metode difusi cakram pada konsentrasi 12,5%, 25%, 50%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan AuNPs mampu menghambat pertumbuhan *P. acnes*, *S. epidermidis*, dan *B. subtilis*, namun tidak pada *S. aureus* maupun *E. coli*. Zona hambat terbesar pada *S. epidermidis* dengan konsentrasi 100% sebesar 2,04±0,62 mm, diikuti *P. acnes* dan *B. subtilis* masing-masing sebesar 1,10±0,90 mm dan 1,10±0,40 mm. Aktivitas antibakteri yang relatif lemah diduga berkaitan dengan waktu sintesis yang belum optimal sehingga reduksi ion emas belum berlangsung sempurna. Hal ini menyebabkan konsentrasi AuNPs yang dihasilkan masih rendah dan berdampak pada terbatasnya aktivitas antibakteri. Dengan demikian, AuNPs berbasis ekstrak daun katuk berpotensi sebagai agen antibakteri terhadap bakteri Gram positif, namun optimasi waktu sintesis diperlukan untuk meningkatkan hasil sintesis dan efektivitas antibakterinya.

Kata kunci: Nanopartikel Emas, Ekstrak Daun *Sauropus androgynus*, Antibakteri, Bakteri Gram Positif, Bakteri Gram Negatif

ABSTRACT

The increasing prevalence of antibiotic resistance has encouraged the development of alternative antibacterial agents based on nanotechnology, including gold nanoparticles (AuNPs). *Green synthesis* is an environmentally friendly, safe, simple, and cost-effective method for AuNP synthesis using plant extracts rich in bioactive compounds, such as *Sauropus androgynus* (katuk) leaves. This study aimed to explore the antibacterial activity of AuNPs synthesized using katuk leaf extract against Gram-positive and Gram-negative bacteria. The synthesized AuNPs were tested against *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, and *Escherichia coli* using the disc diffusion method at concentrations of 12.5%, 25%, 50%, and 100%. The results showed that AuNPs inhibited the growth of *P. acnes*, *S. epidermidis*, and *B. subtilis*, but showed no activity against *S. aureus* and *E. coli*. The largest inhibition zone at 100% concentration was observed against *S. epidermidis* (2.04±0.62 mm), followed by *P. acnes* and *B. subtilis* (1.10±0.90 mm and 1.10±0.40 mm, respectively). The relatively weak antibacterial activity was likely associated with non-optimal synthesis time, resulting in incomplete gold ion reduction and low AuNPs concentration. Therefore, katuk leaf-based AuNPs have potential as antibacterial agents against Gram-positive bacteria, although optimization of synthesis time is required to improve their antibacterial effectiveness.

Keywords: Gold Nanoparticles, *Sauropus androgynus* Leaf Extract, Antibacterial, Gram-positive Bacteria, Gram-negative Bacteria

PENDAHULUAN

Meningkatnya kasus resistensi antibiotik menjadi tantangan global dalam penanganan penyakit infeksi karena dapat menurunkan efektivitas terapi dan meningkatkan risiko kegagalan pengobatan. Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization*, WHO) menyatakan bahwa resistensi antibiotik termasuk salah satu ancaman kesehatan utama abad ini karena menyebabkan peningkatan angka morbiditas, mortalitas, dan biaya pelayanan kesehatan (WHO, 2023). Resistensi antibiotik terjadi akibat penggunaan antibiotik yang tidak rasional sehingga memicu adaptasi bakteri patogen terhadap berbagai agen antimikroba (Ventola, 2015). Kondisi tersebut mendorong pengembangan agen antibakteri alternatif yang lebih efektif, aman, dan ramah lingkungan, salah satunya melalui pendekatan nanoteknologi menggunakan nanopartikel emas (AuNPs).

AuNPs merupakan nanopartikel logam yang banyak dikembangkan dalam bidang biomedis karena memiliki stabilitas tinggi, biokompatibilitas baik, luas permukaan besar, serta mudah dimodifikasi secara kimia maupun biologis. Dibandingkan nanopartikel logam lain seperti perak atau tembaga, AuNPs lebih stabil dan cenderung memiliki efek toksik yang lebih rendah terhadap sel normal sehingga lebih aman untuk aplikasi kesehatan (Dykman et al., 2021). Selain itu, ukurannya yang kecil dan luas permukaan yang besar memungkinkan interaksi yang lebih efektif dengan membran sel bakteri. AuNPs diketahui mampu menghambat pertumbuhan bakteri melalui kerusakan membran sel, gangguan metabolisme, dan peningkatan stres oksidatif pada sel bakteri. Oleh karena itu, AuNPs banyak diteliti sebagai agen antibakteri alternatif untuk membantu mengatasi meningkatnya resistensi antibiotik (Hatipoglu et al., 2021).

Seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap dampak lingkungan dari metode sintesis konvensional, pendekatan *green synthesis* menjadi alternatif yang semakin diminati dalam sintesis AuNPs. Metode ini memanfaatkan bahan alami seperti ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam proses pembentukan nanopartikel, sehingga lebih aman, ekonomis, dan berkelanjutan (Hutagalung et al., 2024). Berbagai senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid,

fenolik, alkaloid, dan tanin diketahui berperan dalam proses reduksi ion logam menjadi nanopartikel. Salah satu tanaman yang berpotensi digunakan adalah daun katuk *Sauropus androgynus* yang mengandung flavonoid, tanin, dan alkaloid sehingga dapat dimanfaatkan dalam sintesis AuNPs (Paramita et al., 2026). Pemanfaatan tanaman lokal dalam sintesis nanopartikel juga dinilai lebih mudah diaplikasikan dan mendukung pengembangan biomaterial berbasis bahan alam di Indonesia.

Penelitian mengenai sintesis AuNPs menggunakan ekstrak tumbuhan telah banyak dilakukan dan menunjukkan potensi aktivitas antibakteri terhadap berbagai mikroorganisme patogen. Namun, pemanfaatan ekstrak daun katuk sebagai agen *green synthesis* AuNPs masih sangat jarang dilaporkan. Selain itu, penelitian terkait AuNPs berbasis daun katuk hanya berfokus pada proses sintesis, karakterisasi nanopartikel, dan aktivitas antioksidan dibandingkan aktivitas biologisnya (Paramita et al., 2026). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi potensi antibakteri AuNPs hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak daun katuk terhadap beberapa bakteri Gram positif dan Gram negatif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengeksplorasi aktivitas antibakteri AuNPs hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak daun katuk terhadap bakteri Gram positif dan Gram negatif menggunakan metode difusi cakram pada konsentrasi 12,5%, 25%, 50%, dan 100%. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai potensi AuNPs berbasis bahan alam sebagai alternatif agen antibakteri serta menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan dalam bidang nanobioteknologi berbasis tanaman lokal.

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental laboratorium untuk mengetahui potensi AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus*) terhadap bakteri Gram positif dan Gram negative.

Populasi dan Sampel

Penelitian ini menggunakan populasi adalah AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus*). Sampel pada

penelitian ini adalah nanopartikel emas hasil *green synthesis* dengan konsentrasi 12,5% v/v, 25% v/v, 50% v/v, 100% v/v. *Purposive sampling* yaitu teknik yang digunakan untuk pengambilan sampel penelitian ini, secara sengaja sesuai dengan persyaratan sampel yang diperlukan.

Alat dan Bahan

Oven, autoklaf, inkubator, *laminar air flow* (LAF), timbangan analitik, *shieve shaker*, mikroskop, *hot plate*, *magnetik stirrer*, *petridish*, *beaker glass*, *erlenmeyer*, kapas, kasa, plastik silk, ose, bunsen, pinset, tip, mikro pipet, pipet volume, *object glass*, cakram dan jangka sorong. AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus*), kloramfenikol, *nutrient agar* (NA), *mueller hinton broth* (MHB), isolat bakteri patogen (*Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, dan *Escherichia coli*), *aquadest*, etanol 70%, kristal violet, iodine, etanol 95%, safranin.

Pembuatan Larutan Uji dan Perbandingan

Nanopartikel emas hasil *green synthesis* yang digunakan merupakan hasil optimum penelitian Paramita et al. (2026). AuNPs tersebut disintesis menggunakan H₂AuCl₄ 30 ppm dan ekstrak daun katuk dengan perbandingan volume 10 : 1, kemudian dihomogenkan dengan shaker 120 rpm selama 1 jam. Larutan uji terdiri atas AuNPs hasil *green synthesis* dan menggunakan kloramfenikol sebagai perbandingan dengan konsentrasi 12,5% v/v, 25% v/v, 50% v/v, 100% v/v.

Peremajaan Bakteri

Mikroba uji diambil sebanyak satu ose digoreskan secara aseptis kedalam *petridish* berisi media NA menggunakan metode *streak plate*, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Peremajaan bakteri dilakukan dalam kondisi steril di dalam LAF (Azizah et al., 2021).

Pewarnaan gram

Pengecatan Gram dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik dinding sel bakteri berdasarkan kemampuan mempertahankan warna utama. Preparat dibuat dengan mengoleskan isolat bakteri pada kaca objek yang telah dibersihkan menggunakan alkohol, diberi 1 tetes akuades dan difiksasi di atas nyala api. Olesan bakteri kemudian diberi pewarna kristal dan dibilas menggunakan air mengalir. Selanjutnya preparat ditambahkan larutan iodine sebagai mordant, dicuci kembali, kemudian dilakukan proses dekolorisasi menggunakan etanol 95%. Selanjutnya dibuat

pewarnaan tandingan menggunakan safranin, lalu preparat dibilas dan dikeringkan pada suhu ruang. Hasil pengecatan Gram diamati menggunakan mikroskop untuk menentukan bentuk sel dan karakter Gram bakteri berdasarkan warna yang terbentuk (Cappuccino & Welsh, 2017).

Pembuatan Suspensi Bakteri

Suspensi koloni uji dibuat dengan menyiapkan kultur masing – masing bakteri pada media *mueller hinton broth* (MHB). Sebanyak 1-2 koloni dari peremajaan bakteri diambil menggunakan ose steril kemudian dipindahkan ke *erlenmeyer* yang berisi 10 ml media MHB, dishaker selama 24 jam hingga larutan menjadi keruh ((Azizah et al., 2021).

Uji Aktivitas Antibakteri AuNPs terhadap Bakteri

Metode aktivitas antibiotik yang digunakan yaitu metode difusi cakram menggunakan cakram berdiameter 6 mm. Cakram diletakkan pada permukaan media NA secara aseptis. Pada perlakuan nanopartikel emas hasil *green synthesis* dengan konsentrasi 12,5% v/v, 25% v/v, 50% v/v, 100% v/v dan perbandingan kloramfenikol dengan konsentrasi yang sama, diambil masing-masing sebanyak 20 µL dan teteskan pada cakram lalu ditunggu sampai jenuh. Suspensi bakteri dipipet 100 µl dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 10 ml media NA secara aseptis lalu dituangkan kedalam *petridish* steril secara aseptis kemudian digoyangkan perlahan (10 kali ke kanan dan 10 kali ke kiri) agar suspensi bakteri tersebar merata pada media. Cakram yang telah dijenuhkan dengan berbagai konsentrasi diletakkan secara aseptis pada permukaan media NA berisi bakteri uji (Balouiri et al., 2016).

Kontrol positif yang digunakan adalah 10 ml media NA ditambah 100 µl suspensi masing-masing bakteri. Kontrol positif digunakan untuk mengetahui bakteri uji tetap hidup, dikatakan hidup apabila tumbuh koloni pada media MHA. Kontrol negatif yang digunakan adalah 10 ml media NA dituang kedalam *petridish* steril ditunggu hingga memadat. Kontrol negatif digunakan untuk mengetahui media uji tidak terkontaminasi dengan mikroba lain, dikatakan tidak terkontaminasi apabila tidak terjadi perubahan fisik pada NA seperti perubahan warna, tidak berbau dan permukaan media yang terlihat tidak ditumbuhi oleh koloni mikroba. Semua perlakuan, perbandingan dan kontrol diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam serta dilakukan tiga kali pengulangan (Balouiri et al., 2016).

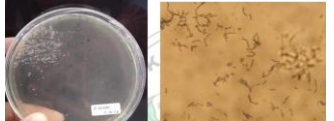
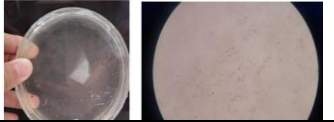
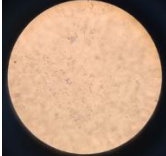

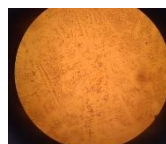
Aktivitas antibiotik dikatakan positif apabila terbentuk zona bening di sekitar cakram yang menunjukkan adanya penghambatan pertumbuhan bakteri. Diameter zona hambat diukur dengan menghitung selisih antara total diameter zona bening dan diameter cakram sebesar 6 mm. Kekuatan daya hambat diklasifikasikan berdasarkan diameter zona hambat, yaitu 0–3 mm tergolong lemah, 3–6 mm tergolong sedang, dan >6 mm tergolong kuat (Pan *et al.*, 2009).

HASIL

Tahap awal penelitian sebelum melakukan pengujian aktivitas antibakteri larutan sampel AuNPs hasil green synthesis dengan ekstrak daun katuk yaitu meremajakan dan mengkarakterisasi seluruh bakteri melalui pewarnaan Gram yang hasilnya dapat dilihat pada table 1.

Hasil pengujian aktivitas antibakteri AuNPs terhadap kelima bakteri menunjukkan adanya variasi daya hambat pada berbagai konsentrasi. Adapun hasil uji aktivitas AuNPs terhadap masing-masing bakteri dapat dilihat pada table 2.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis Masing-Masing Bakteri

No.	Bakteri Uji	Hasil Peremajaan Koloni	Bentuk Sel	Susunan Sel	Reaksi Gram	Hasil Warna Pewarnaan Gram	Gambar
1.	<i>Propionibacterium acnes</i>	Koloni kecil, bulat, berwarna putih kekuningan, permukaan halus, tepi rata, elevasi cembung	Basil pendek	Tunggal atau berpasangan	Gram positif	Ungu	
2.	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Koloni bulat, kecil hingga sedang, berwarna putih keabu-abuan, permukaan licin, tepi rata, elevasi cembung	Kokus	Bergerombol seperti buah anggur	Gram positif	Ungu	
3.	<i>Staphylococcus aureus</i>	Koloni bulat, halus, berwarna kuning keemasan, tepi rata, elevasi cembung	Kokus	Bergerombol seperti buah anggur	Gram positif	Ungu	
4.	<i>Bacillus subtilis</i>	Koloni besar, kasar, berwarna putih kusam, tepi tidak rata, permukaan berkerut, elevasi datar	Basil	Berantai	Gram positif	Ungu	
5.	<i>Escherichia coli</i>	Koloni bulat, halus, licin, berwarna putih krem, tepi rata, elevasi cembung	Basil pendek	Tunggal	Gram negatif	Merah muda	

Tabel 2. Hasil Uji Aktivitas Antibakteri AuNPs

No	Jenis Bakteri	Bahan	Konsentrasi (%)	Zona Hambat (mm) ± SD	Respon Hambat
1.	<i>Propionibacterium acnes</i>	AuNPs	12,5	0	-
			25	0	-
			50	0,6 ± 0,45	Lemah
			100	1,1 ± 0,90	Lemah
		Pembanding (Kloramfenikol)	12,5	3,1 ± 1,69	Sedang
			25	6,3 ± 0,94	Kuat
			50	9,5 ± 2,09	Kuat
			100	11,8 ± 0,56	Kuat
2.	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	AuNPs	12,5	0,79 ± 0,18	Lemah
			25	1,00 ± 0,24	Lemah
			50	1,60 ± 0,41	Lemah
			100	2,04 ± 0,62	Lemah
		Pembanding (Kloramfenikol)	12,5	0	-
			25	0	-
			50	0	-
			100	0	-
3.	<i>Staphylococcus aureus</i>	AuNPs	12,5	0	-
			25	0	-
			50	0	-
			100	0	-
		Pembanding (Kloramfenikol)	12,5	0,39 ± 0,34	Lemah
			25	0,73 ± 0,50	Lemah
			50	1,39 ± 0,81	Lemah
			100	3,71 ± 0,71	Sedang
4.	<i>Bacillus subtilis</i>	AuNPs	12,5	0	-
			25	0,2 ± 0,1	Lemah
			50	0,6 ± 0,3	Lemah
			100	1,1 ± 0,4	Lemah
		Pembanding (Kloramfenikol)	12,5	3,4 ± 0,26	Sedang
			25	5,4 ± 1,05	Sedang
			50	6,8 ± 0,3	Kuat
			100	8,8 ± 0,94	Kuat
5.	<i>Escherichia coli</i>	AuNPs	12,5	0	-
			25	0	-
			50	0	-
			100	0	-
		Pembanding (Kloramfenikol)	12,5	0,77 ± 0,31	Lemah
			25	4,36 ± 2,04	Sedang
			50	7,27 ± 1,76	Kuat
			100	10,28 ± 1,76	Kuat

PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas antibakteri nanopartikel emas (AuNPs) hasil sintesis menggunakan ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus*) terhadap pertumbuhan bakteri *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, dan *E. coli*. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan AuNPs hasil *green synthesis* selama 1 jam yang telah dilakukan sebelumnya oleh Paramita dkk. (2026) dengan konsentrasi 12,5%, 25%, 50%, dan 100%. Sebelum

dilakukan pengujian aktivitas antibakteri larutan sampel, seluruh bakteri uji terlebih dahulu diremajakan dan dikarakterisasi melalui pewarnaan Gram untuk memastikan kemurnian isolat serta kesesuaian karakteristik morfologinya. Tahap ini sangat penting karena keberhasilan pengujian antibakteri sangat dipengaruhi oleh kualitas kultur bakteri yang digunakan. Selain itu, pewarnaan gram juga berfungsi sebagai dasar dalam memprediksi tingkat sensitivitas bakteri terhadap agen antimikroba, termasuk nanopartikel logam. Adapun hasil pengamatan masing-masing bakteri dapat dilihat pada table 1.

Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bahwa *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, dan *Bacillus subtilis* tergolong bakteri Gram positif. Hal ini ditandai dengan warna ungu setelah proses pewarnaan. Warna tersebut muncul karena lapisan peptidoglikan yang tebal mampu mempertahankan kompleks kristal violet-iodin selama proses dekolorisasi. Sebaliknya, *Escherichia coli* termasuk bakteri Gram negatif yang tampak berwarna merah muda setelah pewarnaan safranin. Hal ini disebabkan oleh lapisan peptidoglikan yang lebih tipis dan keberadaan membran luar yang kaya lipopolisakarida sehingga kompleks kristal violet mudah terlepas dan digantikan oleh pewarna safranin (Beveridge, 2001).

Perbedaan struktur dinding sel antara bakteri Gram positif dan Gram negatif memiliki pengaruh besar terhadap sensitivitas bakteri terhadap agen antibakteri, termasuk nanopartikel emas. Bakteri Gram positif umumnya lebih rentan terhadap nanopartikel karena tidak memiliki membran luar, sehingga interaksi antara nanopartikel dengan membran sitoplasma berlangsung lebih mudah. Sebaliknya, membran luar pada bakteri Gram negatif berfungsi sebagai penghalang tambahan yang dapat membatasi penetrasi nanopartikel ke dalam sel. Oleh karena itu, karakterisasi Gram tidak hanya bertujuan untuk identifikasi bakteri, tetapi juga menjadi dasar dalam menginterpretasikan perbedaan aktivitas antibakteri yang diperoleh pada masing-masing bakteri uji (Mutalik et al., 2023).

Karakterisasi morfologi mikroskopis juga menunjukkan kesesuaian dengan literatur. *P. acnes* tampak sebagai basil pendek Gram positif, *S. epidermidis* dan *S. aureus* berbentuk kokus yang tersusun bergerombol menyerupai buah anggur, *B. subtilis* berbentuk basil berantai, sedangkan *E. coli* terlihat sebagai basil pendek Gram negatif yang tersebar tunggal (Waluyo, 2019). Kesesuaian ini menegaskan bahwa isolat yang digunakan dalam penelitian berada dalam kondisi murni dan layak untuk tahap pengujian aktivitas antibakteri larutan AuNPs hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak daun katuk *Sauropus androgynus* terhadap kelima bakteri uji. Penggunaan ekstrak daun katuk sebagai agen pereduksi dan penstabil memberikan keuntungan karena kandungan senyawa flavonoid, tanin, dan alkaloid di dalamnya (Paramita dkk., 2026).

Hasil pengujian aktivitas antibakteri AuNPs terhadap kelima bakteri menunjukkan adanya variasi daya hambat pada berbagai konsentrasi yang dapat dilihat pada table 2. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa larutan nanopartikel emas (AuNPs) hasil sintesis menggunakan ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus*) memiliki aktivitas antibakteri yang berbeda terhadap lima bakteri uji, yaitu *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, dan *Escherichia coli*. Variasi aktivitas tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi AuNPs, karakteristik dinding sel bakteri, serta interaksi nanopartikel dengan membran sel bakteri. Secara umum, peningkatan konsentrasi AuNPs cenderung meningkatkan diameter zona hambat. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah nanopartikel yang tersedia dalam media uji menentukan besarnya zona hambat. Semakin tinggi konsentrasi larutan, semakin banyak jumlah AuNPs yang dapat berinteraksi dengan permukaan sel bakteri, sehingga frekuensi kontak, adsorpsi, dan penetrasi ke dalam membran sel meningkat. Kondisi tersebut pada akhirnya memperkuat efek antibakteri yang bisa dilakukan melalui kerusakan membran, pembentukan *reactive oxygen species* (ROS), dan gangguan terhadap fungsi biomolekul intraseluler yang menyebabkan pertumbuhan bakteri terhambat bahkan berujung pada kematian sel (Mutalik et al., 2023; Huq et al., 2025).

Meskipun penelitian ini tidak secara khusus mengevaluasi pengaruh waktu sintesis, hasil yang diperoleh memberikan indikasi bahwa parameter tersebut berpotensi memengaruhi aktivitas antibakteri. Konsentrasi larutan yang digunakan dalam pengujian pada dasarnya merupakan hasil pengenceran dari larutan induk AuNPs dengan ekstrak daun katuk. Oleh karena itu, efektivitas setiap tingkat konsentrasi sangat ditentukan oleh jumlah nanopartikel yang terbentuk selama proses sintesis. Berdasarkan kajian literatur diketahui bahwa apabila pembentukan AuNPs belum berlangsung secara optimal, maka konsentrasi aktual nanopartikel dalam larutan induk dapat lebih rendah dibandingkan konsentrasi teoritisnya (Aguilar dkk., 2024). Hal ini didukung oleh penelitian Aji et al (2022) yang melakukan optimasi waktu reaksi dalam mensintesis AuNPs menggunakan ekstrak daun kapok (*Ceiba pentandra*). Variasi waktu reaksi yang digunakan adalah 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil menunjukkan waktu reaksi optimum untuk sintesis AuNPs adalah 90 menit.

Pada sintesis nanopartikel emas berbasis ekstrak tumbuhan, pembentukan partikel berlangsung melalui tahapan reduksi ion Au^{3+} , nukleasi, dan pertumbuhan partikel. Ketiga tahapan tersebut bersifat kinetik dan berlangsung

secara progresif hingga mencapai kesetimbangan. Dengan demikian, jumlah nanopartikel yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi reaktan, tetapi juga oleh waktu reaksi ketika proses sintesis berlangsung. Sintesis yang belum mencapai kondisi optimum berpotensi menghasilkan konversi ion emas yang belum sempurna, sehingga jumlah nanopartikel yang terbentuk masih terbatas (Aji et al., 2022). Kondisi tersebut juga menjadi alasan aktivitas antibakteri yang diperoleh dalam penelitian ini masih tergolong relatif rendah. Meskipun larutan yang digunakan untuk uji aktivitas antibakteri hingga konsentrasi 100%, namun jumlah AuNPs yang tersedia untuk berinteraksi dengan sel bakteri kemungkinan belum maksimal. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi nominal larutan belum tentu sepenuhnya merepresentasikan konsentrasi aktual nanopartikel dalam sistem. Semakin banyak AuNPs yang terbentuk pada tahap sintesis, semakin tinggi konsentrasi efektif nanopartikel pada setiap seri pengenceran, sehingga potensi aktivitas antibakterinya juga akan meningkat (Usman dkk., 2024).

Aktivitas terhadap bakteri patogen

AuNPs menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *P. acnes* pada konsentrasi 50% dan 100%, masing-masing menghasilkan zona hambat sebesar $0,6 \pm 0,45$ mm dan $1,1 \pm 0,90$ mm. Pada konsentrasi 12,5% dan 25%, tidak ditemukan zona hambat. Hasil ini menunjukkan bahwa *P. acnes* relatif sensitif terhadap AuNPs, meskipun aktivitas yang dihasilkan masih tergolong lemah. Sensitivitas ini diduga berkaitan dengan sifat anaerob dan struktur dinding sel Gram positif yang memungkinkan penetrasi nanopartikel lebih mudah dibandingkan bakteri Gram negatif. Potensi ini sangat relevan untuk pengembangan sediaan antiacne berbasis nanoteknologi.

Pada *S. epidermidis*, zona hambat terbentuk pada seluruh konsentrasi, yaitu $0,79 \pm 0,18$ mm hingga $2,04 \pm 0,62$ mm. Meskipun seluruh respon masih termasuk kategori lemah, adanya peningkatan diameter seiring kenaikan konsentrasi menunjukkan hubungan dosis-respons yang jelas. Sebagai bakteri Gram positif oportunistik, *S. epidermidis* memiliki lapisan peptidoglikan yang cukup tebal, namun tidak memiliki membran luar, sehingga AuNPs tetap dapat berinteraksi dengan komponen membran sitoplasma.

Berbeda dengan dua bakteri sebelumnya, AuNPs tidak menunjukkan aktivitas terhadap *S. aureus* dan *E. coli* pada seluruh konsentrasi. Tidak

terbentuknya zona hambat mengindikasikan bahwa konsentrasi yang digunakan belum mampu mengatasi mekanisme pertahanan bakteri ini. *S. aureus* diketahui memiliki dinding sel tebal, kemampuan membentuk biofilm, serta berbagai sistem resistensi intrinsik yang dapat mengurangi penetrasi nanopartikel (Almuzaini et al., 2026; You et al., 2025). Kondisi ini sering dilaporkan pada berbagai penelitian nanopartikel logam terhadap strain *S. aureus*. *E. coli* juga tidak memiliki aktivitas pada seluruh konsentrasi. Hasil ini menunjukkan bahwa *E. coli* memiliki resistensi lebih tinggi terhadap AuNPs dibandingkan bakteri Gram positif. Membran luar yang kaya lipopolisakarida pada bakteri Gram negatif berfungsi sebagai penghalang efektif terhadap penetrasi nanopartikel. Hambatan ini membatasi interaksi AuNPs dengan membran sitoplasma dan komponen intraseluler (Slavin et al., 2017).

AuNPs menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *B. subtilis* mulai konsentrasi 25%, dengan zona hambat meningkat dari $0,2 \pm 0,1$ mm menjadi $1,1 \pm 0,4$ mm pada konsentrasi 100%. Aktivitas ini termasuk kategori lemah, namun memperlihatkan pola peningkatan yang konsisten. Sensitivitas *B. subtilis* dapat dikaitkan dengan struktur dinding sel Gram positif yang memungkinkan adsorpsi AuNPs pada permukaan sel, sehingga menyebabkan kerusakan membran dan gangguan metabolisme seluler.

Perbandingan Sensitivitas Antar Bakteri dan Kontrol Positif

Berdasarkan hasil penelitian, urutan sensitivitas bakteri terhadap AuNPs adalah: *Staphylococcus epidermidis* > *Propionibacterium acnes* \approx *Bacillus subtilis* > *Staphylococcus aureus* = *Escherichia coli*.

Hasil ini menegaskan bahwa bakteri Gram positif umumnya lebih rentan terhadap AuNPs dibandingkan Gram negatif. Ketidakhadiran membran luar pada Gram positif memudahkan nanopartikel berinteraksi langsung dengan lapisan peptidoglikan dan membran plasma. Sebaliknya, lapisan lipopolisakarida pada Gram negatif menjadi penghalang utama.

Kloramfenikol sebagai kontrol positif menunjukkan aktivitas antibakteri yang jauh lebih tinggi dibandingkan AuNPs pada hampir seluruh bakteri uji. Hal dikarenakan antibiotik kloramfenikol memiliki target molekuler yang spesifik, sedangkan AuNPs bekerja melalui mekanisme fisikokimia nonspesifik. Namun, tidak terbentuknya zona hambat kloramfenikol terhadap *S. epidermidis* pada penelitian ini berbeda dengan

karakteristik umum bakteri tersebut yang umumnya masih sensitif terhadap kloramfenikol. Fenomena tersebut belum dapat dipastikan karena dalam penelitian ini tidak mencakup pengujian resistensi antibiotik terhadap isolat yang digunakan. Menurut Hossain (2024), faktor yang mempengaruhi aktivitas antibakteri meliputi karakteristik spesifik isolat, konsentrasi bahan aktif, konsentrasi bakteri patogen, suhu, oksigen, faktor kimia, atau variasi teknis selama pengujian. Faktor yang diduga berkontribusi kuat diantara faktor lain pada pengujian *S. epidermidis* adalah spesifikasi isolat. Pengujian aktivitas antibakteri kloramfenikol terhadap *S. Epidermidis* dengan hasil negatif diduga termasuk strain resisten. Oleh karena itu, diperlukan pengujian sensitivitas antibiotik terstandarisasi untuk mengonfirmasi respons isolat tersebut terhadap kloramfenikol.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa AuNPs tetap berpotensi sebagai agen antibakteri alternatif atau terapi kombinasi, terutama untuk mengurangi risiko resistensi antibiotik. Hasil ini menunjukkan bahwa AuNPs ekstrak daun katuk berpotensi dikembangkan sebagai antibakteri alami, khususnya terhadap bakteri Gram positif seperti *P. acnes*, *S. epidermidis*, dan *B. subtilis*. Potensi terbesar terlihat pada aplikasi dermatologis, terutama untuk terapi jerawat dan infeksi kulit superfisial. Namun, optimasi ukuran partikel, konsentrasi, serta modifikasi permukaan masih diperlukan guna meningkatkan efektivitas terhadap bakteri yang lebih resisten seperti *S. aureus* dan *E. coli*.

SIMPULAN

Nanopartikel emas (AuNPs) hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak daun katuk *Sauropus androgynus* menunjukkan potensi aktivitas antibakteri terhadap beberapa bakteri Gram positif. AuNPs mampu menghambat pertumbuhan *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, dan *Bacillus subtilis*, namun belum menunjukkan aktivitas terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Aktivitas antibakteri tertinggi diperoleh terhadap *S. epidermidis* pada konsentrasi 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AuNPs berbasis ekstrak daun katuk berpotensi dikembangkan sebagai agen antibakteri alternatif berbasis bahan alam. Meskipun demikian, aktivitas antibakteri yang dihasilkan masih relatif rendah sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan efektivitas AuNPs, baik melalui optimasi proses sintesis maupun pengembangan karakterisasi nanopartikel yang lebih mendalam.

REFERENSI

- Aguilar-Garay, R., Lara-Ortiz, L. F., Campos-López, M., Gonzalez-Rodriguez, D. E., Gamboa-Lugo, M. M., Mendoza-Pérez, J. A., Anzueto-Ríos, Á., & Nicolás-Álvarez, D. E. (2024). *A comprehensive review of silver and gold nanoparticles as effective antibacterial agents. Pharmaceuticals*, *17*(9), 1134. <https://doi.org/10.3390/ph17091134>
- Aji, A., Oktafiani, D., Yuniarto, A., & Amin, A. K. (2022). Biosynthesis of gold nanoparticles using Kapok (*Ceiba pentandra*) leaf aqueous extract and investigating their antioxidant activity. *Journal of Molecular Structure*, *1270*, 133906. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133906>
- Almuzaini, A. M., Alharbi, N. K., Alshammari, A. H., Alotaibi, R. M., & Alqahtani, S. S. (2026). Natural products and antimicrobial nanoparticles against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: Mechanisms, synergistic interactions, and therapeutic potential. *Pharmaceutics*, *18*(5), 515. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics18050515>
- Azizah, S. N., Eryani, M. C., & Azizah, A. (2021). Potential of lactic acid bacteria from tape and Jember tempeh as a probiotic candidate. *Jurnal Biodjati*, *6*(2), 273–283. <https://doi.org/10.15575/biodjati.v6i2.12393>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, *6*(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Beveridge, T. J. (2001). Use of the Gram stain in microbiology. *Biotechnic & Histochemistry*, *76*(3), 111–118. <https://doi.org/10.1080/bih.76.3.111.118>
- Dykman, L. A., & Khlebtsov, N. G. (2021). Gold nanoparticles in biomedical applications: Recent advances and perspectives. *Chemical Society Reviews*, *50*(5), 3422–3480. <https://doi.org/10.1039/D0CS00615K>
- Hatipoglu, O. F., Hirohisa, Y., Ceylan, M., Aydin, B., & Kara, Z. (2021). Antibacterial properties of gold nanoparticles synthesized by green synthesis methods. *Progress in Nutrition*, *23*(2), e2021180.
- Hutagalung, S. D., Pratama, R. A., Siregar, M. L., Wijaya, H., & Nugroho, A. (2024). Green

- synthesis of metal nanoparticles using plant extracts and their biomedical applications. *Materials Today Proceedings*, 91, 45–52.
- Hossain, T. J. (2024). *Methods for screening and evaluation of antimicrobial activity: A review of protocols, advantages, and limitations*. *European Journal of Microbiology and Immunology*, 14(2), 97–115.
<https://doi.org/10.1556/1886.2024.00035>
- Huq, M. A., Rana, M. R., Samad, A., Rahman, M. S., Rahman, M. M., Ashrafudoulla, M., Akter, S., & Park, J.-W. (2025). Green synthesis, characterization, and potential antibacterial and anticancer applications of gold nanoparticles: Current status and future prospects. *Biomedicines*, 13(5), 1184.
<https://doi.org/10.3390/biomedicines13051184>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2006). *Brock biology of microorganisms* (12th ed.). Pearson Education.
- Mutalik, C., Wang, D. Y., Krisnawati, D. I., Jazidie, A., Hwang, J., Kuo, T. R., Chu, H. W., Chueh, Y. L., & Hsu, C. H. (2023). *Gold-based nanostructures for antibacterial applications*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(12), 10006.
<https://doi.org/10.3390/ijms241210006>
- Ningsih, A. P., Nurmiati, & Agustien, A. (2013). Uji aktivitas antibakteri ekstrak kental tanaman pisang kepok kuning (*Musa paradisiaca* Linn.) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 2(3), 207–213.
- Pan, X., Chen, F., Wu, T., Tang, H., & Zhao, Z. (2009). The acid, bile tolerance and antimicrobial property of *Lactobacillus acidophilus* NIT. *Food Control*, 20(6), 598–602.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.08.019>
- Paramita, D. R. A., Siddiq, H. B. H. F., & Lasmono, R. Z. Z. (2026). Green synthesis dan karakterisasi nanopartikel emas sebagai antioksidan peredam radikal bebas. *INTEKA: Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 11(2), 21–29.
<https://doi.org/10.31942/inteka.v11i2.13258>
- Slavin, Y. N., Asnis, J., Häfeli, U. O., & Bach, H. (2017). Metal nanoparticles: Understanding the mechanisms behind antibacterial activity. *Journal of Nanobiotechnology*, 15(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s12951-017-0308-z>
- Usman, O., Baig, M. M. M., Ikram, M., Ahmad, R., Ali, S., Haider, A., Shahzadi, I., Naz, S., Alghamdi, A. A., & Khan, M. A. (2024). *Green synthesis of metal nanoparticles and study their anti-pathogenic properties against pathogens effect on plants and animals*. *Scientific Reports*, 14, 11354.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-11354-x>
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*, 40(4), 277–283.
- You, Y., Yu, X., Jiang, J., Chen, Z., Zhu, Y.-X., Chen, Y., Lin, H., & Shi, J. (2025). Bacterial cell wall-specific nanomedicine for the elimination of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* through electron-mechanical intervention. *Nature Communications*, 16, 2836.
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-58061-5>
- Waluyo, L. (2019). *Mikrobiologi umum*. UMM Press.
- World Health Organization. (2023, November 21). *Antimicrobial resistance*. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>