

Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Berbasis AgNO₃ dan Ekstrak Daun Lamtoro (*Leucaena Leucocephala*) untuk Aktivitas Antibakteri

Ayu Rosyida Zam Zam*, Nashrul Amin, Sri Redjeki

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email : ayurosyidaa22@gmail.com

Diterima: 12 November 2025

Disetujui: 19 November 2025

Abstract

This study aims to synthesize and characterize silver nanoparticles (AgNPs) based on silver nitrate (AgNO₃) using *Leucaena leucocephala* leaf extract as a natural bioreducing agent, and to determine the effects of AgNO₃ concentration and stirring time on their morphology, stability, and antibacterial activity. The synthesis was carried out using AgNO₃ concentrations of 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, and 5.5 mM, with stirring times of 2, 3, and 4 hours at room temperature. UV-Vis analysis showed that a concentration of 5.5 mM and stirring time of 3 hours produced a maximum absorption peak at approximately 430 nm, indicating the successful formation of stable silver nanoparticles. SEM analysis revealed spherical-shaped AgNPs with particle sizes ranging from 50 to 100 nm. The antibacterial activity test against *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 showed an inhibition zone of 11.67 mm at 100% concentration, categorized as strong antibacterial activity. Therefore, the combination of 5.5 mM AgNO₃ concentration and 3 hours of stirring time was determined to be the optimum condition for producing stable silver nanoparticles with high antibacterial potential.

Keywords: *silver nanoparticles, leucaena leucocephala, agno₃, bioreduction, antibacterial activity*

Abstrak

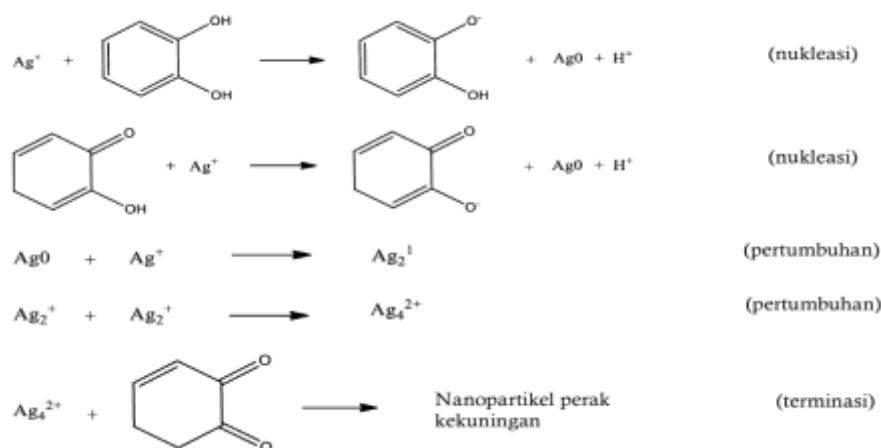
Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel perak (AgNP) berbasis perak nitrat (AgNO₃) dengan ekstrak daun lamtoro (*Leucaena leucocephala*) sebagai bioreduktor alami, serta menentukan pengaruh konsentrasi AgNO₃ dan lama waktu pengadukan terhadap morfologi, stabilitas, dan aktivitas antibakterinya. Proses sintesis dilakukan dengan variasi konsentrasi AgNO₃ sebesar 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; dan 5,5 mM, serta waktu pengadukan 2, 3, dan 4 jam menggunakan magnetic stirrer pada suhu ruang. Hasil analisis UV-Vis menunjukkan bahwa konsentrasi 5,5 mM dengan waktu pengadukan 3 jam menghasilkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang sekitar 430 nm yang menandakan terbentuknya nanopartikel perak yang stabil. Analisis SEM menunjukkan bahwa AgNP yang dihasilkan memiliki morfologi sferis dengan ukuran partikel berkisar antara 50–100 nm. Uji aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 menunjukkan zona hambat sebesar 11,67 mm pada konsentrasi 100%, yang termasuk dalam kategori kuat. Dengan demikian, kombinasi konsentrasi AgNO₃ 5,5 mM dan waktu pengadukan 3 jam merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan nanopartikel perak yang stabil dan memiliki aktivitas antibakteri tinggi.

Kata Kunci: *nanopartikel perak, daun lamtoro, agno₃, bioreduktor, antibakteri*

1. Pendahuluan

Lamtoro (*Leucaena Leucocephala*) atau lebih dikenal dengan petai cina merupakan tanaman serbaguna yang bermanfaat bagi manusia dan hewan dengan kandungan unsur hara yaitu 3,84% N; 0,2% P; 2,06% K; 1,31% Ca; 0,33% Mg [1]. Ketersediaan unsur nitrogen paling banyak berada pada daun muda karena dibutuhkan untuk membentuk klorofil yang berperan dalam proses fotosintesis [2]. Daun lamtoro mengandung senyawa metabolit primer dan sekunder. Metabolit primer merupakan senyawa esensial yang memiliki peran krusial dalam mendukung proses pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi tumbuhan salah satunya yaitu protein yang terkandung dalam daun lamtoro berkisar 25-35% [3]. Daun lamtoro yang mengandung senyawa metabolit sekunder, termasuk phylobatanin, alkaloid, glikosida jantung, tanin, flavonoid, saponin, serta glikosida memiliki potensi dimanfaatkan sebagai bioreduktor dalam pembuatan nanopartikel [4]. Ekstrak daun lamtoro yang mengandung senyawa metabolit sekunder berfungsi sebagai agen reduktor sekaligus agen penstabil [5].

Nanopartikel Ag menjadi material yang menarik untuk penelitian karena memiliki variasi ukuran partikel berkisar 1-100 nm serta tingkat stabilitas partikel yang tinggi sehingga mempunyai sifat kimia, fisika dan biologi yang berbeda sebagai molekul tunggal atau atom [6]. Nanopartikel perak memiliki rasio luas permukaan terhadap volumenya yang besar sehingga menunjukkan sifat fisikokimia dan optik yang unik [7]. Semua sifat ini sangat dipengaruhi dalam kondisi eksperimen yang berbeda seperti suhu, pH, kinetika interaksi antara garam logam dan agen pereduksi, sifat, dan adsorpsi agen penutup [8]. Keberhasilan reduksi Ag^+ untuk ion Ag ditandai dengan perubahan warna menjadi coklat [9]. Nanopartikel perak memiliki banyak manfaat salah satunya sebagai antibakteri dan antioksidan [8].



Gambar 1. Reaksi Sintesis Nanopartikel Perak [10]

Perak nitrat dilarutkan ke dalam air mengalami disosiasi menjadi ion perak positif (Ag^+) dan ion nitrat negatif (NO_3^-). Untuk mengubah Ag^+ menjadi Ag^0 diperlukan proses reduksi dengan menerima elektron dari donor. Komponen biomolekul seperti flavonoid, terpenoid, asam amino, alkaloid, senyawa fenolik dan bimolekul yang mengandung gugus fungsi aldehyd dalam tanaman dapat berfungsi sebagai reduktor ion perak. Gugus fungsi dalam senyawa metabolit sekunder mendonorkan elektron ke ion Ag^+ untuk menghasilkan Ag partikel-nano[10].

Uji aktivitas antibakteri terhadap nanopartikel perak sering mengikuti standar internasional seperti AATCC 147-1998 secara kualitatif, yang mengukur daya hambat dengan menciptakan zona bening di sekitar cakram kertas yang telah diberi larutan nanopartikel perak pada media agar yang ditanami bakteri[11]. Kemampuan nanopartikel dalam menghambat bakteri dapat diketahui melalui zona hambat yang terbentuk ketika suatu bakteri ditambahkan nanopartikel perak dengan 4 kategori zona hambat yaitu : aktivitas sangat kuat (>20-30 mm), kuat (>10-20 mm), sedang (5-10 mm), dan lemah (<5 mm) [12]. Semakin kecil ukuran perak, luas permukaan semakin besar dan meningkatkan kontak dengan bakteri atau jamur [10]. Interaksi AgNP dengan bakteri dapat menghambat kemampuan DNA bakteri untuk bereplikasi, mencegah pembelahan sel, dan memperlambat pertumbuhan sel mikroba, yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel tersebut [13]. Secara keseluruhan, nanopartikel perak menjadi agen antibakteri yang kuat karena kemampuannya untuk mengganggu fungsi sel bakteri, termasuk merusak membran sel dan mengganggu proses metabolisme [14].

Berdasarkan penelitian [15], sintesis nanopartikel perak dari AgNO_3 dengan penambahan ekstrak daun belimbing wuluh dapat dijadikan sebagai bioreduktor. Dari penelitian tersebut menunjukkan sintesis nanopartikel perak menggunakan AgNO_3 konsentrasi 1,0 mM didapatkan ukuran rata-rata sebesar 112,8 nm. Sedangkan penelitian [16], hasil karakterisasi nanopartikel ekstrak daun salam menggunakan etanol dengan variasi ekstrak daun salam: kitosan : NaTTP menunjukkan ukuran partikel yaitu 284,2; 410,6 dan 630,1 nm. Menurut [17], sintesis nanopartikel perak dibutuhkan bioreduktor yang mengandung senyawa polifenol 0,5 mg/ml ekstrak. Penambahan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) berfungsi untuk mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan partikel serta melindungi nanopartikel dari proses oksidasi yang tidak diinginkan [15]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari ekstrak daun lamtoro sebagai bioreduktor, pengaruh konsentrasi AgNO_3 dan lama waktu pengadukan sintesis nanopartikel terhadap karakteristik morfologi, stabilitas AgNP, serta aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* untuk mengetahui efektivitas nanopartikel perak yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan utama yaitu daun lamtoro yang diperoleh dari Kecamatan Rungkut, Surabaya, Jawa Timur dan AgNO_3 yang diperoleh dari Unit Produksi KOBICA Puslit Kimia LPPI di Surabaya. Sedangkan bahan pembantu yang digunakan meliputi ethanol 70%, polivinyl alkohol, dan aquadest. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah magnetic stirrer, beaker glass, aluminium foil, kertas saring whatman no.41, pipet tetes, gelas ukur, neraca analitik, oven, termometer, erlenmeyer, gelas ukur, batang pengaduk, corong kaca.

Langkah awal dimulai dengan peresiapan bahan baku dan peralatan yang digunakan. Daun lamtoro dicuci bersih menggunakan air mengalir, kemudian ditiriskan hingga tidak ada sisa air. Setelah itu, daun dipisahkan dari batang daunnya, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 2 jam. Daun yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan chopper hingga menjadi serbuk halus. Sebanyak 5 gram serbuk daun lamtoro kemudian diekstraksi menggunakan 50 mL etanol 70%. Proses ekstraksi dilakukan secara maserasi menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 600 rpm pada suhu 60°C selama 1 jam. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring menggunakan kertas saring untuk memperoleh ekstrak etanol daun lamtoro yang siap di analisis kandungan ekstrak daun lamtoro atau digunakan dalam sintesis nanopartikel perak.

Sintesis nanopartikel perak dengan variabel yang dijalankan berupa konsentrasi perak nitrat (AgNO_3) 1,5 ; 2,5 ; 3,5 ; 4,5 ; 5,5 mM dan lama waktu pengadukan 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 jam. Larutan perak nitrat disiapkan dengan cara menimbang perak nitrat sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan kemudian ditambahkan aquadest hingga 10 ml lalu dihomogenkan hingga larut sempurna. Larutan *polivinyl alcohol* (PVA) 1,5% disiapkan dengan menimbang 0,18 gr padatan PVA kemudian dilarutkan dalam 12 ml aquadest panas dan diaduk hingga menjadi larutan homogen. Selanjutnya, proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan 10 mL larutan AgNO_3 sesuai konsentrasi masing-masing dengan 10 mL ekstrak daun lamtoro. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 600 rpm dengan lama waktu pengadukan disesuaikan dengan variabel yang dijalankan pada suhu ruang (tanpa pemanasan) serta penambahan 12 ml PVA 1,5% tetes demi tetes. Hasil sintesis ini kemudian di uji spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui tingkat kestabilannya pada hari pertama, ketiga, dan ketujuh. Titik yang paling stabil kemudian diuji SEM (*scanning electron microscopy*) untuk mengetahui karakteristik morfologi nanopartikel perak yang terbentuk dan digunakan untuk uji aktivitas antibakteri pada bakteri *Staphylococcus aureus* untuk mengetahui efektivitas nanopartikel perak dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Bahan Baku

Penelitian ini menggunakan bahan baku berupa daun lamtoro sebagai bioreduktor untuk sintesis nanopartikel perak (AgNP). Daun lamtoro diekstraksi terlebih dahulu menggunakan metode ekstraksi maserasi dengan etanol 70% sebagai pelarutnya kemudian dilakukan pengujian bahan baku di Laboratorium Gizi, Universitas Airlangga.

Tabel 1. Hasil Analisis Ekstrak Daun Lamtoro

Senyawa	Jumlah	Satuan
Polifenol	29,70	mg GAE/100 mL

Sumber: Laboratorium Gizi Universitas Airlangga, 2025

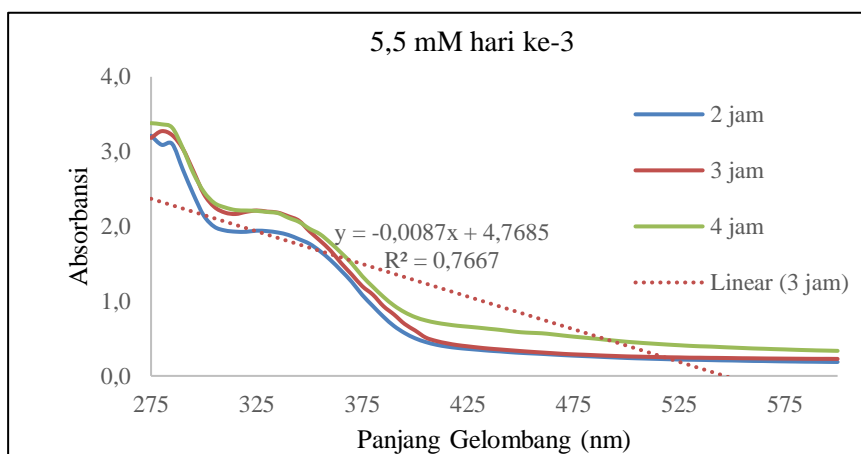
Ekstrak daun lamtoro yang digunakan untuk analisis bahan baku dibuat dengan cara daun lamtoro dicuci bersih menggunakan air mengalir, kemudian ditiriskan hingga tidak ada sisa air. Setelah itu, daun dipisahkan dari batang daunnya, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 2 jam. Daun yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan chopper hingga menjadi serbuk halus. Sebanyak 5 gram serbuk daun lamtoro kemudian diekstraksi menggunakan 50 mL etanol 70%. Proses ekstraksi dilakukan secara maserasi menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 600 rpm pada suhu 60°C selama 1 jam. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring menggunakan kertas saring untuk memperoleh ekstrak etanol daun lamtoro yang siap di analisis atau digunakan dalam sintesis nanopartikel perak.

Berdasarkan **Tabel 1**, diketahui bahwa kandungan senyawa polifenol dalam 100 mL ekstrak daun lamtoro sebesar 29,7 mg GAE. Sebagai perbandingan, kandungan polifenol dalam ekstrak alkohol-air daun delima dilaporkan mencapai 48,66 mg GAE/100 mL [17]. Meskipun nilai polifenol pada ekstrak daun lamtoro lebih rendah dibandingkan penelitian terdahulu, ekstrak ini tetap menunjukkan kemampuan

antioksidan dan fenolik yang berpotensi sebagai agen pereduksi (bioreduktor), meskipun dengan efektivitas yang lebih rendah. Perbedaan kandungan fenolik atau total antioksidan ini dapat disebabkan karena beberapa faktor antara lain kondisi lingkungan, faktor genetik, waktu panen, jenis pelarut, dan metode ekstraksi yang diterapkan [18].

Analisa Spektrofotometri Uv-Vis

Analisis Spektrofotometri Uv-Vis untuk mengetahui pengaruh konsentrasi perak nitrat (AgNO_3) dan lama waktu pengadukan terhadap kestabilan dari nanopartikel perak (AgNP) yang terbentuk. Hasil analisis UV-Vis AgNP pada konsentrasi AgNO_3 5,5 mM dan lama waktu pengadukan 3 jam pada hari ketiga dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



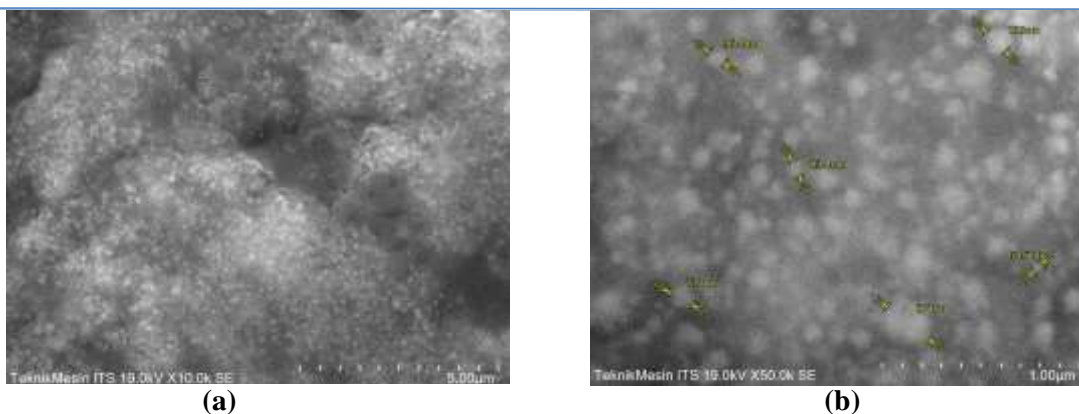
Gambar 2. Hasil analisis Spektrofotometri Uv-Vis AgNP

Sampel nanopartikel perak yang digunakan dalam analisis UV-Vis diperoleh melalui proses sintesis menggunakan larutan perak nitrat (AgNO_3) dengan konsentrasi 5,5 mM. Larutan perak nitrat disiapkan dengan melarutkan 0,0093 gram AgNO_3 ke dalam 10 mL aquadest, kemudian dihomogenkan hingga larut sempurna. Selanjutnya, proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan 10 mL larutan AgNO_3 tersebut dengan 10 mL ekstrak daun lamtoro. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 600 rpm selama 3 jam pada suhu ruang (tanpa pemanasan) dengan penambahan 12 ml PVA 1,5% tetes demi tetes.

Hasil analisa Uv-Vis pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa rentang panjang gelombang yang diperoleh sudah memenuhi standar pembentukan nanopartikel dimana nanopartikel terbentuk pada rentang panjang gelombang 400 – 450 nm. Pada penelitian ini dengan konsentrasi AgNO_3 5,5 mM dan lama waktu pengadukan 3 jam membentuk puncak gelombang yang stabil serta menghasilkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang sekitar 430 nm, yang merupakan karakteristik khas nanopartikel perak. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan [19] yang menghasilkan puncak serapan nanopartikel perak pada panjang gelombang 436-453 nm mengindikasikan pembentukan nanopartikel perak yang stabil.

Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM)

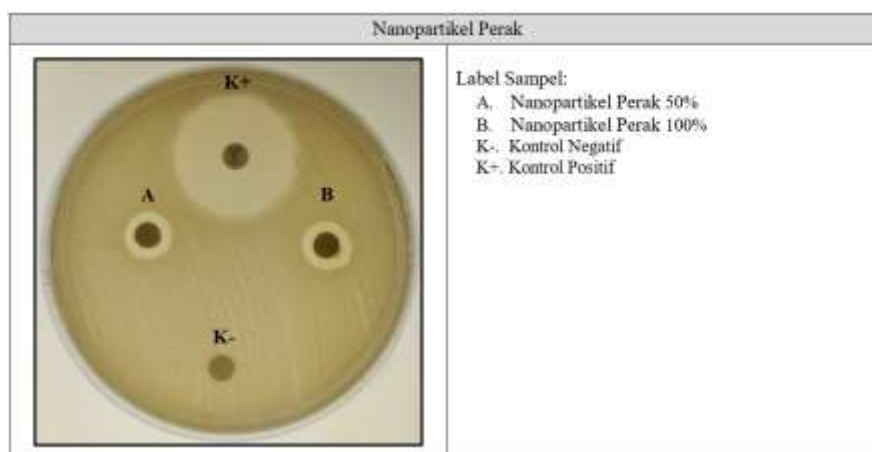
Berdasarkan **Gambar 3** di bawah, menunjukkan morfologi nanopartikel perak dengan konsentrasi 5,5 mM dan waktu pengadukan 3 jam. Berdasarkan hasil analisis pada perbesaran 10.000x terlihat morfologi partikel sulit dibedakan karena tampak menyatu satu dengan yang lainnya membentuk agregat besar dengan bentuk sferis namun ukuran dan batas antar partikel sulit dibedakan sedangkan pada perbesaran 50.000x partikel AgNP tampak paling jelas tersebar merata dengan morfologi sferis dan ukuran yang bervariasi. Ukuran partikel berdasarkan skala yang tersedia menunjukkan bahwa sebagian besar partikel berada dalam rentang 50-100 nm yang termasuk ke dalam kategori nanopartikel. Nanopartikel perak (AgNP) merupakan partikel perak kecil yang berukuran 1-100 nanometer [20]. Pengaruh waktu pengadukan selama 3 jam menghasilkan ukuran partikel yang terbentuk semakin kecil karena peningkatan jumlah tumbukan antar partikel, yang mengakibatkan pemecahan partikel menjadi ukuran nano [21].



Gambar 3. Hasil analisis SEM (a) Perbesaran 10.000x (b) Perbesaran 50.000x

Analisa Aktivitas Antibakteri

Analisis difusi cakram menggunakan media agar dengan kepadatan $1,5 \times 10^8$ CFU/mL yang telah diberikan bakteri *Staphylococcus Aureus Atcc. 25923* di atasnya kemudian diberikan blank dish yang telah direndam didalam larutan sampel. Terdapat empat blank dish yang telah direndam kedalam masing-masing larutan AgNO₃ dengan konsentrasi 5,5 mM dan waktu pengadukan 3 jam. Sampel A direndam ke dalam larutan nanopartikel perak 50%, sampel B direndam ke dalam larutan nanopartikel perak 100%, sampel K- direndam ke dalam aquadest steril sebagai kontrol negatif, dan sampel K+ direndam ke dalam larutan Ciprofloxacin 5µg sebagai kontrol positif.



Gambar 4. Hasil analisis difusi cakram

Berdasarkan **Gambar 4**, diketahui bahwa terbentuk zona hambat pada sampel A dengan konsentrasi nanopartikel perak 50% sebesar 11,07 mm, pada sampel B dengan konsentrasi nanopartikel perak 100% sebesar 11,67 mm, pada pada sampel K- sebagai kontrol negatif tidak terbentuk zona hambat, dan pada sampel K+ sebagai kontrol positif terbentuk zona hambat sebesar 29,69 mm. Hasil zona hambat sampel A dan B tersebut telah sesuai dengan penelitian terdahulu yang menghasilkan zona hambat 10,9 mm dan 11,06 mm pada bakteri *Staphylococcus Aureus* [22]. Hal tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang terbentuk dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus Aureus Atcc. 25923* dengan kategori kuat berdasarkan ukuran diameter zona hambatnya [12].

Peningkatan aktivitas antibakteri kemungkinan besar didasarkan pada konsentrasi AgNO₃ yakni ion perak, yang dilepaskan oleh AgNP mampu menghancurkan dinding sel dan metabolit sekunder yang teradsorpsi pada AgNP [23]. Selain konsentrasi AgNO₃, lama waktu pengadukan juga berpengaruh signifikan terhadap aktivitas antibakteri nanopartikel perak. Pada waktu pengadukan yang terlalu singkat, proses reduksi ion Ag⁺ menjadi Ag⁰ belum optimal, sehingga jumlah nanopartikel yang terbentuk lebih sedikit dan berukuran tidak seragam, yang berdampak pada rendahnya aktivitas antibakteri. Seiring bertambahnya waktu pengadukan, ukuran partikel cenderung mengecil akibat peningkatan frekuensi tumbukan antar partikel, yang memicu pemecahan menjadi ukuran nano [21].

4. Kesimpulan

Nanopartikel terbaik yang terbentuk pada konsentrasi AgNO_3 5,5 mM dengan lama waktu pengadukan 3 jam dan stabilitas terbaik pada hari ketiga. Puncak serapan maksimum yang terbentuk pada panjang gelombang sekitar 430 nm dengan ukuran partikel dalam rentang 50-100 nm sesuai dengan RSNI. Efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus Aureus Atcc. 25923* dengan kategori kuat berdasarkan ukuran diameter zona hambatnya yaitu 11,67 mm.

5. Referensi

- [1] U. Mardiana, "The Utilization of Lamtoro leaves (*Leucaena leucocephala* L.) Extract as an Alternative Nitrogen Source on The Formation of Nata de Soya Cellulose from Tofu Whey Waste," *Biomedika*, vol. 14, no. 1, pp. 9–18, Mar. 2021.
- [2] A. Indria Kusuma, P. Budi Hastuti, F. Wilisiani, P. Studi Agroteknologi, and F. Pertanian, "Pengaruh Macam Pupuk Hijau Dan Tingkat Dekomposisi Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit," vol. 4, no. 2, 2023.
- [3] A. A. Istri, M. Padmiswari, I. Wiratmini, and W. Kasa, "Histologi Testis Tikus (*Rattus Norvegicus*) Jantan Yang Diberi Tepung Daun Lamtoro (*Leucaena Leucocephala* Lamk. De Wit) Hasil Perendaman Testis Histology Of Albino Rats (*Rattus Norvegicus*) Fed Soaked Lamtoro (*Leucaena Leucocephala* Lamk. De Wit) Leaves Meal," no. 2, pp. 178–183, 2017.
- [4] D. S. Ayu and H. P. Adi, "Perbandingan Uji Mukolitik Ekstrak Dan Fraksi Daun Lamtoro (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) Halus Dan Kasar Secara In Vitro," *Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi*, vol. 2, no. 4, pp. 12–20, 2024.
- [5] R. Z. Maarebia, A. W. Wahab, and P. Taba, "Synthesis And Characterization Of Silver Nanoparticles Using Water Extract Of Sarang Semut (*Myrmecodia Pendans*) For Blood Glucose Sensors," vol. 12, no. 1, 2019.
- [6] R. Nurbayasari *et al.*, "Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Rumpun Laut Hijau *Caulerpa* sp. Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed *Caulerpa* sp," *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, vol. 19, no. 1, pp. 17–28, 2017.
- [7] S. V. Sable, S. Kawade, S. Ranade, and S. Joshi, "Bioreduction Mechanism Of Silver Nanoparticles," *Materials Science and Engineering C*, vol. 107, Feb. 2020.
- [8] W. W. Melkamu and L. T. Bitew, "Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Hagenia Abyssinica* (Bruce) J.F. Gmel Plant Leaf Extract and Their Antibacterial and Anti-oxidant Activities," *Heliyon*, vol. 7, no. 11, Nov. 2021.
- [9] S. Suhartati *et al.*, "Bioreduction And Characterization Of Silver Nanoparticles From Oil Palm Empty Fruit Bunch (Siti Suhartati) Bioreduction And Characterization Of Silver Nanoparticles From Oil Palm Empty Fruit Bunch," 2020.
- [10] T. Prasetyaningtyas *et al.*, "Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antibakteri," *J. Chem. Sci.*, vol. 9, no. 1, 2020.
- [11] S. Mirmohammadsadeghi *et al.*, "The Highly Durable Antibacterial Gel-like Coatings for Textiles," *Gels*, vol. 10, no. 6, Jun. 2024.
- [12] Datta, "Uji Aktivitas Antimikroba Bakteri Asam Laktat Cairan Rumen Terhadap Pertumbuhan *Salmonella Enteritidis*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, dan *Staphylococcus aureus* Menggunakan Metode Difusi Sumur Agar," *Prosiding Seminar Nasional VII FKH Undana*, pp. 66–78, 2019.
- [13] T. Sumiati, D. Ratnasari, D. Dwi Mutiani, P. Studi Farmasi Sekolah Tinggi Teknologi Industri dan Farmasi Bogor, M. S. Program Studi, and F. Sekolah Tinggi Teknologi Industri dan Farmasi Bogor, "Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Kulit Bawang Merah (*Allium Cepa* L.) Dan Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap Bakteri *Staphylococcus Aureus*," vol. 3, no. 1, 2018.
- [14] R. Chawla, S. Sivakumar, and H. Kaur, "Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements- a review," Dec. 25, 2021.
- [15] A. L. Prasetiowati *et al.*, "Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* L.) sebagai Antibakteri," *J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [16] D. Fitri, N. Z. W. Kiromah, and T. C. Widiastuti, "Formulasi Dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan Dengan Metode Gelasi Ionik," *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, vol. 5, no. 1, p. 61, Mar. 2020.

- [17] N. Swilam and K. A. Nemataallah, "Polyphenols profile of pomegranate leaves and their role in green synthesis of silver nanoparticles," *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020.
- [18] D. Hanifa and A. Djamaan, "Penentuan Kandungan Antioksidan Dan Fenolik Total Dari Ekstrak Tumbuhan Sebagai Bioreduktor Dalam Pembentukan Nanopartikel Perak," *Jurnal Farmasi dan Herbal*, vol. 5, 2023.
- [19] L. Rahmayanti, D. M. Rahmah, and D. Larashati, "Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Minyak Dan Gas Bumi Di Indonesia," *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, vol. 3, no. 2, pp. 9–16, 2021.
- [20] RSNI, "Rancangan Standar Nasional Indonesia Nanoteknologi," 2024.
- [21] W. Taurina, R. Sari, U. Cindy Hafinur, and S. Wahdaningsih, "Optimization Of Stirring Speed And Stirring Time Toward Nanoparticle Size Of Chitosan-Siam Citrus Peel (*Citrus Nobilis* L.Var Microcarpa) 70% Ethanol Extract," *Traditional Medicine Journal*, vol. 22, no. 1, p. 2017, 2017.
- [22] N. N. Ibrahim, N. A. Mohd Amin, R. Kadir Basha, and A. Samsu Baharuddin, "Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles using Polygonum minus Fresh and Dried Leaves Extract and Its Antibacterial and Antioxidant Properties," *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, vol. 6, no. 1, Jun. 2025.