

GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN SENYAWA BIOAKTIF DARI FRAKSI ETIL ASETAT RIMPANG TEMU KUNCI (*Boesenbergia pandurata* Roxb.)

Ardyaneta Wahyu Fatmadewi, Anita Puspa Widiyana, Yoni Rina Bintari*

*Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang

ABSTRAK

Pendahuluan: Nanopartikel perak (AgNPs) menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih unggul dibanding bentuk makronya karena rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi meningkatkan reaktivitas. Penelitian ini menerapkan green synthesis menggunakan fraksi etil asetat rimpang temu kunci (*Boesenbergia pandurata*) sebagai bioreduktor. Pemilihan fraksi semipolar ini didasarkan pada kemampuannya mengekstraksi flavonoid aglikon dan metabolit sekunder untuk mereduksi ion Ag^+ . Fokus penelitian mencakup sintesis dan karakterisasi AgNPs tersebut.

Metode: Sintesis nanopartikel perak (AgNPs) dilakukan menggunakan metode Green Synthesis dengan fraksi etil asetat sebagai agen pereduksi. Prekursor AgNO_3 10 mM direaksikan dengan fraksi etil asetat pada variasi perbandingan volume 9:1, 8:2, dan 7:3, dengan penambahan NaOH sebagai katalisator. Campuran dihomogenkan menggunakan hotplate stirrer pada kecepatan 1000 rpm selama 24 jam. Karakterisasi dilakukan dengan spektrofotometri UV-Vis dan Particle Size Analyzer (PSA).

Hasil dan Pembahasan: Nanopartikel mengalami perubahan warna larutan menjadi cokelat gelap dan munculnya puncak serapan Surface Plasmon Resonance (SPR) pada kisaran 400–500 nm via UV-Vis. Analisis PSA menunjukkan ukuran partikel $144,56 \pm 8,51$ nm dengan indeks polidispersitas (PDI) $0,15 \pm 0,02$ dan zeta potential $48,44 \pm 42,33$ mV, mengindikasikan distribusi partikel yang homogen pada rentang nanometer.

Simpulan: AgNP yang disintesis dari fraksi etil asetat rimpang temu kunci pada 500 rpm dan pH 8 memiliki ukuran rata-rata 144,56 nm. Nilai PDI 0,15 dan zeta potensial 48,44 mV menandakan stabilitas yang baik, menghasilkan nanopartikel yang homogen serta berpotensi sebagai agen antibakteri ramah lingkungan.

Keywords: green synthesis, nanopartikel perak, temu kunci, fraksi etil asetat

Corresponding author: Anita Puspa Widiyana (anitapuspaw@unisma.ac.id)

Jl. M.T. Haryono 193, Kota Malang, 65144

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING BIOACTIVE COMPOUNDS FROM THE ETHYL ACETATE FRACTION OF TEMU KUNCI RHIZOME (*Boesenbergia pandurata* Roxb.)

Ardyaneta Wahyu Fatmadewi, Anita Puspa Widiyana, Yoni Rina Bintari*

*Faculty of Medicine, Universitas Islam Malang

ABSTRACT

Background: Silver nanoparticles have more optimal antibacterial activity than silver in its usual form because the very small particle size provides a larger surface area and increases its reactivity. In this study, silver nanoparticles were synthesized using ethyl acetate fraction of ginger rhizome (*Boesenbergia pandurata*) as a natural reducing agent through a green synthesis approach. Ethyl acetate fraction was chosen because it is semipolar, enabling it to attract flavonoid aglycones and other secondary metabolites that have the potential to reduce Ag^+ ions. This study aims to produce and characterize silver nanoparticles synthesized using this fraction.

Methods: Silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized using the green synthesis method with ethyl acetate as the reducing agent. A 10 mM AgNO_3 precursor was reacted with ethyl acetate at volume ratios of 9:1, 8:2, and 7:3, with the addition of NaOH as a catalyst. The mixture was homogenized using a hotplate stirrer at a speed of 1000 rpm for 24 hours. Characterization was performed using UV-Vis spectrophotometry and a Particle Size Analyzer (PSA).

Results and Discussion: The nanoparticles experienced a change in solution color to dark brown and the appearance of a Surface Plasmon Resonance (SPR) absorption peak in the range of 400–500 nm via UV-Vis. PSA analysis showed a particle size of 144.56 ± 8.51 nm with a polydispersity index (PDI) of 0.15 ± 0.02 and a zeta potential of 48.44 ± 42.33 mV, indicating a homogeneous particle distribution in the nanometer range.

Conclusion: AgNPs synthesized from the ethyl acetate fraction of temu kunci rhizomes at 500 rpm and pH 8 have an average size of 144.56 nm. A PDI value of 0.15 and a zeta potential of 48.44 mV indicate good stability, resulting in homogeneous nanoparticles with potential as environmentally friendly antibacterial agents.

Keywords: green synthesis, silver nanoparticles, ginger, ethyl acetate fraction

Corresponding author: Anita Puspa Widiyana (anitapuspaw@unisma.ac.id)

Jl. M.T. Haryono 193, Malang City, 65144

PENDAHULUAN

Nanopartikel perak (AgNP) adalah partikel logam perak yang berukuran di bawah 1000 nm (1). AgNP memiliki keunggulan dibandingkan senyawa antimikroba atau antibiotik yang bersifat bakteriostatik, karena mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme (2). Nanopartikel dengan ukuran kecil dan luas permukaan yang besar mampu berinteraksi dengan permukaan mikroorganisme serta memiliki reaktivitas yang tinggi. Nanopartikel perak memiliki aktivitas antimikroba karena mampu berinteraksi secara elektrostatis dengan permukaan sel bakteri, di mana ion perak bermuatan positif tertarik pada membran sel yang bermuatan negatif (3). Interaksi ini memungkinkan nanopartikel menembus dinding sel, berikatan dengan protein intraseluler, mengganggu proses metabolisme, serta menyebabkan kerusakan dan kematian sel mikroba (4).

Kemampuan nanopartikel perak (AgNP) sebagai agen antibakteri terus dikembangkan melalui pendekatan sintesis ramah lingkungan atau green synthesis, dengan memanfaatkan bahan alam sebagai agen pereduksi. Salah satu sumber hayati yang berpotensi digunakan adalah rimpang temu kunci (*Boesenbergia pandurata*), yang diketahui mengandung berbagai metabolit sekunder aktif. Senyawa utama yang berperan dalam proses reduksi adalah kelompok flavonoid (5). Gugus hidroksil pada senyawa flavonoid berfungsi dengan mendonorkan elektron kepada ion Ag^+ sehingga terbentuk nanopartikel perak, sekaligus bertindak sebagai agen penstabil yang mencegah terjadinya aglomerasi. Perubahan warna larutan yang tampak sebagai tanda terbentuknya nanopartikel terjadi akibat terbentuknya sistem ikatan rangkap terkonjugasi dari interaksi antara gugus -OH dan ion Ag (6).

Penggunaan fraksi etil asetat rimpang temu kunci berpotensi dalam sintesis nanopartikel perak karena mengandung senyawa semipolar seperti flavonoid yang dapat berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil (7). Meskipun ekstrak etil asetat dari berbagai tanaman telah dilaporkan efektif dalam biosintesis AgNPs, kajian mengenai pemanfaatan fraksi etil asetat rimpang temu kunci masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mensintesis nanopartikel perak menggunakan fraksi etil asetat rimpang temu kunci sebagai bioreduktor alami.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental laboratorium dengan metode sintesis nanopartikel perak yang memanfaatkan fraksi etil asetat rimpang temu kunci sebagai bioreduktor, kemudian dilanjutkan dengan

pengujian aktivitas antibakteri terhadap nanopartikel perak yang dihasilkan.

Bahan Penelitian

Serbuk rimpang temu kunci, perak nitrat (AgNO_3), etanol 96%, etil asetat, aquades, AgNO_3 , NaOH, n-Heksan, serta kertas cakram. Selain itu, digunakan media pertumbuhan bakteri berupa Lactose Broth (LB), Nutrient Agar (NA) dan Mueller Hinton Agar (MHA), antibiotik kloramfenikol sebagai kontrol positif, serta suspensi bakteri *Staphylococcus aureus* sebagai mikroorganisme uji.

Alat Penelitian

Gelas, neraca analitik, hotplate-stirrer, ultrasonic bath, spektrofotometri UV-Vis, Rotary evaporator, Particle Size Analyzer (PSA), corong buchner, pH meter, kertas saring, oven.

Ekstraksi Rimpang Temu Kunci

Sebanyak 50 gram serbuk rimpang temu kunci diekstraksi menggunakan 500 mL etanol 96% dengan metode maserasi selama 24 jam dan diganti dengan pelarut baru dengan volume yang sama. Penggantian pelarut dilakukan 3 kali. Ekstrak cair yang diperoleh dikumpulkan dan kemudian dipekatkan dengan rotary evaporator pada suhu 50°C , lalu dikeringkan dalam oven bersuhu 38°C hingga diperoleh ekstrak kental.

Pembuatan Fraksi Etil Asetat Rimpang Temu Kunci

Ekstrak kental (6 g) dilarutkan dalam etanol dengan perbandingan 1:100 (b/v). Sebanyak 20 mL larutan tersebut kemudian diencerkan dengan akuades hingga volume 100 mL, lalu dipartisi menggunakan 100 mL n-heksan di dalam corong pisah. Campuran dikocok selama kurang lebih 10 menit sampai terbentuk dua lapisan fase. Fase atas yaitu n-heksan dan fase bawah yaitu air, diambil fase bawah (air) kemudian ditambahkan dengan pelarut etil asetat dengan volume yang sama. Campuran dikocok selama kurang lebih 10 menit sampai membentuk dua fase. Fraksi etil asetat (fase atas) dipisahkan dan proses partisi diulang hingga diperoleh fraksi yang jernih.

Sintesis Nanopartikel Perak

Digunakan sebanyak tiga sampel sintesis menggunakan perbandingan 9:1 ; 8:2 ; 7:3 dengan konsentrasi yang sama yaitu AgNO_3 10 mM. Pada perbandingan 9:1 larutan AgNO_3 dicampurkan dengan fraksi etil asetat rimpang temu kunci (18 mL : 2 mL), perbandingan 8:2 (16 mL : 4 mL), dan perbandingan 7:3 (14 mL : 6 mL), setelah itu dilakukan pengadukan menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 500 rpm selama 24 jam

kemudian ditambahkan 3 tetes NaOH. Selanjutnya diamati hingga terjadi perubahan warna larutan dari warna kuning hingga coklat kehitaman sebagai indikasi terbentuknya nanopartikel perak.

Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Larutan hasil sintesis kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300–600 nm untuk mengidentifikasi puncak serapan maksimum yang menunjukkan terjadinya reduksi ion Ag^+ . Pembentukan nanopartikel perak umumnya ditandai dengan munculnya puncak serapan pada kisaran 400–500 nm.

Karakterisasi Menggunakan Particle Size Analyzer (PSA)

Ukuran partikel dan distribusi nanopartikel perak yang dihasilkan dianalisis menggunakan Particle Size Analyzer (PSA). Sampel larutan nanopartikel dimasukkan ke dalam kuvet, kemudian dilakukan pengukuran dengan bantuan alat instrumen PSA untuk menentukan ukuran rata-rata dan distribusi partikel

HASIL DAN ANALISA DATA

Hasil Rendemen Ekstrak Rimpang Temu Kunci Metode Maserasi

Tabel 1. Hasil Rendemen Ekstrak Rimpang Temu Kunci

Bahan	Bobot Serbuk (g)	Bobot Ekstrak (g)	Rendemen (%)
Rimpang Temu Kunci	50	6	12

Rendemen ekstrak yang diperoleh dari proses ekstraksi sebagaimana tercantum pada Tabel 1 adalah sebesar 12%. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan rendemen ekstrak kental yang umumnya mensyaratkan hasil lebih dari 10%, sehingga dapat dinyatakan layak dan sesuai standar (8). Hasil ini menunjukkan bahwa dari proses ekstraksi rimpang temu kunci menggunakan pelarut etanol diperoleh rendemen sebesar 12%.

Rendemen merupakan persentase jumlah ekstrak yang dihasilkan dibandingkan dengan bobot simplisia awal dalam suatu proses ekstraksi. Besarnya nilai rendemen dipengaruhi oleh efektivitas proses ekstraksi yang dilakukan. Salah satu faktor yang berperan adalah lama waktu ekstraksi, karena semakin lama durasi kontak antara bahan dan pelarut, maka interaksi keduanya menjadi lebih optimal (9). Hal tersebut memungkinkan senyawa aktif lebih banyak terlarut hingga mendekati kondisi jenuh, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan nilai rendemen yang diperoleh (10).

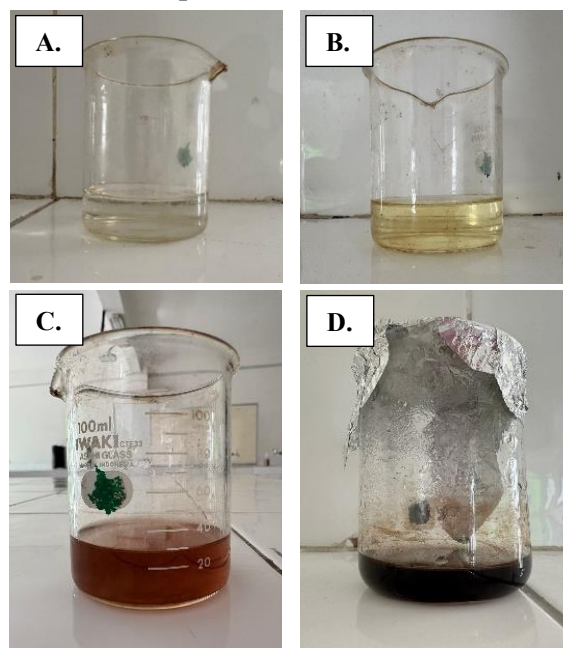
Hasil Fraksi Etil Asetat Menggunakan Fraksi Cair-Cair Bertingkat

Proses fraksinasi ekstrak etanol rimpang temu kunci dilakukan melalui metode partisi cair-cair untuk memisahkan komponen berdasarkan perbedaan kepolaran dan koefisien distribusinya dalam dua pelarut yang tidak saling bercampur. Pada tahap awal, ekstrak etanol dipartisi menggunakan n-heksana untuk menghilangkan senyawa nonpolar seperti lipid dan pigmen. Setelah itu, fase yang tersisa dipartisi kembali dengan etil asetat yang bersifat semipolar (11).

Etil asetat berperan dalam menarik senyawa semipolar, seperti flavonoid aglikon dan sebagian senyawa fenolik, ke dalam fase organik. Proses pengocokan memungkinkan terjadinya perpindahan massa hingga tercapai kesetimbangan distribusi, kemudian kedua fase terpisah secara jelas akibat perbedaan densitas. Partisi dilakukan berulang kali sampai diperoleh fraksi etil asetat yang tampak jernih, yang menandakan bahwa proses ekstraksi senyawa target telah berlangsung optimal.

Hasil fraksinasi menghasilkan fraksi etil asetat berupa cairan bening dengan volume 100 mL. Fraksi ini memiliki kandungan senyawa bioaktif semipolar yang lebih terkonsentrasi dan selektif, sehingga berpotensi menunjukkan aktivitas biologis yang lebih spesifik (12). Oleh karena itu, fraksi etil asetat tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai agen bioreduktor sekaligus penstabil alami dalam proses sintesis nanopartikel perak (AgNP).

Sintesis Nanopartikel Perak



(a) Sebelum pengadukan ; (b) Setelah pengadukan 8 jam ; (c) Setelah pengadukan 16 jam ; (d) Setelah pengadukan 24 jam

Gambar 1. Perubahan Warna Larutan AgNP

Keberhasilan pembentukan nanopartikel perak dapat diamati secara visual melalui perubahan warna larutan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pada tahap awal sintesis, larutan tampak

bening karena ion logam masih berada dalam bentuk terlarut dan belum mengalami reaksi reduksi. Setelah penambahan NaOH, kondisi larutan menjadi lebih basa sehingga dapat mempercepat proses reduksi oleh senyawa aktif dalam ekstrak, seperti flavonoid dan senyawa fenolik yang berperan sebagai agen pereduksi (13). Seiring berlangsungnya reaksi, warna larutan berubah menjadi kuning kecokelatan dalam waktu sekitar enam jam, yang menunjukkan mulai terbentuknya inti nanopartikel logam (nukleasi) akibat reduksi ion logam menjadi atom logam. Selanjutnya, setelah 24 jam, warna larutan berubah menjadi semakin gelap hingga kehitaman, yang menandakan pertumbuhan dan peningkatan jumlah nanopartikel yang terbentuk dalam larutan (14).

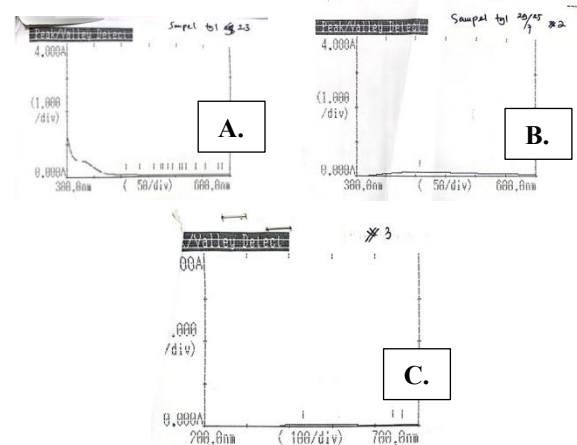
Senyawa-senyawa pada fraksi etil asetat seperti fenolik, tanin, kumarin, dan sebagian terpenoid diketahui memiliki kemampuan sebagai agen pereduksi karena mengandung gugus hidroksil fenolik yang mampu mendonorkan electron (15). Di antara senyawa tersebut, flavonoid merupakan komponen yang paling dominan berperan sebagai agen pereduksi serta menstabilkan nanopartikel dengan cara menempel pada permukaan logam melalui gugus hidroksil dan karbonil, kemudian membentuk lapisan pelindung yang memberikan stabilisasi sterik dan elektrostatik, sehingga nanopartikel tetap terdispersi dan tidak menggumpal (16).

Pengadukan yang dilakukan secara kontinu selama 24 jam bertujuan untuk meningkatkan interaksi antara ion logam dan agen pereduksi, serta mempertahankan homogenitas sistem reaksi sehingga penyebaran reaktan dalam larutan menjadi lebih merata (17). Penggunaan kecepatan pengadukan yang relatif tinggi, yaitu 800 rpm, dapat meningkatkan proses difusi massa, mobilitas partikel, serta frekuensi interaksi antara ion logam dan agen pereduksi di dalam larutan. Kondisi ini mendukung percepatan pembentukan inti nanopartikel (nukleasi) dan menghasilkan partikel yang lebih seragam serta terdispersi secara merata dalam system (18). Sebaliknya, kecepatan pengadukan yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses reduksi ion logam berlangsung kurang optimal, sehingga sebagian ion logam tidak mengalami konversi secara sempurna. Di sisi lain, pengadukan dengan kecepatan yang terlalu tinggi berpotensi meningkatkan tumbukan antarpartikel secara berlebihan, yang dapat memicu terjadinya agregasi nanopartikel (17).

Selain kecepatan pengadukan, pH larutan juga berperan penting dalam menentukan keberhasilan sintesis nanopartikel perak. Beberapa penelitian melaporkan bahwa kondisi pH basa, khususnya pada kisaran pH 8–10, mampu menghasilkan nanopartikel perak dengan ukuran lebih kecil dan stabilitas yang lebih baik karena dapat meningkatkan aktivitas biomolekul pereduksi serta

mempercepat proses nukleasi partikel (19). Sebaliknya, pada kondisi pH asam, aktivitas agen pereduksi cenderung menurun sehingga proses reduksi ion perak berlangsung lebih lambat. Penambahan NaOH beberapa peneliti menyatakan dapat menjadikan ion Ag^+ menjadi Ag^0 lebih cepat karena reaktivitas biomolekul pereduksi meningkat (20).

Hasil Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis



(a) AgNP 1 ; (b) AgNP 2 ; (c) AgNP 3

Gambar 2. Hasil spektra AgNP Fraksi Etil Asetat

Analisis spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk mengkonfirmasi pembentukan nanopartikel perak (AgNP), yang menunjukkan adanya puncak serapan khas pada rentang panjang gelombang 400–500 nm. Sintesis nanopartikel perak fraksi etil asetat pada karakterisasi spektrofotometri UV-Vis didapatkan Panjang gelombang maksimal 407,0 nm; 409,4 nm; 431,5 nm.

Hasil karakterisasi UV-Vis terhadap AgNP yang disintesis menunjukkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 407,0 nm dengan absorbansi 0,122; 409,4 nm dengan absorbansi 0,067; dan 431,5 nm dengan absorbansi 0,045. Munculnya puncak-puncak tersebut mengindikasikan bahwa ion Ag^+ telah berhasil tereduksi menjadi Ag^0 , yang menandai terbentuknya nanopartikel perak (17). Temuan ini sejalan dengan penelitian Handoko et al. (2022) yang melaporkan bahwa puncak serapan pada kisaran 400–450 nm, seperti pada 407,0 nm; 409,4 nm; 431,5 nm, merupakan karakteristik terbentuknya AgNP akibat fenomena Surface Plasmon Resonance (SPR).

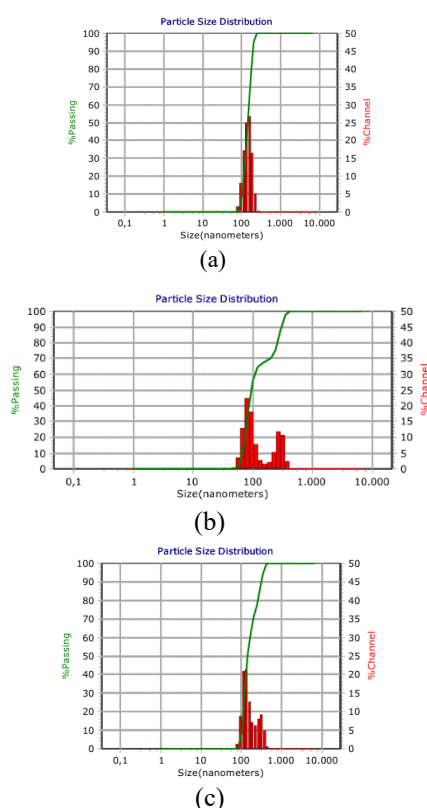
Menurut Ariani et al. (2022), pergeseran puncak serapan ke panjang gelombang yang lebih rendah (blue shift) berkorelasi dengan ukuran partikel yang lebih kecil, sedangkan pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi (red shift) menunjukkan kecenderungan terbentuknya partikel berukuran lebih besar atau terjadinya agregasi. Dengan demikian, puncak pada 407,0 dan 409,4 nm mengindikasikan pembentukan nanopartikel

berukuran relatif lebih kecil dibandingkan puncak pada 431,5 nm.

Hasil Karakterisasi Menggunakan *Particle Size Analyzer*

Tabel 2. Hasil Karakterisasi *Particle Size Analyzer*

Data Rata-Rata	Ukuran Partikel	PDI	Zeta Potensial
AgNP 1	149,30	0,13	82,23
AgNP 2	134,73	0,18	0,97
AgNP 3	149,63	0,14	62,13
Rata-rata $\pm$ SD	144,56 $\pm$ 8,51	0,15 $\pm$ 0,02	48,44 $\pm$ 42,33



Gambar 3 : (a) Replikasi AgNP 1 fraksi etil asetat (b) Replikasi AgNP 2 fraksi etil asetat (c) Replikasi AgNP 3 fraksi etil asetat

Berdasarkan literatur, nanopartikel didefinisikan sebagai partikel yang memiliki ukuran pada rentang 1–1000 nm. Uji yang dilakukan menggunakan tiga data yang berbeda dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali pada setiap datanya. Hasil AgNP fraksi etil asetat diperoleh rata rata ukuran partikel $144,56 \pm 8,51$. Ukuran partikel yang berada pada skala nanometer menunjukkan bahwa proses sintesis nanopartikel telah berlangsung dengan baik dan mampu menghasilkan partikel berukuran nano.

Nilai Polydispersity Index (PDI) yang diperoleh sebesar 0,0577, yang menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel dalam sampel tergolong sangat sempit. PDI merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan tingkat keseragaman ukuran partikel dalam suatu sistem dispersi. Secara umum, nilai PDI kurang dari 0,3 mengindikasikan bahwa partikel dalam sistem memiliki distribusi ukuran yang relatif seragam atau bersifat monodisperse (21). Nilai PDI yang rendah pada penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel yang terbentuk memiliki ukuran yang cukup homogen serta kemungkinan terjadinya agregasi partikel relatif kecil (22).

Selain ukuran partikel dan PDI, parameter lain yang dianalisis adalah zeta potensial yang digunakan untuk mengetahui kestabilan sistem koloid nanopartikel. Zeta potensial menunjukkan besarnya muatan listrik pada permukaan partikel yang dapat mempengaruhi interaksi antar partikel dalam larutan (23). Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh nilai zeta potensial dengan nilai rata-rata $48,44 \pm 42,33$ mV. Nanopartikel dikatakan stabil apabila memiliki nilai zeta potensial lebih besar dari ± 30 mV, karena adanya gaya tolak-menolak antar partikel yang dapat mencegah terjadinya agregasi (24). Nilai zeta potensial yang cukup tinggi pada sebagian sampel menunjukkan bahwa nanopartikel yang terbentuk memiliki kestabilan koloid yang baik (25). Muatan permukaan yang tinggi dapat menyebabkan partikel saling menolak sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya penggumpalan atau agregasi partikel (26). Kondisi ini juga mengindikasikan bahwa biomolekul yang terdapat dalam ekstrak kemungkinan berperan sebagai agen penstabil (capping agent) yang melapisi permukaan nanopartikel dan memberikan muatan pada permukaan partikel (15).

SIMPULAN

Hasil penelitian dari sintesis nanopartikel perak faksi etil asetat rimpang temu kunci yang dilakukan pada kondisi kecepatan pengadukan 500 rpm selama 24 jam dan pH 9 berhasil menghasilkan partikel dengan ukuran rata-rata sekitar 144,56 nm serta menunjukkan kestabilan koloid yang baik, yang ditunjukkan oleh nilai PDI 0,15 dan zeta potensial 48,44 mV. Kondisi sintesis tersebut dinilai mampu menghasilkan AgNP yang relatif homogen dan stabil, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai agen antibakteri yang ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang dan IOM atas dukungan pendanaan berupa dana insentif yang telah membantu kelancaran pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan sejak proses penelitian

hingga penyusunan artikel, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ayumi D, Sumaiyah S, Masfria M. Pembuatan Dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Ekor Naga (*Rhaphidophora pinnata* (L.f.) Schott) Menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Talenta Conference Series: Tropical Medicine (TM)*. 2018 Dec 19;1(3):029–33. doi:10.32734/tm.v1i3.257
2. Malik M, Iqbal MA, Malik M, Raza MA, Shahid W, Choi JR, et al. Biosynthesis and Characterizations of Silver Nanoparticles from *Annona squamosa* Leaf and Fruit Extracts for Size-Dependent Biomedical Applications. *Nanomaterials*. 2022 Feb 11;12(4):616. doi:10.3390/nano12040616
3. Puspitasari D. Preparasi dan Karakterisasi Nanokolagen dari Tulang dan Kulit Belut Sawah (*Monopterus albus*) yang Berpotensi sebagai Bahan Baku Kosmetik. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 2024 Jun 29;11(2):140–7. doi:10.24198/ijpst.v11i2.38842
4. Handoko CT, Huda A, Bustan MD, Yudono B, Gulo F. Green synthesis of silver nanoparticle and its antibacterial activity. *Rasayan Journal of Chemistry*. 2017. doi:10.7324/RJC.2017.1041875
5. Pratiwi D, Indrani DJ, Sunarso S, Puspitawati R. Characteristics of Patchouli Plant (*Pogostemon cablin* Benth.) as An Antimicrobial in The Development of Dental Materials. *Interdental Jurnal Kedokteran Gigi (IJKG)*. 2025 Apr 22;21(1):134–42. doi:10.46862/interdental.v21i1.10572
6. Bemis R, Deswardani F, Heriyanti H, Puspitasari RD, Azizah N. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Areca Catechu L Peel Bioreductor as an Antibacterial *Escherichia Coli* and *Staphylococcus Aureus*. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*. 2023 Sep 1;6(2):176–86. doi:10.20885/ijca.vol6.iss2.art9
7. Hala Y, Suryani AI, Junda M, H H, Muhtar R, Annisa A, et al. Endophytic Bacteria from *Lannea coromandelica* for Enhancing Silver Nanoparticle Biosynthesis. *Biomedical and Pharmacology Journal*. 2025 Sep 30;18(3):1991–9. doi:10.13005/bpj/3231
8. Rati TA, Perdana F, Prasetya P. Synthesis of Silver Nanoparticles from Extract of Epiphytic Shrub Leaves (*Ficus heteropleura* Blume) on Oil Palm Plant and Evaluation of Their Antibacterial Activity Against *Escherichia coli*. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 2024 Apr 8;27(3):101–9. doi:10.14710/jksa.27.3.101-109
9. Qurataayun S, Rifai Y, Rante H. Sintesis hijau nanopartikel perak (AgNP) menggunakan ekstrak daun serai (*Cymbopogon citratus*) sebagai bioreduktor. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*. 2022;26(3):124–8.
10. Forough M, Farhadi K. Biological and green synthesis of silver nanoparticles. *Turkish J Eng Env Sci*. 2010;34(4):281–7. doi:DOI:10.3906/muh-1005-30
11. Fakhrudin N, Pramiastuti O, Wahyuono S. A simple, fast, and inexpensive nonchromatographic method for the isolation of pinostrobin from *Boesenbergia rotunda* rhizome. *Rasayan J Chem*. 2021;14:735–40. doi:https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1426146
12. Logeswari P, Silambarasan S, Abraham J. Synthesis of silver nanoparticles using plants extract and analysis of their antimicrobial property. *Journal of Saudi Chemical Society*. 2015 May;19(3):311–7. doi:10.1016/j.jscs.2012.04.007
13. Kotsuchibashi Y, Nakagawa Y, Ebara M. Nanoparticles. In: *Biomaterials Nanoarchitectonics*. Elsevier; 2016. p. 7–23. doi:10.1016/B978-0-323-37127-8.00002-9
14. Kharissova O V., Dias HVR, Kharisov BI, Pérez BO, Pérez VMJ. The greener synthesis of nanoparticles. *Trends Biotechnol*. 2013 Apr;31(4):240–8. doi:10.1016/j.tibtech.2013.01.003
15. Geoprincy G, Sri BV, Poonguzhali U, Gandhi NN, Renganathan Sja. A review on green synthesis of silver nanoparticles. *Asian J Pharm Clin Res*. 2013;6(1):8–12.
16. Ahmad S, Munir S, Zeb N, Ullah A, Khan B, Ali J, et al. <p>Green nanotechnology: a review on green synthesis of silver nanoparticles — an ecofriendly approach</p>. *Int J Nanomedicine*. 2019 Jul;Volume 14:5087–107. doi:10.2147/IJN.S200254
17. Latumakulita II, Suparno S. Characterization of Silver Nanoparticle Electrolysis Method with UV-Vis Spectrometer, Atomic Absorption Spectrophotometer, and Particle Size Analyzer. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*. 2022 Jun 29;5(1):42–52. doi:10.37891/kpej.v5i1.178

18. Mat Yusuf SNA, Che Mood CNA, Ahmad NH, Sandai D, Lee CK, Lim V. Optimization of biogenic synthesis of silver nanoparticles from flavonoid-rich *Clinacanthus nutans* leaf and stem aqueous extracts. R Soc Open Sci. 2020 Jul 22;7(7):200065. doi:10.1098/rsos.200065
19. Junaidi J, Yunus M, Suharyadi E, Harsojo H, Triyana K. Effect of stirring rate on the synthesis silver nanowires using polyvinyl alcohol as a capping agent by polyol process. Int J Adv Sci Eng Inf Technol. 2016;6(3):365–9.
20. Okafor F, Janen A, Kukhtareva T, Edwards V, Curley M. Green Synthesis of Silver Nanoparticles, Their Characterization, Application and Antibacterial Activity. Int J Environ Res Public Health. 2013 Oct 21;10(10):5221–38. doi:10.3390/ijerph10105221
21. Bhattacharjee S. DLS and zeta potential – What they are and what they are not? Journal of Controlled Release. 2016 Aug;235:337–51. doi:10.1016/j.jconrel.2016.06.017
22. Franci G, Falanga A, Galdiero S, Palomba L, Rai M, Morelli G, et al. Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents. Molecules. 2015 May 18;20(5):8856–74. doi:10.3390/molecules20058856
23. Banne Y, Sahelangi O, Soenjono S, Barung EN, Ulaen S, Walalangi RGM, et al. Silver Nanoparticle of *Acalypha indica* Linn. Leaf As Bio-larvicide against *Anopheles* sp. Larvae. Open Access Maced J Med Sci. 2021 Sep 17;9(A):760–5. doi:10.3889/oamjms.2021.6628
24. Handayani W, Ningrum AS, Imawan C. The Role of pH in Synthesis Silver Nanoparticles Using *Pometia pinnata* (Matoa) Leaves Extract as Bioreductor. J Phys Conf Ser. 2020 Jan 1;1428(1):012021. doi:10.1088/1742-6596/1428/1/012021
25. Azarbani F, Shiravand S. Green synthesis of silver nanoparticles by *Ferulago macrocarpa* flowers extract and their antibacterial, antifungal and toxic effects. Green Chem Lett Rev. 2020 Jan 2;13(1):41–9. doi:10.1080/17518253.2020.1726504
26. Ali HM, Karam K, Khan T, Wahab S, Ullah S, Sadiq M. Reactive oxygen species induced oxidative damage to DNA, lipids, and proteins of antibiotic-resistant bacteria by plant-based silver nanoparticles. 3 Biotech. 2023 Dec 22;13(12):414. doi:10.1007/s13205-023-03835-1