

Review: Karakterisasi Hasil Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Berbagai Tanaman sebagai Anti Bakteri *Staphylococcus aureus*

Sundari Desi Nuryanti*, Wahyu Yuliana Solikah, Mahmudahtus Safitri Salsabillah, Nabahah Putri Afifah, Nadia Salma Fauzia, Restika Leni Ayu Anggraeni

Prodi S1 Farmasi, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Alma Ata

*Email: sundaridesi@almaata.ac.id

Abstrak

Review artikel ini ditujukan untuk membahas berbagai macam karakterisasi hasil sintesis nanopartikel perak menggunakan berbagai tanaman sebagai antibakteri. Berdasarkan hasil review dapat dinyatakan bahwa nanopartikel perak yang disintesis berfungsi sebagai antibakteri terutama *Staphylococcus aureus*. Nanopartikel dapat disintesis menggunakan bioreduktor antara lain kulit pinang, daun ketumpang air, jeruk, mangga, neem/mimba, onion, tomat, daun bidara, keladi Sarawak, daun kayu tulak, daun sendok, dan papaya. Nanopartikel yang disintesis akan dikarakterisasi menggunakan beberapa instrument antara lain Spectroscopy UV-Visible, Spectroscopy Fourier Transform InfraRed (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), Particle Size Analyzer (PSA), Transmission Electron Microscope (TEM), Dynamic Light Scattering (DLS), Atomic Force Microscopy (AFM), Surface Plasmon Resonance (SPR), dan Zeta sizer/Zeta potensial testing. Beberapa hasil sintesis nanopartikel menggunakan bioreduktor memenuhi syarat sebagai nanopartikel, dan beberapa lainnya belum memenuhi.

Kata kunci: bioreduktor; karakterisasi; nanopartikel

Review: Characterisation of silver nanoparticle synthesis using bioreactors of various plants as anti-bacterial *Staphylococcus aureus*

Abstract

*This review article is intended to discuss various characterisations of the results of synthesising silver nanoparticles using various plants as antibacterials. Based on the results of the review, it can be stated that the synthesised silver nanoparticles function as antibacterials, especially against *Staphylococcus aureus*. Nanoparticles that can be synthesised using bioreactors include areca nut peel, krumping water leaves, orange, mango, neem/neem, onion, tomato, bidarka leaves, Sarawak taro, teak wood leaves, spoon leaves, and papaya. The synthesised nanoparticles will be characterised using several instruments, including UV-visible spectroscopy, Fourier Transform InfraRed (FTIR) Spectroscopy, Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), Particle Size Analyzer (PSA), Transmission Electron Microscope (TEM), Dynamic Light Scattering (DLS), Atomic Force Microscopy (AFM), Surface Plasmon Resonance (SPR), and Zeta sizer/Zeta potential testing. Some results of nanoparticle synthesis using bioreactors meet the requirements of nanoparticles, and others do not.*

Keywords: bioreactors; characterization; nanoparticles

Copyright©2023 by Authors, published by Inpharmmed Journal

This open-access article is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY NC) 4.0 International License.

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Received: 29 Mei 2024

Accepted: 26 Agustus 2024

PENDAHULUAN

Bakteri *Staphylococcus Aureus* (SA) merupakan salah satu penyebab morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia akibat dari infeksi¹. Bakteri ini menyebabkan berbagai macam penyakit antara lain masalah kulit, infertilitas, infeksi tulang dan otot, infeksi saluran kencing, dan lain sebagainya². Selain itu *S.aureus* juga menjadi penyebab utama pneumonia dan infeksi saluran napas lainnya³. Kematian yang disebabkan oleh bakteri *S. aureus* lebih banyak dibandingkan kematian yang disebabkan oleh sindrom defisiensi imun yang seperti (AIDS), TBC, dan virus hepatitis⁴. Infeksi *S. aureus* mengalami resistensi antibiotik yang sering dialami pada isolate *S. aureus* yaitu *S. aureus* yang resisten terhadap metisilin (MRSA)⁵. Selain itu, *s. aureus* juga resisten terhadap antibiotik golongan beta lactam seperti penisilin dan turunannya⁶. Bahkan dalam bentuk antibiotik kombinasi juga menunjukkan resistensi terhadap hampir semua antibiotik yang tersedia.

Banyaknya kasus resistensi *S. aureus* terhadap banyaknya golongan antibiotik sintetis, maka penggunaan antibiotik nanopartikel logam mulai minati. Aktivitas nanopartikel logam merupakan salah satu bidang yang menjanjikan di bidang penghantaran obat⁷. Dari berbagai nanopartikel logam, silver merupakan logam yang paling disukai. Silver nanopartikel (AgNPs) telah diaplikasikan dalam berbagai bidang yang berbeda, seperti fiber reinforce, penyimpanan makanan, pengiriman obat, produk kosmetik, sensor gas, bahan superkonduktor, komponen elektronik kriogenik, pelapis, antibakteri dan aplikasi lingkungan lainnya⁸. Sintesis nanopartikel secara umum menghasilkan limbah yang senyawa beracun. Cemaran limbah hasil sintesis nanopartikel dapat berdampak pada pencemaran lingkungan, sehingga perlu dicari alternatif lain yang dapat meminimalkan cemaran hasil nanopartikel seperti penggunaan bahan alam sebagai reduktor selama proses pembentukan nanopartikel berlangsung⁹.

Senyawa nanopartikel hasil sintesis perlu diuji atau dikarakterisasi untuk menjamin senyawa tersebut baik secara kriteria fisika dan kimia sebelum digunakan sebagai antibakteri. Karakterisasi nanopartikel sintesis berdasarkan absorbansi pada Panjang maksimum menggunakan Spectroscopy UV-Visible, mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada senyawa menggunakan Spectroscopy Fourier Transform InfraRed (FTIR), mengukur ukuran partikel dan morfologi partikel yang terbentuk menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), Particle Size Analyzer (PSA), Transmission Electron Microscope (TEM), Dynamic Light Scattering (DLS), Atomic Force Microscopy (AFM), Surface Plasmon Resonance (SPR), dan mengetahui sifat muatan permukaan nanopartikel dan berkaitan dengan interaksi elektrostatisnya menggunakan *Zeta sizer/Zeta potensial testing*.

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan jurnal ilmiah secara online yang telah dipublikasikan pada 10 tahun terakhir (2014-2024) menggunakan istilah pencarian atau *keyword* tertentu. Referensi yang digunakan adalah semua artikel primer yang melakukan uji karakterisasi sintetis nanopartikel perak dengan menggunakan berbagai macam tanaman yang terdapat di Indonesia sebagai reduktor pada proses sintesis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut daftar tanaman yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan artikel ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Tanaman, Bakteri, dan Metode Karakterisasi yang Digunakan

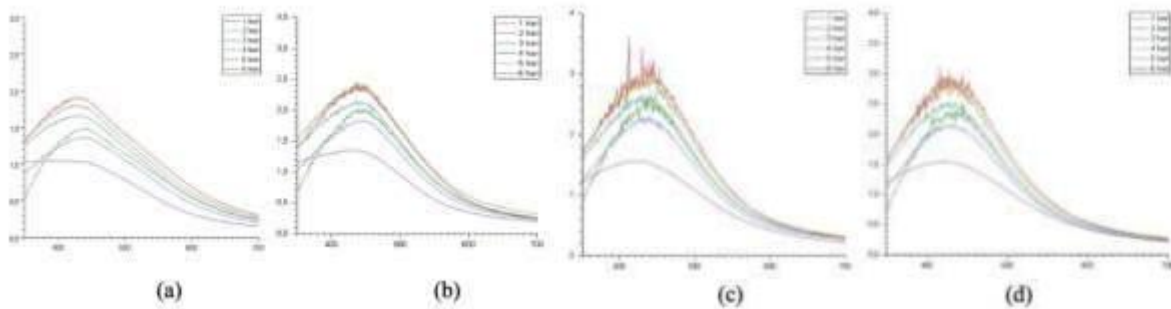
No	Tanaman	Bakteri	Karakterisasi
1	Kulit Pinang (<i>Areca Catechu L.</i>) ¹⁸	<i>Escherichia coli</i> dan <i>S.aureus</i>	UV-VIS, FTIR, SEM, XRD
2	Ketumpang Air (<i>Peperomia pellucida (L.) Kunth</i>) ²	<i>S.aureus</i>	UV-VIS, PSA
3	Sweet Orange (<i>Citrus sinensis</i>) ³⁰	<i>S.aureus</i> and <i>S.epidermidis</i>	UV-VIS, TEM
4	Mango (<i>Mangifera indica</i>) ²³	<i>S.aureus</i>	UV-VIS, SEM, TEM
5	Neem (<i>Azadirachta indica</i>), Onion (<i>Allium</i>) and Tomato (<i>Lycopersicum esculentum</i>) ²	<i>S.aureus</i>	UV-VIS, XRD, DLS, AFM, SEM, TEM, FTIR
6	Daun Bidara (<i>Ziziphus Spina-Christi</i>) ¹⁶	<i>S.aureus</i>	UV-VIS, PSA
7	Keladi Sarawak (<i>Alocasia Macrorrhizos</i>) ³³	<i>Escherichia coli</i> dan <i>S.aureus</i>	SPR UV-VIS SEM
8	Kayu tulak Leaf (<i>Schefflera Elliptica Harms</i>) ²⁸	<i>Escherichia coli</i> dan <i>S.aureus</i>	UV-VIS, PSA, TEM
9	Air Daun Sendok (<i>Plantago major L.</i>) ²⁴	<i>S.aureus</i> dan <i>E.Coli</i> dan <i>Pseudomonas</i>	DLS, SEM XRD
10	Papaya (<i>Carica Papaya L</i>) Seed ²⁷	<i>Propionibacterium acnes</i>	UV-VIS, PSA, Zeta sizer FTIR, SEM

Berdasarkan jurnal di atas, karakterisasi nanopartikel perak yang dilakukan antara lain *Spectroscopy UV-Visible*, *Spectroscopy Fourier Transform InfraRed (FTIR)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Particle Size Analyzer (PSA)*, *Transmission Electron. Microscope (TEM)*, *Dynamic Light Scattering (DLS)*, *Atomic Force Microscopy (AFM)*, *Surface Plasmon Resonance (SPR)*, dan *Zeta sizer/Zeta potensial testing*.

Spektroskopi UV-Visible

Spektroskopi UV-Visible digunakan untuk menentukan panjang gelombang maksimal senyawa nanopartikel yang terbentuk. Semakin kecil partikel yang terbentuk maka panjang gelombangnya

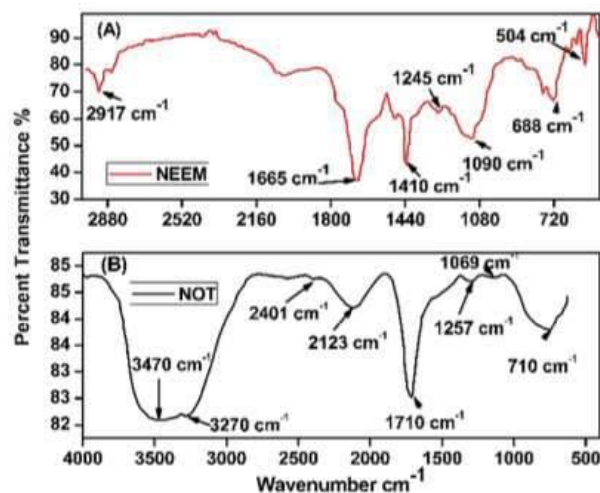
semakin kecil dan absorbansinya semakin besar⁹. Secara teori, variasi pita berhubungan dengan variasi warna, sedangkan variasi warna berkaitan dengan perbedaan ukuran nanopartikel¹⁰. Perkembangan pita menunjukkan bahwa ion perak yang ada dalam larutan perak nitrat berhasil direduksi menjadi nanopartikel perak ketika terkena ekstrak tanaman². Gambar 1 menunjukkan bahwa terbentuknya nanopartikel perak pada rentang panjang gelombang maksimum 400 nm – 450 nm yang meningkat dengan seiring waktu¹¹.



Gambar 1. Hasil spektrum serapan UV-Vis dari nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi AgNO₃ (a)1 mM, (b)2 mM, (c)3 mM dan (d)4 mM¹⁶

Spectroscopy Fourier Transform InfraRed (FTIR)

Analisis FTIR digunakan untuk mengkonfirmasi adanya gugus fungsi. Selain itu juga bertujuan untuk mengkarakterisasi rancangan biomolekul yang bertanggung jawab terhadap pembentukan AgNPs dengan mereduksi ion perak menjadi Ag⁰ dan stabilisasinya sebagai agen capping. Terjadinya proses oksidasi akibat dari proses reduksi nanopartikel perak akan mengakibatkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang yang menunjukkan bahwa telah terjadi interaksi antara gugus fungsi dengan nanopartikel perak¹².



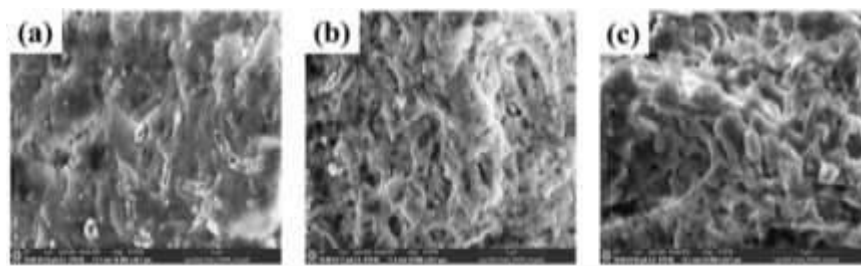
Gambar 2. Spektra FTIR pada AgNPs menggunakan tanaman Mimba/Neem (A) dan

Mimba/Neem, Onion dan Tomat (B)

Gambar 2 menunjukkan beberapa puncak terlihat pada kisaran antara $3500\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya uluran O–H dan alkohol serta fenol yang terikat H-. Puncak pada Panjang gelombang $2260\text{--}2100\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan uluran ikatan ($\text{C}=\text{C}$), yang mengindikasikan adanya alkena, sedangkan puncak yang ditemukan tekukan di sekitar $1650\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan (N–H), yang berhubungan dengan amina primer, dan puncaknya ada tekukan di sekitar $690\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan ($\text{C}=\text{C}\text{--H:C.H}$), yang juga berhubungan dengan alkena, dan tekukan antara $1700\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ berperan untuk pembentukan nanopartikel perak. Ekstrak tanaman mempunyai peran ganda yaitu sebagai zat pereduksi dan zat penstabil. Reduksi nanopartikel perak terjadi karena adanya senyawa fenolik, terpenoid, polisakarida dan favones dalam ekstrak¹³. Senyawa flavonoid dan terpenoid yang terdapat dalam ekstrak diklaim bertanggung jawab dalam stabilisasi nanopartikel. Hasil FTIR membuktikan bahwa senyawa flavonoid dan tripenoid berperan sebagai reduktor dan capping agent.

Scanning Electron Microscope (SEM)

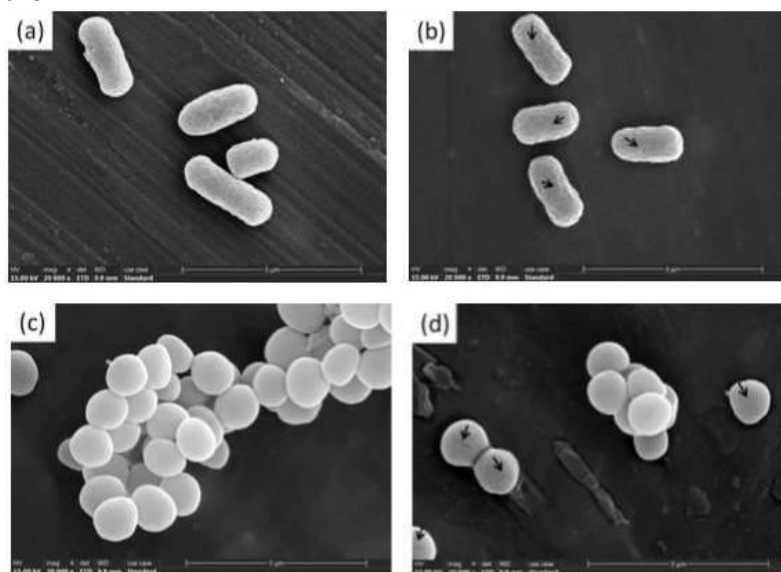
Penggunaan instrument Scanning Electron Miscroscope ditujukan untuk melihat morfologi partikel yang terbentuk kecenderungan nanopartikel perak untuk beragregasi (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil analisis SEM (a) AgNP PVA 1% perbesaran 10.000x, (b) AgNP PVA 3% perbesaran 10.000x, dan (c) AgNP PVA 5% perbesaran 10.000x¹⁸

Secara morfologi (Gambar 4) dari pengamatan dengan menggunakan SEM pada Gambar 3, pembentukan nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO_3 yang di pakai sebesar 0,05M telah terbentuk dengan permukaan yang dapat diamati yaitu seperti berbentuk bongkahan kecil-kecil dan berbentuk oval atau bulat (*Spherical*). Hasil SEM Nanopartikel perak menunjukan bahwa morfologi dari nanopartikel perak memiliki struktur dengan permukaan yang halus dengan partikel yang tidak seragam. Dari hasil yang di dapatkan, ukuran partikel nya bisa diperkirakan kecil dari 100 nm. Hasil karakterisasi ini membuktikan bahwa perak yang dihasilkan memiliki ukuran nano seperti yang dihasilkan dari karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Terdapat keberagaman dari ukuran partikelnya dimana nanopartikel perak yang dihasilkan memiliki ukuran yang

bervariasi akibat efek dari agregasi nanopartikel dan memiliki partikel yang tidak seragam. Hal ini disebabkan karena agregasi nanopartikel perak yang dipengaruhi konsentrasi prekursor AgNO₃ dan kemurnian pereduksi¹².

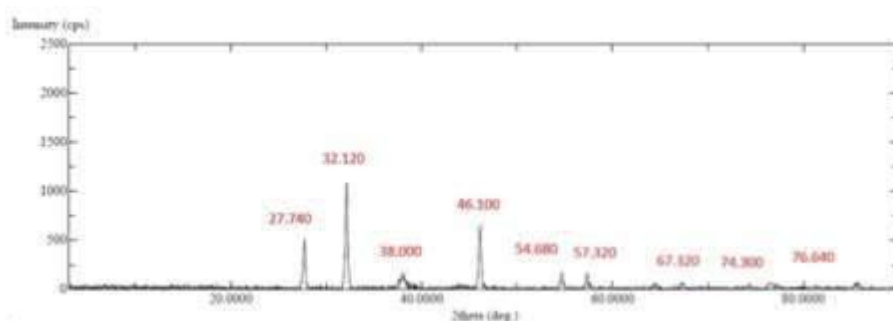


Gambar 4. Pengamatan SEM terhadap perubahan morfologi bakteri uji ((a) *E. coli* yang diberi perlakuan dengan kontrol negatif diperbesar 20.000×, (b) *E. coli* yang diberi perlakuan AgNP diperbesar 20.000×, (c) *S. aureus* yang diberi perlakuan dengan kontrol negatif diperbesar 20.000×, diperbesar 20.000×, (d) *S. aureus* yang diberi perlakuan AgNP diperbesar 20.000×)¹³.

Gambar 4 menunjukkan representatif bakteri *E. coli* dan *S. aureus* sebelum dan sesudah diberi perlakuan AgNPs pada pembesaran 20.000×. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a, permukaan *E. coli* pada kelompok kontrol negatif halus, dengan sel utuh dan lengkap. Namun *E. coli* yang diberi AgNP menjadi kasar dan berkerut, sedangkan permukaannya rusak, seperti ditunjukkan pada Gambar 4b. Membran sel *E. coli* berkontraksi dan morfologi sel terdistorsi. Gambar 4c menunjukkan bahwa permukaan *S. aureus* pada kelompok kontrol negatif halus dan utuh secara seluler. Seperti diilustrasikan pada Gambar 4d, permukaan beberapa sel *S. aureus* pada kelompok eksperimen retak, menunjukkan bahwa AgNP menempel pada membran sel bakteri, menyebabkan kerusakan. Selain itu, zat granular lainnya diamati di sekitar *S. aureus* pada kelompok eksperimen, yang diduga merupakan AgNP. Selanjutnya Gambar 4b dan 4d menunjukkan bahwa sol AgNP yang disintesis menggunakan ekstrak kulit mangga menyebabkan perubahan morfologi pada *E. coli* dan *S. aureus*¹³.

X-ray diffraction (XRD)

Tujuan dilakukan pengujian menggunakan XRD adalah untuk mendapatkan derajat kristanilitas. Data yang didapatkan dari hasil analisis XRD digunakan untuk menentukan ukuran partikel. Melalui data difraktogram dapat ditentukan ukuran kristal hasil sintesis dengan metode *Debye Scherrer*¹².

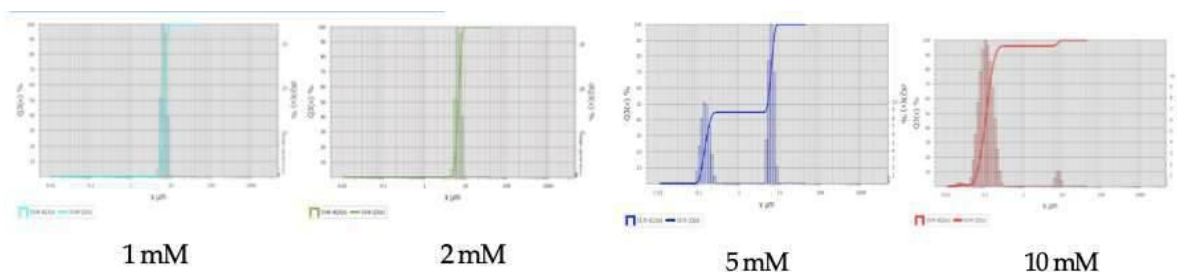


Gambar 5. Difraktogram X-Ray nanopartikel perak²⁴

Gambar 5 menampilkan pola difraksi X-ray nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak air *Plantago major* konsentrasi 0,25% pada suhu 70°C. Dari hasil analisa difragtogram dapat dinyatakan bahwa rendemen nanopartikel yang dihasilkan mengandung senyawa perak, dilihat dari *peak* kristalin rendemen yang menghasilkan pola yang mirip dengan peak pada standar referensi. Puncak difraksi 2 θ teramati pada 38,00°; 46,1°; 67,32°; 76,64°. Profil pola difraktogram dengan jelas menggambarkan bahwa nanopartikel perak terdapat di dalam rendemen, dibandingkan dengan standard (JCPDS) file no.:040783¹⁴.

Particle Size Analyser (PSA)

Sama halnya dengan scanning electron microscope, karakterisasi menggunakan *particle size analyzer* (Gambar 6) digunakan untuk menentukan ukuran partikel dan sebaran partikel yang terbentuk¹⁵.

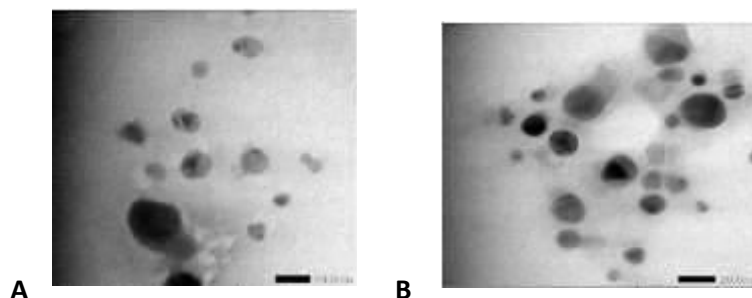


Gambar 6. Distribusi ukuran partikel perak berdasarkan variasi konsentrasi¹¹

Ukuran partikel yang dihasilkan sebanding dengan kecepatan gerak partikel. Partikel yang memiliki ukuran yang lebih kecil akan bergerak lebih cepat di dalam medium dibandingkan dengan partikel yang berukuran lebih besar. Gambar 6 menunjukkan karakteristik nanopartikel perak menunjukkan ukuran partikel terkecil terbentuk pada konsentrasi larutan tertinggi, yaitu konsentrasi 10 mM dengan ukuran partikel sebesar 0,41 μm (410nm)¹², yang menandakan bahwa ukuran nanopartikel belum terbentuk karena suatu partikel dapat dikatakan sebagai nanopartikel jika mempunyai ukuran 1-100nm.

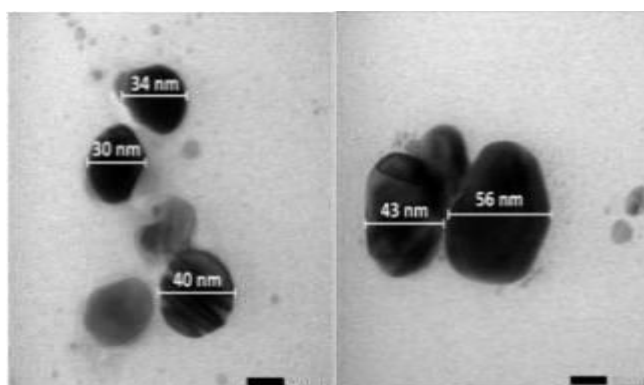
Transmission Electron Microscope (TEM)

Seperti pada scanning electron microscope, penggunaan *transmission electron microscope* untuk mengetahui morfologi nanopartikel perak yang terbentuk yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Morfologi nanopartikel perak hasil sintesis (1 mM AgNO₃) (a), (2 mM AgNO₃) (b)¹⁶

Hasil analisis TEM pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar TEM menunjukkan nanopartikel perak dengan berbagai bentuk, antara lain berbentuk bola, heksagonal, dan segitiga. Ini identik dengan nanopartikel perak yang disintesis dari daun peluru meriam. Berbagai senyawa terdapat dalam ekstrak daun kayu tulak, seperti polisakarida, polifenol, dan protein yang bertanggung jawab menghasilkan nanopartikel dalam berbagai bentuk¹⁶.



Gambar 8. Citra TEM Nanosilver¹⁷

Analisis TEM yang dilakukan, mengkonfirmasi terbentuknya *nanosilver* dari hasil biosintesis dengan menggunakan bioreduktor. *Nanosilver* yang dihasilkan berbentuk bulat dengan ukuran partikel terkecil 30 nm sampai ukuran partikel terbesar 56 nm. Karakterisasi TEM *nanosilver* dari hasil biosintesis dengan menggunakan ekstrak kulit buah jeruk manis (*C. sinensis*) menunjukkan nanosilver terdistribusi secara polidispers dan berbentuk bulat. Partikel-partikel besar yang ditemukan dari hasil karakterisasi TEM baik pada penelitian- penelitian yang telah disebutkan di atas maupun pada penelitian eksperimental ini, disebabkan karena kandungan senyawa- senyawa dalam bioreduktor yang kompleks dapat memberikan efek signifikan terhadap sifat aglomerasi dan dekomposisi *nanosilver* yang dihasilkan¹⁶.

Dynamic Light Scattering (DLS)

Dynamic Light Scattering digunakan untuk mengukur ukuran, distribusi ukuran molekul dan partikel yang biasanya di wilayah submikron, dan lebih rendah dari 1nm^2 . Parameter distribusi ukuran partikel ditentukan dalam nilai Polydispersity Index (PDI).

Tabel 2. Ukuran rata-rata nanopartikel perak pada masing-masing suhu sintesis dan konsentrasi ekstrak¹⁴

Suhu Sintesis (°C)	Ukuran Partikel (nm) Rata-rata $\pm$ SD dari 3 replikasi		
	Ekstrak 0,125%	Ekstrak 0,25%	Ekstrak 0,5%
60	146,467 $\pm$ 1,436	138,367 $\pm$ 3,742	482,633 $\pm$ 36,341
70	149,600 $\pm$ 2,042	129,200 $\pm$ 4,104	528,167 $\pm$ 29,824
80	174,867 $\pm$ 7,433	144,267 $\pm$ 2,060	676,267 $\pm$ 147,107

Tabel 3. Nilai *polydispersity index* nanopartikel perak pada masing-masing suhu dan konsentrasi ekstrak¹⁴

Suhu Sintesis (°C)	Polydispersity index		
	Ekstrak 0,125%	Ekstrak 0,25%	Ekstrak 0,5%
60	0,2607	0,2420	0,3563
70	0,2073	0,2500	0,2533
80	0,2397	0,2467	0,2850

Dari hasil pengukuran pada Tabel 2 dan Tabel 3, dapat dilihat tren ukuran nanopartikel berbanding lurus dengan pertambahan suhu sintesis pada semua konsentrasi ekstrak tanaman, kecuali pada konsentrasi ekstrak 0,25%. Sedangkan pada Tabel 3, PDI dengan nilai terkecil hasil rata-rata dari 3 kali pengulangan diperoleh pada sintesis dengan konsentrasi ekstrak tanaman 0,125% pada suhu 70°C, yaitu sebesar 0,2073. Suatu Suatu sampel dikatakan monodisper jika nilai PDI kurang dari 0,1. Sehingga nanopartikel perak yang disintesis menggunakan reduktor daun sendok ukurannya diatas 100nm dan nilai PDI nya lebih dari 0,1.

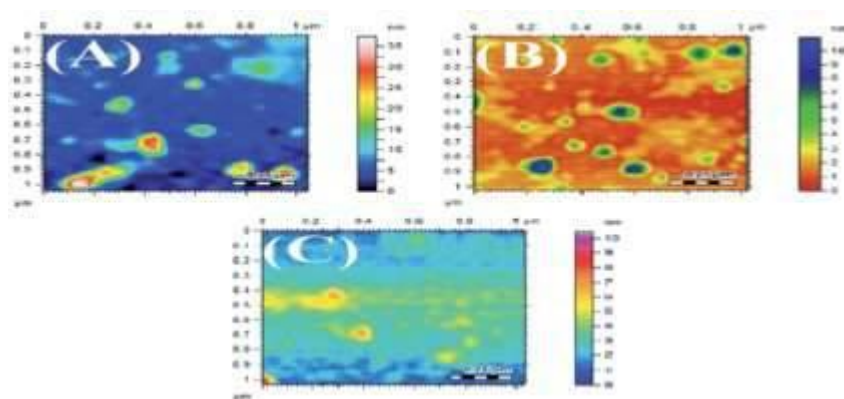
Tabel 4. Ukuran rata-rata nanopartikel perak dan nilai *polydispersity index* nanopartikel perak pada masing-masing ekstrak dan pH

Nama sample	pH	DLS	
		Size range (nm)	PDI
NE	5	6 – 28	0,289
	7	3 – 28	0,389
	9	3 – 10	0,486
NOT	5	15 – 500	0,244
	7	15 – 600	0,812
	9	10 - 800	1,00

Kurva DLS menunjukkan bahwa partikel dengan ukuran berbeda dapat diperoleh dengan memvariasikan pH larutan. Dari nilai PDI terlihat bahwa ekstrak Neem, Onion, Tomat menghasilkan AgNP dengan distribusi ukuran yang luas dibandingkan dengan Neem. Pengaruh pH semua ekstrak juga menunjukkan bahwa nilai ukuran partikel lebih rendah untuk media asam dan lebih tinggi untuk media basa. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai PDI ekstrak Neem, Onion, Tomat lebih besar dari 0,1. Distribusi ukuran yang dievaluasi melalui DLS selalu lebih baik dibandingkan dengan spektroskopi UV-vis.

Atomic Force Microscopy (AFM)

Penggunaan *Atomic Force Microscopy* dengan tujuan untuk mengevaluasi ukuran partikel yang disintesis pada Gambar 9 dan Tabel 5.



Gambar 9. Gambar AFM AgNP menggunakan ekstrak Neem/Mimba pada pH 5 (A), pH 7(B) dan pH 9 (C)²

Tabel 5. Ukuran rata-rata nanopartikel perak nanopartikel perak pada masing-masing ekstrak dan pH²

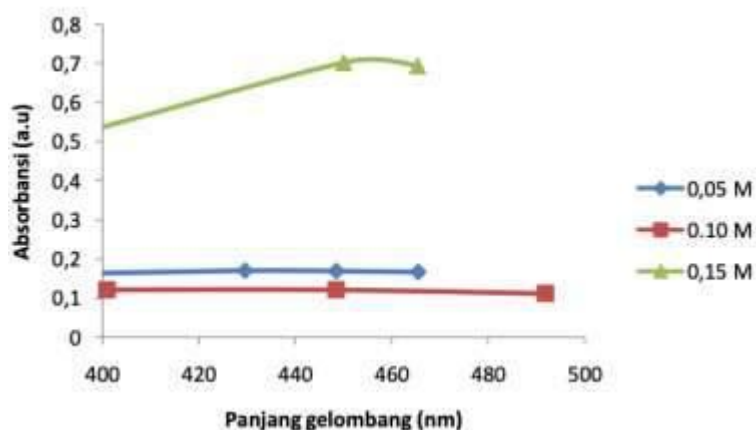
Nama Sampel	pH	AFM Size (nm)
NE	5	9
	7	2
	9	2
NOT	5	25
	7	30
	9	20

Keterangan: NE: neem ekstrak; NOT: *neem, onion, tomato*;

Hal ini dapat dibuktikan dari hasil AFM yang diberikan pada Tabel 5 bahwa AgNP yang dihasilkan menggunakan ekstrak Neem/Mimba lebih halus dibandingkan partikel yang dikembangkan dengan ekstrak Neem/Mimba, Bawang, dan Tomat. Pengaruh pH terhadap ukuran partikel yang diperoleh konsisten dengan hasil yang diperoleh XRD².

Surface Plasmon Resonance (SPR)

Surface Plasmon Resonance (SPR) merupakan gelombang elektromagnetik evanescent yang dibangkitkan oleh adanya kopling antara medan elektromagnetik (dari laser) dengan elektron-elektron di sekitar permukaan logam. SPR menjadi salah satu metode inisiasi dalam mengindikasi terbentuknya nanopartikel suatu logam sebelum dilakukan analisis yang lebih detail seperti ukuran partikel dengan *Particle Size Analyzer* (PSA), bentuk Kristal dengan X-Ray Dispersive (XRD) dan morfologi partikel dengan Scanning Microscope Electron (SEM) atau Transmission Electron Microscope (TEM). SPR dapat dianalisis menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Visibel dengan mengamati pola absorbansi versus panjang gelombang tertentu dari suatu larutan atau koloid logam¹⁸.



Gambar 10. Spektra UV-Visibel nanopartikel perak hasil biosintesis menggunakan ekstrak air keladi sarawak *Alocasia macrorrhizos*¹⁸

Pada Gambar 10 menunjukkan kurva spektrum absorbansi koloid AgNPs hasil biosintesis menggunakan ekstrak air keladi sarawak (*Alocasia macrorrhizos*). Masing-masing variasi konsentrasi AgNO₃ menunjukkan karakter SPR yaitu panjang gelombang yang memberikan absorbansi pada panjang gelombang sekitar 400,9- 450,0 nm. Hal ini menegaskan telah terbentuk nanopartikel perak karena panjang gelombang 400,9-450,0 nm termasuk dalam rentang serapan larutan nanopartikel perak yaitu 395-515 nm. Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan AgNO₃ yang digunakan dalam biosintesis AgNPs maka absorbansi juga semakin tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO₃ yang terlibat dalam biosintesis maka jumlah AgNPs yang terbentuk juga semakin tinggi¹⁸.

Zeta sizer/Zeta Potensial testing

Potensi Zeta/Zeta *potensial testing* pada Tabel 6, digunakan untuk mengkarakterisasi sifat muatan permukaan nanopartikel dan berkaitan dengan interaksi elektrostatis. Interaksi elektrostatis akan menentukan kecenderungan agregasi dan tolakan partikel. Potensi zeta adalah ukuran muatan permukaan partikel yang terdispersi dalam media pendispersi. Idealnya, ketinggiannya harus lebih tinggi dari media pendispersi untuk mencegah agregasi¹⁷.

Tabel 6. Nilai zeta potensial

Sampel	Zeta Potensial (mV)
AgNPs ekstrak etanol biji papaya suhu 65°C	-7,7

Nilai potensial zeta AgNPs sampel ekstrak etanol biji pepaya pada suhu 65°C sebesar -7,7 mV dapat dilihat pada Tabel 5. Nanopartikel yang memiliki nilai potensial zeta lebih kecil dari -30 mV dan lebih besar dari +30 mV mempunyai stabilitas lebih tinggi. Oleh karena itu, dapat dikatakan nanopartikel yang dihasilkan mempunyai stabilitas yang baik¹⁸.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheung, G. Y. C., Bae, J. S. & Otto, M. Pathogenicity and virulence of *Staphylococcus aureus*. *Virulence* **12**, 547–569 (2021).
- Chand, K. *et al.* Green synthesis, characterisation, and antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* of silver nanoparticles using neem, onion, and tomato extracts. *RSC Adv.* **9**, 17002–17015 (2019).
- Tong, S. Y. C., Davis, J. S., Eichenberger, E., Holland, T. L. & Fowler, V. G. *Staphylococcus aureus* infections: Epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clin. Microbiol. Rev.* **28**, 603–661 (2015).
- Klevens, R. M. *et al.* Invasive methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections in
- The United States. *J. Am. Med. Assoc.* **298**, 1763–1771 (2007).
- Turner, N. A. *et al.* Nat Rev Microbiol. *Nat Rev Microbiol* **17**, 203–218 (2019).
- Lowy, F. D. Antimicrobial resistance: the example of SA. *J. Biolaw Bus.* **3**, 53–59 (2003).
- Kumar, V. V. & Anthony, S. P. *Antimicrobial studies of metal and metal oxide nanoparticles. Surface Chemistry of Nanobiomaterials: Applications of Nanobiomaterials* (Elsevier Inc., 2016). doi:10.1016/B978-0-323-42861-3.00009-1.
- Akter, M. *et al.* A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives. *J. Adv. Res.* **9**, 1–16 (2018).
- Matutu, J. M., Maming & Taba, P. Sintesis Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi Menggunakan Buah Merah (*Pandanus conoideus*) Sebagai Bioreduktor. *Jur. Kim. Univ. Hasanuddin* 1–9 (2016).
- Al-Rubaye, H. I., Al-Rubaye, B. K., Al-Abodi, E. E. & Yousif, E. I. Green Chemistry
- Synthesis of Modified Silver Nanoparticles. *J. Phys. Conf. Ser.* **1664**, 1–26 (2020).
- Luthfia, C. D. M., Miswanda, D., Nasution, H. M. & Lubis, M. Sa. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus Spina-Christi*) Dan Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap Bakteri *Staphylococcus Aureus*. *OBAT J. Ris. Ilmu Farm. dan Kesehat.* **2**, 139–149 (2024).
- Bemis, R., Deswardani, F., Heriyanti, H., Puspitasari, R. D. & Azizah, N. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Areca Catechu L Peel Bioreductor as an Antibacterial *Escherichia Coli* and *Staphylococcus Aureus*. *IJCA (Indonesian J. Chem. Anal.* **6**, 176–186 (2023).
- Dubey, M., Bhadauria, S. & Kushwah, B. S. Green synthesis of nanosilver particles from the *Eucalyptus hybrid* (Safeda) leaf extract. *Dig. J. Nanomater. Biostructures* **4**, 537–543 (2009).
- Dewi, K. T. A., Kartini, Sukweenadhi, J., & Avanti, C. Physical characteristics and

18. Antibacterial activity of silver nanoparticles from green synthesis process using aqueous *Plantago major* L. extract. *Sci. Res.* **6**, 69–81 (2019).
19. Rahma, A. N. & Suratno, S. Optimisation of Silver Nanoparticle Biosynthesis with Papaya (*Carica Papaya* L) Seed Ethanol Extract and its Evaluation on Antibacterial Effects. *Walisongo J. Chem.* **6**, 12–21 (2023).
20. Aryasa, I. W. T. & Artini, N. P. R. Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Kayu tulak
21. Leaf (*Schefflera Elliptica* Harms) Infusion as a Bio-reductant and Its Antibacterial
22. Activity. *J. Kim. Sains dan Apl.* **25**, 212–217 (2022).
23. Janosik, S. M. SNI Biskuit. *NASPA J.* **42**, 1 (2005).
24. Masykuroh, A. & Puspasari, H. Aktivitas Anti Bakteri Nano Partikel Perak (Npp) Hasil Biosintesis Menggunakan Ekstrak Keladi Sarawak *Alocasia Macrorrhizos* terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Bioma J. Biol. Makassar* **7**, 76–85 (2022).