

Sintesis Hijau Nanopartikel Perak Sebagai Antibakteri

Yogie Andika Tri Nanda ^{1*}, Dwi Dominica ¹, Aina Fatkhil Haque ¹, Febri Rahmatullah ¹,

¹ Prodi S1 Farmasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu; yananda@unib.ac.id

¹ Prodi S1 Farmasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu; dwidominica@unib.ac.id

¹ Prodi S1 Farmasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu; afhaque@unib.ac.id

¹ Prodi S1 Farmasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu; febrirahmatullah39@gmail.com

* Korespondensi: yananda@unib.ac.id;

Abstrak: Nanopartikel perak adalah nanopartikel yang mengandung silver dalam molekulnya dan banyak digunakan sebagai agen antibakteri karena ukuran partikelnya yang kecil dan luas permukaan yang besar. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis tentang sintesis hijau nanopartikel perak dan efektivitasnya sebagai antibakteri. Metode yang digunakan adalah studi literatur berbasis *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengumpulkan dan menganalisis artikel dari database Scopus, PubMed dan Elsevier. Hasil review menunjukkan bahwa sintesis hijau nanopartikel perak dapat dilakukan dengan menggunakan agen pereduksi alami dari ekstrak tumbuhan, yang menggantikan bahan kimia berbahaya dalam proses sintesis. Ekstrak tumbuhan mampu bermanfaat sebagai reduktor dalam proses sintesis nanopartikel perak. Karakterisasi nanopartikel perak dilakukan menggunakan berbagai teknik, seperti spektroskopi UV-Vis, spektroskopi FTIR, DLS, XRD, dan mikroskopi elektron (SEM, TEM). Efektivitas nanopartikel perak dipengaruhi oleh ukuran partikel, pH dan kondisi medium. Nanopartikel perak efektif melawan bakteri Gram-positif dan Gram-negatif melalui beberapa mekanisme, diantaranya perlekatan pada membran sel yang meningkatkan permeabilitas, pelepasan ion perak (Ag^+) yang menghambat metabolisme dan replikasi bakteri, serta produksi spesies oksigen reaktif (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan sel bakteri. Dengan keunggulan ini, nanopartikel perak berpotensi besar dalam aplikasi medis sebagai agen antimikroba yang efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: nanopartikel perak; antibakteri; sintesis hijau

1. Pendahuluan

Nanopartikel adalah bagian dari nanomaterial berukuran 1–100 nm dengan sifat unik dibandingkan material berukuran normal. Berdasarkan dimensinya,

nanopartikel diklasifikasikan sebagai 0D (*quantum dots*), 1D (*nanorods*), 2D (*nanosheets*), dan 3D (*nanoporous structures*). Nanopartikel banyak digunakan di industri serta biomedis karena efektif sebagai antimikroba dan antikanker [1].

Nanomaterial memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, stabilitas kimia serta aktivitas katalitik yang baik. Sintesis nanopartikel dilakukan dengan metode *Top-Down* (pemecahan partikel) dan *Bottom-Up* (penggabungan partikel) [2]. Nanopartikel dengan kombinasi bahan alam dapat menjadi pilihan dalam sintesis nanomaterial karena sifatnya yang ramah lingkungan, murah dan mudah, biokompatibel yang cocok dalam aplikasi biomedis seperti antibakteri, biosensor, maupun penghantaran obat [3]. Salah satu nanomaterial yang lazim dimanfaatkan ialah nanopartikel perak. Nanopartikel perak merupakan jenis nanomaterial yang mengandung unsur perak (Ag) dalam molekulnya yang berukuran kurang dari 100 nm sehingga berbeda dengan atom Ag biasa. Ukuran nanopartikel perak yang sangat kecil berkaitan dengan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan partikel biasa sehingga nanopartikel perak memiliki stabilitas yang lebih tinggi [4]. Karakteristik nanopartikel perak yang menguntungkan tersebut berdampak pada peningkatan produksi dan pemanfaatan nanopartikel perak di berbagai bidang di seluruh dunia [5]. Adapun kajian pustaka ini bertujuan untuk menganalisis tentang proses sintesis nanopartikel perak dan efektivitasnya sebagai antibakteri.

2. Metode

Metode yang digunakan pada review ini yakni studi literatur dengan menggunakan desain *Systematic Literature Review* (SLR) dengan kata kunci "*silver nanoparticle*", "*antibacterial*", "*green synthesis*" di database Elsevier, Scopus, PubMed selama 10 tahun terakhir. Setelah melalui tahap penyaringan hingga ekstraksi data, dilakukan analisis data artikel yang memenuhi syarat dan dipilih berdasarkan kesesuaian judul artikel dengan tujuan penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Metode sintesis nanopartikel perak

Metode pembuatan nanopartikel perak sangat bervariasi, tetapi secara umum dapat diklasifikasikan menjadi metode fisika, kimia, dan biologi. Sintesis melalui metode fisika dapat disintesis dengan menggunakan teknik ablasi laser atau penguapan termal untuk menghasilkan partikel berukuran nano. Metode fisik ini membutuhkan energi yang tinggi dan cenderung tidak banyak digunakan karena membutuhkan biaya yang mahal. Sintesis melalui metode kimia membutuhkan

penggunaan zat kimia tertentu. Zat kimia seperti natrium borohidrida (NaBH_4) atau asam askorbat digunakan untuk mereduksi ion perak (Ag^+) menjadi bentuk stabilnya. Akan tetapi, penggunaan metode kimia ini cenderung berpotensi menghasilkan produk samping yang tidak ramah lingkungan. Metode terakhir yang sedang banyak dikembangkan yaitu metode sintesis hijau (*green synthesis*). Metode biosintesis hijau ini menggunakan ekstrak tumbuhan atau mikroorganisme sebagai agen pereduksi dan stabilisasi dalam proses sintesisnya, sehingga lebih ramah lingkungan dan aman. Selain itu, metode sol-gel juga sering digunakan dalam kombinasi dengan metode biosintesis untuk menghasilkan nanopartikel perak dengan kestabilan yang lebih baik [6].

Prinsip dasar sintesis hijau ini yaitu dengan mereduksi ion perak (Ag^+) menjadi perak elemental (Ag^0). Ion perak dari prekursor seperti perak nitrat (AgNO_3) direduksi oleh senyawa bioaktif dalam biomaterial. Proses ini menyebabkan terbentuknya inti nanopartikel (nukleasi) dan pertumbuhan partikel hingga ukuran nano. Sumber biomaterial dapat berasal dari mikroorganisme berupa bakteri, jamur atau algae yang mampu mereduksi ion perak (Ag^+) menjadi Ag^0 melalui proses enzimatik. Ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, alkaloid dan fenolik yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil, serta enzim dan protein yang dapat mengkatalisis reduksi ion perak dan membentuk nanopartikel yang terstabilkan oleh protein [7].

3.2. Karakteristik nanopartikel perak

Berdasarkan kajian literatur, telah banyak penelitian nanopartikel perak yang disintesis menggunakan metode *green synthesis*. Nanopartikel yang terbentuk menghasilkan karakteristik yang bervariasi. Berikut penelitian sintesis hijau nanopartikel perak disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik nanopartikel perak

Agen Reduktor	Uji Karakteristik	Hasil Karakteristik
<i>Citrus maxima</i> [8].	Spektroskopi UV-Vis, X-Ray Diffraction (XRD), High Resolution Transmission Electron Microscopy (HRTEM), dan Fourier Transform Infrared (FTIR).	1. Nanopartikel perak berbentuk sangat kristal dengan struktur kubik berpusat muka (FCC) 2. Rata-rata ukuran kristal nanopartikel perak sebesar 10,4 nm. 3. Memiliki partikel berukuran 10 hingga 20 nm.

<i>Rhus coriaria</i> [9].	Spektroskopi UV-VIS, Refraktometer, XRD, dan Atomic Force Microscope (AFM).	1. Ukuran berkisar antara 30 hingga 100 nm. 2. Absorbansi maksimum pada γ 415-450 nm 3. Memiliki struktur kristal 4. Potensial zeta optimal sekitar ± 30 mV
<i>Ocimum tenuiflorum</i> dan <i>Ocimum gratissimum</i> [10].	Spektroskopi UV-VIS.	1. Absorbansi maksimum pada γ 530 nm
<i>Heem Seeds</i> , <i>Hypericum perforatum</i> , <i>Rosamrinus officinalis</i> , <i>Prunus laurocerasus</i> [11].	Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), FTIR, XRD.	1. Ukuran partikel 30 hingga 37 nm 2. Bentuk partikel bulat dan tersebar merata 3. Distribusi relatif seragam 4. Ukuran kristal 12,6 hingga 21,8 nm
<i>Camellia sinensis</i> [12].	Spektroskopi UV-VIS, XRD, SEM, TEM, FTIR, Zeta potential, dan Dynamic Light Scattering (DLS).	1. Ukuran kristal 15,41 nm (XRD) 2. Bentuk bulat dan tersebar merata 3. Potensial zeta -13,91 mV 4. Ukuran partikel dalam air 773,49 nm (DLS)
<i>Morinda lucida</i> [13].	Spektroskopi UV-Vis, FTIR, XRD, TEM, SEM, Energy Dispersive X-ray (EDX), Thermogravimetric Analysis (TGA).	1. Ukuran rata-rata 11 nm (TEM) 2. Bentuk bulat (<i>spherical</i>) dengan tepi kasar 3. Ukuran kristalit 8,79 nm (XRD)
<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Tagetes erecta</i> [14].	Analisis Visual, Spektroskopi UV-Vis, dan FTIR.	1. Perubahan warna larutan menjadi kuning tua (<i>H. annuus</i>) dan hijau tua (<i>T. erecta</i>). 2. Absorbansi maksimum pada γ 425 nm.
<i>Tagetes erecta</i> , <i>Tridax procumbens</i> [15].	Spektroskopi UV-Vis dan DLS.	1. Ukuran partikel berada dalam rentang 1-100 nm. 2. Puncak serapan diantara 445 - 455 nm
<i>Azadirachta indica</i> , <i>Allium cepa</i> , <i>Solanum lycopersicum</i> [16].	Spektroskopi UV-Vis, FTIR, XRD, DLS, AFM, TEM, SEM.	1. Puncak serapan nanopartikel perak NE 369 nm dan 397 nm. 2. Puncak serapan nanopartikel perak NOT 365 nm, 383 nm dan 390 nm. 3. Ekstrak NOT menghasilkan nanopartikel perak yang lebih kasar daripada NE.

			- Ukuran partikel ekstrak NE menghasilkan nanopartikel perak yang lebih halus daripada ekstrak NOT. - Nanopartikel perak bertekstur bulat dan bentuk bola dengan sedikit aglomerasi.
Chlorhexidine (17).	DLS, SEM		- Nanopartikel berbentuk bulat. - Ukuran partikel 188 ± 6.5 nm - Potential zeta sebesar 15.7 ± 1.6 mV
Isolat Protein kedelai [18].	Spektroskopi UV-Vis, TEM, SEM		- Rata-rata ukuran partikel sekitar 10 nm dengan morfologi berbentuk bulat dan distribusi yang merata tanpa aglomerasi, - Puncak absorbansi pada γ 320–450 nm
<i>Lawsonia inermis</i> [19].	Linn. Spektroskopi UV-Vis, TEM, SEM		- Nanopartikel perak berbentuk kristal dengan rata-rata ukuran partikel antara 28 hingga 60 nm. - Perubahan warna dari kuning cerah menjadi coklat gelap.
<i>Daucus carota</i> [20].	Spektroskopi UV-Vis, FTIR, XRD, SEM.		- Nanopartikel perak memiliki sifat kristalin dengan ukuran rata-rata sekitar 22 nm, 17 nm, dan 10 nm. - Bentuk nanopartikel adalah bulat dengan ukuran berkisar antara 17 hingga 30 nm - Perubahan warna dari larutan kuning ke coklat tua - Perubahan warna larutan dan puncak maksimum absorbansi yang tercatat pada pH 9
<i>Vaccinium arctostaphylos</i> [21].	Spektroskopi UV-Vis dan SEM.		- Rata-rata ukuran partikel sekitar 12 nm dan berbentuk hampir bulat - Perubahan warna yang jelas saat berinteraksi dengan ion perak
<i>Acacia cyanophylla</i> [22].	Analisis visual, Spektroskopi UV-Vis, DLS, dan SEM		- Berwarna coklat kekuningan. - Memiliki puncak serapan pada 460 nm.

		3. Rata-rata diameter ukuran partikel 88,11 nm (DLS).
		4. Berbentuk bulat
<i>Salvia spinosa</i> [23].	Spektroskopi UV-Vis, XRD, Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), DLS, FTIR.	1. Nanopartikel perak berwarna merah. 2. Menunjukkan puncak serapan pada 450 nm. 3. Ukuran rata-rata nanopartikel perak adalah 5,13 nm (DLS), ukuran partikel dalam rentang 19–125 nm (FESEM). 4. Sebagian besar partikel berbentuk bulat. 5. Hasil analisis XRD menunjukkan struktur kristalin dengan pola khas perak.
<i>Carduus crispus</i> [24]	Spektroskopi UV-Vis, Zeta Potential, XRD, Photon Cross-Correlation Spectroscopy (PCCS), SEM, EDX, AFM, FTIR.	1. Mengalami perubahan dari kuning pucat menjadi coklat gelap. 2. Menunjukkan puncak serapan dalam rentang 412–470 nm. 3. Rata-rata ukuran kristal 13–36 nm dengan struktur kubik berpusat muka (FCC). Ukuran rata-rata 22,5–145,1 nm (PCCS). Ukuran rata-rata 33–131 nm (AFM). 4. Sebagian besar partikel berbentuk sferis. 5. Nilai rata-rata zeta potential: -54,29 mV hingga -42,64 mV.

Karakteristik nanopartikel perak sangat dipengaruhi oleh metode sintesisnya [6]. Nanopartikel perak yang dihasilkan umumnya memiliki ukuran partikel antara 10 hingga 200 nm dengan bentuk yang bervariasi, meskipun sebagian besar berbentuk sferis [17,23,24,25]. Struktur kristal yang dominan adalah *Face Centred Cubic* (FCC) [24]. Struktur ini diketahui berkontribusi terhadap stabilitas nanopartikel perak. Partikel dengan ukuran lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga dapat meningkatkan interaksi dengan mikroorganisme dan meningkatkan efektivitas antibakterinya [4]. Selain itu, nilai potensial zeta yang cukup tinggi menunjukkan stabilitas koloid nanopartikel perak yang penting untuk aplikasinya dalam berbagai bidang seperti biomedis [5].

Komponen penyusun nanopartikel perak terdiri dari prekursor perak, agen pereduksi dan stabilisator sebagai tambahan. Prekursor perak yang paling umum digunakan adalah perak nitrat (AgNO_3), yang berfungsi sebagai sumber ion perak. Agen pereduksi yang digunakan dalam sintesis biosintesis hijau biasanya bersumber dari ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, dan alkaloid, yang berperan dalam mereduksi ion perak menjadi nanopartikel perak [7]. Penambahan stabilisator seperti PVA (*Polyvinyl Alcohol*) dan kolagen untuk meningkatkan kestabilan dan distribusi partikel, terutama dalam aplikasi medis [26].

Karakteristik nanopartikel perak yang terbentuk hanya dapat diketahui dengan melakukan pengujian. Beberapa uji karakterisasi nanopartikel perak dapat dilakukan dengan berbagai teknik analisis, seperti spektroskopi UV-Vis yang digunakan untuk mengkonfirmasi terbentuknya nanopartikel perak dengan melihat puncak absorbansi khasnya, biasanya berada di kisaran 400–450 nm [9,14]. *Dynamic Light Scattering* (DLS) digunakan untuk mengukur ukuran, distribusi ukuran partikel dalam larutan koloid, serta zeta potensial dari nanopartikel perak yang sangat penting untuk memastikan homogenitas dan stabilitas nanopartikel perak [5]. Scanning Electron Microscope (SEM) dan Transmission Electron Microscope (TEM) digunakan untuk mengamati morfologi, ukuran, serta distribusi partikel. Difraksi sinar-X (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi ukuran, bentuk, struktur kristal dan tingkat kristalinitas partikel. Selain itu, analisis Fourier Transform Infrared Spektroskopi (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang berinteraksi dalam proses sintesis, seperti senyawa flavonoid, fenolik, dan alkaloid dari ekstrak tumbuhan yang bertindak sebagai agen pereduksi dan stabilisasi [5].

3.3. Manfaat nanopartikel perak sebagai antibakteri

Nanopartikel perak dalam dunia medis, efektif sebagai antibakteri karena sifat uniknya pada skala nano yang memberikan efektivitas tinggi. Dengan spektrum antimikroba luas, nanopartikel perak efektif melawan bakteri gram-positif dan gram-negatif. Ukurannya yang kecil meningkatkan luas permukaan, memudahkan penetrasi ke dinding sel bakteri serta menyebabkan kerusakan dan kematian sel. Selain itu, nanopartikel perak melepaskan ion perak yang mengganggu membran sel, metabolisme, respirasi, serta merusak asam deoksiribonukleat (DNA) bakteri, menghambat replikasi dan pertumbuhan [27]. Keunggulan utama nanopartikel perak dibandingkan antibiotik dan desinfektan adalah mekanisme kerja multifaktorialnya, termasuk pelepasan ion Ag^+ , produksi spesies oksigen reaktif (ROS), serta gangguan terhadap enzim dan DNA bakteri

[25]. Dengan luas permukaan besar, nanopartikel perak bekerja efektif pada dosis rendah dan tetap stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Mekanisme kompleksnya juga mengurangi kemungkinan resistensi bakteri dibandingkan antibiotik [28]. Stabilitas dan durasi efek yang lebih lama menjadikannya pilihan menarik untuk aplikasi medis seperti dressing luka, pelapis alat kesehatan, dan produk antiseptik [29].

Berdasarkan studi literatur, nanopartikel perak memiliki berbagai mekanisme antibakteri. Nanopartikel perak antibakteri efektif terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, termasuk *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Enterococcus faecalis*, dan *Shigella spp* [27]. Efektivitas ini menjadikan nanopartikel perak sebagai alternatif yang menjanjikan dalam pengembangan terapi antimikroba, terutama untuk mengatasi masalah resistensi antibiotik yang semakin meningkat [30]. Salah satu mekanisme utama adalah perlekatan nanopartikel perak pada permukaan bakteri yang menyebabkan peningkatan permeabilitas membran, pelepasan lipopolisakarida serta deformasi dan disintegrasi membran sel. Hal ini mengarah pada kebocoran ion dan gangguan keseimbangan osmotik yang berujung pada kematian bakteri [31]. Selain itu, nanopartikel perak mampu menembus membran bakteri dan berinteraksi langsung dengan biomolekul seluler seperti DNA dan protein, menyebabkan gangguan replikasi, transkripsi, serta metabolisme sel. Selain merusak membran, nanopartikel perak melepaskan ion perak (Ag^+), yang berinteraksi dengan gugus sulfhidril (-SH) pada protein bakteri, menyebabkan denaturasi protein dan inaktivasi enzim penting yang terlibat dalam respirasi seluler serta metabolisme. Ion perak juga berikatan dengan fosfor dalam DNA dan RNA, menghambat proses genetik serta mengganggu sintesis protein, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan dan proliferasi bakteri [32].

Mekanisme lain dari nanopartikel perak adalah produksi spesies oksigen reaktif (ROS), termasuk radikal bebas dan hidrogen peroksida (H_2O_2), yang menyebabkan stres oksidatif dan merusak lipid, protein, serta DNA bakteri. Stres oksidatif ini juga dapat mengganggu keseimbangan ion dan menghambat transportasi nutrisi, menyebabkan ketidakstabilan sel bakteri. Selain itu, nanopartikel perak efektif dalam menghambat pembentukan biofilm, yang merupakan salah satu mekanisme pertahanan bakteri terhadap antibiotik dan lingkungan eksternal [33]. Beberapa formulasi nanopartikel perak yang dikombinasikan dengan ekstrak tanaman atau senyawa lain, seperti chlorhexidine (Chx), menunjukkan efektivitas lebih tinggi dalam membunuh bakteri. Kombinasi

ini menyebabkan disintegrasi dinding sel, gangguan metabolisme, dan penurunan produksi asam laktat yang melemahkan lingkungan pertumbuhan bakteri. Efektivitas nanopartikel perak juga dipengaruhi oleh faktor seperti ukuran partikel, pH, konsentrasi garam, serta medium tempat mereka berdifusi [17]. Secara keseluruhan hasil kajian ini menunjukkan mekanisme antibakteri dari nanopartikel perak mencakup perusakan membran sel, pelepasan ion perak yang mengganggu fungsi enzim dan DNA, produksi ROS yang menyebabkan stres oksidatif, serta penghambatan metabolisme dan biofilm bakteri. Kombinasi mekanisme ini membuat nanopartikel perak menjadi agen antibakteri yang sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan dan membunuh berbagai jenis mikroorganisme patogen.

4. Kesimpulan

Nanopartikel perak memiliki potensi besar sebagai agen antibakteri karena ukurannya yang kecil, luas permukaan yang besar, dan mekanisme kerja multifaktorialnya. Nanopartikel perak dapat merusak membran sel bakteri, melepaskan ion perak yang mengganggu fungsi enzim dan DNA, serta menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif. Selain itu, nanopartikel perak dapat menghambat pembentukan biofilm bakteri, sehingga lebih efektif dibandingkan antibiotik konvensional. Dengan keunggulan ini, nanopartikel perak berpotensi besar dalam aplikasi medis, industri, dan bidang lainnya sebagai agen antimikroba yang efektif dan berkelanjutan.

Acknowledge

Terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu : Farrah Azzahra, Afiska Mutyarini, Dhea Dwi Firmandha, Imelda Sihombing, dan Ananda Putri Utami

Daftar Pustaka

- [1]. Harish V, Ansari MM, Tewari D, Gaur M, Yadav AB, García-Betancourt ML, et al. Nanoparticle and Nanostructure Synthesis and Controlled Growth Methods. *Nanomaterials*, **2022**, 12(18), 1–30.
- [2]. Bao Y, He J, Song K, Guo J, Zhou X, Liu S. Plant Extract Mediated Synthesis of Metal Nanoparticles. *J Chem*, **2021**, 1, 1-14.
- [3]. Khan F, Shariq M, Asif M, Siddiqui MA, Malan P, Ahmad F. Green Nanotechnology: Plant Mediated Nanoparticle Synthesis and Application. *Nanomaterials*, **2022**, 12(4), 673.
- [4]. Tesfaye M, Gonfa Y, Tadesse G, Temesgen T, Periyasamy S. Green synthesis

- of silver nanoparticles using *Vernonia amygdalina* plant extract and its antimicrobial activities. *Heliyon*, **2023**, 9(6), e17356. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17356>
- [5]. Abdelmigid HM, Morsi MM, Hussien NA, Alyamani AA, Al Sufyani NM. Comparative Analysis of Nanopartikel perak Particles Synthesized by Different Approaches and Their Antimicrobial Efficacy. *J Nanomater*, **2021**, 2021, 1-12.
- [6]. Bruna T, Maldonado-Bravo F, Jara P, Caro N. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *Int J Mol Sci*, **2021**, 22(13), 7202.
- [7]. Ahmad A, Haneef M, Ahmad N, Kamal A, Jaswani S, Khan F. Biological synthesis of silver nanoparticles and their medical applications (Review). *World Acad Sci J*, **2024**, 6(22), 1–9.
- [8]. Do BL, Bui TH, Ho TGT, Duong NL, Nguyen VM, Bao TD, et al. Green synthesis of nano-silver and its antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Saudi Chem Soc*, **2023**, 27(5), 101722. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101722>
- [9]. Salman BN, Gheidari MM, nejad AY, Zeighami H, Mohammadi A, Shabestari SB. Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Synthesized by the Green Method Using *Rhus coriaria* L. Extract Against Oral Pathogenic Microorganisms. *Med J Islam Repub Iran*, **2022**, 36(1), 154.
- [10]. Varghese RM, S AK, Shanmugam R. Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Synthesized Using *Ocimum tenuiflorum* and *Ocimum gratissimum* Herbal Formulations. *Cureus*, **2024**, 16(2), 6–13.
- [11]. Yontar AK, Cevik S, Yontar O. Green production of plant/collagen-based antibacterial polyvinyl alcohol (PVA) nanocomposite films. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, **2023**, 33, 101119
- [12]. Fang Y, Hong CQ, Chen FR, Gui FZ, You YX, Guan X, et al. Green synthesis of nano silver by tea extract with high antimicrobial activity. *Inorg Chem Commun.* **2021**, 132, 108808. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108808>
- [13]. Labulo AH, David OA, Terna AD. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Morinda lucida* leaf extract and evaluation of its antioxidant and antimicrobial activity. *Chem Pap.* **2022**, 76(12), 7313–25. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02392-w>
- [14]. Shaheen S, Humma Z, Arooj I, Batool S. Green Synthesis of Silver Nanoparticles from Flowers of *Helianthus annuus* and *Tagetes erecta* and their Antibacterial Activity against MDR Pathogens. *RADS J Biol Res Appl Sci*, **2021**,

- 12(2), 98–107. Available from: <https://jbas.juw.edu.pk/index.php/JBAS/article/view/418>
- [15]. Samantaray MUS, Mishra MA, D. Singh Y. Biosynthesis and Antimicrobial activities of Silver Nanoparticles (AgNPs) by using Leaf Extracts of *Tagetes erecta* (Marigold) and *Tridax procumbens* (Tridax). *Int J Res Appl Sci Biotechnol*, **2020**, 7(6), 209–26.
- [16]. Chand K, Abro MI, Aftab U, Shah AH, Lakhan MN, Cao D, et al. Green synthesis characterization and antimicrobial activity against: *Staphylococcus aureus* of silver nanoparticles using extracts of neem, onion and tomato. *RSC Adv*, **2019**, 9(30), 17002–15.
- [17]. Wang Y, Fang L, Wang P, Qin L, Jia Y, Cai Y, et al. Antibacterial Effects of Silica Nanoparticles Loading Nano-silver and Chlorhexidine in Root Canals Infected by *Enterococcus faecalis*. *J Endod*, **2024**, 51(1), 54–63. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.11.004>
- [18]. Feng B, Zhang S, Wang D, Li Y, Zheng P, Gao L, et al. Study on antibacterial wood coatings with soybean protein isolate nano-silver hydrosol. *Prog Org Coatings*, **2022**, 165, 106766. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106766>
- [19]. Said A, Abu-Elghait M, Atta HM, Salem SS. Antibacterial Activity of Green Synthesized Silver Nanoparticles Using *Lawsonia inermis* Against Common Pathogens from Urinary Tract Infection. *Appl Biochem Biotechnol*, **2024**, 196(1), 85–98. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04482-1>
- [20]. Fareed N, Nisa S, Bibi Y, Fareed A, Ahmed W, Sabir M, et al. Green synthesized silver nanoparticles using carrot extract exhibited strong antibacterial activity against multidrug resistant bacteria. *J King Saud Univ – Sci*, **2023**, 35(2), 102477. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102477>
- [21]. Khodadadi S, Mahdinezhad N, Fazeli-Nasab B, Heidari MJ, Fakheri B, Miri A. Investigating the Possibility of Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Vaccinium arctostaphylos* Extract and Evaluating Its Antibacterial Properties. *Biomed Res Int*, **2021**, 2021, 13
- [22]. Jalab J, Abdelwahed W, Kitaz A, Al-Kayali R. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of *Acacia cyanophylla* and its antibacterial activity. *Heliyon*. **2021**, 7(9), e08033. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08033>
- [23]. Pirtarighat S, Ghannadnia M, Baghshahi S. Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of *Salvia spinosa* grown in vitro and their antibacterial activity assessment. *J Nanostructure Chem*. **2019**, 9(1), 1–9. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40097-018-0291-4>
- [24]. Urnukhsaikhon E, Bold BE, Gunbileg A, Sukhbaatar N, Mishig-Ochir T. Antibacterial activity and characteristics of silver nanoparticles biosynthesized from *Carduus crispus*. *Sci Rep*, **2021**, 11(1), 1–12. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00520-2>

- [25]. Kushwah J, Ron A, Khullar S, Singh S, Kuppusamy K, Pachore PJ. Comparing the Antibacterial Efficacy of Nanopartikel perak vs Traditional Fluoride Varnishes in Caries Prevention. *J Pharm Bioallied Sci*, **2024**, 16, S3485-7.
- [26]. Iswarya S, Bharathi M, Hariram N, Theivasanthi T, Gopinath SCB. Solid polymer electrolyte and antimicrobial performance of Polyvinyl alcohol/Silver nanoparticles composite film. *Results Chem*, **2024**, 7, 101431. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101431>
- [27]. Tang S, Zheng J. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. *Adv Healthc Mater*, **2018**, 7(13), 1–10.
- [28]. He P, Wang W, Jian W. Antibacterial activity against pathogenic Vibrio and cytotoxicity on human hepatocyte of nano-silver prepared by polysaccharide-protein complexes. *Front Microbiol*, **2024**, 15, 1–8.
- [29]. Dureha R, Navit S, Khan SA, Mathur P. Comparative Evaluation of Antimicrobial Activity and Minimum Inhibitory Concentration of Commercially Available Pediatric Dentifrices: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent*, **2024**, 17(8), 938–44.
- [30]. Kaiser KG, Delattre V, Frost VJ, Buck GW, Phu J V., Fernandez TG, et al. Nanopartikel perak: An Old Antibacterial Agent with Great Promise in the Fight against Antibiotic Resistance. *Antibiotics*, **2023**, 12(8), 1264
- [31]. Liao C, Li Y, Tjong SC. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *Int J Mol Sci*, **2019**, 20(2), 449
- [32]. Zhang J, Wang F, Yalamarty SSK, Filipczak N, Jin Y, Li X. Nano Silver-Induced Toxicity and Associated Mechanisms. *Int J Nanomedicine*, **2022**, 17, 1851–64.
- [33]. Bhuyar P, Rahim MHA, Sundararaju S, Ramaraj R, Maniam GP, Govindan N. Synthesis of silver nanoparticles using marine macroalgae Padina sp. and its antibacterial activity towards pathogenic bacteria. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci*, **2020**, 9(1), 1-15