

Green Synthesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Bunga telang (*Clitoria ternatea*) dan Karakterisasinya

Satria Putra Jaya Negara¹, Hasri², Andi Eka Kartika³

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, State University of Makassar, Makassar 90244, South Sulawesi^{1,2,3}

satria.putra.jaya.negara@unm.ac.id¹, hasriu@unm.ac.id², andi.eka.kartika@unm.ac.id³

Corresponding Author: Satria Putra Jaya Negara, E-mail: satria.putra.jaya.negara@unm.ac.id

ABSTRACT

Conventional synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) generally uses chemical reagents that may pose environmental and health risks, such as generating toxic by-products, causing environmental pollution, and potentially affecting human health. Therefore, the development of eco-friendly synthesis methods using natural materials has become an important research focus. This study aims to synthesize AgNPs using butterfly pea flower (*Clitoria ternatea*) extract as a natural reducing and stabilizing agent and to evaluate their physicochemical characteristics. The synthesis was carried out through a green synthesis approach by reacting AgNO₃ solution with butterfly pea flower extract at reaction times of 0, 30, 60, 90, and 120 minutes. The formation of AgNPs was monitored using UV-Vis spectrophotometry in the wavelength range of 300–600 nm to observe the Surface Plasmon Resonance (SPR) peak. Functional groups involved in the synthesis process were analyzed using Fourier Transform Infrared (FTIR), while particle size distribution was determined using a Particle Size Analyzer (PSA). The results showed SPR peaks in the range of 380–470 nm, with maximum absorbance at 422 nm after 60 minutes, indicating the optimal synthesis condition. FTIR analysis identified –OH, C–H, C=C, and C–O functional groups derived from secondary metabolites that act as reducing and stabilizing agents. PSA results showed a dominant particle size of approximately 193 nm within the nanometer scale. These findings indicate that butterfly pea flower extract has strong potential as a sustainable and environmentally friendly biomaterial for AgNP synthesis with potential applications in health, environmental, and functional material fields.

KEYWORDS

Silver nanoparticles, Green synthesis, *Clitoria ternatea*, Characterization.

ARTICLE DOI:

<https://doi.org/10.53696/venn.v5i2.436>

A. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam dua dekade terakhir menunjukkan bahwa nanoteknologi merupakan salah satu bidang strategis yang memiliki dampak luas pada berbagai sektor, termasuk kesehatan, lingkungan, energi, dan industri. Nanoteknologi memanfaatkan material berukuran nanometer (1–100 nm) yang memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi yang unik dibandingkan dengan bentuk massanya, sehingga menghasilkan karakteristik baru seperti luas permukaan yang tinggi, reaktivitas yang lebih besar, dan sifat optik serta katalitik yang khas ([Khan et al., 2022](#)).

Salah satu bahan nanostruktur yang paling banyak diteliti adalah nanopartikel perak (AgNPs). AgNPs diketahui memiliki aktivitas antimikroba, antioksidan, dan katalitik yang tinggi, sehingga sangat berguna dalam bidang biomedis dan kesehatan ([Bates et al., 2024](#)), industri tekstil ([Ohi et al., 2025](#)), pengolahan air dan lingkungan ([Ivanišević, 2023](#)), industri makanan ([Kraśniewska et al., 2020](#)), energi dan katalisis ([Biehler et al., 2023](#)), serta sensor kimia ([Kartika et al., 2021](#)). Secara konvensional, sintesis AgNP sering melibatkan penggunaan bahan kimia beracun seperti natrium borohidrida atau hidrazin sebagai agen reduksi. Selain itu, proses ini juga memerlukan pelarut organik berbahaya dan stabilisator yang tidak ramah lingkungan. Pendekatan ini menimbulkan kekhawatiran serius tentang dampaknya yang merugikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Untuk

mengatasi masalah ini, metode sintesis yang lebih aman dan berkelanjutan diperlukan ([Mukherjee et al., 2024](#)).

Sebagai solusi, pendekatan sintesis hijau telah dikembangkan, yaitu metode sintesis ramah lingkungan yang memanfaatkan agen reduksi dan stabilisator dari sumber biologis, seperti tumbuhan, mikroorganisme, dan biomolekul. Sintesis hijau dianggap lebih aman, lebih murah, lebih efisien, dan lebih berkelanjutan dibandingkan metode kimia atau fisik karena tidak menggunakan bahan berbahaya dan mendukung konsep *green chemistry* ([Edo et al., 2025](#); [Hasri et al., 2019](#)).

Salah satu sumber biologis yang sangat berpotensi untuk sintesis hijau AgNPs adalah bunga telang (*Clitoria ternatea*). Bunga telang kaya akan senyawa fitokimia, termasuk flavonoid, antosianin, tanin, dan alkaloid, yang berfungsi sebagai agen reduksi dan stabilisator dalam pembentukan nanopartikel. Selain itu, bunga telang mudah ditanam, memiliki nilai etnobotani, dan belum banyak dieksplorasi dalam konteks sintesis nanopartikel perak, sehingga menawarkan peluang inovatif dalam pengembangan bahan fungsional ([Astuti et al., 2024](#)).

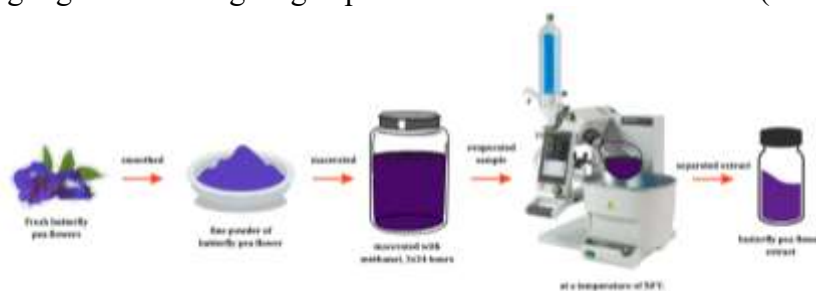
AgNPs telah dikembangkan secara luas karena aktivitas antimikroba dan katalitiknya yang tinggi serta aplikasi yang luas dalam bidang kesehatan dan lingkungan. Namun, metode sintesis konvensional masih didominasi oleh penggunaan bahan kimia beracun, mendorong pengembangan pendekatan *green synthesis* berbasis sumber biologis. Berbagai ekstrak tumbuhan telah dilaporkan sebagai agen reduksi alami, namun penggunaan tumbuhan lokal tertentu masih terbatas. Keunikan studi ini terletak pada penggunaan ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*) sebagai agen reduksi dan stabilisasi alami dalam sintesis hijau AgNPs, menawarkan pendekatan ramah lingkungan dengan potensi aplikasi fungsional yang luas.

B. Metode

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bunga telang (*Clitoria ternatea*), perak nitrat (AgNO_3) sebagai prekursor nanopartikel perak, aquabidest, metanol (CH_3OH), dan bahan pendukung lainnya. Peralatan yang digunakan meliputi timbangan analitik, hot plate dengan pengaduk magnetik, beaker gelas, pipet, sentrifugasi, evaporasi, oven, dan instrumen karakterisasi seperti spektrofotometer UV-Vis, Fourier Transform Infrared (FTIR), dan Particle Size Analyser (PSA).

1. Preparasi ekstrak bunga telang

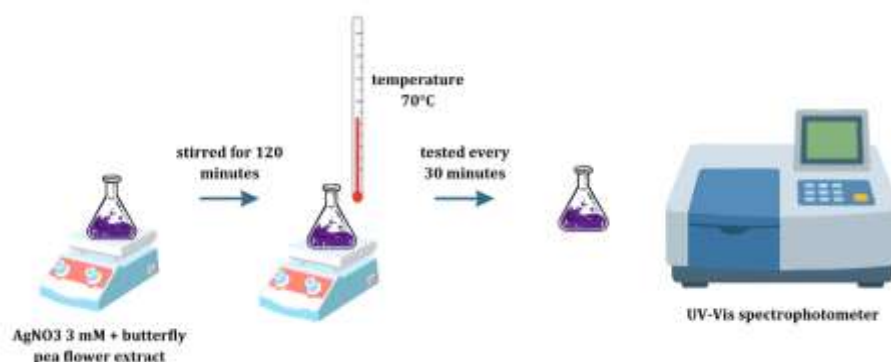
Bunga telang segar dicuci bersih dengan air mengalir, kemudian dikeringkan pada suhu ruangan hingga kandungan air berkurang. Sampel yang dikeringkan kemudian digiling dan diekstraksi menggunakan metanol melalui proses macerasi selama 3x24 jam. Campuran tersebut disaring untuk mendapatkan ekstrak bunga telang, kemudian diuapkan untuk memisahkan pelarut, menghasilkan sampel ekstrak yang digunakan sebagai agen pereduksi alami dan stabilisator (Gambar 1).



Gambar 1. Ilustrasi ekstraksi bunga telang

2. Sintesis nanopartikel perak (AgNPs)

Sintesis AgNPs dilakukan dengan mencampurkan larutan AgNO_3 dengan ekstrak bunga telang dalam perbandingan volume tertentu. Sebanyak 20 mL ekstrak bunga telang ditambahkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 mL yang berisi 180 mL larutan AgNO_3 3 mM. Larutan tersebut kemudian dipanaskan dan diaduk menggunakan magnetik stirer pada suhu 70°C selama 120 menit, dan setiap 30 menit dilakukan analisis dengan spektrofotometer UV-Vis untuk memantau pembentukan nanopartikel perak (Hasri et al., 2019), yang ditandai dengan munculnya puncak absorpsi pada panjang gelombang 380-470 nm (Eker et al., 2025; Hasan et al., 2022) (Gambar 2). Perubahan dilakukan untuk memperoleh kondisi sintesis optimal.



Gambar 2. Ilustrasi sintesis nanopartikel perak dengan ekstrak bunga telang

3. Karakterisasi nanopartikel perak

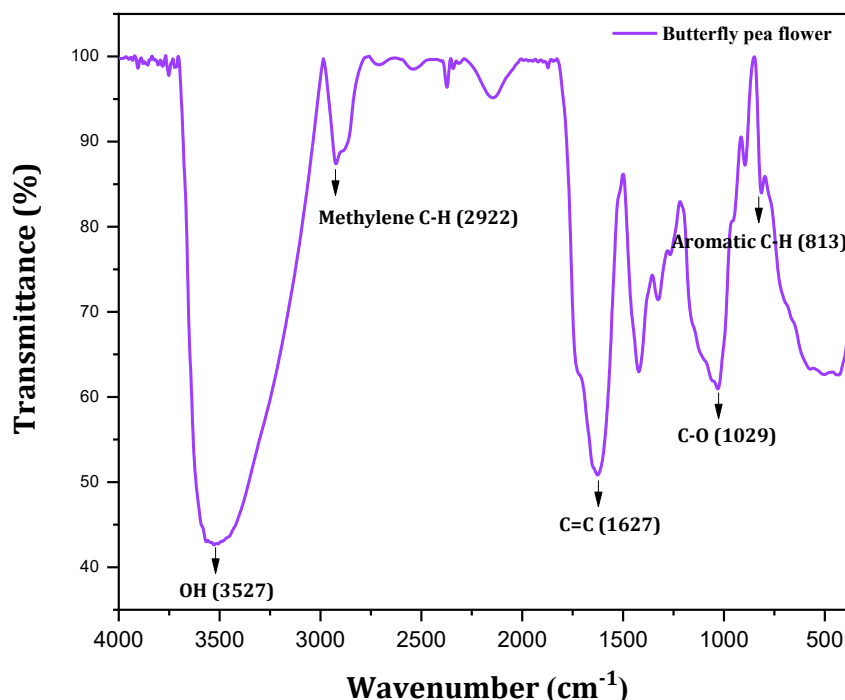
Larutan AgNPs yang disintesis dipisahkan dari ekstrak sisa dengan cara sentrifugasi pada kecepatan tertentu. Endapan nanopartikel dicuci beberapa kali menggunakan aquabidest dan dikeringkan untuk analisis lebih lanjut. Karakterisasi AgNPs dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengamati puncak Resonansi Plasmon Permukaan (SPR). Analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional senyawa fitokimia yang berperan dalam proses reduksi dan stabilisasi. Ukuran dan distribusi partikel dianalisis menggunakan PSA.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*) melalui pendekatan *green synthesis* berhasil dibuktikan dengan perubahan warna larutan dari bening menjadi coklat kekuningan hingga coklat gelap, yang merupakan indikator awal pembentukan nanopartikel perak akibat fenomena SPR. Hasil ini konsisten dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa perubahan warna merupakan karakteristik reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 oleh senyawa fitokimia dalam ekstrak tumbuhan (Fahim et al., 2024; Singh et al., 2025; Sivalingam, 2026).

1. Analisis FTIR ekstrak bunga telang

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsional senyawa fitokimia dalam ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*) yang berperan dalam reduksi dan stabilisasi nanopartikel perak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 1.



Gambar 3. Hasil FTIR ekstrak bunga telang

Tabel 1. Data FTIR ekstrak bunga telang

No	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Referensi bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Referensi
1	3527	-OH	3570-3200	(Nandiyanto et al., 2019)
2	2922	Metilen C-H	2935-2915	(Nandiyanto et al., 2019)
3	1627	C=C	1625	(Nandiyanto et al., 2019)
4	1029	C-O	1270-1230	(Nandiyanto et al., 2019)
5	813	Aromatik C-H	860-800	(Nandiyanto et al., 2019)

Pita serapan yang lebar dan kuat pada panjang gelombang sekitar 3527 cm⁻¹ terkait dengan getaran regangan gugus hidroksil (-OH) (Nandiyanto et al., 2019), yang umumnya berasal dari senyawa fenolik, flavonoid, dan antosianin. Gugus -OH ini memainkan peran penting sebagai donor elektron dalam reduksi ion Ag⁺ menjadi Ag⁰ selama sintesis nanopartikel perak, sekaligus berkontribusi pada stabilitas nanopartikel yang terbentuk, yang konsisten sesuai dengan hasil penelitian Khandare et al., 2024.

Pita serapan pada 2922 cm⁻¹ diidentifikasi sebagai getaran regangan C-H alifatik (metil), yang menunjukkan adanya senyawa organik seperti alkaloid dan komponen metabolit sekunder lainnya dalam ekstrak bunga telang.

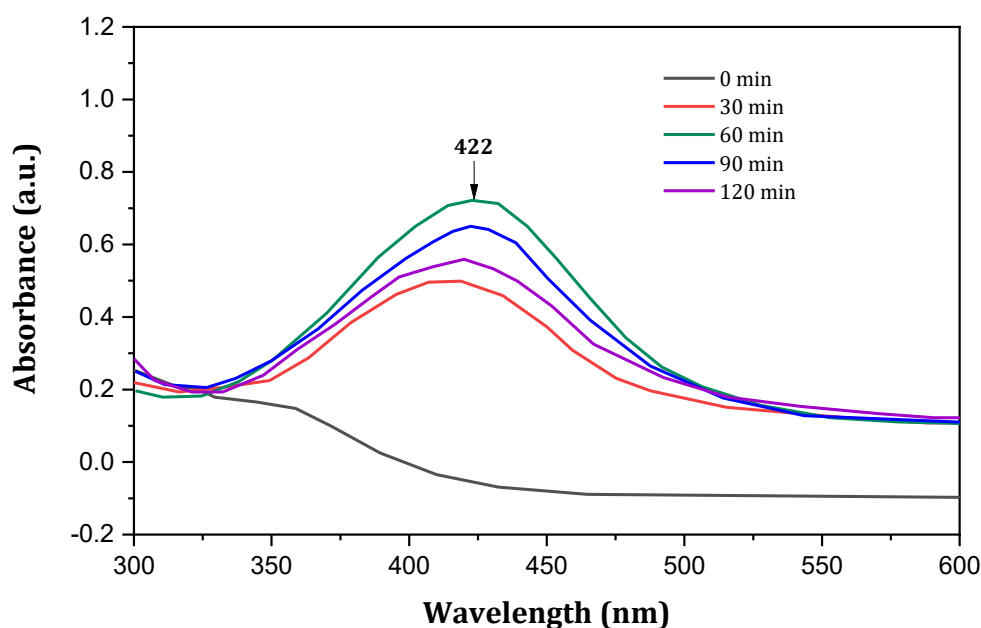
Pita serapan yang jelas pada 1627 cm⁻¹ terkait dengan getaran regangan ikatan C=C aromatik, yang merupakan ciri khas struktur flavonoid dan antosianin. Kelompok aromatik ini berperan dalam stabilisasi nanopartikel perak melalui interaksi elektron π (pi) dengan permukaan AgNPs (Mikhailova, 2025).

Selain itu, pita serapan pada 1029 cm⁻¹ menunjukkan getaran regangan C-O, yang biasanya berasal dari kelompok alkohol, eter, atau ester dalam senyawa polifenolik. Kelompok-kelompok ini juga berperan sebagai agen *capping* alami dengan membentuk lapisan pelindung di sekitar nanopartikel perak. Pita pada 813 cm⁻¹ diidentifikasi sebagai getaran pembengkokan C-H aromatik, yang semakin mengonfirmasi adanya senyawa aromatik dalam ekstrak bunga telang.

Hasil FTIR ini membuktikan bahwa ekstrak bunga telang mengandung berbagai kelompok fungsional aktif seperti OH , C-H , C=C , dan C-O , yang berperan ganda sebagai agen reduksi dan stabilisasi alami dalam *green synthesis* nanopartikel perak ([Rawat et al., 2024](#)). Keberadaan kelompok fungsional ini mendukung mekanisme *green synthesis* yang ramah lingkungan untuk AgNPs ([Jonuškienė et al., 2025](#)).

2. Sintesis nanopartikel perak

Analisis UV-Vis menunjukkan pembentukan nanopartikel perak (AgNPs) menggunakan ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*) pada rentang panjang gelombang 380–470 nm ([Eker et al., 2025](#); [Hasan et al., 2022](#)), yang merupakan ciri khas fenomena SPR (Gambar 4).



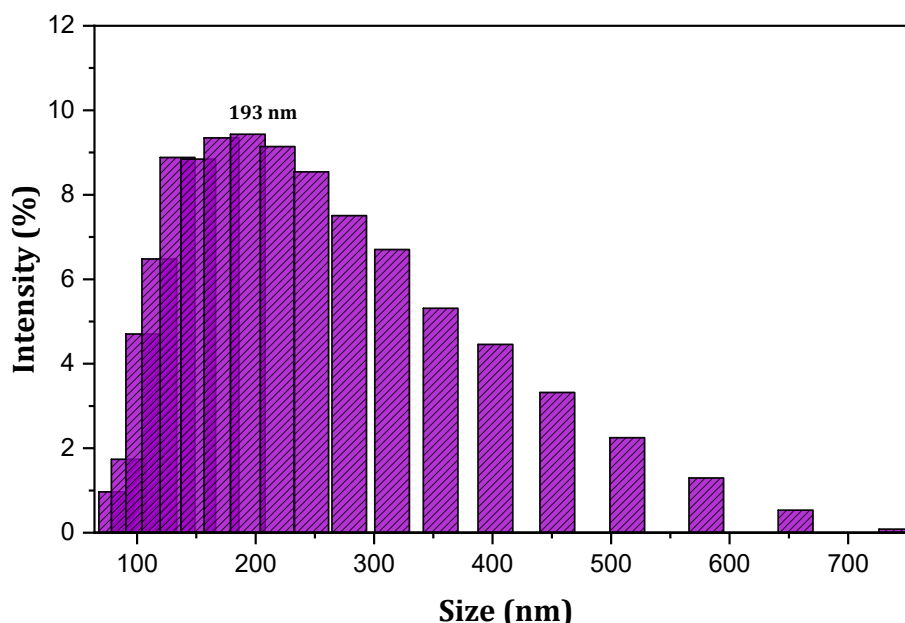
Gambar 4. Hasil UV-Vis sintesis AgNPs

Pada waktu reaksi 0 menit, tidak terlihat puncak penyerapan AgNPs yang khas, menunjukkan bahwa proses reduksi ion Ag^+ belum terjadi. Puncak SPR mulai muncul pada 30 menit dengan intensitas rendah, kemudian meningkat secara signifikan pada 60 menit dengan puncak maksimum sekitar 422 nm, menunjukkan pembentukan AgNPs berukuran nanometer dengan distribusi yang relatif homogen.

Pada waktu reaksi 90 dan 120 menit, puncak SPR masih teramati dalam rentang yang sama, tetapi intensitas absorbansi cenderung berkurang dan puncaknya melebar. Fenomena ini menunjukkan kemungkinan pertumbuhan partikel atau aglomerasi ringan akibat waktu reaksi yang lebih lama dan berkurangnya senyawa reduktor aktif dalam ekstrak ([Kapare et al., 2025](#); [Rawat et al., 2024](#)). Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa waktu reaksi memengaruhi pembentukan dan stabilitas AgNPs, dengan kondisi optimal tercapai pada 60 menit, menghasilkan nanopartikel perak paling stabil melalui pendekatan *green synthesis* berbasis bunga telang.

3. Karakterisasi nanopartikel perak dengan PSA

Hasil karakterisasi AgNPs menggunakan instrumen Particle Size Analyser (PSA) menunjukkan bahwa ukuran partikel berkisar antara 93,02 hingga 740,89 nm, dengan distribusi ukuran dominan dalam rentang 100–300 nm (Gambar 5).



Gambar 5. Distribusi ukuran sintesis AgNPs

Berdasarkan grafik histogram, puncak distribusi ukuran (modus) berada sekitar 193 nm, seperti yang ditunjukkan oleh intensitas tertinggi, sehingga ukuran tersebut dapat dianggap sebagai ukuran partikel yang paling dominan dalam sistem koloid AgNPs yang dihasilkan ([Sikes et al., 2022](#)).

Frekuensi tertinggi ($\approx 8,8\text{--}9,4\%$), menunjukkan bahwa sebagian besar nanopartikel perak berada dalam rentang ini. Kehadiran partikel yang lebih besar (>300 nm) dengan frekuensi yang menurun menunjukkan polidispersitas ringan hingga sedang, yang kemungkinan disebabkan oleh aglomerasi parsial selama sintesis atau pengukuran dinamik cahaya tersebar (DLS) yang sensitif terhadap agregat ([Joudeh & Linke, 2022](#); [Rodriguez-Loya et al., 2024](#)).

Secara umum, hasil PSA mengonfirmasi keberhasilan sintesis nanopartikel perak melalui pendekatan *green synthesis* menggunakan ekstrak bunga telang. Distribusi ukuran yang didominasi oleh skala nanometer dan adanya puncak distribusi yang jelas menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan AgNPs yang relatif stabil.

D. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mensintesis AgNPs menggunakan ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*) melalui pendekatan *green synthesis* yang ramah lingkungan. Pembentukan AgNPs ditandai dengan perubahan warna larutan dan munculnya puncak SPR dalam rentang 380–470 nm, dengan kondisi optimal pada waktu reaksi 60 menit. Analisis FTIR mengonfirmasi adanya kelompok fungsional aktif seperti --OH , C--H , C=C , dan C--O , yang bertindak sebagai agen reduksi dan stabilisasi alami, sementara karakterisasi PSA menunjukkan ukuran partikel dominan sekitar 193 nm dengan distribusi skala nanometer. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa ekstrak bunga telang memiliki potensi sebagai sumber biologis lokal yang efektif untuk sintesis berkelanjutan AgNPs.

Daftar Pustaka

Astuti, S. D., Farhah, G. R. A., Salwa, U. M. U., Aisya, R., Zaidan, A. H., & Yaqubi, A. K. (2024). Red Laser-Activated Silver Nanoparticles from Green Synthesis Extract of Butterfly Pea for

- Antimicrobial Photodynamic Therapy Against *Staphylococcus aureus*. *Indonesian Journal of Tropical and Infectious Disease*, 12(3), 237–251. <https://doi.org/10.20473/ijtid.v12i3.62884>
- Bates, M. G., Risselada, M., Peña-Hernandez, D. C., Hendrix, K., & Moore, G. E. (2024). Antibacterial activity of silver nanoparticles against *Escherichia coli* and methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* is affected by incorporation into carriers for sustained release. *American Journal of Veterinary Research*, 85(3). <https://doi.org/10.2460/ajvr.23.10.0229>
- Biehler, E., Quach, Q., & Abdel-Fattah, T. M. (2023). Silver-Nanoparticle-Decorated Fused Carbon Sphere Composite as a Catalyst for Hydrogen Generation. *Energies*, 16(13), 5053. <https://doi.org/10.3390/en16135053>
- Edo, G. I., Mafe, A. N., Ali, A. B. M., Akpogheli, P. O., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Ismael, S. A., Essaghah, A. E. A., Ahmed, D. S., Ozsahin, D. U., Umar, H., & Alamiery, A. A. (2025). Green Biosynthesis of Nanoparticles Using Plant Extracts: Mechanisms, Advances, Challenges, and Applications. *BioNanoScience*, 15(2), 267. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-01883-w>
- Eker, F., Akdaşçi, E., Duman, H., Bechelany, M., & Karav, S. (2025). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Plant Extracts: A Comprehensive Review of Physicochemical Properties and Multifunctional Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(13), 1–50. <https://doi.org/10.3390/ijms26136222>
- Fahim, M., Shahzaib, A., Nishat, N., Jahan, A., Bhat, T. A., & Inam, A. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*, 16(September), 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2024.100125>
- Hasan, K. M. F., Xiaoyi, L., Shaoqin, Z., Horváth, P. G., Bak, M., Bejó, L., Sipos, G., & Alpár, T. (2022). Functional silver nanoparticles synthesis from sustainable point of view: 2000 to 2023 – A review on game changing materials. *Heliyon*, 8(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12322>
- Hasri, Iwan, D., Satria, P. J. N., & Subaer. (2019). Biosynthesis of silver nanoparticles made from green tea leaf extract (*Camellia sinensis*). *Materials Science Forum*, 967 MSF, 161–167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.967.161>
- Ivanišević, I. (2023). The Role of Silver Nanoparticles in Electrochemical Sensors for Aquatic Environmental Analysis. *Sensors*, 23(7). <https://doi.org/10.3390/s23073692>
- Jonuškienė, I., Narmontaitė, J., Kantminienė, K., Tumosienė, I., Stankevičienė, R., & Petrauskienė, N. (2025). Eco-Friendly Biosynthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Zinnia elegans* L. Plant Extracts. *Sustainability (Switzerland)*, 17(21), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su17219451>
- Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>

- Kapare, H. S., Bhosale, M., Karwa, P., Kulkarni, D., Bhole, R., & Labhade, S. (2025). Phyto-Assisted Synthesis and Investigation of Zinc Oxide Nanoparticles for Their Anti-Aging, Sun Protection and Antibacterial Activity. In *Cosmetics* (Vol. 12, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/cosmetics12060238>
- Kartika, A. E., Setiyanto, H., Manurung, R. V., Jenie, S. N. A., & Saraswaty, V. (2021). Silver Nanoparticles Coupled with Graphene Nanoplatelets Modified Screen-Printed Carbon Electrodes for Rhodamine B Detection in Food Products. *ACS Omega*, 6(47), 31477–31484. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03414>
- Khan, Y., Sadia, H., Ali Shah, S. Z., Khan, M. N., Shah, A. A., Ullah, N., Ullah, M. F., Bibi, H., Bafakeeh, O. T., Khedher, N. Ben, Eldin, S. M., Fadhl, B. M., & Khan, M. I. (2022). Classification, Synthetic, and Characterization Approaches to Nanoparticles, and Their Applications in Various Fields of Nanotechnology: A Review. *Catalysts*, 12(11), 1386. <https://doi.org/10.3390/catal12111386>
- Khandare, K., Kumar, S., Sharma, S. C., & Goswami, S. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles from supercritical CO₂ mediated Lagerstroemia speciosa extract: Characterization, antimicrobial and antibiofilm activity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 739(September), 150967. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.150967>
- Kraśniewska, K., Galus, S., & Gniewosz, M. (2020). Biopolymers-Based Materials Containing Silver Nanoparticles as Active Packaging for Food Applications—A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 698. <https://doi.org/10.3390/ijms21030698>
- Mikhailova, E. O. (2025). Green Silver Nanoparticles: An Antibacterial Mechanism. *Antibiotics*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/antibiotics14010005>
- Mukherjee, S., Verma, A., Kong, L., Rengan, A. K., & Cahill, D. M. (2024). Advancements in Green Nanoparticle Technology: Focusing on the Treatment of Clinical Phytopathogens. *Biomolecules*, 14(9), 1–43. <https://doi.org/10.3390/biom14091082>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Ohi, K. A. M., Banna, B. U., Ahmed, T., Reza, M. M. Al, Muktadir, A., Hassan, M. M., Arnob, A. K., Assiri, M. A., & Mia, R. (2025). Green synthesized AgNPs induced natural dyeing of cotton-viscose blended fabric to produce functional textile. *Results in Engineering*, 27, 106308. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106308>
- Rawat, S., Pavithra, T., & Sunil, C. K. (2024). Citrus byproduct valorization: pectin extraction, characterization, and research advances in biomaterial derivation for applications in active film packaging. In *Discover Food* (Vol. 4, Issue 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00238-w>
- Rodriguez-Loya, J., Lerma, M., & Gardea-Torresdey, J. L. (2024). Dynamic Light Scattering and Its

Application to Control Nanoparticle Aggregation in Colloidal Systems: A Review. *Micromachines*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/mi15010024>

Sikes, J. C., Wonner, K., Nicholson, A., Cignoni, P., Fritsch, I., & Tschulik, K. (2022). Characterization of Nanoparticles in Diverse Mixtures Using Localized Surface Plasmon Resonance and Nanoparticle Tracking by Dark-Field Microscopy with Redox Magnetohydrodynamics Microfluidics. *ACS Physical Chemistry Au*, 2(4), 289–298. <https://doi.org/10.1021/acspphyschemau.1c00046>

Singh, D., Gupta, D., Tiwari, A., Naik, J., Quraishi, F., Singh, R. P., Singh, S. K., & Singh, A. K. (2025). Schleicheria oleosa (Kusum) leaf extract mediated green synthesis of bimetallic Ag-Fe nanoparticles: in-vitro evaluation of antimicrobial and antioxidant activities. *Discover Applied Sciences*, 7(9). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07211-x>

Sivalingam, A. M. (2026). Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using swietenia macrophylla extract evaluation of their antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activity against MCF-7 breast cancer cells. *Journal of Molecular Structure*, 1353, 144710. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.144710>