

MINI REVIEW: POTENSI FLORA SULAWESI SELATAN UNTUK SINTESIS NANOPARTIKEL RAMAH LINGKUNGAN

MINI REVIEW: THE POTENTIAL OF SOUTH SULAWESI FLORA FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY NANOPARTICLE SYNTHESIS

Andi Eka Kartika*

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar
Makassar 90244, Sulawesi Selatan, Indonesia

*Corresponding Author : andi.eka.kartika@unm.ac.id

Article History

Submitted : 03 August 2025

Accepted: 20 August 2025

ABSTRACT

South Sulawesi harbors a high diversity of plant species, including several endemic taxa with substantial potential for the development of environmentally sustainable nanomaterials. Among emerging approaches, the green synthesis of nanoparticles using plant extracts as bioreducing and capping agents has gained significant attention due to its simplicity, low cost, and alignment with green chemistry principles. This mini-review provides an overview of recent advancements in the biosynthesis of nanoparticles mediated by local and endemic plant species from South Sulawesi. The review highlights the role of phytochemicals in nanoparticle formation, the characterization methods employed, and their potential applications in biomedical, catalytic, and environmental fields. Furthermore, it discusses the current challenges, including standardization of plant extracts, control over nanoparticle morphology, and scalability of the process. The findings emphasize the untapped potential of South Sulawesi flora as a promising biological resource for sustainable nanoparticle synthesis and encourage further interdisciplinary research in this area.

Keywords: Green Synthesis, Nanoparticles, South Sulawesi, Plant Extract, Sustainable Technology.

1. PENDAHULUAN

Nanoteknologi menjadi fokus penelitian penting karena potensinya dalam mengembangkan nanomaterial dan nanopartikel (NP) untuk berbagai aplikasi. NP, yang merupakan partikel padat berukuran kurang dari 100 nanometer, memiliki sifat fisik, kimia, dan optik yang unik serta superior dibandingkan material dalam skala makro atau mikro.¹ Hal ini membuat NP sangat berguna di banyak sektor, termasuk katalisis,² biomedis,³ farmasi,⁴ pangan,⁵ industri kosmetik,⁶ dan lingkungan.⁷

Keunikan sifat nanopartikel yang luar biasa, seperti rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat besar⁸ dan aktivitas katalitik yang tinggi,⁹ memungkinkan pengembangan berbagai aplikasi canggih. Beberapa di antaranya termasuk sistem penghantar obat yang lebih efektif,¹⁰ katalis ultra-efisien dalam industri kimia,¹¹ aktivitas antimikroba,¹² adsorpsi logam berat,¹³ sensor⁵ yang dapat mendeteksi secara spesifik dan sensitif, serta material elektronik yang lebih efisien. Namun, metode sintesis konvensional seperti sintesis kimia sering kali menggunakan bahan-bahan berbahaya, boros energi, dan menghasilkan limbah yang merusak lingkungan.¹⁴ Kondisi ini mendorong para ilmuwan untuk mengembangkan pendekatan yang lebih aman dan berkelanjutan dalam produksi nanopartikel.

Sebagai solusi, muncul pendekatan sintesis hijau (*green synthesis*), sebuah metode yang memanfaatkan bahan-bahan alami sebagai agen pereduksi. Alih-alih menggunakan bahan

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



kimia sintetis yang beracun, sintesis hijau memanfaatkan ekstrak dari tumbuhan,¹⁵ mikroorganisme,¹⁶ atau biomassa lainnya¹⁷ untuk mengubah ion logam menjadi nanopartikel. Proses ini sejalan dengan prinsip kimia hijau, yang berfokus pada pengurangan zat berbahaya dan penggunaan sumber daya terbarukan. Selain manfaat utamanya yang ramah lingkungan, sintesis hijau juga memiliki sejumlah kelebihan lain. Metode ini relatif sederhana dan efisien karena dapat dilakukan pada suhu serta tekanan kamar tanpa memerlukan kondisi ekstrem atau peralatan yang rumit.¹⁶ Nanopartikel yang dihasilkan umumnya lebih biokompatibel dan stabil, sebab senyawa bioaktif alami berperan ganda sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil.¹⁸ Dengan demikian, pendekatan ini dipandang sebagai strategi menjanjikan untuk menghasilkan nanopartikel canggih yang mendukung keberlanjutan.

Flora Sulawesi memiliki kekayaan alam yang unik dan menarik, karena posisinya sebagai areal peralihan flora fauna dari dua benua. Dengan sekitar 5000 jenis tumbuhan, termasuk 57 jenis endemik, pulau ini menyimpan potensi besar. Secara spesifik, Provinsi Sulawesi Selatan dikenal memiliki kekayaan biodiversitas yang luar biasa, menjadikannya "laboratorium alam" yang ideal. Hal ini diperkuat oleh fakta bahwa 9 dari 57 jenis tumbuhan endemik tersebut ditemukan di Sulawesi Selatan.¹⁹ Banyak spesies tumbuhan di sini memiliki potensi besar sebagai sumber daya untuk sintesis nanopartikel (NP) hijau karena kaya akan senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenol, protein, alkaloid, saponin, tanin, dan terpenoid. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai agen pereduksi dan stabilisator alami dalam proses pembentukan nanopartikel.¹⁵ Sayangnya, potensi yang sangat menjanjikan ini masih belum banyak dieksplorasi dan dimanfaatkan secara maksimal. Hingga kini, penelitian mengenai pemanfaatan tumbuhan endemik Sulawesi Selatan untuk tujuan ini masih terbatas, padahal pendekatan sintesis hijau menawarkan solusi berkelanjutan untuk memproduksi material canggih dengan cara yang aman dan ramah lingkungan.

Mini-review ini bertujuan untuk mengkaji dan merangkum penelitian terkini mengenai sintesis NP hijau menggunakan ekstrak tumbuhan dari Sulawesi Selatan. Kami akan menyoroti potensi besar flora lokal dalam menghasilkan nanopartikel fungsional dan memberikan arahan untuk penelitian di masa depan demi memaksimalkan pemanfaatan sumber daya alam yang melimpah ini.

2. METODE

Kajian ini dilakukan melalui metode tinjauan literatur dengan pendekatan naratif. Sumber data diperoleh dari berbagai database ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan Springer dengan rentang publikasi antara tahun 2014–2024. Kata kunci pencarian mencakup "green synthesis nanoparticles", "plant extract", "Sulawesi Selatan", serta nama-nama spesifik tanaman lokal. Seleksi artikel mempertimbangkan relevansi terhadap topik, kejelasan metodologi sintesis, karakterisasi nanopartikel, dan aplikasinya. Data dianalisis untuk mengelompokkan jenis tumbuhan, senyawa fitokimia, jenis nanopartikel yang dihasilkan, dan potensi aplikasinya dalam berbagai bidang. Literatur juga ditelaah untuk mengevaluasi tantangan dan prospek sintesis hijau menggunakan tumbuhan lokal Sulawesi Selatan.

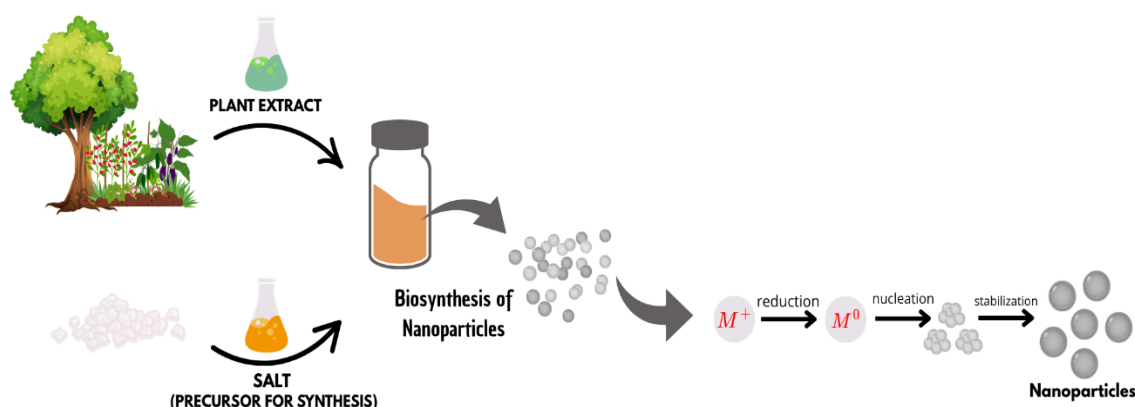
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mekanisme dan Tahapan Sintesis Hijau Nanopartikel

Sintesis nanopartikel (NP) secara hijau menggunakan ekstrak tumbuhan merupakan proses yang efisien dan ramah lingkungan. Di dalamnya, senyawa fitokimia seperti flavonoid, polifenol, terpenoid, dan alkaloid memainkan peran ganda yang sangat penting.²⁰ Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai agen pereduksi, yang mengubah ion logam (prekursor) menjadi atom netral. Proses ini dimungkinkan karena senyawa-senyawa tersebut memiliki gugus fungsional (seperti gugus hidroksil atau karbonil) yang dapat melepaskan elektron. Elektron inilah yang mereduksi ion logam, mengubahnya menjadi atom-atom logam yang kemudian membentuk inti NP. Selain itu, senyawa fitokimia juga bertindak sebagai agen penstabil (*capping agent*), yaitu dengan melapisi permukaan NP. Lapisan ini sangat penting

untuk mencegah nanopartikel menggumpal (*aglomerasi*) dan menjaga ukuran partikel tetap seragam serta terdispersi secara stabil dalam larutan.²¹ Skema proses sintesis nanopartikel menggunakan ekstrak tanaman dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Proses sintesis hijau dimulai dengan preparasi ekstrak tumbuhan, di mana bahan tumbuhan, seperti daun, dibersihkan, dikeringkan, dan dihaluskan menjadi bubuk. Bubuk ini kemudian diekstraksi, biasanya dengan cara direbus dalam air, untuk mendapatkan senyawa bioaktif.²² Setelah ekstrak siap, tahap selanjutnya adalah sintesis nanopartikel, di mana ekstrak dicampurkan ke dalam larutan garam prekursor logam, seperti perak nitrat atau emas klorida. Adanya perubahan warna secara visual mengonfirmasi pembentukan NP. Sebagai contoh, larutan perak nitrat yang awalnya bening akan berubah menjadi coklat kekuningan atau coklat tua^{23,24} sentara larutan emas klorida akan berubah menjadi ungu atau merah 500-600 nm.²⁵



Gambar 1. Skema proses biosintesis nanopartikel dari ekstrak tanaman

Efektivitas dan karakteristik nanopartikel (NP), termasuk ukuran, bentuk, dan stabilitasnya, sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang harus dioptimalkan. Berdasarkan penelitian yang menggunakan ekstrak buah *Capparis Moonii*, dua faktor krusial yang dianalisis adalah konsentrasi prekursor dan pH larutan. Peningkatan konsentrasi perak nitrat (dari 1 mM hingga 5 mM) menyebabkan puncak resonansi plasmon permukaan (SPR) pada spektrum UV-Vis bergeser ke panjang gelombang yang lebih tinggi dan menjadi lebih sempit. Pergeseran ke panjang gelombang yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa nanopartikel yang terbentuk memiliki ukuran yang lebih kecil, sedangkan puncak yang lebih sempit menunjukkan distribusi ukuran yang lebih seragam atau monodispersi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi yang lebih tinggi mengarah pada pembentukan nanopartikel yang lebih kecil dan homogen. Sementara itu, pH larutan juga memainkan peran penting. Pada kondisi asam (pH 3), puncak spektrum UV-Vis menjadi lebih lebar, menandakan nanopartikel yang lebih besar dan kurang seragam. Namun, seiring dengan peningkatan pH menuju kondisi basa, puncak serapan meningkat dan menjadi lebih tajam. Kondisi paling optimal ditemukan pada pH 9, di mana nanopartikel yang terbentuk memiliki ukuran paling kecil, seragam, dan stabil. Ini terjadi karena pada pH basa, partikel-partikel bermuatan penuh, yang menciptakan tolakan kuat dan mencegah agregasi, sehingga mendukung pembentukan nanopartikel yang monodispersi.²⁶

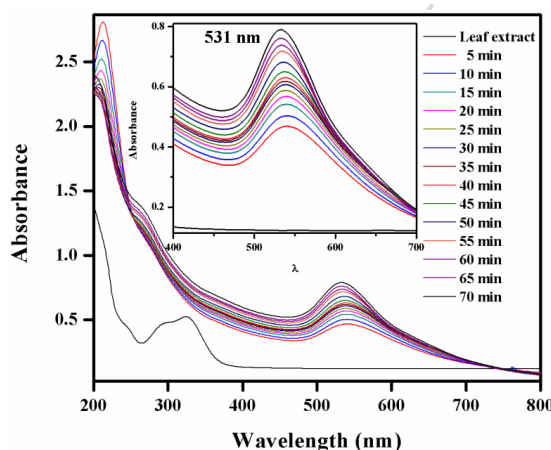
Selain itu, suhu berperan penting dalam sintesis AgNPs menggunakan ekstrak daun *Ruta*. Peningkatan suhu mempercepat laju reaksi, meningkatkan efisiensi reduksi, serta mengontrol proses nukleasi. Pada variasi suhu 40–90 °C, pembentukan partikel mulai terjadi pada 50 °C dengan absorbansi maksimum pada 90 °C, di mana peningkatan suhu tidak hanya mempercepat reaksi, tetapi juga menghasilkan *blue shift* yang menandakan ukuran partikel lebih kecil.²⁷ Terakhir, waktu reaksi memengaruhi pertumbuhan NP; waktu yang optimal diperlukan untuk memastikan seluruh ion logam tereduksi tanpa menyebabkan partikel terlalu besar atau menggumpal.²⁸

3.2 Karakterisasi Nanopartikel

Karakterisasi nanopartikel merupakan tahap penting dalam proses *green synthesis* untuk memastikan keberhasilan pembentukan nanopartikel serta mengetahui sifat fisik dan kimianya. Beberapa metode umum yang digunakan meliputi spektroskopi UV-Vis, mikroskopi elektron (SEM/TEM), difraksi sinar-X (XRD), dan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR).

3.2.1 Spektroskopi UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis merupakan metode yang digunakan untuk mengonfirmasi kemungkinan pembentukan nanopartikel melalui perubahan warna larutan dan munculnya puncak *Surface Plasmon Resonance* (SPR). Misalnya, dalam sintesis nanopartikel perak (AgNP), larutan biasanya berubah warna menjadi kuning kecokelatan, dan menghasilkan puncak absorbansi khas di sekitar 400–450 nm,^{23,24} sedangkan nanopartikel emas (AuNP) menunjukkan puncak pada 520–550 nm.²⁵ Puncak ini merupakan indikasi bahwa ion logam telah berhasil direduksi menjadi nanopartikel logam oleh senyawa fitokimia dalam ekstrak tumbuhan. Sebagai contoh, **Gambar 2** memperlihatkan spektrum UV-Vis yang digunakan untuk mengkarakterisasi nanopartikel emas yang disintesis menggunakan ekstrak tumbuhan, menunjukkan puncak SPR yang jelas pada panjang gelombang tertentu.



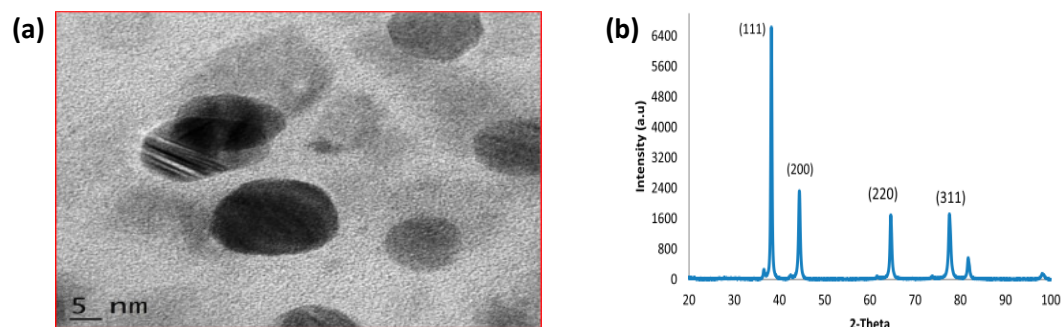
Gambar 2. Spektra UV-Visible dari nanopartikel emas yang disintesis secara hijau menggunakan *Sphaeranthus indicus* pada interval waktu yang berbeda.²⁵

3.2.2 Mikroskopi Elektron (SEM dan TEM)

Mikroskopi elektron, seperti SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan TEM (*Transmission Electron Microscopy*), digunakan untuk melihat morfologi dan ukuran partikel. Hasil dalam berbagai literatur menunjukkan bahwa nanopartikel yang disintesis secara hijau umumnya berbentuk bulat (spherical) dan berukuran antara 10 hingga 100 nanometer, tergantung pada jenis tumbuhan dan kondisi sintesis seperti suhu, pH, dan konsentrasi reaktan.^{29–31} **Gambar 3(a)** menunjukkan gambar SEM dari nanopartikel perak (AgNP) yang disintesis, memperlihatkan kemampuan besar untuk mensintesis nanopartikel perak yang secara kasar berbentuk bulat.

3.2.3 Difraksi Sinar-X (XRD)

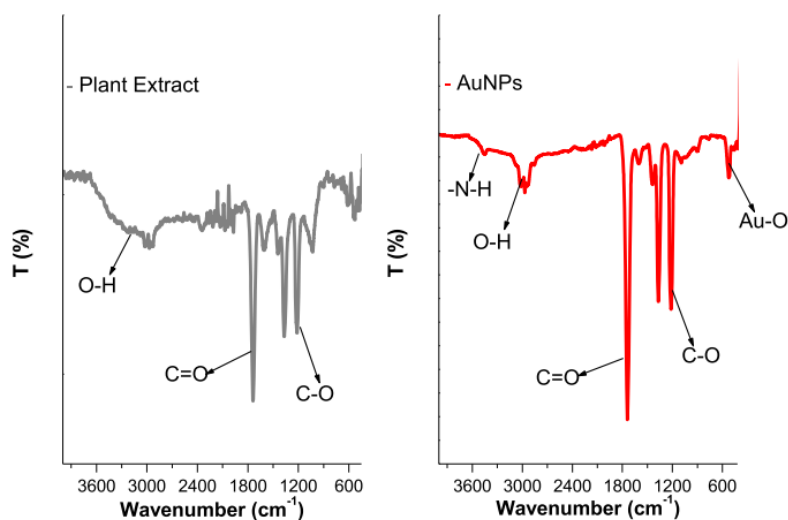
XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dari nanopartikel yang terbentuk. Pola difraksi yang dihasilkan menunjukkan bahwa nanopartikel logam seperti AuNP umumnya memiliki struktur kristalin *face-centered cubic* (FCC), yang ditunjukkan oleh puncak-puncak khas pada sudut 2θ tertentu sesuai dengan standar JCPDS.³² Hal ini diperkuat oleh **Gambar 3(b)** yang memperlihatkan spektrum XRD dari AuNPs yang dimediasi oleh *C. citrinus*.



Gambar 3. (a) Citra SEM nanopartikel emas (AuNPs), yang menunjukkan partikel-partikel berbentuk bulat dengan ukuran skala 5 nm;³³ (b) Pola difraksi sinar-X (XRD) dari nanopartikel emas (AuNPs).³⁴

3.2.4 Spektroskopi FTIR

FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari senyawa bioaktif dalam ekstrak tumbuhan yang berinteraksi dengan permukaan nanopartikel. Spektrum FTIR sering menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), atau amina (N-H), yang mengindikasikan bahwa senyawa-senyawa tersebut tidak hanya berperan sebagai agen pereduksi, tetapi juga sebagai agen penstabil (*capping agent*) yang melapisi dan menjaga kestabilan nanopartikel dari aglomerasi. Hasil karakterisasi ini secara keseluruhan memperkuat pemahaman bahwa sintesis hijau dengan ekstrak tumbuhan dapat menghasilkan nanopartikel dengan sifat morfologi dan kestabilan yang baik, serta berpotensi tinggi untuk berbagai aplikasi.³⁴



Gambar 4. Spektrum FTIR dari ekstrak tanaman dan nanopartikel emas³⁴

3.3 Potensi Flora Sulawesi Selatan sebagai Sumber Daya Sintesis Nanopartikel

Flora yang beragam di suatu wilayah sering kali menyimpan potensi yang belum sepenuhnya terungkap, terutama dalam bidang ilmiah dan teknologi. Studi tentang flora endemik atau lokal, seperti yang ditemukan di Sulawesi Selatan, menunjukkan adanya kandungan fitokimia unik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi. Pemanfaatan ini tidak hanya mendukung konservasi spesies lokal, tetapi juga membuka jalan bagi pengembangan material baru, seperti nanopartikel, yang memiliki aktivitas biologi penting. Untuk mengilustrasikan potensi ini, **Tabel 1** dan **2** menyajikan beberapa contoh tumbuhan lokal Sulawesi Selatan yang telah diteliti dan potensi aplikasinya.

Tabel 1. Contoh tumbuhan lokal dan endemik Sulawesi Selatan yang telah digunakan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel

No	Nama Tanaman	Nama Ilmiah	Bagian Tanaman	Jenis NP	Kandungan Fitokimia Potensial	Aplikasi Potensialnya
1	Lontar	<i>Borassus flabellifer</i>	Buah	AuNPs	Tanin, flavonoid, saponin	Reduksi zat warna, aktivitas antibakteri dan antikanker. ³⁵
2	Kayu manis Sulsel	<i>Cinnamomum burmannii</i>	Kayu	nanopartikel kitosan	Fenol, flavonoid	Sebagai antioksidan ³⁶
3	Serai hutan	<i>Cymbopogon nardus</i>	Daun	AgNP	Citronellal, geraniol, dan citronellol,	Degradasi Fotokatalitik Asam 2,4-Diklorofenoksiasetat. ³⁷
4	Pohon Eboni	<i>Diospyros celebica</i>	Biji	AuNP	Flavonoid, polifenol, dan protein	Sebagai antibakteri, ³⁸
5	Lemo cuco	<i>citrus macroptera</i>	Kulit Buah	AgNP	Polifenol, flavonoid, tanin, asam askorbat dan protein	Sebagai katalis dan fotodegradasi zat warna ³⁹
6	Jeruk Selayar	<i>Citrus nobilis Loureiro</i>	Kulit Buah	CeO ₂ NP	Flavonoid, fenolik, dan terpenoids	sebagai antioksidan dan antibakteri ⁴⁰
7	Nilam	<i>Pogostemon cablin</i>	Duan	TiO ₂	Flavonoid, fenolik, terpenoid, minyak atsiri, asam organik dan tanin	Sebagai antijamur ⁴¹
8	Legundi	<i>Vitex trifolia</i>	Daun	Eu ₂ O ₃ NP	Fenolik, alkaloid, terpenoid, dan flavonoid	sebagai antibakteri dan antikanker ⁴²
9	Ketapang	<i>Terminalia catappa</i>	Duan	NiFe ₂ O ₄	Flavonoids, tanin, fenol, kaempferol dan polifenol	Memiliki aktivitas sitotoksik terhadap sel kanker payudara MCF-7 ⁴³
10	Rami	<i>Boehmeria nivea</i>	Daun	CuO dan ZnO	Flavonoid, fenolik, asam organik dan tanin	Sebagai antibakteri ⁴⁴

3.4 Tantangan dan Prospek dalam Proses Sintesis Nanopartikel Hijau dengan Bioreduktor dari Ekstrak Tumbuhan

Meskipun pendekatan *green synthesis* nanopartikel menggunakan ekstrak tumbuhan menawarkan berbagai keunggulan seperti keberlanjutan, biaya rendah, dan ramah lingkungan, masih terdapat sejumlah tantangan teknis dan ilmiah yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah variabilitas komposisi senyawa bioaktif dalam ekstrak tumbuhan, yang bergantung pada jenis tanaman, bagian yang digunakan, waktu panen, dan kondisi ekstraksi. Ketidakteraturan ini menyulitkan proses standardisasi ekstrak, yaitu upaya untuk memastikan setiap produk memiliki kualitas yang sama. Akibatnya, sulit untuk menjamin bahwa nanopartikel yang dihasilkan akan memiliki khasiat atau sifat yang seragam dan bisa direplikasi.²⁰ Selain itu, kontrol ukuran dan morfologi nanopartikel secara presisi masih menjadi kendala, terutama jika dibandingkan dengan metode sintesis kimia yang lebih terkontrol. Tantangan lain adalah skalabilitas proses sintesis hijau, di mana banyak metode yang efektif pada skala laboratorium belum tentu dapat diaplikasikan secara ekonomis dalam produksi massal.⁴⁹ Terakhir, diperlukan lebih banyak kajian tentang toksisitas dan keamanan

nanopartikel yang dihasilkan secara biologis, baik terhadap manusia, hewan, maupun lingkungan, sebelum aplikasinya dapat dilanjutkan ke tahap komersial atau klinis.⁵⁰

Untuk mengatasi tantangan tersebut dan memperluas potensi aplikasi, arah penelitian ke depan perlu difokuskan pada beberapa hal strategis. Pertama, penting untuk mengeksplorasi lebih banyak spesies tumbuhan lokal, khususnya yang endemik dan memiliki kandungan fitokimia tinggi namun belum banyak diteliti. Kedua, diperlukan optimasi kondisi sintesis, termasuk parameter seperti pH, suhu, rasio reaktan, dan waktu reaksi, guna menghasilkan nanopartikel dengan ukuran dan stabilitas yang konsisten.⁵¹ Penelitian juga harus diarahkan pada karakterisasi mendalam terhadap nanopartikel yang dihasilkan, mencakup analisis struktur, komposisi permukaan, dan interaksi biologis.⁵² Di sisi aplikasi, perlu dilakukan pengujian terhadap aktivitas spesifik sesuai kebutuhan lokal atau regional, misalnya sebagai agen antimikroba, antikanker, katalis, atau sensor lingkungan. Terakhir, keberhasilan implementasi sintesis hijau dalam skala luas membutuhkan kolaborasi multidisiplin, melibatkan ahli kimia, bioteknologi, lingkungan, dan teknik proses, guna menjembatani kesenjangan antara riset laboratorium dan aplikasi industri yang nyata.⁵³

Tabel 2. Contoh tumbuhan lokal dan endemik Sulawesi Selatan yang belum dieksplorasi sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel

No.	Nama Tanaman	Nama Ilmiah	Kandungan Fitokimia Potensial
1	Begonia Pulau Selayar	<i>Begonia enoplocampa</i>	Belum ada laporan fitokimia spesifik untuk <i>Begonia enoplocampa</i> , beberapa spesies dalam genus <i>Begonia</i> diketahui mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan triterpenoid ⁴⁵
2	Begonia tjiasmantoi	<i>Begonia tjiasmantoi</i>	Belum ada laporan fitokimia spesifik untuk <i>Begonia tjiasmantoi</i> , beberapa spesies dalam genus <i>Begonia</i> diketahui mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan triterpenoid ⁴⁵
3	Begonia sidolensis	<i>Begonia sidolensis</i>	Belum ada laporan fitokimia spesifik untuk <i>Begonia sidolensis</i> , beberapa spesies dalam genus <i>Begonia</i> diketahui mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan triterpenoid ⁴⁵
4	Anggrek lagaligo	<i>Eulophia lagaligo</i>	Belum tersedia data fitokimia spesifik untuk <i>Eulophia lagaligo</i> , beberapa spesies dalam genus <i>Eulophia</i> seperti <i>E. nuda</i> dan <i>E. langbianensis</i> telah dilaporkan mengandung senyawa bioaktif seperti alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, dan phenanthrene ^{46,47}
5	Enau/aren lokal	<i>Arenga pinnata</i>	Flavonoid, Fenolik, Terpenoid, Alkaloid ⁴⁸

4. KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel secara hijau menggunakan tumbuhan lokal Sulawesi Selatan merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk menghasilkan material fungsional yang ramah lingkungan. Keanekaragaman flora di daerah ini menawarkan berbagai senyawa bioaktif yang efektif sebagai agen pereduksi dan penstabil nanopartikel. Beberapa tumbuhan seperti *Borassus flabellifer*, *Citrus macroptera*, dan *Diospyros celebica* telah menunjukkan potensi besar dalam menghasilkan nanopartikel emas, perak, dan logam lainnya untuk aplikasi antimikroba, katalis, hingga fotodegradasi. Meskipun demikian, tantangan seperti standarisasi ekstrak, kontrol morfologi partikel, dan skalabilitas proses masih menjadi hambatan yang harus diatasi. Penelitian di masa depan sebaiknya difokuskan pada eksplorasi

tumbuhan endemik yang belum diteliti, optimasi kondisi sintesis, serta pengujian toksisitas dan efikasi aplikasi nanopartikel. Dengan strategi penelitian yang tepat, potensi flora Sulawesi Selatan dapat dikembangkan menjadi sumber daya unggulan dalam nanoteknologi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Selmani, A.; Kovačević, D.; Bohinc, K. Nanoparticles: From Synthesis to Applications and Beyond. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2022**, *303*, 102640. DOI:10.1016/j.cis.2022.102640.
2. Astruc, D. Introduction: Nanoparticles in Catalysis. *Chem. Rev.* **2020**, *120* (2), 461–463. DOI:10.1021/acs.chemrev.8b00696.
3. Nicolae-Maranciuc, A.; Chicea, D.; Chicea, L. M. Ag Nanoparticles for Biomedical Applications—Synthesis and Characterization—A Review. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23* (10), 5778. DOI:10.3390/ijms23105778.
4. Afzal, O.; Altamimi, A. S. A.; Nadeem, M. S.; Alzarea, S. I.; Almalki, W. H.; Tariq, A.; Mubeen, B.; Murtaza, B. N.; Iftikhar, S.; Riaz, N.; Kazmi, I. Nanoparticles in Drug Delivery: From History to Therapeutic Applications. *Nanomaterials* **2022**, *12* (24), 4494. DOI:10.3390/nano12244494.
5. Kartika, A. E.; Setiyanto, H.; Manurung, R. V.; Jenie, S. N. A.; Saraswaty, V. Silver Nanoparticles Coupled with Graphene Nanoplatelets Modified Screen-Printed Carbon Electrodes for Rhodamine B Detection in Food Products. *ACS Omega* **2021**, *6* (47), 31477–31484. DOI:10.1021/acsomega.1c03414.
6. Gupta, V.; Mohapatra, S.; Mishra, H.; Farooq, U.; Kumar, K.; Ansari, M.; Aldawsari, M.; Alalaiwe, A.; Mirza, M.; Iqbal, Z. Nanotechnology in Cosmetics and Cosmeceuticals—A Review of Latest Advancements. *Gels* **2022**, *8* (3), 173. DOI:10.3390/gels8030173.
7. Soni, V.; Raizada, P.; Singh, P.; Cuong, H. N.; S, R.; Saini, A.; Saini, R. V.; Le, Q. Van; Nadda, A. K.; Le, T.-T.; Nguyen, V.-H. Sustainable and Green Trends in Using Plant Extracts for the Synthesis of Biogenic Metal Nanoparticles toward Environmental and Pharmaceutical Advances: A Review. *Environ. Res.* **2021**, *202*, 111622. DOI:10.1016/j.envres.2021.111622.
8. Saadh, M. J.; Muhammad, F. A.; Albadr, R. J.; Bishoyi, A. K.; Ballal, S.; Bareja, L.; Naidu, K. S.; Rizaev, J.; Taher, W. M.; Alwan, M.; Jawad, M. J.; Ali Al-Nuaimi, A. M. Nanoparticle Biosensors for Cardiovascular Disease Detection. *Clin. Chim. Acta* **2025**, *567*, 120094. DOI:10.1016/j.cca.2024.120094.
9. Joudeh, N.; Linke, D. Nanoparticle Classification, Physicochemical Properties, Characterization, and Applications: A Comprehensive Review for Biologists. *J. Nanobiotechnology* **2022**, *20* (1), 262. DOI:10.1186/s12951-022-01477-8.
10. Hong, W.; Guo, F.; Yu, N.; Ying, S.; Lou, B.; Wu, J.; Gao, Y.; Ji, X.; Wang, H.; Li, A.; Wang, G.; Yang, G. A Novel Folic Acid Receptor-Targeted Drug Delivery System Based on Curcumin-Loaded β -Cyclodextrin Nanoparticles for Cancer Treatment. *Drug Des. Devel. Ther.* **2021**, *Volume 15*, 2843–2855. DOI:10.2147/DDDT.S320119.
11. Feng, Y.; Song, K.; Zhang, W.; Zhou, X.; Yoo, S. J.; Kim, J.-G.; Qiao, S.; Qi, Y.; Zou, X.; Chen, Z.; Qin, T.; Yue, N.; Wang, Z.; Li, D.; Zheng, W. Efficient ORR Catalysts for Zinc-Air Battery: Biomass-Derived Ultra-Stable Co Nanoparticles Wrapped with Graphitic Layers via Optimizing Electron Transfer. *J. Energy Chem.* **2022**, *70*, 211–218. DOI:10.1016/j.jechem.2022.01.047.
12. Taghavi Fardood, S.; Moradnia, F.; Yekke Zare, F.; Heidarzadeh, S.; Azad Majedi, M.; Ramazani, A.; Sillanpää, M.; Nguyen, K. Green Synthesis and Characterization of α -Mn₂O₃ Nanoparticles for Antibacterial Activity and Efficient Visible-Light Photocatalysis. *Sci. Rep.* **2024**, *14* (1), 6755. DOI:10.1038/s41598-024-56666-2.
13. Hassan, S. S. M.; El-Aziz, M. E. A.; Fayez, A. E.-S.; Kamel, A. H.; Youssef, A. M. Synthesis and Characterization of Bio-Nanocomposite Based on Chitosan and CaCO₃ Nanoparticles for Heavy Metals Removal. *Int. J. Biol. Macromol.* **2024**, *255*, 128007. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2023.128007.
14. Singh, P.; Kim, Y.-J.; Zhang, D.; Yang, D.-C. Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. *Trends Biotechnol.* **2016**, *34* (7), 588–599. DOI:10.1016/j.tibtech.2016.02.006.

15. Jadoun, S.; Arif, R.; Jangid, N. K.; Meena, R. K. Green Synthesis of Nanoparticles Using Plant Extracts: A Review. *Environ. Chem. Lett.* **2021**, *19* (1), 355–374. DOI:10.1007/s10311-020-01074-x.
16. Bahrulolum, H.; Nooraei, S.; Javanshir, N.; Tarrahimofrad, H.; Mirbagheri, V. S.; Easton, A. J.; Ahmadian, G. Green Synthesis of Metal Nanoparticles Using Microorganisms and Their Application in the Agrifood Sector. *J. Nanobiotechnology* **2021**, *19* (1), 86. DOI:10.1186/s12951-021-00834-3.
17. Chugh, D.; Viswamalya, V. S.; Das, B. Green Synthesis of Silver Nanoparticles with Algae and the Importance of Capping Agents in the Process. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* **2021**, *19* (1), 126. DOI:10.1186/s43141-021-00228-w.
18. Can, A.; Kızılbey, K. Green Synthesis of ZnO Nanoparticles via Ganoderma Lucidum Extract: Structural and Functional Analysis in Polymer Composites. *Gels* **2024**, *10* (9), 576. DOI:10.3390/gels10090576.
19. Butarbutar, R. R. Pengaruh Aktivitas Wisatawan Terhadap Keanekaragaman Tumbuhan Di Sulawesi. *J. Indones. Tour. Dev. Stud.* **2013**, *1* (2), 87–96. DOI:10.21776/ub.jitode.2013.001.02.06.
20. 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. Green Biosynthesis of Nanoparticles Using Plant Extracts: Mechanisms, Advances, Challenges, and Applications. *Bionanoscience* **2025**, *15* (2), 267. DOI:10.1007/s12668-025-01883-w.
21. Ramakrishna, M.; Rajesh Babu, D.; Gengan, R. M.; Chandra, S.; Nageswara Rao, G. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Marine Algae and Evaluation of Their Catalytic Activity. *J. Nanostructure Chem.* **2016**, *6* (1), 1–13. DOI:10.1007/s40097-015-0173-y.
22. Gawade, V. V.; Gavade, N. L.; Shinde, H. M.; Babar, S. B.; Kadam, A. N.; Garadkar, K. M. Green Synthesis of ZnO Nanoparticles by Using Calotropis Procera Leaves for the Photodegradation of Methyl Orange. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* **2017**, *28* (18), 14033–14039. DOI:10.1007/s10854-017-7254-2.
23. Tailor, G.; Yadav, B. L.; Chaudhary, J.; Joshi, M.; Suvalka, C. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Ocimum Canum and Their Anti-Bacterial Activity. *Biochem. Biophys. Reports* **2020**, *24*, 100848. DOI:10.1016/j.bbrep.2020.100848.
24. Garibo, D.; Borbón-Núñez, H. A.; de León, J. N. D.; García Mendoza, E.; Estrada, I.; Toledano-Magaña, Y.; Tiznado, H.; Ovalle-Marroquin, M.; Soto-Ramos, A. G.; Blanco, A.; Rodríguez, J. A.; Romo, O. A.; Chávez-Almazán, L. A.; Susarrey-Arce, A. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Lysiloma Acapulcensis Exhibit High-Antimicrobial Activity. *Sci. Rep.* **2020**, *10* (1), 12805. DOI:10.1038/s41598-020-69606-7.
25. Balalakshmi, C.; Gopinath, K.; Govindarajan, M.; Lokesh, R.; Arumugam, A.; Alharbi, N. S.; Kadaikunnan, S.; Khaled, J. M.; Benelli, G. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using a Cheap *Sphaeranthus indicus* Extract: Impact on Plant Cells and the Aquatic Crustacean Artemia Nauplii. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* **2017**, *173*, 598–605. DOI:10.1016/j.jphotobiol.2017.06.040.
26. Gurubasavaraj, P. M. Effect of Concentration and PH on the Size of Silver Nanoparticles Synthesized by Green Chemistry. *Org. Med. Chem. Int. J.* **2017**, *3* (5). DOI:10.19080/OMCIJ.2017.03.555622.
27. Mamdooh, N. W.; Naeem, G. A. The Effect of Temperature on Green Synthesis of Silver Nanoparticles; 2022; p 020045. DOI:10.1063/5.0094029.
28. Wasly, H. S.; El-Sadek, M. S. A.; Henini, M. Influence of Reaction Time and Synthesis Temperature on the Physical Properties of ZnO Nanoparticles Synthesized by the Hydrothermal Method. *Appl. Phys. A* **2018**, *124* (1), 76. DOI:10.1007/s00339-017-1482-4.
29. Ibrahim, S. S. S.; Ansari, Y. N.; Puri, A. V.; Patil, V. V.; Gaikwad, S. S.; Haroon, R. A. Recent Progress in the Green Synthesis, Characterization, and Applications of Selenium Nanoparticles. *BIO Integr.* **2024**, *5* (1). DOI:10.15212/bioi-2024-0063.
30. ElMitwalli, O. S.; Barakat, O. A.; Daoud, R. M.; Akhtar, S.; Henari, F. Z. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Cinnamon Bark Extract, Characterization, and Fluorescence Activity in Au/Eosin Y Assemblies. *J. Nanoparticle Res.* **2020**, *22* (10), 309. DOI:10.1007/s11051-020-04983-8.

31. Goyal, D.; Saini, A.; Saini, G. S. S.; Kumar, R. Green Synthesis of Anisotropic Gold Nanoparticles Using Cinnamon with Superior Antibacterial Activity. *Mater. Res. Express* **2019**, 6 (7), 075043. DOI:10.1088/2053-1591/ab15a6.
32. Natrayan, L.; Karthick, M.; Krishna, C. B.; Velmurugan, G.; Chaithanya, M. S.; Maranan, R.; Mammo, W. D. Experimental Investigation of Photocatalytic Degradation and Antioxidant Activities of Biosynthesized Gold Nanoparticles from Royal Poinciana Tree Leaves. *Discov. Appl. Sci.* **2025**, 7 (8), 838. DOI:10.1007/s42452-025-07238-0.
33. Revathi, S.; Sutikno, S.; Hasan, A. F.; Altemimi, A. B.; ALKaisy, Q. H.; Phillips, A. J.; Hesarinejad, M. A.; Abdelmaksoud, T. G. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNP) Using *Acacia nilotica* Plant Extract and Their Anti-Bacterial Activity. *Food Chem. Adv.* **2024**, 4, 100680. DOI:10.1016/j.focha.2024.100680.
34. Rotimi, L.; Ojemaye, M. O.; Okoh, O. O.; Sadimenko, A.; Okoh, A. I. Synthesis, Characterization, Antimalarial, Antitrypanocidal and Antimicrobial Properties of Gold Nanoparticle. *Green Chem. Lett. Rev.* **2019**, 12 (1), 61–68. DOI:10.1080/17518253.2019.1569730.
35. Vandarkuzhali, S. A. A.; Karthikeyan, G.; Pachamuthu, M. P. Microwave Assisted Biosynthesis of Borassus Flabellifer Fruit Mediated Silver and Gold Nanoparticles for Dye Reduction, Antibacterial and Anticancer Activity. *J. Environ. Chem. Eng.* **2021**, 9 (6), 106411. DOI:10.1016/j.jece.2021.106411.
36. Antasionasti, I.; Jayanto, I.; Abdullah, S. S.; Siampa, J. P. Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Kayu Manis (*Cinnamomum burmanii*) Dengan Kitosan Sodium Tripolifosfat Sebagai Kandidat Antioksidan. *Chem. Prog.* **2020**, 13 (2). DOI:10.35799/cp.13.2.2020.31392.
37. Kamarudin, N. S.; Jusoh, R.; Setiabudi, H. D.; Jusoh, N. W. C.; Jaafar, N. F.; Sukor, N. F. Cymbopogon Nardus Mediated Synthesis of Ag Nanoparticles for the Photocatalytic Degradation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid. *Bull. Chem. React. Eng. Catal.* **2019**, 14 (1), 173–181. DOI:10.9767/bcrec.14.1.3321.173-181.
38. N. Ariani; Y.A. Devy; Aspiyanto; Andreas; A. Darmawan; Juliansyah; M. Azzumar; Habibie, M. H.; N. Hamim; O. Zuas; T. Sudiro; Hardono; G. Soehadi. Antimicrobial Potential of Gold Nanoparticles Biosynthesized Using Water Extract Of *Diospyros celebica* Seeds: Synthesis and Characterization. *RASAYAN J. Chem.* **2025**, 18 (01), 593–599. DOI:10.31788/RJC.2025.1819156.
39. Saha, P.; Mahiuddin, M.; Islam, A. B. M. N.; Ochiai, B. Biogenic Synthesis and Catalytic Efficacy of Silver Nanoparticles Based on Peel Extracts of Citrus Macroptera Fruit. *ACS Omega* **2021**, 6 (28), 18260–18268. DOI:10.1021/acsomega.1c02149.
40. Putri, G. E.; Labanni, A.; Arief, S.; Dafriani, P.; Darma, I. Y.; Handayani, S.; Widyastuti; Jaffar, N.; Mahmud, M.; Ritonga, A. H. Green Synthesis of Cerium Oxide Nanoparticles Using Citrus Nobilis Lour. Peel Extract and Evaluation of Their Potential as Antibacterial and Antioxidant Agents. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* **2025**, 11, 101062. DOI:10.1016/j.csee.2024.101062.
41. Shukla, M.; Narain, S.; Kumar, A.; Dikshit, A. Characterization of Titanium Dioxide Nanomaterials Synthesized from Leaf Extract of Pogostemon Cablin Benth and Their Potential Antifungal Activity. *Phys. Scr.* **2024**, 99 (6), 0659d3. DOI:10.1088/1402-4896/ad4dea.
42. Chheda, T. J.; Govindasamy, R.; Selvam, S. P.; Viswanathan, D. Green Synthesis of Europium Oxide Nanoparticles via *Vitex trifolia*: Biomedical Applications in Infection Control and Cancer Therapy. *Pharmacol. Res. - Mod. Chinese Med.* **2025**, 16, 100652. DOI:10.1016/j.prmcm.2025.100652.
43. Sarala, E.; Vinuth, M.; Naik, M. M.; Reddy, Y. V. R. Green Synthesis of Nickel Ferrite Nanoparticles Using Terminalia Catappa: Structural, Magnetic and Anticancer Studies against MCF-7 Cell Lines. *J. Hazard. Mater. Adv.* **2022**, 8, 100150. DOI:10.1016/j.hazadv.2022.100150.
44. Le, T. P.; Nguyen, N. H.; Le, V. K.; Pham, P.-Q.; Duong, T. B. N.; Le, Q. N. N.; Nguyen, T. C. T.; Ung, T. D. T.; Pham, A. T. T.; Nguyen, L. H. T.; Mai, N. X. D.; Nguyen, L. T. M.; Pham, N. K. Enhancement of Antibacterial Activities of Green Synthesized-CuO/ZnO Nanocomposites Using *Boehmeria nivea* Leaf Extract. *Biointerphases* **2024**, 19 (6). DOI:10.1116/6.0003858.

45. Velincia Tanriono, L.; Hayati, F.; Zubair, M. S. Begonia Medicinalis: A Review of Phytochemistry and Pharmacology. *J. Ilm. Farm.* **2024**, *20* (1), 31–42. DOI:10.20885/jif.vol20.iss1.art3.
46. Shriram, V.; Kumar, V. Eulophia Spp.: In Vitro Generation, Chemical Constituents, and Pharmacological Activities; 2021; pp 1–23. DOI:10.1007/978-3-030-11257-8_31-1.
47. Dawande, V. R.; Gurav, R. V. Qualitative Analysis of Phytochemical in Eulophia Nuda Using LCMS. ~ 136 ~ *J. Med. Plants Stud.* **2021**, *9* (3), 136–140.
48. Victor, I.; Orsat, V. Characterization of *Arenga pinnata* (Palm) Sugar. *Sugar Tech* **2018**, *20* (1), 105–109. DOI:10.1007/s12355-017-0537-3.
49. Gavhane, K. D.; Kharat, M. G.; Gawali, N. B.; Anwane, H.; Mhaske, S. International Journal of Research Publication and Reviews Green Synthesis of Nanoparticles: A Sustainable Approach to Nanotechnology. **2025**, *6* (5), 18616–18631.
50. Abbasi, R.; Shineh, G.; Mobaraki, M.; Doughty, S.; Tayebi, L. Structural Parameters of Nanoparticles Affecting Their Toxicity for Biomedical Applications: A Review. *J. Nanoparticle Res.* **2023**, *25* (3), 43. DOI:10.1007/s11051-023-05690-w.
51. Subhani, A. A.; Irshad, M.; Ali, S.; Jawad, M.; Akhtar, M. F.; Summer, M. UV-Spectrophotometric Optimization of Temperature, PH, Concentration and Time for Eucalyptus Globulus Capped Silver Nanoparticles Synthesis, Their Characterization and Evaluation of Biological Applications. *J. Fluoresc.* **2024**, *34* (2), 655–666. DOI:10.1007/s10895-023-03260-w.
52. Sreelatha, K.; AnandaKumar, C. S.; Saraswathi, M.; Anusha, P.; Rose, N. M.; Bhargava, D. A Comprehensive Review of Nanoparticle Characterization Techniques. *Int. J. Res. Rev.* **2025**, *12* (1), 194–200. DOI:10.52403/ijrr.20250124.
53. Ratti, R. Industrial Applications of Green Chemistry: Status, Challenges and Prospects. *SN Appl. Sci.* **2020**, *2* (2), 263. DOI:10.1007/s42452-020-2019-6.