

## ARTIKEL PENELITIAN

**Review Article: Karakteristik Terbaik Nanopartikel Emas Hasil *Green Synthesis* Menggunakan Ekstrak Tumbuhan sebagai Bioreduktor**Sepiyani Ayu Lestari,<sup>1</sup> Yumareta Anggun Nihan,<sup>1</sup> Welly Windari,<sup>1</sup> Isyana Salsabila<sup>1</sup><sup>1</sup>Program Studi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia**Abstrak**

Pendekatan nanopartikel dengan menggunakan prinsip *Green synthesis* semakin diminati dan menjadi alternatif dari metode kimia dan fisika karena menggunakan bahan alami yang aman, ramah lingkungan, bebas polusi, tidak toksik, hemat biaya, dan lebih berkelanjutan. Selain itu, nanopartikel yang diproduksi menggunakan metode *green chemistry* relatif lebih aman dan stabil apabila dibanding dengan nanopartikel yang diproduksi dengan menggunakan metode konvensional. Bahan utama yang digunakan sebagai zat pereduksi dan penstabil dalam proses sintesis nanopartikel emas adalah ekstrak dari berbagai seperti alga dan beberapa mikroorganisme (bakteri, jamur, dan ragi). Penelitian ini bertujuan membandingkan karakteristik terbaik nanopartikel emas menggunakan metode *green synthesis* dengan berbagai ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor. Penelitian ini menggunakan metode kepustakaan *literature review* dengan mengumpulkan beberapa hasil penelitian, yaitu berupa artikel yang kredibel serta lengkap yang digunakan dalam penelusuran literatur seperti *Google Scholar* dan *ScienceDirect* dengan kata kunci Karakterisasi Nanopartikel Emas, Nanopartikel Emas, *Green Synthesis*, dan Ekstrak Tumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil pada sintesis nanopartikel emas telah berhasil dilakukan dengan ditunjukkan karakteristik yang baik dan memenuhi standar dari hasil nanopartikel emas karena ada komponen fitokimia yang terkandung di dalam ekstrak tumbuhan, salah satunya adalah gugus hidroksil (-OH) yang berasal dari senyawa fenolik.

**Kata kunci:** Ekstrak tumbuhan; *green synthesis*; karakterisasi nanopartikel emas; nanopartikel emas**The Best Characteristics of Gold Nanoparticles Resulting from Green Synthesis Using Plant Extracts as Bioreductants****Abstract**

The approach of nanoparticles using the principles of Green synthesis is increasingly in demand. It is an alternative to chemical and physical methods because it uses natural materials that are safe, environmentally friendly, pollution-free, non-toxic, cost-effective, and more sustainable. In addition, nanoparticles produced using green chemistry methods are relatively safer and more stable than nanoparticles produced using conventional methods. The primary materials used as reducing agents and stabilizers in the synthesis process of gold nanoparticles are extracts from various plants, such as algae and some microorganisms (bacteria, fungi, and yeast). This study aims to compare the best characteristics of gold nanoparticles using the green synthesis method with various plant extracts as bioreductants. This research uses the literature review method by collecting several research results, namely in the form of credible and complete articles used in literature searches such as Google Scholar and ScienceDirect with keywords Characterization of Gold Nanoparticles, Gold Nanoparticles, Green Synthesis, and Plant Extracts. The results showed that the use of plant extracts as reducing agents as well as stabilizers in the synthesis of gold nanoparticles had been successfully carried out with good characteristics and meeting the standards of gold nanoparticle results due to the phytochemical components contained in plant extracts, one of which is the hydroxyl group (-OH) derived from phenolic compounds.

**Keywords:** Characterization of gold nanoparticles; gold nanoparticles; green synthesis; plant extracts

Received: 19 May 2024; Revised: 16 Jun 2024; Accepted: 18 Jun 2024; Published: 31 Jul 2024

**Korespondensi:** Sepiyani Ayu Lestari, Program Studi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl HS.Ronggo Waluyo, Kab. Karawang 41363, Provinsi Jawa Barat. *E-mail:* 2010631210009@student.unsika.ac.id unsika.ac.id

## Pendahuluan

Nanopartikel telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dan dapat diklasifikasikan berdasarkan cara sintesisnya, ukuran, morfologi, sifat fisikokimia, serta penerapannya. Nanopartikel didefinisikan sebagai partikel kecil dengan ukuran berkisar antara 1 sampai dengan 100 nm.<sup>1</sup> Nanopartikel yang terbuat dari logam mulia seperti emas (NPAu), telah menarik perhatian besar belakangan ini karena sifat fisiko-kimia yang sangat unik, seperti biokompatibilitas, sifat inert, stabilitas, fenomena permukaan resonansi plasmon (SPR), dan toksisitas yang rendah. Selain itu, nanopartikel emas menunjukkan kemampuannya dalam menembus sel sehingga dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti di bidang biomedis sebagai zat antimikrob, katalis, sistem penghantaran obat, biosensor, bahan kosmetik, dan berbagai aplikasi lainnya.<sup>2,3</sup>

Pengaplikasiannya yang luas memengaruhi kebutuhan metode sintesis yang tepat. Metode konvensional seperti metode fisika dan kimia memerlukan bahan kimia yang toksik dan penggunaan energi yang tinggi sehingga dianggap tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, untuk mengatasi keterbatasan yang ditimbulkan dari kedua metode konvensional tersebut diperlukan pendekatan NPAu dengan metodologi yang ramah lingkungan atau biosintetik.<sup>4</sup> Pendekatan nanopartikel dengan menggunakan prinsip *Green synthesis* semakin diminati dan menjadi alternatif metode kimia dan fisika karena menggunakan bahan alami yang aman, ramah lingkungan, bebas polusi, tidak toksik, hemat biaya, dan lebih berkelanjutan. Selain itu, nanopartikel yang diproduksi menggunakan metode *green chemistry* relatif lebih aman dan stabil apabila dibanding dengan nanopartikel yang diproduksi dengan menggunakan metode lain.<sup>5-8</sup> Bahan utama yang digunakan sebagai zat pereduksi dan penstabil dalam proses sintesis nanopartikel emas adalah ekstrak berbagai tumbuhan seperti alga dan beberapa mikroorganisme (bakteri, jamur, dan ragi).<sup>9,10</sup>

Tumbuhan telah dikenal sebagai penghasil senyawa kimia alami yang hemat biaya dan memiliki potensi besar dalam detoksifikasi logam berat dan bahan beracun.<sup>11,12</sup> Karena kandungan fitokimia yang terkandung dalam ekstrak tanaman berfungsi sebagai pereduksi dan zat penstabil dalam proses sintesis nanopartikel, beberapa bagian tumbuhan seperti, akar, batang, buah, bunga, dan daun yang telah banyak dimanfaatkan dalam sintesis NPAu.<sup>3</sup> Akan tetapi, nanopartikel yang disintesis dengan prinsip *green synthesis* menggunakan ekstrak tumbuhan memiliki kekurangan pada ukuran, bentuk, dan keseragaman logam dalam mengendalikan nanopartikel yang diproduksi karena kandungan fitokimia dalam ekstrak tumbuhan itu beragam. Diperlukan pengetahuan mengenai senyawa fitokimia yang bertanggungjawab

dalam proses biosintesis, termasuk pengetahuan mengenai struktur senyawa fitokimia yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil.<sup>13,14</sup> Ekstrak tumbuhan banyak mengandung senyawa fitokimia dalam biosintesis NPAu, seperti polifenol, asam fenolik, flavonoid, lignan, tanin, gula pereduksi, polisakarida, glikosida, alkaloid, saponin triterpenoid, protein, steroid, triterpenoid, asam lemak, dan asam organik. Pemanfaatan ekstrak tanaman dalam menyintesis NPAu menunjukkan bahwa golongan polifenol dari flavonoid dapat mereduksi ion emas dan menstabilkannya.<sup>3</sup>

Nanopartikel emas yang telah disintesis dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan perlu dilakukan karakterisasi nanopartikel untuk mengonfirmasi apakah suatu partikel telah berhasil disintesis atau tidak. Selain itu, untuk mengetahui karakteristik lain yang khas pada nanopartikel emas seperti distribusi ukuran partikel, diameter, bentuk partikel, kelarutan, porositas, dimensi fraktal, struktur kristal, gugus fungsi, kestabilan, komposisi logam dalam partikel, dan sebagainya. Teknik karakterisasi nanopartikel secara luas diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu karakterisasi berbasis teknik spektroskopi dengan menunjukkan komposisi kimia dan fisikokimia sifat-sifat seperti ukuran, kristalinitas, warna, perilaku agregasi, dan polidispersi pada nanopartikel emas, serta teknik karakterisasi berbasis mikroskop yang memberikan informasi mengenai ukuran dan morfologi nanopartikel.<sup>4</sup> Karakterisasi berbasis teknik spektroskopi dapat dipergunakan pada beberapa alat analisis, seperti spektroskopi UV-Vis untuk mengonfirmasi pembentukan awal pada nanopartikel, *X-ray diffraction* (XRD) untuk menilai sifat kristal pada nanopartikel, dan analisis menggunakan instrumen *dynamic light scattering* (DLS) untuk menganalisis ukuran partikel dan polidispersitas nanopartikel. Karakterisasi berbasis mikroskop dapat dipergunakan pada beberapa alat analisis, seperti *transmission electron microscopy* (TEM) untuk analisis morfologi dua dimensi material nano pada nanopartikel; *scanning electron microscopy* (SEM) untuk analisis morfologi permukaan, ukuran dan bentuk, tekstur, dan struktur kristal; *field emission-scanning electron microscopy* (FE-SEM) untuk mengonfirmasi ulang hasil dari SEM untuk mengetahui ukuran dan morfologi pada nanopartikel; dan *atomic force microscopy* (AFM) untuk menangkap gambar material nano dengan resolusi tinggi dan berkualitas baik, permukaan, morfologi, dan tekstur pada nanopartikel.<sup>4</sup>

Ulasan artikel ilmiah ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai karakteristik nanopartikel emas terbaik yang diperoleh dari ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor. Hal ini didasarkan pada penggunaan metode dalam menyintesis nanopartikel emas dari berbagai bahan yang dapat mencemari lingkungan dan penggunaan energi yang tinggi.

Terdapat 5 jenis tumbuhan yang akan difokuskan dalam pembahasan ulasan pada artikel ilmiah ini, yaitu *Lantana camara*, *Garcinia mangostana*, *Citrullus colocynthis*, *Citrullus colocynthis*, dan *Strobilanthes crispata*. Tumbuhan tersebut yang dipilih secara acak menjadi bioreduktor dalam proses sintesis nanopartikel emas dengan prinsip *green synthesis*.

## Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *literature review* dengan mengumpulkan beberapa hasil penelitian, yaitu berupa artikel yang kredibel serta lengkap. Setelah artikel yang akan dijadikan sumber terkumpul, dilakukan pengkajian ulang sumber artikel yang telah diterbitkan untuk mendapatkan analisis baru dan valid. Proses pencarian sumber artikel didapatkan dengan cara menelusuri artikel ilmiah dan jurnal penelitian melalui *repository electronic* pada berbagai jurnal nasional maupun internasional, seperti *Google Scholar* dan *ScienceDirect*. Kata kunci yang dipergunakan dalam pencarian menggunakan beberapa kata kunci yang terdiri dari karakteristik nanopartikel emas, nanopartikel emas, *green synthesis*, dan ekstrak tumbuhan. Adapun kriteria inklusi yang digunakan pada penelitian ini yaitu artikel

ilmiah maupun jurnal penelitian yang membahas mengenai karakteristik terbaik pada nanopartikel emas hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak tanaman; artikel yang diterbitkan dalam rentang waktu 2014 sampai dengan 2024 (10 tahun); artikel penelitian asli; artikel penelitian *full text*. SKriteria eksklusi artikel yang tidak sesuai dengan kriteria (tidak membahas tentang hasil sintesis NPAu beserta karakteristiknya) dan artikel yang tidak lengkap. Berdasarkan hasil skrining artikel yang sesuai dengan kriteria inklusi maupun eksklusi, telah tersaring artikel ilmiah, kemudian dijadikan sebagai sumber utama sebanyak 5 artikel karena memenuhi kriteria serta sebanyak 18 artikel sebagai sumber data tambahan yang dipublikasi pada tahun 2014 hingga tahun 2024.

## Hasil

Jurnal yang telah berhasil diulas dari tahun 2014–2024 dengan kriteria artikel yang terbit di jurnal nasional serta internasional ditemukan sebanyak 23 jurnal dan sebanyak 5 artikel ilmiah dijadikan sebagai acuan utama pada *literature review* karena telah memuat data-data lengkap sesuai dengan bahasan yang akan disajikan dan diulas secara ringkas yang tertera pada Tabel 1.

**Tabel 1** Karakteristik Nanopartikel Emas menggunakan Berbagai Ekstrak Tumbuhan

Referensi	Tumbuhan	Bagian Tumbuhan	Hasil Karakterisasi
Dash dkk., (2015)	<i>Lantana camara</i>	Daun	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spektro UV-Vis: menunjukkan puncak maksimum pada 540–565 nm. Pada konsentrasi rendah (100 dan 200 mg L<sup>-1</sup>) menunjukkan serapan puncak maksimum pada 540 dan 536 nm.</li> <li><i>High-resolution transmission electron microscopy</i> (HRTEM): menunjukkan sebagian besar bentuk NPAu berbentuk bulat (<i>spherical</i>) dengan ukuran rerata 6–7 nm. Elektron area yang dipilih pola difraksi (SAED) menunjukkan bahwa nanopartikel bersifat kristal dan stabil sehingga tidak terjadi agregasi.</li> <li><i>Dynamic light scattering</i> (DLS) dan <i>zeta potential</i>: menunjukkan permukaan muatan (potensi Zeta) dari NPAu yang disintesis pada 100 dan 200 mg L<sup>-1</sup> konsentrasi ekstrak daun tersebut sebesar -27,8 dan -37,4 mV.</li> <li><i>X-ray diffraction</i> (XRD): menunjukkan lima puncak difraksi yang berbeda sekitar <math>2\theta = 38,3^\circ; 44,5^\circ; 64,8^\circ; 77,8^\circ; \text{ dan } 81,6^\circ</math> menunjukkan dominan orientasi bidang (111) pada <math>38,3^\circ</math>.</li> <li><i>Fourier transform infrared spectroscopy analysis</i> (FTIR): spektrum FTIR menunjukkan kehadiran gugus alifatik -CH-, gugus -C=O, ikatan C=C, ikatan C-N, gugus -OH/ N-H yang menunjukkan interaksi gugus karbonil dengan NPAu.</li> </ul>
Lee dkk., (2015)	<i>Garcinia mangostana</i>	Kulit Buah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spektro UV-Vis: menunjukkan puncak maksimum pada 546 nm.</li> <li><i>X-ray diffraction</i> (XRD): menunjukkan struktur kristal dengan memperoleh empat puncak difraksi yang berbeda sekitar <math>2\theta = 38,47^\circ; 44,84^\circ; 66,05^\circ; \text{ dan } 78,00^\circ</math>.</li> <li><i>Transmission electron microscopy</i> (TEM) dan <i>field emission scanning electron microscopy</i> (FESEM): menunjukkan tidak terjadi agregasi pada NPAu. Rerata ukuran partikel sebesar <math>32,96 \pm 5,25</math> nm dengan bentuk ukuran sebagian besar bulat (<i>spherical</i>) dan beberapa berbentuk segi enam (<i>hexagonal</i>) dan segitiga (<i>triangular</i>).</li> <li><i>Zeta potential</i>: menunjukkan nilai potensial zeta sebesar -20,82 mV, NPAu yang terbentuk menunjukkan stabilitas yang dapat diterima.</li> <li><i>Fourier transform infrared spectroscopy analysis</i> (FTIR): spektrum FTIR mengonfirmasi keberadaan komponen kimia yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion emas, di antaranya adalah adanya fenol, flavonoid, benzofenon, antosianin, xanton, dan aromatik.</li> </ul>
Mubeen dkk., (2022)	<i>Citrullus colocynthis</i>	Biji	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spektro UV-Vis: menunjukkan puncak maksimum pada 539,5 nm</li> <li><i>X-ray diffraction</i> (XRD): menunjukkan struktur kristal dengan memperoleh empat puncak difraksi yang berbeda sekitar <math>2\theta = 38^\circ, 44^\circ, 64^\circ, \text{ dan } 77^\circ</math>.</li> <li><i>Scanning electron microscope</i> (SEM): menunjukkan bentuk morfologi partikel yang bulat (<i>spherical</i>), dengan rata-rata ukuran NPAu sekitar 12 nm dengan distribusi ukuran berkisar antara 7 nm hingga 33 nm.</li> <li><i>Fourier transform infrared spectroscopy analysis</i> (FTIR): spektrum FTIR mengonfirmasi keberadaan komponen kimia, di antaranya alkohol, fenol, alkena, alkil halida, asam amino, asam karboksilat, aromatik, dan amina.</li> </ul>

Patil dkk., (2017)	<i>Sasa borealis</i>	Daun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektro UV-Vis: menunjukkan puncak maksimum pada 542 nm.</li> <li>• <i>Transmission electron microscopy</i> (TEM) dan <i>field emission scanning electron microscopy</i> (FESEM): menunjukkan sebagian besar pada NPAu berbentuk bulat, oval dengan ukuran sekitar 10–30 nm. Distribusi nanopartikel relatif monodispersi.</li> <li>• <i>X-ray diffraction</i> (XRD): menunjukkan struktur kristal dengan memperoleh empat puncak difraksi yang berbeda sekitar <math>2\theta = 38,14^\circ; 44,31^\circ; 64,71^\circ; \text{ dan } 77,70^\circ</math>.</li> <li>• <i>Fourier transform infrared spectroscopy analysis</i> (FTIR): spektrum FTIR mengkonfirmasi keberadaan komponen kimia, di antaranya adalah alkohol, fenol, amina, amina alifatik, aromatik, gugus hidroksil.</li> </ul>
Samsulkahar dkk., (2023)	<i>Strobilanthes crispata</i>	Daun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektro UV-Vis: menunjukkan puncak maksimum pada 529 nm.</li> <li>• <i>Fourier transform infrared spectroscopy analysis</i> (FTIR): spektrum FTIR mengkonfirmasi keberadaan ikatan O–H, C–H, C=O, dan C–O.</li> <li>• <i>High-resolution transmission electron microscopy</i> (HRTEM): menunjukkan sebagian besar morfologi pada NPAu berbentuk bulat, serta beberapa berbentuk segitiga dan oval. Rerata ukuran diameter partikel sebesar 25 nm.</li> <li>• <i>X-ray diffraction</i> (XRD): menunjukkan lima puncak difraksi yang berbeda sekitar <math>2\theta = 38,11^\circ; 44,09^\circ; 64,65^\circ; 77,68^\circ; \text{ dan } 81,52^\circ</math>. Ukuran kristal NPAu sebesar 9,3 nm.</li> </ul>

## Pembahasan

Pendekatan menggunakan metode *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan semakin diminati karena merupakan metode yang ramah lingkungan, alternatif dalam efisiensi biaya, efisiensi waktu, mengurangi konsumsi energi yang tinggi, dan kemudahan dalam prosesnya. Penggunaan ekstrak tumbuhan dalam mereduksi ion emas pun dipercaya menunjukkan proses yang lebih cepat apabila dibanding dengan menggunakan bakteri atau jamur. Ekstrak tumbuhan yang digunakan dapat diperoleh dari berbagai bagian tanaman seperti daun, kulit kayu, batang, pucuk, biji, akar, ranting, kulit, buah, bibit, lateks, metabolit sekunder, minyak atsiri, dan jaringan. Fitokimia yang terkandung pada setiap bagian tanaman dimanfaatkan sebagai zat pereduksi dan penstabil dalam proses sintesis secara ekstraseluler pada nanopartikel, sebagai pengganti bahan kimia yang berbahaya.<sup>15,16</sup> Berdasarkan data-data dari tabel hasil *literature review* di atas menunjukkan nanopartikel emas yang disintesis dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan sebagai agen untuk mereduksi ion  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  serta sebagai agen penstabil nanopartikel telah berhasil dilakukan dengan menunjukkan karakteristik yang memenuhi standar dan dikatakan memperoleh karakteristik baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Dash dkk. dengan judul "*Lantana camara* Linn Leaf Extract Mediated Green Synthesis of Gold Nanoparticles and Study of its Catalytic Activity" bahwa karakteristik nanopartikel emas yang diperoleh hasil sintesis dengan menggunakan metode *green synthesis* memanfaatkan ekstrak daun *L. camara* menunjukkan karakteristik nanopartikel emas yang memenuhi standar (baik). Partikel berukuran 6–7 nm dengan sebagian besar berbentuk bulat yang ditunjukkan melalui analisis dengan menggunakan *high-resolution transmission electron microscopy* (HRTEM); kemudian menunjukkan serapan absorbansi pada panjang gelombang 540–565 nm, ukuran diameternya sekitar 100 nm, memiliki kestabilan yang baik, menunjukkan material kristal, menunjukkan beberapa komponen

kimia yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  seperti gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ), yang berasal dari senyawa fenolik.<sup>17</sup> Penggunaan *green synthesis* sebagai metode dalam mereduksi ion  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  karena keunggulannya yang sangat sederhana, hemat biaya, dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan karena penggunaan bahan yang tidak toksik. Selain itu, penggunaan ekstrak tanaman sebagai bioreduktor yang mengandung berbagai macam fitokimia di dalamnya sehingga sangat efisien dalam mereduksi ion  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  dan sekaligus menjadi penstabil pada nanopartikel emas yang disintesis.<sup>17</sup>

Studi yang dilakukan oleh Lee dkk., (2015), berjudul "*Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Aqueous Extract of Garcinia mangostana Fruit Peels*" bahwa karakteristik nanopartikel emas yang diperoleh hasil sintesis dengan menggunakan metode *green synthesis* memanfaatkan ekstrak kulit buah *G. mangostana* menunjukkan karakteristik nanopartikel emas yang memenuhi standar atau dapat dikatakan dikatakan baik. Hal ini menunjukkan serapan absorbansi pada panjang gelombang 546 nm, rerata ukuran partikelnya sebesar 32,96 nm dengan bentuk sebagian besar bulat dan beberapa berbentuk segi enam dan segitiga, menunjukkan struktur kristal, tidak terjadi agregasi pada NPAu karena memperoleh nilai potensial zeta yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan terdapat komponen kimia yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion emas, salah satunya senyawa fenolik. Studi ini melaporkan penggunaan metode yang ramah lingkungan dengan menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor. Ekstrak tumbuhan yang digunakan memiliki sifat pereduksi dan zat penstabil karena ada komponen kimia yang dimiliki ekstrak *G. mangostana*. Penggunaan kulit buah yang dimanfaatkan dalam proses sintesis karena biaya yang rendah, efisien dan aman. Selain itu, nanopartikel yang dihasilkan memiliki potensi yang dapat diaplikasikan dalam bidang biomedis karena sifatnya yang tidak toksik.<sup>18</sup>

Penelitian yang dilakukan oleh Mubeen dkk. berjudul "*Phytochemicals Mediated Synthesis*

of AuNPs from *Citrullus colocynthis* and Their Characterization” menunjukkan bahwa karakteristik nanopartikel emas yang diperoleh hasil sintesis menggunakan metode *green synthesis* memanfaatkan ekstrak biji *C. colocynthis*. Hal ini menunjukkan karakteristik nanopartikel emas yang memenuhi standar atau dapat dikatakan baik menunjukkan serapan absorbansi pada panjang gelombang 539,5 nm maka nanopartikel yang diperoleh dikatakan stabil karena menunjukkan puncak serapan antara 500 hingga 600 nm yang mengonfirmasi keberadaan NPAu yang stabil.<sup>19,20</sup> Rerata ukuran partikel yang dihasilkan sebesar 12 nm dengan distribusi ukuran partikel berkisar antara 7 hingga 33 nm. Hal ini menunjukkan bentuk morfologi yang bulat, struktur kristal, dan komponen kimia yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion emas dan zat penstabil nanopartikel emas, salah satunya senyawa fenolik. Proses sintesis yang dilakukan menggunakan *C. colocynthis* dengan skala besar karena keunggulannya yang mengefisienkan biaya dan biokompatibel dalam beberapa kegunaan biologis seperti pupuk nano, aplikasi biohebrisida, biomedis, dan aplikasi di bidang farmasi.<sup>21</sup>

Studi yang dilakukan oleh Patil dkk., dengan judul “*Anticancer Activity of Sasa borealis Leaf Extract Mediated Gold Nanoparticles*” bahwa karakteristik nanopartikel emas yang diperoleh hasil sintesis dengan menggunakan metode *green synthesis* memanfaatkan ekstrak daun *S. borealis* menunjukkan karakteristik nanopartikel emas yang memenuhi standar atau dapat dikatakan baik. Keadaan ini menunjukkan serapan absorbansi pada panjang gelombang 542 nm dengan ukuran sekitar 10–30 nm sebagian besar berbentuk bulat dan oval. Distribusi nanopartikel relatif monodispersi menunjukkan struktur kristal yang dikonfirmasi dengan analisis *energy dispersive x-ray spectroscopy* (EDX) dan XRD, serta ada komponen kimia yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion emas, salah satunya adalah gugus hidroksil (–OH) yang berasal dari senyawa fenolik. Secara keseluruhan proses sintesis nanopartikel emas yang dilakukan oleh Patil dkk. mempergunakan *S. borealis* menunjukkan beberapa keunggulan di antaranya proses yang mudah, efisiensi waktu, hemat biaya, ramah lingkungan, dan potensi sebagai antikanker.<sup>22</sup>

Penelitian yang dilakukan oleh Samsul Kahar dkk. judul “*Biosynthesis of Gold Nanoparticles Using Strobilanthes crispus Aqueous Leaves Extract and Evaluation of Its Antibacterial Activity*” bahwa karakteristik nanopartikel emas yang diperoleh hasil sintesis dengan menggunakan metode *green synthesis* memanfaatkan ekstrak daun *S. crispus*. Hal ini menunjukkan karakteristik nanopartikel emas yang memenuhi standar atau dapat dikatakan baik menunjukkan serapan absorbansi pada panjang gelombang 529 nm, rerata ukuran diameter partikel sebesar 25 nm dengan sebagian besar morfologi berbentuk bulat, beberapa berbentuk segitiga dan

oval yang dikonfirmasi mempergunakan analisis *high-resolution transmission electron microscopy* (HRTEM). Terdapat struktur kristal dengan ukuran sebesar 9,3 nm yang dikonfirmasi menggunakan analisis *X-ray diffraction* (XRD) dan komponen kimia yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion emas dan zat penstabil nanopartikel emas, salah satunya adalah gugus hidroksil (–OH) yang berasal dari senyawa polifenol. Secara keseluruhan proses sintesis nanopartikel emas yang dilakukan menggunakan *S. crispus* menunjukkan beberapa keunggulan di antaranya proses yang sederhana, hemat biaya, ramah lingkungan, dan potensi sebagai antibakteri terhadap bakteri *E. coli* dengan zona hambat sebesar 1,8 cm. Mekanisme yang terjadi didasarkan pada pengikatan destruktif pada protein membran sel sehingga mengganggu sel homeostasis dan akhirnya menyebabkan kematian sel bakteri, karena nanopartikel emas yang disintesis menggunakan *S. crispus* menunjukkan ukuran nano sebesar 25 nm.<sup>23</sup>

## Simpulan

Keberhasilan dalam proses sintesis nanopartikel emas menggunakan metode *green synthesis* memanfaatkan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil. Fitokimia yang terkandung di dalam ekstrak tumbuhan yang bertanggung jawab dalam proses reduksi ion Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup> salah satunya gugus hidroksil (–OH) yang berasal dari senyawa fenolik. Faktor penting yang dapat memengaruhi jenis nanopartikel emas yang disintesis ialah sifat dan sumber ekstrak tumbuhan yang digunakan, selain itu juga dapat memengaruhi morfologi nanopartikel yang disintesis. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dapat menyajikan data karakteristik nanopartikel emas hasil sintesis dari berbagai metode untuk mengetahui perbandingan karakteristik terbaik tiap-tiap metode yang digunakan.

## Konflik Kepentingan

Penelitian ini tidak mengandung konflik kepentingan dalam hal apapun.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian *literature review* ini.

## Daftar Pustaka

1. Hammami I, Alabdallah NM, Jomaa AAl, Kamoun M. Gold nanoparticles: synthesis properties and applications. *J King Saud Univ Sci.* 2021;33(7):101560.
2. Singh J, Dutta T, Kim KH, Rawat M, Samddar

- P, Kumar P. 'Green' synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation. *J Nanobiotechnol.* 2018;16(1):84.
3. Zuhrotun A, Oktaviani DJ, Hasanah AN. Biosynthesis of gold and silver nanoparticles using phytochemical compounds. *Molecules.* 2023;28(7):3240.
  4. Kshtriya V, Koshti B, Gour N. Green synthesized nanoparticles: classification, synthesis, characterization, and applications. *Comprehensive Analytical Chemistry.* 2021;94:173–222.
  5. Bhardwaj B, Singh P, Kumar A, Kumar S, Budhwar V. Eco-friendly greener synthesis of nanoparticles. *Adv Pharm Bull.* 2020;10(4):566–76.
  6. Patra JK, Baek KH. Green nanobiotechnology: factors affecting synthesis and characterization techniques. *J Nanomater.* 2014;2014:1–12.
  7. Singh P, Pandit S, Mokkapatil VRSS, Garg A, Ravikumar V, Mijakovic I. Gold nanoparticles in diagnostics and therapeutics for human cancer. *Int J Mol Sci.* 2018;19(7):1979.
  8. Qiao J, Qi L. Recent progress in plant-gold nanoparticles fabrication methods and bio-applications. *Talanta.* 2021;223:121396.
  9. Rahimzadeh CY, Barzinjy AA, Mohammed AS, Hamad SM. Green synthesis of SiO<sub>2</sub> nanoparticles from *Rhus coriaria* L. extract: comparison with chemically synthesized SiO<sub>2</sub> nanoparticles. *PLoS One.* 2022;17(8):e0268184.
  10. Teimouri M, Khosravi-Nejad F, Attar F, Saboury AA, Kostova I, Benelli G, dkk. Gold nanoparticles fabrication by plant extracts: synthesis, characterization, degradation of 4-nitrophenol from industrial wastewater, and insecticidal activity – A review. *J Clean Prod.* 2018;184:740–53.
  11. Eljounaidi K, Lichman BR. Nature's chemists: the discovery and engineering of phytochemical biosynthesis. *Front Chem.* 2020;9:7–8.
  12. Shahid M, Dumat C, Khalid S, Schreck E, Xiong T, Niazi NK. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *J Hazard Mater.* 2017;325:36–58.
  13. Ahmed SF, Mofijur M, Rafa N, Chowdhury AT, Chowdhury S, Nahrin M, dkk. Green approaches in synthesising nanomaterials for environmental nanobioremediation: Technological advancements, applications, benefits and challenges. *Environ Res.* 2022;204:111967.
  14. Peralta-Videa JR, Huang Y, Parsons JG, Zhao L, Lopez-Moreno L, Hernandez-Viezcas JA, dkk. Plant-based green synthesis of metallic nanoparticles: scientific curiosity or a realistic alternative to chemical synthesis? *Nanotechnol Environmental Engineering.* 2016;1(1):4.
  15. Dauthal P, Mukhopadhyay M. Noble metal nanoparticles: plant-mediated synthesis, mechanistic aspects of synthesis, and applications. *Ind Eng Chem Res.* 2016;55(36):9557–77.
  16. Rafique M, Sadaf I, Rafique MS, Tahir MB. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Artif Cells Nanomed Biotechnol.* 2017;45(7):1272–91.
  17. Dash SS, Bag BG, Hota P. Lantana camara Linn leaf extract mediated green synthesis of gold nanoparticles and study of its catalytic activity. *Appl Nanosci.* 2015;5(3):343–50.
  18. Xin Lee K, Shameeli K, Miyake M, Kuwano N, Bt Ahmad Khairudin NB, Bt Mohamad SE, dkk. Green synthesis of gold nanoparticles using aqueous extract of *Garcinia mangostana* fruit peels. *J Nanomater.* 2016;2016:1–7.
  19. Krishnaraj C, Muthukumaran P, Ramachandran R, Balakumaran MD, Kalaichelvan PT. *Acalypha indica* Linn: biogenic synthesis of silver and gold nanoparticles and their cytotoxic effects against MDA-MB-231, human breast cancer cells. *Biotechnol Reports.* 2014;4:42–9.
  20. Milanezi FG, Meireles LM, de Christo Scherer MM, de Oliveira JP, da Silva AR, de Araujo ML, dkk. Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of gold nanoparticles capped with quercetin. *Saudi Pharmaceutical J.* 2019;27(7):968–74.
  21. Mubeen B, Rasool MG, Ullah I, Rasool R, Imam SS, Alshehri S, dkk. Phytochemicals mediated synthesis of aunos from *Citrullus colocynthis* and their characterization. *Molecules.* 2022;27(4):1300.
  22. Patil MP, Jin X, Simeon NC, Palma J, Kim D, Ngabire D, dkk. Anticancer activity of *Sasa borealis* leaf extract-mediated gold nanoparticles. *Artif Cells Nanomed Biotechnol.* 2018;46(1):82–8.
  23. Samsulkahar N, Hadi A, Shamsuddin M, Malek N. Biosynthesis of gold nanoparticles using *Strobilanthes crispus* aqueous leaves extract and evaluation of its antibacterial activity. *Biointerface Res Appl Chem.* 2022;13(1):63.