

Green Synthesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Sebagai Antioksidan Peredam Radikal Bebas

Denok Risky Ayu Paramita^{1*}, Hadi Barru Hakam Fajar Siddiq², Roisa Zakia Zahra Lasmono²

¹ DIII Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Jember

² DIII Farmasi, Politeknik Kesehatan Jember

Jl. Pangandaran No. 42, Plinggán, Antirogo, Sumbersari – Jember 68125

*Email: denokrisky.ayuparamita@gmail.com

Abstrak

Nanopartikel emas (AuNPs) memiliki banyak manfaat di bidang kesehatan karena aktivitas antioksidannya. Namun, sintesis dengan metode fisika dan kimia membutuhkan biaya mahal dan menghasilkan limbah berbahaya. Green synthesis adalah solusi dalam sintesis nanopartikel emas (AuNPs) yang lebih murah dan ramah lingkungan. Ekstrak daun katuk digunakan untuk pertama kalinya sebagai agen pereduksi pada green synthesis AuNPs karena kandungan senyawa fenoliknya. Tujuan penelitian ini adalah untuk sintesis dan karakterisasi nanopartikel emas menggunakan ekstrak daun katuk serta menginvestigasi sifat antioksidannya dalam meredam radikal bebas. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer uv/vis menunjukkan panjang gelombang optimum adalah 530 nm yang mengindikasikan terbentuknya AuNPs yang berwarna merah anggur. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan AuNPs memiliki bentuk partikel spherical (bulat) dengan ukuran yang bervariasi mulai dari 28 – >100 nm. Hasil karakterisasi XRD berdasarkan JCPDS No. 04-0784 menunjukkan pembentukan AuNPs terstruktur kristal berpusat muka atau Face Centered Cubic (FCC) dengan puncak refleksi Bragg yang diamati di 2θ pada 38.03° , 44.15° , 64.25° , dan 77.25° yang masing-masing sesuai dengan aspek (111), (200), (220), dan (311). Sifat antioksidan AuNPs dalam meredam radikal bebas dipelajari menggunakan DPPH dan memberikan nilai IC₅₀ sebesar 53,37 yang mengindikasikan bahwa AuNPs memiliki aktivitas antioksidan kuat dan berpotensi untuk digunakan lebih lanjut di bidang kesehatan.

Kata kunci: Antioksidan, ekstrak daun katuk, Green synthesis, Nanopartikel emas

Abstrak

Gold nanoparticles (AuNPs) have significant potential in healthcare due to their antioxidant activity. However, conventional physical and chemical synthesis methods are costly and generate hazardous waste. Green synthesis offers a more economical and environmentally friendly alternative. In this study, katuk leaf extract was used for the first time as a reducing agent in the green synthesis of AuNPs, owing to its rich phenolic content. The aim of this research was to synthesize and characterize AuNPs using katuk leaf extract and to evaluate their antioxidant activity against free radicals. UV-Vis spectrophotometry showed an optimum wavelength at 530 nm, indicating the formation of wine-red AuNPs. SEM analysis revealed spherical particles with sizes ranging from 28 to >100 nm. XRD results, based on JCPDS No. 04-0784, confirmed a face-centered cubic (FCC) crystalline structure with Bragg reflections at 2θ values of 38.03° , 44.15° , 64.25° , and 77.25° , corresponding to (111), (200), (220), and (311) planes. DPPH analysis yielded an IC₅₀ value of 53.37, indicating strong antioxidant activity and potential applications in the health sector.

Keywords: Antioxidant, katuk leaf extract, green synthesis, gold nanoparticles

1. PENDAHULUAN

Saat ini, nanopartikel banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang karena sifat fisika dan kimianya yang unik dan berbeda dengan material berukuran besar (*bulk*), seperti kekuatan mekanik, elektronik, magnetic, kestabilan termal, katalitik, dan optic (Umamaheswari, 2018). Ukurannya yang kecil menyebabkan nanopartikel memiliki nilai

perbandingan luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar (Fahmi, 2020).

Salah satu penerapan teknologi nano yang banyak dikembangkan saat ini adalah nanopartikel emas. Pemilihan emas sebagai material berukuran nano banyak dikembangkan oleh para peneliti karena merupakan salah satu yang paling menjanjikan. Nanopartikel emas

memiliki keunikan dibandingkan dengan logam yang lain karena memiliki sifat stabil dan tahan terhadap oksidasi dan korosi serta cenderung tidak beracun apabila tertanam dalam tubuh. Oleh karena itu, aplikasi nanopartikel emas semakin meningkat dari hari ke hari dan banyak dimanfaatkan diberbagai bidang seperti kosmetik, katalis, sensor, anti kanker, anti mikroba, monitoring lingkungan dan farmasi (Baruah dkk., 2018).

Secara umum, nanopartikel emas dapat disintesis melalui metode fisika (*top down*) dan kimia (*bottom up*). Metode *top down* merupakan metode sintesis yang mengubah partikel besar menjadi ukuran kecil, seperti ablasi laser dan kondensasi uap. Sedangkan metode *bottom up* merupakan metode yang mengubah partikel dari ukuran kecil menjadi besar dengan bantuan agen pereduksi seperti Na-sitrat dan NaBH₄. Namun, metode sintesis tersebut membutuhkan biaya mahal dan cenderung menghasilkan limbah berbahaya yang berakibat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, mulai dikembangkan alternative metode lain yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan yaitu *green synthesis* (Baruah dkk., 2018).

Green synthesis nanopartikel emas menjadi solusi yang saat ini gencar dikembangkan. Reduksi ion logam menjadi logam menggunakan ekstrak biologis dari bahan-bahan alam seperti tanaman. Penggunaan tanaman sebagai reduktor untuk membentuk material berukuran nano merupakan salah satu pendekatan yang menjanjikan karena biaya yang murah, sederhana, cepat dan lebih ramah lingkungan (Syahida dan Mulki, 2025). Metode *green synthesis* dapat dilakukan dengan menggunakan bahan alam yang memiliki senyawa aktif pereduksi dan penstabil yang dapat berupa senyawa fenolik, flavonoid, polifenol, terpenoid, polisakarida, asam amino, dan protein (Putri dkk., 2021). Kaval dan Hosgoren (2024) menggunakan ekstrak kulit buah *Cucurbita moschata* untuk sintesis AuNPs dan menghasilkan partikel dengan bentuk morfologi bulat serta ukuran rata-rata 18,90 nm. Patra dkk (2024) menggunakan ekstrak kulit Papaya untuk sintesis AuNPs dan menghasilkan rata-rata ukuran kristal 44,41 nm yang diperoleh dari persamaan Scherrer.

Salah satu tanaman yang menarik untuk diteliti adalah tanaman katuk (*Sauropus androgynus*). Tanaman ini memiliki banyak

manfaat dalam kehidupan sehari-hari dan mudah diperoleh di Kabupaten Jember. Secara umum, masyarakat banyak menggunakan daun tanaman katuk untuk meningkatkan produksi ASI, mengobati penyakit saluran kemih, kardiovaskular, dan penyakit lainnya (Santoso, 2013; Khoo dkk., 2015). Daun katuk mengandung flavonoid, tannin, alkaloid, triterpene, asam amino, protein, mineral, dan vitamin. Selain itu, beberapa senyawa kimia yang terdapat dalam daun katuk diketahui berkhasiat sebagai antioksidan, penurunan berat badan, antimikroba, antiinflamasi dan manfaat kesehatan lainnya (Khoo dkk., 2015; Rauf dkk., 2016).

Berdasarkan studi literature belum ditemukan penelitian tentang sintesis AuNPs menggunakan ekstrak daun katuk. Oleh karena itu, tujuan dilakukan penelitian ini adalah sintesis AuNPs menggunakan ekstrak daun katuk. Ekstrak daun katuk diharapkan dapat menggantikan peran Na-sitrat sebagai pereduksi. Hasil sintesis selanjutnya diuji aktivitas antioksidannya dalam meredam radikal bebas dengan metode DPPH yang diharapkan berpotensi lebih lanjut digunakan dalam bidang kesehatan.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah alat-alat gelas (*pyrex*), sonikator (*GT Sonic*), corong buchner (*Schott Duran*), spektrofotometer UV/Vis (*Thermo Scientific*), SEM (*Hitachi FlexSEM 1000*), XRD (*X'Pert PRO PANalytical*). Bahan yang digunakan adalah logam emas (antam), aqua regia, akuademin, serbuk daun katuk, DPPH (*merck*).

2.2 Prosedur

2.2.1 Pembuatan Larutan HAuCl₄

Sebanyak 1gram emas dilarutkan dengan aquaregia. Kemudian emas yang sudah larut ditambah dengan akuademin di dalam labu ukur 1000 ml sampai tanda batas dan dihomogenkan (Paramita, 2022).

2.2.2 Pembuatan Ekstrak Air Daun Katuk

Sebanyak 5gram simplisia daun katuk disonikasi dengan 50 ml akuades. Sonikasi dilakukan pada suhu 70°C selama 1 jam dengan frekuensi 40 KHz. Cairan kemudian dipisahkan dari padatnya, ekstrak selanjutnya disimpan dalam botol gelap di lemari pendingin.

2.2.3 Skrining Fitokimia

Skrining fitokimia yang dilakukan pada ekstrak air daun katuk terdiri dari senyawa flavonoid, tannin dan alkaloid. Skrining senyawa flavonoid dilakukan dengan mencampurkan 7 ml sampel ekstrak air daun katuk dengan etanol dan beberapa tetes FeCl_3 sehingga dihasilkan warna hitam yang menunjukkan adanya flavonoid. Ekstrak juga ditambahkan 2 tetes NaOH 10%, jika dihasilkan warna hijau kebiruan maka terdapat kandungan flavonoid. Skrining alkaloid dilakukan dengan mencampurkan 3 ml ekstrak air daun katuk dengan 3 ml HCl 1% di atas penangas sambil terus diaduk. Sebanyak 1 ml campuran kemudian ditambahkan reagen dragendorff. Hasil positif alkaloid ditunjukkan dengan terbentuknya endapan oranye. Skrining tannin dilakukan dengan mencampurkan 2 ml ekstrak air daun katuk dengan beberapa tetes FeCl_3 . Hasil positif tannin ditunjukkan dengan terbentuknya endapan hijau (Kumalasari & Andiarna, 2020).

2.2.4 Green Synthesis Nanopartikel Emas

Sintesis AuNPs diawali dengan mencari komposisi optimum dari konsentrasi HAuCl_4 . Berdasarkan studi pendahuluan diketahui bahwa penggunaan konsentrasi HAuCl_4 di bawah 10 ppm dan di atas 50 ppm tidak memberikan perubahan warna larutan hasil sintesis sesuai SPR terbentuknya AuNPs (Syahida dan Mulki, 2025). Variasi konsentrasi larutan HAuCl_4 yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm. Proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan 10 ml larutan HAuCl_4 dengan 1 ml larutan ekstrak air daun katuk. Larutan selanjutnya dishaker dengan kecepatan 120 rpm. Reduksi Au^{3+} menjadi Au^0 ditandai dengan terjadinya perubahan warna larutan. Penentuan kondisi optimum untuk variasi konsentrasi HAuCl_4 dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2.2.5 Karakterisasi Nanopartikel Emas

Karakterisasi larutan nanopartikel emas yang diperoleh berupa warna, spektrofotometer UV-Vis, SEM dan XRD. Karakterisasi hasil sintesis yang dilakukan dengan menggunakan instrument spektrofotometer UV-Vis dengan tiga kali pengulangan. Blanko yang digunakan adalah larutan HAuCl_4 tanpa larutan ekstrak air daun katuk. Larutan yang mengandung nanopartikel emas dimasukkan ke dalam kuvet

kemudian dilakukan *scanning* panjang gelombang dengan rentang 400 – 800 nm. Terbentuknya nanopartikel emas ditandai dengan serapan pada panjang gelombang antara 530 – 570 (Willian & Pardi, 2021). Ukuran dan bentuk dari nanopartikel yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan SEM. Struktur kristal dan ukuran dari nanopartikel emas hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD.

2.2.6 Uji Aktifitas Antioksidan dalam Meredam Radikal Bebas

Kemampuan nanopartikel hasil sintesis dalam menangkal radikal bebas dianalisis menggunakan uji DPPH (*2,2-diphenyl-picrylhydrazyl*). Kuarsetin digunakan sebagai kontrol positif, sedangkan campuran metanol dan DPPH (tanpa sampel) digunakan sebagai kontrol negatif. Konsentrasi kuarsetin yang digunakan antara 1 – 10 ppm. Larutan ekstrak air daun katuk dibuat dengan variasi konsentrasi 10 – 40 ppm. Larutan hasil sintesis AuNPs dibuat dengan konsentrasi 1 – 10 ppm. Deret larutan dengan variasi konsentrasi ini digunakan untuk menentukan aktivitas antioksidan dalam meredam radikal bebas dengan membuat kurva IC_{50} .

Larutan DPPH dibuat dengan menimbang 4 mg DPPH dan dilarutkan dalam 100 ml metanol. Kontrol negatif dibuat dengan menambahkan 2 ml metanol dengan 2 ml larutan DPPH ke dalam tabung reaksi. Kemudian larutan di vortex sampai homogen dan diinkubasi pada suhu ruang selama 30 menit dalam ruang gelap. Selanjutnya serapan larutan diukur dengan tiga kali pengulangan menggunakan spektrofotometer UV/Vis hingga diperoleh panjang gelombang maksimum.

Larutan sampel (ekstrak air daun katuk dan hasil sintesis AuNPs) dibuat dengan cara 2 ml sampel ditambah dengan 2 ml DPPH. Campuran kemudian di vortex sampai homogen dan diinkubasi pada suhu ruang selama 30 menit dalam ruang gelap. Serapan diukur pada panjang gelombang maksimum dengan tiga kali pengulangan. Sebagai standar digunakan kuarsetin dengan perlakuan yang sama dengan sampel uji kemudian dihitung % inhibisinya dan nilai IC_{50} nya. Nilai serapan larutan DPPH sebelum dan sesudah penambahan sampel tersebut dihitung sebagai persen inhibisi dengan rumus (1) sebagai berikut:

$$\% \text{ inhibisi} = \frac{(\text{absorbansi blanko} - \text{absorbansi sampel})}{\text{absorbansi blanko}} \times 100\% \quad (1)$$

(Baruah dkk., 2018 dan Julianawati dkk., 2020). Klasifikasi aktivitas antioksidan dalam meredam radikal bebas dapat dilihat pada tabel 1.

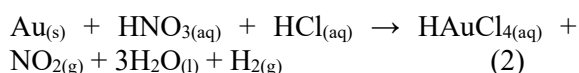
Tabel 1. Klasifikasi aktivitas antioksidan (Blois, 1958)

Nilai IC50	Antioksidan
< 50 ppm	Sangat kuat
50 – 100 ppm	Kuat
100 – 150 ppm	Sedang
151 – 200 ppm	Lemah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan HAuCl₄

Hasil *green synthesis* nanopartikel emas (AuNPs) menggunakan ekstrak daun katuk telah berhasil dilakukan. Tahap awal penelitian dilakukan dengan membuat larutan HAuCl₄. Pembuatan HAuCl₄ dilakukan dengan melarutkan logam emas menggunakan akuaregia (HCl dan HNO₃). Adapun reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan 2.



Proses pelarutan emas menjadi larutan dilakukan di lemari asam karena menghasilkan gas NO₂ dan H₂. Untuk menghilangkan gas-gas tersebut larutan dipanaskan hingga terlihat letupan-letupan yang berupa gas H₂ dan gas berwarna coklat yang merupakan NO₂. Padatan emas yang sudah larut sempurna selanjutnya diencerkan dengan menggunakan akuademin hingga diperoleh larutan dengan warna kuning jernih.

3.2 Skrining Fitokimia Ekstrak Air Daun Katuk

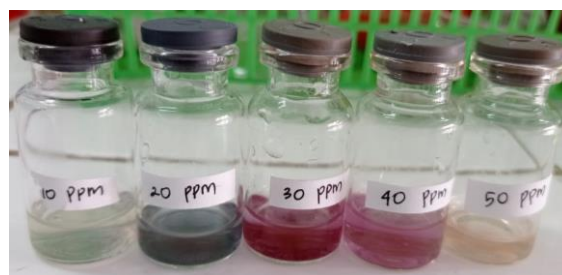
Bioreduktor yang digunakan untuk mereduksi Au³⁺ menjadi Au⁰ pada proses sintesis AuNPs adalah ekstrak air daun katuk. Daun katuk dipilih sebagai bioreduktor karena mengandung senyawa metabolit sekunder golongan fenolik, flavonoid, dan alkaloid. Menurut Putri dkk., (2021), senyawa golongan fenolik, flavonoid, dan alkaloid dapat berperan sebagai bioreduktor dan penyetabil AuNPs. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa ekstrak daun katuk positif mengandung senyawa flavonoid, tannin dan alkaloid.

3.3 Green Synthesis AuNPs

Proses sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan menggunakan metode *bottom up* yaitu mengubah ion Au³⁺ dengan ukuran pikometer (10⁻¹²) menjadi partikel Au⁰ berukuran nano (1-100 nm). Ketika berada dalam bentuk ionnya, Au³⁺ akan saling tolak menolak karena pengaruh muatan sejenis. Setelah direduksi menjadi Au⁰ maka muatan atom Au menjadi netral sehingga memungkinkan antar atom Au akan saling melekat dan berinteraksi satu sama lain melalui ikatan antar logam membentuk suatu cluster yang berukuran nano.

Nanopartikel emas terbentuk karena reduksi Au³⁺ menjadi Au⁰ oleh bioreduktor (ekstrak air daun katuk). Partikel Au⁰ kemudian bergabung menjadi partikel berukuran nano karena transfer electron dari zat pereduksi (ekstrak air daun katuk) menuju ion logam Au. Namun, interaksi antara partikel Au⁰ terjadi sangat cepat dan sering tidak terkontrol sehingga ukuran partikel emas yang sebelumnya dikehendaki berkisar antara 1 – 100 nm berubah dengan cepat menjadi partikel yang sangat besar (beragregasi) bahkan melebihi ukuran nanometer.

Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya agregasi partikel yang melebihi ukuran nanometer maka digunakan stabilizer (*capping agent*). Fungsi dari stabilizer adalah untuk mencegah pertumbuhan partikel yang tidak terkontrol dan mencegah agregasi partikel akibat energi permukaan dari nanopartikel yang besar sehingga kecepatan pertumbuhan, ukuran partikel dan perubahan warna larutan koloid dapat dikontrol (Musfiroh dan Syarif, 2012).



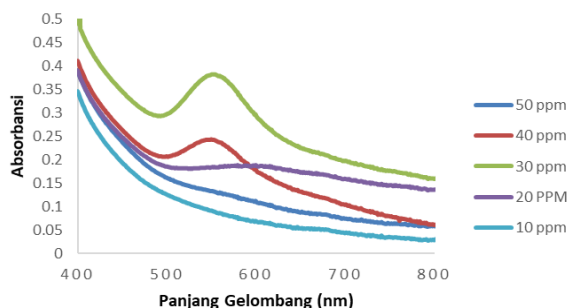
Gambar 1. Hasil *green synthesis* AuNPs dengan variasi konsentrasi HAuCl₄

Sintesis AuNPs dengan ekstrak air daun katuk memanfaatkan metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak sebagai pereduksi dan stabilizer. Proses reduksi ditandai dengan perubahan warna larutan koloid. Keberhasilan *green* sintesis AuNPs sangat dipengaruhi oleh

kondisi reaksi. Untuk menentukan pengaruh konsentrasi HAuCl_4 , pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi HAuCl_4 .

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi HAuCl_4 merupakan faktor signifikan yang mempengaruhi bentuk dan ukuran dari pembentukan AuNPs. Pada penelitian *green* sintesis AuNPs dengan ekstrak daun katuk dibuat lima variasi konsentrasi larutan HAuCl_4 dengan volume larutan HAuCl_4 dan larutan ekstrak dibuat sama. Adapun variasi konsentrasi HAuCl_4 yang digunakan adalah 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm. Hasil sintesis menunjukkan terjadi perbedaan warna setelah proses *green* sintesis dilakukan. Perbedaan ditunjukkan pada gambar 1.

Spektrofotometri UV-Vis merupakan teknik awal untuk konfirmasi pembentukan *green synthesis* AuNPs. Nanopartikel emas memiliki sifat optik yang unik dan menunjukkan *surface plasmon resonance* (SPR) atau permukaan efek plasmon resonansi karena eksitasi electron pada permukaan logam. Eksitasi akan bervariasi tergantung pada ukuran partikel, bentuk dan konsentrasi ion logam (Devi, 2019). Terbentuknya warna merah anggur mengindikasikan pembentukan AuNPs ditemukan oleh hampir semua peneliti.



Gambar 2. Spektra UV-Vis dari sintesis AuNPs dengan variasi konsentrasi HAuCl_4

Gambar 2 menunjukkan intensitas puncak SPR meningkat dengan meningkatnya konsentrasi HAuCl_4 dari konsentrasi 10 ppm sampai 30 ppm, menandakan peningkatan pembentukan jumlah AuNPs. Namun, ketika konsentrasi HAuCl_4 yang digunakan untuk sintesis dinaikkan di atas 30 ppm, nanopartikel cenderung beragregat dan mengendap. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan intensitas dari SPR bands, sedangkan bands juga melebar dan bergeser pada panjang gelombang yang lebih tinggi. Hanya partikel Au dengan ukuran nano yang memberikan absorbansi SPR, ketika beragregat membuat ukuran dari beberapa

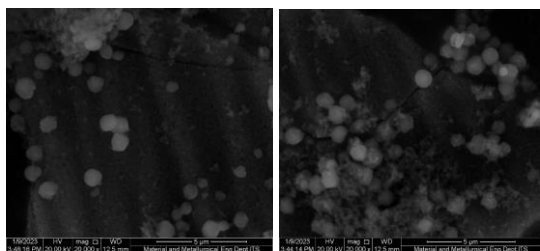
AuNPs melebihi ukuran nano sehingga menyebabkan penurunan SPR. SPR bands yang melebar mengindikasikan ukuran AuNPs lebih heterogen.

Puncak SPR bergeser menuju panjang gelombang yang lebih besar mengindikasikan ukuran AuNPs yang lebih besar. Ketika konsentrasi HAuCl_4 meningkat (40 ppm dan 50 ppm), intensitas dari absorbansi menurun dan tidak ditemukan puncak SPR pada panjang gelombang 530 nm. Tren sintesis AuNPs yang mirip juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Aji dkk., (2022). Peningkatan jumlah AuNPs menyebabkan banyak partikel berdifusi untuk membentuk partikel yang lebih besar melalui fenomena Oswald ripening. Fenomena ini menginduksi partikel kecil untuk larut dan ion Au ditransfer pada permukaan partikel Au yang lebih besar. Dengan demikian, jumlah partikel kecil tetap berkurang, sedangkan partikel yang besar tetap tumbuh (Aji dkk., 2022).

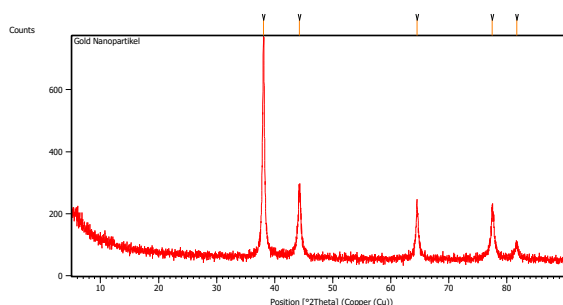
3.4 Karakterisasi Hasil Sintesis AuNPs

Karakterisasi AuNPs hasil *green synthesis* secara kasat mata dapat dilihat dari perubahan warna larutan dari kuning menjadi merah anggur. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV/Vis menunjukkan hasil sintesis AuNPs sudah terbentuk ditandai dengan nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang AuNPs yaitu 530 nm. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui permukaan dan bentuk partikel hasil sintesis. Analisis SEM juga mampu menunjukkan gambaran agregasi dari AuNPs hasil sintesis.

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM pada gambar 3 dapat diketahui bahwa AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstrak air daun katuk memiliki bentuk partikel *spherical* (bulat). Hasil ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Velammal dkk (2016), Akhtar dkk (2022), dan Aji dkk., (2022) yang menggunakan ekstrak tanaman sebagai bioreduktor dalam sintesis AuNPs. Selain itu, dari gambar 3 dapat diketahui juga ukuran partikel AuNPs hasil sintesis dimana ukuran tersebut bervariasi mulai dari 28 – 100 nm. Namun, dapat dilihat pula pada gambar terdapat partikel dengan ukuran di atas 100 nm. Selain itu, dapat diketahui pula terdapat partikel AuNPs yang beragregat dan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar.



Gambar 3. Hasil karakterisasi AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstar air daun katuk



Gambar 4. Hasil karakterisasi XRD AuNPs *green synthesis* dengan bioreduktor ekstrak air daun katuk

Sifat kristal logam dari AuNPs hasil *green synthesis* dengan ekstrak daun katuk ditentukan menggunakan analisis difraksi sinar-X (XRD). Berdasarkan studi literatur dapat diketahui bahwa pembentukan AuNPs terstruktur kristal berpusat muka atau *Face Centered Cubic* (FCC). Gambar 4 menunjukkan puncak refleksi Bragg yang diamati di 2θ pada 38.03° , 44.15° , 64.25° , dan 77.25° yang masing-masing sesuai dengan aspek (111), (200), (220), dan (311), mengindikasikan struktur kristal *face-centered cubic* (FCC) berdasarkan JCPDS No. 04-0784. Spektroskopi sinar-X energi dispersive dari AuNP yang disintesis, menunjukkan sinyal emas yang kuat yang mengkonfirmasi pembentukan AuNPs. Intensitas yang tinggi dari Bragg reflection pada 38.03° merupakan bukti kuat bahwa sintesis AuNPs dengan bioreduktor ekstrak daun katuk terorientasi pada posisi datar (111) pada permukaan planar. Ukuran kristalin AuNPs hasil sintesis ditentukan menggunakan persamaan Scherrer, (3).

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

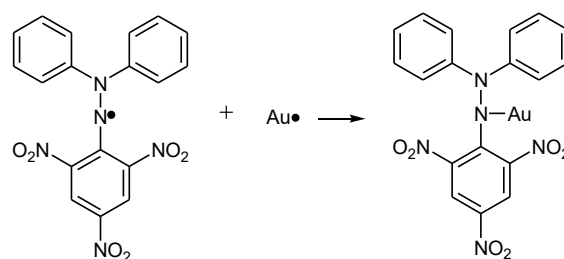
Dimana, D = ukuran kristal AuNPs hasil sintesis, λ = Panjang gelombang sinar-X, β = FWHMM (lebar penuh pada setengah

maksimum) dalam radian, dan θ = sudut Bragg. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan di atas diketahui bahwa ukuran kristal AuNPs rata-rata adalah 79 nm.

3.5 Aktivitas antioksidan AuNPs dalam Menangkal Radikal Bebas

Metode yang digunakan untuk mengukur kemampuan hasil *green synthesis* AuNPs sebagai antioksidan dalam menangkal radikal bebas adalah metode DPPH. Metode DPPH dipilih karena sampel yang dibutuhkan sedikit, mudah, sederhana dan cepat. Prinsip pengukuran aktivitas AuNPs dalam menangkal radikal bebas secara kuantitatif menggunakan metode DPPH adalah adanya perubahan intensitas warna ungu DPPH yang sebanding dengan konsentrasi larutan DPPH tersebut.

Radikal bebas DPPH yang memiliki electron tidak berpasangan akan memberikan warna ungu. Warna akan berubah menjadi kuning saat elektronnya berpasangan. Perubahan intensitas warna ungu ini akan terjadi karena adanya peredaman radikal bebas yang dihasilkan oleh bereaksinya molekul DPPH dengan molekul sampel sehingga terbentuk senyawa 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazine dan menyebabkan perubahan warna DPPH dari ungu menjadi kuning. Perubahan warna ini akan memberikan perubahan absorbansi pada panjang gelombang maksimum DPPH saat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Julianawati dkk., 2020).



Gambar 5. Mekanisme peredaman radikal bebas DPPH oleh nanopartikel emas

Mekanisme peredaman radikal bebas oleh nanopartikel emas dapat ditunjukkan pada gambar 5. Menurut Musfiroh dan Syarief (2012), partikel Au akan menstabilkan atom N pada DPPH dengan saling berikatan. Atom N akan memberikan pasangan electron bebasnya kepada atom Au sehingga terjadi ikatan kovalen

koordinasi Au-N. Dengan adanya ikatan kovalen koordinasi antara Au-N dapat meredam radikal bebas DPPH karena atom N telah terstabilkan oleh atom Au.

Aktivitas peredaman radikal bebas dalam DPPH didapatkan dari perbedaan serapan antara absorbansi DPPH dalam methanol dengan absorbansi sampel yang diukur pada panjang gelombang maksimum DPPH. Selanjutnya persamaan regresi yang diperoleh dari grafik hubungan antara konsentrasi dengan persen penghambatan DPPH digunakan untuk mencari nilai IC_{50} . Besarnya aktivitas antioksidan ditandai dengan nilai IC_{50} , yaitu konsentrasi larutan sampel yang dibutuhkan untuk menghambat 50% radikal bebas DPPH.

Hasil pengukuran *scanning* panjang gelombang maksimal DPPH adalah 516 nm dengan warna komplementer ungu. Panjang gelombang maksimal ini selanjutnya digunakan untuk pengukuran absorbansi dalam uji kemampuan AuNPs dalam menangkal/meredam radikal bebas (uji aktivitas antioksidan AuNPs). Sebagai pembanding selanjutnya diukur juga kemampuan menangkal radikal bebas (uji aktivitas antioksidan) dari ekstrak daun katuk dan kuarsetin.

Tabel 2. Hasil perhitungan IC_{50} sampel uji

Sampel	IC_{50}
Kuarsetin	6,20
AuNPs hasil <i>green synthesis</i>	53,37
Ekstrak daun katuk	93,70

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan nilai IC_{50} dari kuarsetin < AuNPs hasil *green synthesis* < ekstrak daun katuk. Hasil ini menunjukkan bahwa AuNPs hasil *green synthesis* memiliki aktivitas antioksidan yang kuat (Blois, 1958). Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa AuNPs memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan ekstrak dari senyawa bahan alam karena senyawa antioksidan dari tanaman teradsorpsi ke permukaan aktif dari nanopartikel (Mobaraki dkk, 2021; Sunayana dkk, 2020). Rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi pada nanopartikel dapat meningkatkan kontak dengan radikal sehingga meningkatkan aktivitas peredaman radikal bebas dan menghasilkan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi (Kumar dkk., 2021). Tabel 3 menunjukkan perbandingan hasil *green synthesis* AuNPs

dengan ekstrak tanaman yang berbeda sebagai antioksidan.

Tabel 3. Daftar AuNPs dengan aktivitas antioksidan yang disintesis menggunakan ekstrak tanaman

No	Nama Tanaman	Ukuran (nm)	IC_{50} (μ g/ml)	Ref
1.	<i>Moringa oleifera L</i>	4 – 5	< 50	Indriyani & Taufiqrohmah, 2024
2.	<i>Ceiba pentandra</i>	21,92	57,82	Aji et al., 2022
3.	<i>Garcinia kola</i>	2 – 17	520	Anadozie et al., 2023
4.	<i>Ocimum basilicum</i>	19 – 44	228	Jiang et al., 2023
5.	<i>Sauropus andrognunus</i>	28 – 100	53,37	Penelitian ini

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan konsentrasi $H AuCl_4$ yang paling baik digunakan untuk sintesis AuNPs dengan bioreduktor ekstrak daun katuk adalah 30 ppm. AuNPs berhasil disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun katuk dengan warna merah anggur, bentuk spherical, ukuran berkisar 28->100 nm, dan sifat kristal FCC. Rata-rata ukuran kristal AuNPs hasil sintesis berdasarkan persamaan Scherrer adalah 79 nm. Namun, terdapat beberapa bagian partikel hasil sintesis yang beragregat dengan ukuran lebih dari 100 nm.

Hasil perhitungan nilai IC_{50} dari kuarsetin < AuNPs hasil *green synthesis* < ekstrak daun katuk. Hasil ini menunjukkan bahwa AuNPs hasil *green synthesis* dengan nilai IC_{50} 53,37 memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan ukuran partikel AuNPs yang lebih seragam dan tidak beragregat. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait aplikasi lain hasil sintesis untuk mengetahui aktivitas antibakteri, anti-inflamatory, antidiabetik, dan antikanker.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji A, Oktafiani D, Yuniarto A, Amin AK. Biosynthesis of gold nanoparticles using Kapok (*Ceiba pentandra*) leaf aqueous extract and investigating their antioxidant activity. 2022. *J Mol Struct.* 1270. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133906>
- Akhtar S, Asiri SM, Khan FA, Gunday ST,

- Iqbal A, Alrushaid N, et al. Formulation of gold nanoparticles with hibiscus and curcumin extracts induced anti-cancer activity. *Arabian Journal of Chemistry*. 2022;15. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103594>.
- Anadozie SO, Adewate OB, Sibuyo NRS, Fadaka AO, Isitua CC, Davids H, Roux S. 2023. One-pot synthesis, characterisation and biological activities of gold nanoparticles prepared using aqueous seed extract of *Garcinia koka*. *Process Biochemistry*. 128: 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.02.010>
- Baruah, D., Goswami, M., Yadav, R. N.S., Yadav, A., Das, A. M., 2018. Biogenic synthesis of gold nanoparticles and their application in photocatalytic degradation of toxic dyes. *Journal of Photochemistry & Photobiology*. 186, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.07.002>
- Blois, M.S. 1958. *Antioxidant Determinations by The Use of a Stable Free Radical*. *Nature*. 181: 1999-1200.
- Fahmi, M.Z. 2020. *Nanoteknologi dalam Perspektif Kesehatan*. Surabaya: Pusat Penerbitan dan Percetakan Universitas Airlangga.
- Indriyani, R. dan Taufikurohmah, T. 2024. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using *Moringa oleifera* Leaf Extract Bioreductor (*Moringa oleifera* L.) and Activity Test as Antiooxidant. *Jurnal Pijar MIPA*. 19 (5), 881 – 887. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i5.7325>
- Jiang M, Zhang L, Liang L, Reza K. 2023. Physico-chemical characterization and anti-laryngeal cancer effects of the gold nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry*. 16. 104545. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104545>
- Julianawati, T., Hendarto, H., dan Widjiati. 2020. Penetapan Total Flavonoid, Aktivitas Antioksidan dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Kelor (*Moringa pterygosperma* Gaertn.). *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*. 11, 49 – 54. <http://dx.doi.org/10.33846/sf11110>
- Kaval, U dan Hosgoren H. 2024. Biosynthesis, Characterization, and Biomedical Applications of gold nanoparticles with *Cucurbita moschata* Duchesne Ex Poiret Peel Aqueous Extract. *Molecules*. 29. 923. <https://doi.org/10.3390/molecules29050923>
- Khoo, H.E., Azlan, A., dan Ismail, A. 2015. *Sauropus androgynus* Leaves for Health Benefits: Hype and the Science. *The Natural Products Journal*. 5, 115 – 123. <https://doi.org/10.2174/221031550502150702142028>
- Kumalasari, M.L.F & Andiarna, F. Uji Fitokimia Ekstrak Etanol Daun Kemangi (*Ocimum basilium* L). *Indonesia Journal for Health Sciences*. 2020: 4.1, 39 – 44. <https://doi.org/10.24269/ijhs.v4i1.2279>
- Kumar B, Smita K, Debut A, Cumbal L. 2021. Andean capuli fruit derived anisotropic gold nanoparticles with abtioxidant and photocatalytic activity. *BioNanoScience*. 11: 962 – 969. <https://doi.org/10.1007/s12668-021-00911-9>
- Mobaraki F, Momeni M, Taghavizadeh Yazdi ME, Meshkat Z, Silanian Toosi M, Hosseini SM. 2021. Plant-derived synthesis and characterization of gold nanoparticles: Investigation of its antioxidant and anticancer activity against human testicular embryonic carcinoma stem cells. *Process Biochemistry*. 111: 167 – 177. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.09.010>
- Paramita DRA, Widyaningrum BA, Budiman I, Kusuma SS, Sakti SCW, Harsini M. Carbon paste modified with Poly-Melamine and gold nanoparticles for selective determination of hydroquinone in presence of arbutin. *AIP Conf Proc*, vol. 2454, American Institute of Physics Inc.; 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0079004>.
- Patra, J.K; Shin, H.S; Yang, I.J; Nguyen, L.T.H; Das, G. 2024. Sustainable Utilization of Food Biowaste (Papaya Peel) Extract for Gold Nanoparticle Biosynthesis and Investigation of Its Multi-Functional Potentials. *Antioxidants*. <https://doi.org/10.3390/antiox13050581>.
- Putri, L.T., Syukri, Y., dan Werdyani, S. 2021. Aplikasi Gold Nanopartikel dengan Bahan Alam sebagai Kosmetik Pemutih Wajah: Tinjauan Sistematis. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*. 8(2), 116 – 127. <https://doi.org/10.25077/jsfk.8.2.116-127.2021>

- Rauf,A; Haeria, Anas, D.D. 2016. Efek Imunostimulan Fraksi Daun Katuk (*Sauropus androgynus* L. MERR.) terhadap Aktivitas dan Kapasitas Fagositosis Makrofag Pada Mencit Jantan (*Mus Musculus*). *Jurnal Farmasi UIN Alauddin*. 4. 1: 9 – 15. <https://doi.org/10.24252/jfuinam.v4i1.2239>
- Santoso, Urip. 2013. *Katuk, Tumbuhan Multi Khasiat*. Badan Penerbit Fakultas Pertanian (BPPF) Unib.
- Syahida, IH dan Mulki MA. 2025. Article Review: Characterization and Anti-Cancer Activity Test of gold nanoparticles (AuNPs) and silver nanoparticles (AgNPs) with tumeric (*Curcuma* spp.) Extract as Bioreductor. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 8.4: 2835 – 2841. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com>
- Sunayana N, Uzma M, Dhanwini RP, Govindappa M, Prakash HS, Vinay Raghavendra B. 2020. Green synthesis of gold nanoparticles from *Vitex negundo* leaf extract to inhibit lipopolysaccharide-induced inflammation through in vitro and in vivo. *Journal of Cluster Science*. 31: 463 – 477. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01661-1>
- Umamaheswari, C., Lakshmanan, A., dan Nagarajan, N.S. 2018. Green synthesis, characterization and catalytic degradation studies of gold nanoparticles against congo red and methyl orange. *Journal of Photochemistry & Photobiology*. 178, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.10.017>
- Velammal, S.P ; Devi, T.A ; Amaladhas, T.P. 2016. Antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activities of silver and gold nanoparticles synthesized using *Plumbago zeylanica* bark. *JNanostruct Chem*. 6 : 247 – 260. doi:10.1007/s40097-016-0198-x.
- Willian, N & Pardi, H. 2021. Tinjauan Biofabrikasi Nanopartikel Perak dan Emas dengan Menggunakan Ekstrak Tanaman. *Jurnal Zarah*. 9 :1. 42 – 53. <https://doi.org/10.31629/zarah.v9i1.2799>