

Artikel

Fabrikasi Nanopartikel Emas Menggunakan Medium Ekstrak Kulit Buah *Brucea javanica*

Muhamad Alvin Reagen¹, Suci Sukma Taruna Asral¹, Diana Andari², Octakireina Liesaini Daefisal³, Salprima Yudha S^{1*}

¹ Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu, Bengkulu; reagenalvin@gmail.com, suciisukmaa22@gmail.com, sp.yudha.s.2022@gmail.com

² Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Intan Lampung, Lampung; dianaandari@radenintan.ac.id

³ Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi Sumatera, Lampung; octakireina2018@gmail.com

* Korespondensi: sp.yudha.s.2022@gmail.com; penulis koresponden: Salprima Yudha S

Abstrak: Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan kulit buah *Brucea javanica* sebagai medium dalam sintesis nanopartikel emas (AuNPS). Proses sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan membandingkan efek antara kulit buah *Brucea javanica* muda dan tua. Dalam proses ekstraksi kulit buah *Brucea javanica* dilakukan menggunakan metode ekstraksi padat cair. Sebanyak 1 gram masing-masing kulit buah *Brucea javanica* muda dan tua diekstraksi dengan akua demineral sebanyak 100 mL selama 20 menit pada suhu 60 °C. Sintesis nanopartikel dilakukan dengan mencampurkan ekstrak kulit buah *Brucea javanica* dengan larutan HAuCl₄ 0,01 M dengan perbandingan volume 4 mL ekstrak dan 1 mL larutan HAuCl₄ 0,01 M selama 5 menit. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada AuNPS yang disintesis menggunakan ekstrak kulit buah *Brucea javanica* muda (Au-1) menghasilkan spektrum serapan UV-Vis pada 553 nm dengan ukuran partikel 59,5 nm yang diukur menggunakan *Particle Size Analyzer*. Sedangkan, AuNPS yang disintesis menggunakan ekstrak kulit buah *Brucea javanica* tua (Au-2) menghasilkan spektrum serapan UV-Vis pada 564 nm dengan ukuran partikel 78,5 nm. Morfologi partikel yang dihasilkan dari keduanya menghasilkan bentuk sferis dengan distribusi yang cukup merata. Distribusi ini didukung dengan nilai *polydispersity index* di bawah 0,5. Ekstrak kulit buah *Brucea javanica* telah berhasil digunakan sebagai medium dalam sintesis nanopartikel emas. Nanopartikel emas berpotensi dimanfaatkan sebagai penghantar obat dan antibakteri.

Kata Kunci: *Brucea javanica*, Nanopartikel emas, HAuCl₄, PSA, TEM



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

1. Pendahuluan

Nanoteknologi telah menjadi bidang yang sedang tren dalam ilmu pengetahuan dan telah membuat kemajuan besar dengan pengembangan nanopartikel fungsional yang direkayasa. Nanopartikel logam telah dimanfaatkan secara luas untuk berbagai aplikasi seperti penghantar obat, terapi, dan antibakteri [1]. Nanopartikel emas memiliki karakteristik yang unik seperti ukuran dan bentuk yang bergantung pada sifat optik dan elektroniknya. Permukaan yang dapat dimodifikasi dengan gugus fungsi yang lain yang berimbas pada permukaan emas [2].

Modifikasi permukaan nanopartikel emas secara signifikan meningkatkan penyebaran partikel yang merata, meminimalkan tingkat agregasi, meningkatkan perlekatan pada molekul terapeutik dan agen target karena ukuran rentang nano yang selanjutnya meningkatkan kemampuannya untuk melintasi membran sel target yang ditentukan dan mengurangi sitotoksitas secara keseluruhan [3]. Nanopartikel emas memiliki potensi besar dalam perawatan kanker seperti radioterapi, kemoterapi, dan pengiriman obat [4]. Nanopartikel emas dapat mengantarkan beberapa molekul obat, protein rekombinan, vaksin, atau nukleotida ke targetnya dan dapat mengendalikan pelepasan obat melalui rangsangan biologis (internal) atau aktivasi cahaya (eksternal) [5]. Selain itu, nanopartikel emas telah terbukti memiliki sifat antioksidan tingkat lanjut. Sifat-sifat ini menghadirkan spektrum luas untuk aplikasi perawatan kesehatan, termasuk meliputi kemampuan anti-penuaan, anti-inflamasi, dan penyembuhan luka [6]. Penelitian lainnya mengungkapkan bahwa nanopartikel emas menunjukkan aktivitas antijamur dan sitotoksitas tinggi pada konsentrasi rendah pada sel kanker kandung kemih dan prostat [7].

Sintesis nanopartikel emas menggunakan bahan alam terutama kulit buah telah banyak dilakukan. Ekstrak kulit jeruk telah berhasil digunakan sebagai medium sintesis nanopartikel emas [8]. Kulit buah *Garcinia indica* juga digunakan dalam proses sintesis nanopartikel emas [9]. Bagian kulit buah alpukat (*Persea americana*) juga telah dimanfaatkan sebagai dimanfaatkan sebagai medium sintesis nanopartikel emas [10].

Brucea javanica atau yang dikenal sebagai buah makassar merupakan buah yang pahit dan beracun di alam. Buah ini memiliki senyawa bioaktif yang terbagi menjadi 5 kategori besar yaitu nigakilakton, alkaloid, triterpenoid, flavonoid dan asam lemak [11]. Berdasarkan dari senyawa bioaktif yang telah dianalisis, bagian kulit buah ini telah dimanfaatkan sebelumnya sebagai media sintesis nanopartikel perak [12]. Dalam famili yang sama yaitu *Simaroubaceae*, ekstrak kulit pohon *Ailanthus altissima* sudah dimanfaatkan sebagai medium sintesis nanopartikel yang menghasilkan partikel perak berukuran 80 nm [13]. Pada penelitian kulit buah makassar (*Brucea javanica*) digunakan untuk menguji aktivitas antibakteri membran nanokomposit kitosan/nanopartikel perak terhadap pertumbuhan bakteri *E. Coli* [14]. Berdasarkan uraian tersebut, perlu dilakukan pengembangan terkait kulit buah *Brucea javanica* sebagai medium sintesis nanopartikel emas. Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan bahan alam yaitu kulit buah *Brucea javanica* sebagai medium untuk reaksi reduksi nanopartikel emas.

2. Material dan Metode

Buah *Brucea javanica* muda dan tua diambil di Kota Bengkulu. Buah muda yang diambil yaitu buah yang masih berwarna hijau, sedangkan untuk buah tua yang diambil yang berwarna kecoklatan. Lalu, kulit dan bagian dalam buah dipisahkan. Kulit buah kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 3 hari. Kulit yang telah kering kemudian ditimbang sebanyak 1 gram lalu dimasukkan ke dalam akua demineral yang telah dipanaskan pada

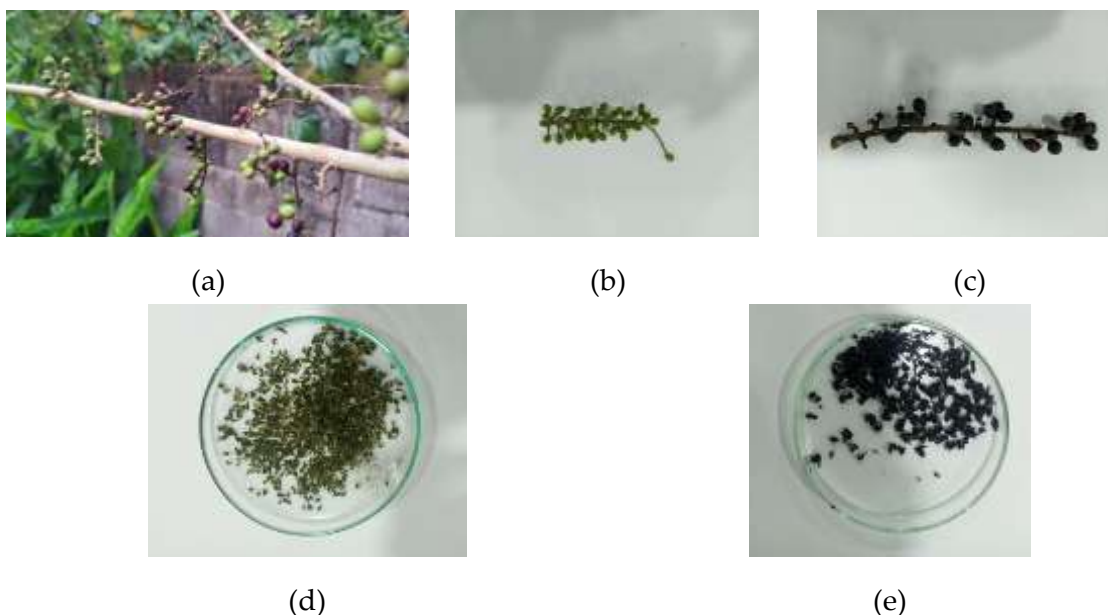
suhu 60 °C. Campuran kemudian diaduk selama 20 menit. Setelah itu, campuran disaring menggunakan kertas Whatmann No. 42 sehingga didapatkan hasil ekstraknya [12].

Sintesis nanopartikel emas dilakukan menggunakan perbandingan volume (v/v) 1 : 4. larutan H_{AuCl₄} 0,01 M diambil sebanyak 1 ml lalu diletakkan ke dalam 2 botol kaca. Lalu, ekstrak kulit buah *Brucea javanica* ditambahkan sebanyak masing-masing 4 mL pada botol kaca yang telah berisi H_{AuCl₄}. Campuran ekstrak kulit buah muda diberi tanda Au-1 dan campuran ekstrak kulit buah tua diberi tanda Au-2. Campuran diaduk selama 5 menit pada suhu ruang [15].

Karakterisasi nanopartikel emas dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Carry-60) pada panjang gelombang 350-800 nm. Karakterisasi lainnya dilakukan menggunakan Particle Size Analyzer (PSA) (Malvern Zetasizer Pro (ZSU 3200) dan Transmission Electron Microscope (TEM) (JEM-2100Plus JEOL) .

3. Hasil dan Pembahasan

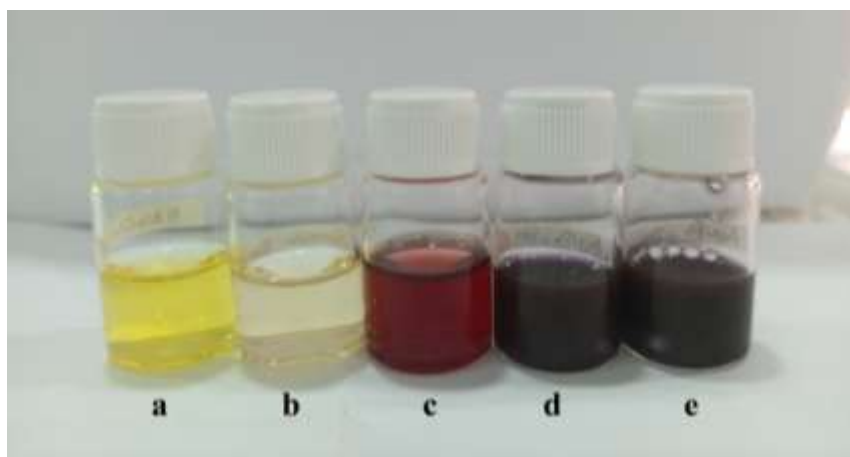
Biosintesis nanopartikel emas dilakukan menggunakan ekstrak kulit buah *Brucea javanica* yang muda dan tua yang diambil di Kota Bengkulu. Penampakan buah *Brucea javanica* dapat dilihat pada Gambar 1a. Bagian buah yang masih muda berwarna hijau dapat dilihat pada Gambar 1b dan buah yang sudah tua dapat dilihat pada Gambar 1c. Buah yang sudah didapatkan lalu dipisahkan antara kulit dan bagian dalamnya. Kulit buah dikeringkan pada suhu kamar untuk menghilangkan kadar air. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1d untuk kulit buah yang muda dan Gambar 1e untuk kulit buah yang sudah tua.



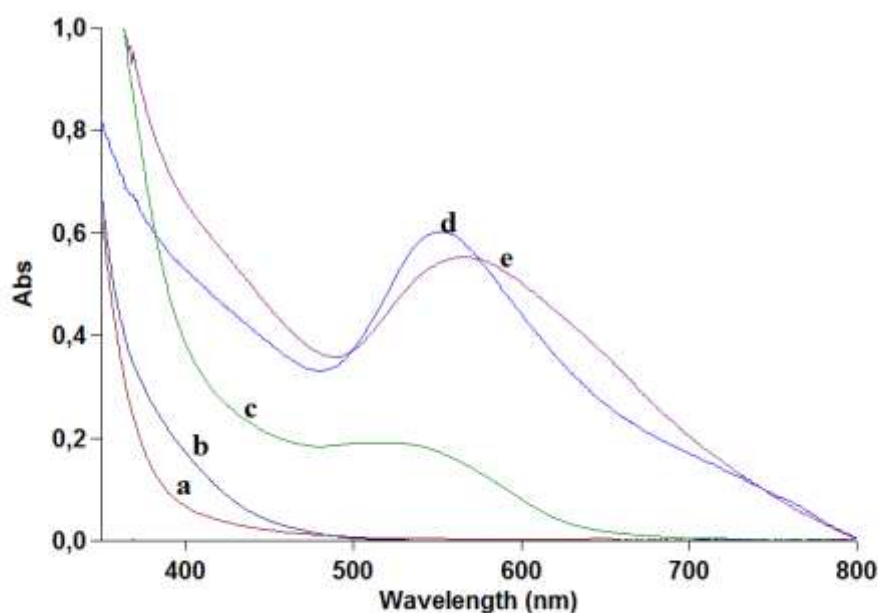
Gambar 1. a) Sampel buah *Brucea javanica*, b) buah muda, c) buah tua, d) kulit buah muda, dan e) kulit buah tua.

Proses sintesis dilakukan pada suhu kamar dengan dibantu pengadukan selama 5 menit. Hasil ekstraksi kulit buah *Brucea javanica* L. Merr yang muda didapatkan hasil warna kuning pada Gambar 2b dan kulit buah yang tua didapatkan hasil warna kemerahan pada

Gambar 2c. Hasil larutan HAuCl_4 (Gambar 2a) yang dicampurkan dengan ekstrak terjadi perubahan warna menjadi warna coklat kehitaman menggunakan ekstrak kulit buah yang muda (Gambar 2d) dan ekstrak buah yang tua (Gambar 2e). Perubahan warna merupakan hasil dari aktivitas dari zat metabolit pada ekstrak yang berperan sebagai bioreduktor dalam proses sintesis nanopartikel yang berefek pada proses *surface plasmon resonance* [10,16].



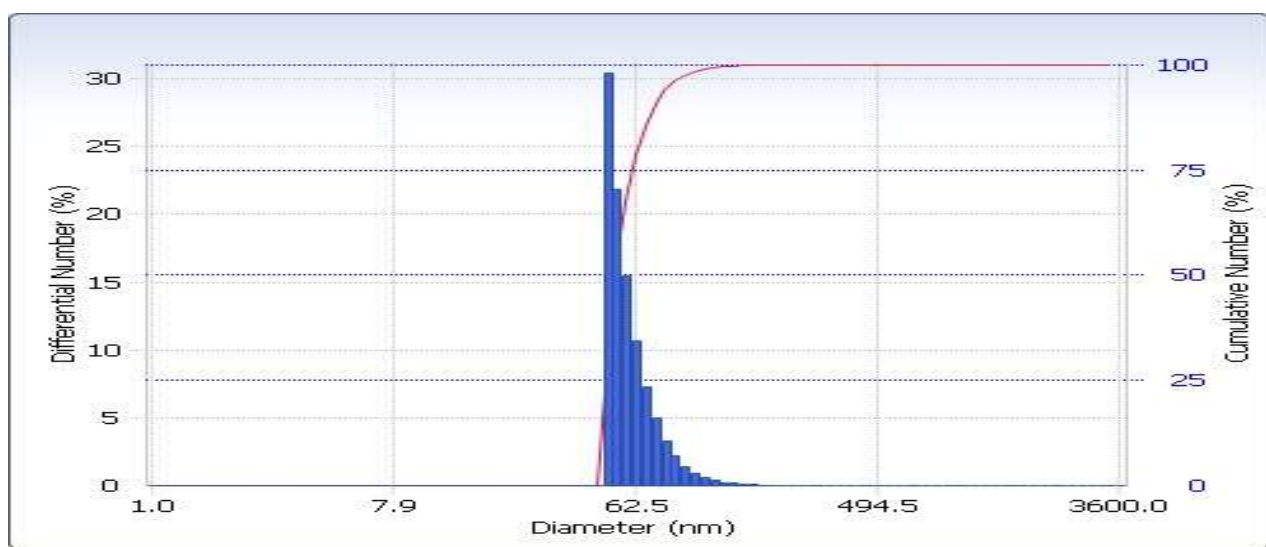
Gambar 2. Perubahan warna pada proses sintesis nanopartikel emas, a) larutan HAuCl_4 0,01 M, b) ekstrak kulit buah *Brucea javanica* L. Merr muda, c) ekstrak kulit buah *Brucea javanica* L. Merr tua, d) Au-1, dan e) Au-2.



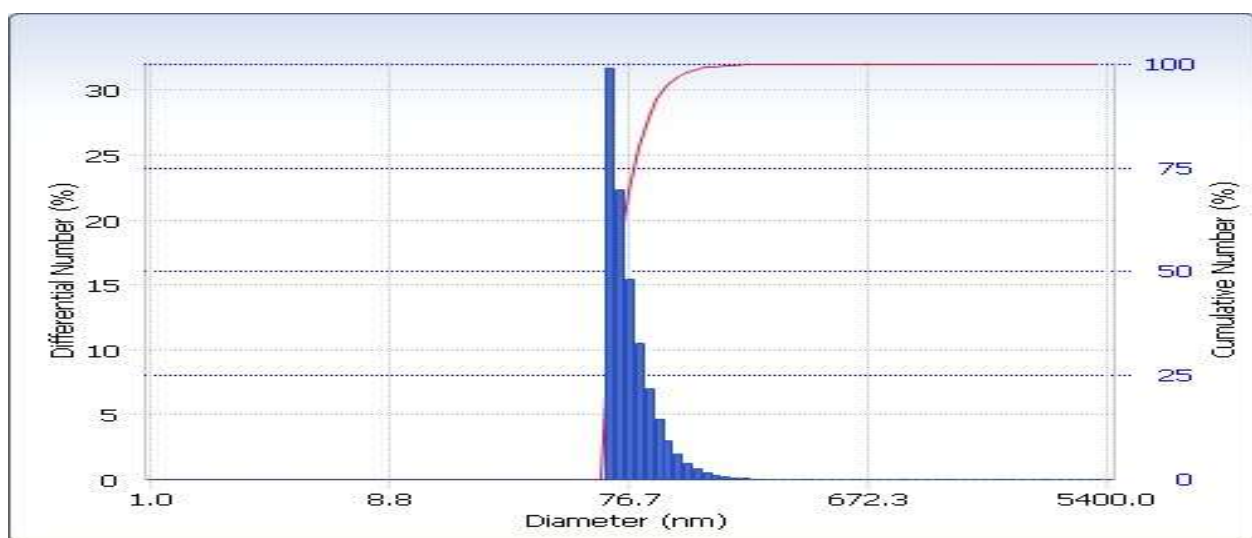
Gambar 3. Spektrum panjang gelombang, a) larutan HAuCl_4 0,01 M, b) ekstrak kulit buah *Brucea javanica* L. Merr muda, c) ekstrak kulit buah *Brucea javanica* L. Merr tua, d) Au-1, dan e) Au-2.

Spektrum panjang gelombang pada 350-800 nm tidak terdapat puncak pada larutan HAuCl_4 (Gambar 3a), ekstrak kulit buah yang muda (Gambar 3b) dan ekstrak kulit buah yang tua (Gambar 3c). Hasil sintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak kulit buah

yang muda menghasilkan puncak gelombang di 553 nm (Gambar 3d) sedangkan hasil sintesis yang menggunakan ekstrak kulit buah yang tua menghasilkan puncak gelombang di 564 nm (Gambar 3e). Puncak gelombang 553 dan 564 nm membuktikan bahwa nanopartikel emas telah berhasil disintesis yang didasarkan pada puncak serapan SPR (*Surface Plasmon Resonance*) pada panjang gelombang 500-600 nm [17]. Sintesis nanopartikel emas (AuNPS) melibatkan perubahan Au^{3+} dari HAuCl_4 menjadi Au^0 yang disebabkan interaksi dari ekstrak kulit buah *Brucea javanica* [18]. Keadaan oksidasi emas meliputi Au^+ (aurous), Au^{3+} (auric/aurat), dan yang tidak teroksidasi adalah Au^0 . Au^0 adalah kondisi akhir yang diinginkan untuk nanopartikel [19].



(a)



(b)

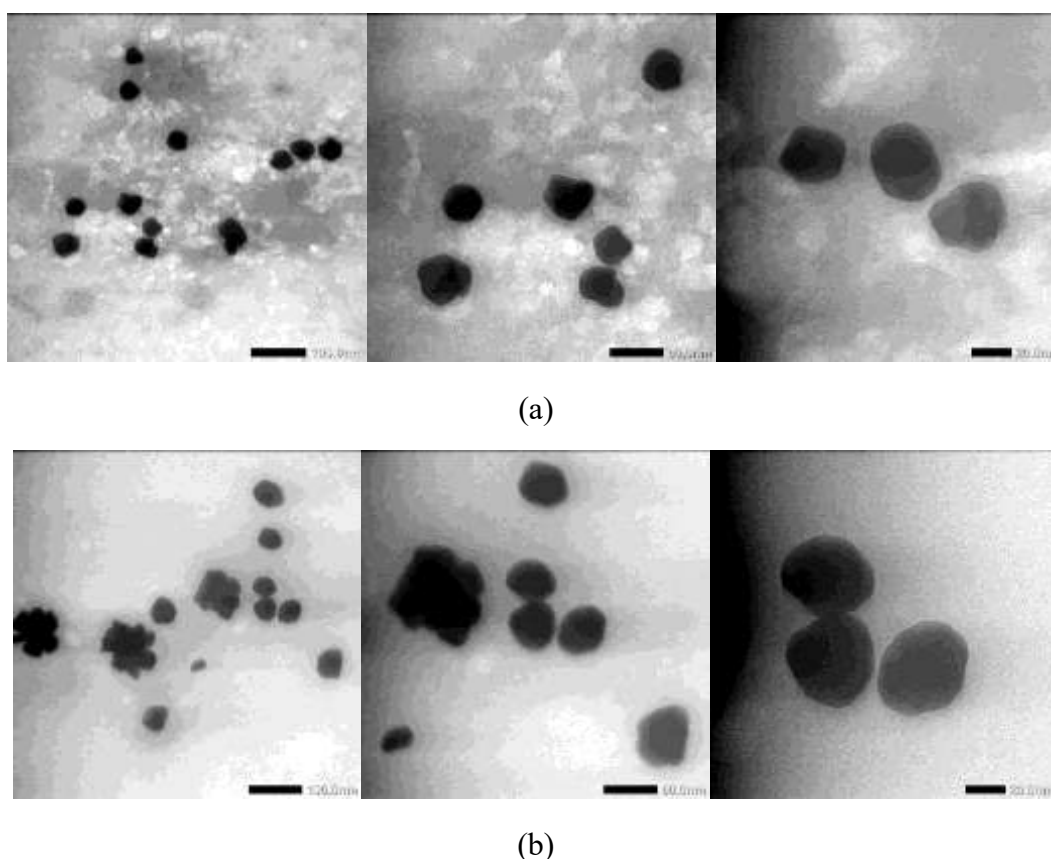
Gambar 4. Distribusi ukuran partikel nanopartikel emas (AuNPS), a) ekstrak buah *Brucea javanica* muda (Au-1) dan b) ekstrak buah *Brucea javanica* tua (Au-2).

Tabel 1. Ukuran partikel emas.

Nanopartikel emas (AuNPS)	Ukuran Partikel (nm) $\pm$ SD	Polydispersity index (PI)
Au-1	59,5 $\pm$ 14,7	0,372
Au-2	78,5 $\pm$ 19,5	0,424

Gambar 4 dan Tabel 1 menunjukkan distribusi ukuran partikel yang terjadi pada nanopartikel emas dari ekstrak kulit buah *Brucea javanica* muda dan tua. Hasilnya pada Au-1 didapatkan hasil ukuran partikel emas yaitu 59,5 nm sedangkan Au-2 menghasilkan ukuran partikel 78,5 nm. Ukuran partikel ini selaras dengan serapan puncak nanopartikel emas yang didapatkan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang memperlihatkan spektrum serapan kulit buah muda lebih kecil dibandingkan serapan kulit buah yang tua [20,21].

Selain ukuran partikel, PI yang didapatkan pada Au-1 yaitu 0,372 dan Au-2 yaitu 0,424. PI yang didapatkan pada kulit buah yang muda lebih kecil dibandingkan kulit buah yang tua. PI menunjukkan pengukuran rata-rata distribusi ukuran partikel. PI antara 0,1-0,5 menunjukkan bahwa distribusi yang terjadi secara merata [22].

**Gambar 5.** Pola TEM pada perbesaran 100 nm, 50 nm dan 20 nm, a) Au-1 dan b) Au-2.

Gambar 5 memperlihatkan pola TEM Au-1 dan Au-2 pada perbesaran 20 nm, 50 nm dan 100 nm. Hasilnya dapat terlihat bahwa penggambaran secara keluruhan nanopartikel emas yang dihasilkan berbentuk sferis [23].

Reduksi nanopartikel emas melibatkan senyawa metabolit sekunder yang ada pada kulit buah *Brucea javanica* terutama flavonoid. Flavonoid memiliki peran yang penting dalam proses pengikatan ion emas. Flavonoid sebagai agen pereduksi menyumbangkan elektron ke ion logam dan mengubahnya menjadi partikel logam [24].

Komposisi bioaktif ekstrak tumbuhan mempengaruhi ukuran dan morfologi nanopartikel emas. Nanopartikel yang lebih kecil dan lebih monodispersi biasanya menghasilkan puncak SPR yang lebih tajam dan lebih intens, sedangkan variasi bentuk dan ukuran menyebabkan pergeseran panjang gelombang dan intensitas penyerapan SPR. Nanopartikel emas berukuran lebih besar, puncak SPR bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih panjang (merah dan inframerah). Ini karena semakin besar nanopartikel, semakin banyak osilasi elektron diredam, membutuhkan energi yang lebih tinggi (panjang gelombang yang lebih panjang) untuk beresonansi [25].

4. Kesimpulan

Sintesis nanopartikel emas telah berhasil dilakukan menggunakan medium sintesis ekstrak kulit buah *Brucea javanica*. Hasilnya Au-1 (ekstrak kulit buah muda) menghasilkan spektrum panjang gelombang UV-Vis pada 553 nm sedangkan Au-2 (ekstrak kulit buah tua) pada 564 nm. Distribusi partikel yang dihasilkan pada Au-1 yaitu 59,5 nm sedangkan Au-2 yaitu 78,5 nm dengan distribusi yang merata. Pola TEM menunjukkan kedua nanopartikel yang dihasilkan berbentuk sferis.

5. Patents

Kontribusi Penulis: Pencarian topik dan metodologi, Muhamad Alvin Reagen and Salprima Yudha S; pelaksanaan penelitian, Suci Sukma Taruna Asral, Diana Andari, Octakireina Liesaini Daefisal, Muhamad Alvin Reagen; Pembuatan manuskrip, Muhamad Alvin Reagen, Suci Sukma Taruna Asral, Salprima Yudha S. Seluruh penulis menyatakan telah membaca manuskrip dan setuju untuk dipublikasikan di *Bencooleen Journal of Pharmacy*.

Persantunan dan Pendanaan: Penelitian ini merupakan penelitian kolaborasi mandiri yang dilakukan antara Program Studi Kimia FMIPA Universitas Bengkulu (UNIB), Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Intan Lampung dan Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi Sumatera (ITERA) pada tahun 2024.

Daftar Pustaka

1. Hu, X.; Zhang, Y.; Ding, T.; Liu, J.; Zhao, H. Multifunctional Gold Nanoparticles: A Novel Nanomaterial for Various Medical Applications and Biological Activities. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **2020**, 8(August), 1–17. doi: 10.3389/fbioe.2020.00990
2. Daniel, M.; Astruc D. Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecularchemistry, Quantum-size-related Properties, and Applications Toward. *Chemical Reviews* **2004**, 104 (1), 293– 346.
3. Mazaher, G.; Mohammadmahdi, M.; Maryam, G.; Amir, Z.; Vahid, F.O.; Aleksandar, U.; Alexander, S. Targeted Drug Delivery Based on Gold Nanoparticle Derivatives. *Current Pharmaceutical Design* **2017**, 23 (20), 2918–29. <https://doi.org/10.2174/1381612823666170419105413>
4. Dheyab, M.A.; Aziz, A.A.; Khaniabadi, P.M.; Jameel, M.S.; Oladzadabbasabadi, N.; Mohammed, S.A.; Abdullah, R.S.; Mehrdel, B. Monodisperse Gold Nanoparticles. A

- Review on Synthesis and Their Application in Modern Medicine. *International Journal of Molecular Sciences* **2022**, 23 (13), 1-34. <https://doi.org/10.3390/ijms23137400>
5. Kong, F.Y.; Zhang, J.W.; Li, R.F.; Wang, Z.X.; Wang, W.J.; Wang, W. Unique Roles of Gold Nanoparticles in Drug Delivery, Targeting and Imaging Applications. *Molecules* **2017**, 22 (9), 1-13. <https://doi.org/10.3390/molecules22091445>
 6. Suliasih, B.A.; Budi, S.; Katas, H. Synthesis and Application of Gold Nanoparticles as Antioxidants. *Pharmacia* **2024**, 71, 1-19. <https://doi.org/10.3897/PHARMACIA.71.E112322>
 7. Botteon, C.E.A.; Silva, L.B.; Ccana-Ccapatinta, G.V.; Silva, T.S.; Ambrosio, S.R.; Veneziani, R.C.S.; Bastos, J.K.; Marcato, P.D. Biosynthesis and Characterization of Gold Nanoparticles Using Brazilian Red Propolis and Evaluation of Its Antimicrobial and Anticancer Activities. *Scientific Reports* **2021**, 11 (1), 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81281-w>
 8. Castro, L.; Blázquez, M.L.; González, F.; Muñoz, J.Á.; Ballester, A. Exploring The Possibilities of Biological Fabrication of Gold Nanostructures Using Orange Peel Extract. *Metals* **2015**, 5 (3), 1609-1619. <https://doi.org/10.3390/met5031609>
 9. Krishnaprabha, M.; Pattabi, M. Synthesis of Gold Nanoparticles Using Garcinia Indica Fruit Rind Extract. *International Journal of Nanoscience* **2016**, 15 (5&6), 1-6. <http://dx.doi.org/10.1142/S0219581X16600152>
 10. Adebayo, A.E.; Oke, A.M.; Lateef, A.; Oyatokun, A.A.; Abisoye, O.D.; Adiji, I.P.; Fagbenro, D.O.; Amusan, T. V.; Badmus, J.A.; Asafa, T.B.; et al. Biosynthesis of Silver, Gold and Silver-gold Alloy Nanoparticles Using Persea Americana Fruit Peel Aqueous Extract for Their Biomedical Properties. *Nanotechnology for Environmental Engineering* **2019**, 4 (1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s41204-019-0060-8>
 11. Yan, Z.; Guo, G. F.; Zhang, B. Research of Brucea Javanica Against Cancer. *Chinese Journal of Integrative Medicine* **2017**, 23 (2), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11655-016-2501-6>
 12. Yudha, S.S.; Notriawan, D.; Angasa, E.; Eka, T.; Hendri, J.; Nishina, Y. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Aqueous Rinds Extract of Brucea Javanica (L .) Merr at Ambient Temperature. *Materials Letters* **2013**, 97, 181-183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2013.01.114>
 13. Arshad, M.; Khan, A.; Farooqi, Z.H.; Usman, M.; Waseem, M.A.; Shah, S.A.; Khan, M. Green Synthesis, Characterization and Biological Activities of Silver Nanoparticles Using the Bark Extract of Ailanthus Altissima. *Materials Science- Poland* **2018**, 36 (1), 21-26. <https://doi.org/10.1515/msp-2017-0100>
 14. Notriawan, D.; Nesbah; Emis, G.; Fadhila, M.A.; Wibowo, R.H.; Pertiwi, R.; Ilfansari, V. Aktivitas Antibakteri Membran Bionanokomposit Kitosan/Nanopartikel. *ALCHEMY: Journal of Chemistry* **2021**, 9 (1), 26-31. <http://dx.doi.org/10.18860/al.v9i1.11146>
 15. Falahudin, A.; Yudha, S.S.; Gustian, I.; Adfa, M.; Banon, C.; Sutanto, T.D. Ekstrak Bunga Tapak Kuda (Ipomoea pescaprae L. Sweet) Sebagai Medium Sintesis Nanopartikel Emas. *Jurnal Kimia dan Kemasan* **2020**, 42 (1), 7-13. <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v42i1.5810>
 16. Amin, F.; Mahardika, M.; Fatimah, S. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor Dari Ekstrak Daun Berenuk. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia* **2020**, 4 (2), 54-59. <https://doi.org/10.32493/jitk.v4i2.5101>
 17. Manjari, G.; Saran, S.; Arun, T.; Devipriya, S.P.; Vijaya, B.R.A. Facile Aglaia elaeagnoidea Mediated Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles: Antioxidant and

- Catalysis Properties. *Journal of Cluster Science* **2017**, 28 (4). <https://doi.org/10.1007/s10876-017-1199-8>
18. Mikhailova, E.O. Gold Nanoparticles: Biosynthesis and Potential of Biomedical Application. *Journal of Functional Biomaterials* **2021**, 12 (4). <https://doi.org/10.3390/jfb12040070>
 19. Baer, D.R.; Engelhard, M.H.; Johnson, G.E.; Laskin, J.; Lai, J.; Mueller, K.; Munusamy, P.; Thevuthasan, S.; Wang, H.; Washton, N.; et al. Surface Characterization of Nanomaterials and Nanoparticles: Important Needs and Challenging Opportunities. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* **2013**, 31 (5). <https://doi.org/10.1116/1.4818423>
 20. López-Muñoz, G.A.; Pescador-Rojas, J.A.; Ortega-Lopez, J.; Salazar, J.S.; Abraham Balderas-López, J. Thermal Diffusivity Measurement of Spherical Gold Nanofluids of Different Sizes/Concentrations. *Nanoscale Research Letters* **2012**, 7 (1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-423>
 21. Nengsih, S. Kajian Variasi Ukuran Nanopartikel Emas Melalui Metode Seed Mediated Growth. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan* **2017**, 3(2), 9–14. <https://doi.org/10.22373/P-JPFT.V2018I2.7455>
 22. Karimi, S.; Moshaii, A.; Nikkhah, M. Controlled Synthesis of Colloidal Monodisperse Gold Nanoparticles in a Wide Range Of Sizes; Investigating the Effect of Reducing Agent. *IOP Conference* **2019**;1–13. DOI 10.1088/2053-1591/ab3e13
 23. Meen, T.H.; Tsai, J.K.; Chao, S.M.; Lin, Y.C.; Wu, T.C.; Chang, T.Y.; Ji, L.W.; Water, W.; Chen, W.R.; Tang, I.T. Surface Plasma Resonant Effect Of Gold Nanoparticles On The Photoelectrodes Of Dye-Sensitized Solar Cells. *Nanoscale Research Letters* **2013**, 8 (1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-450>.
 24. Marslin, G.; Siram, K.; Maqbool, Q.; Selvakesavan, R.K.; Kruszka, D.; Kachlicki, P.; Franklin, G. Secondary metabolites in the green synthesis of metallic nanoparticles. *Materials* **2018**, 11 (6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma11060940>.
 25. Timoszyk, A.; Grochowalska, R. Mechanism and Antibacterial Activity of Gold Nanoparticles (AuNPs) Functionalized with Natural Compounds from Plants. *Pharmaceutics* **2022**, 14 (12), 1–30. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14122599>.