



Artikel Penelitian

Article history:

Received 8 January, 2024

Revised 29 January, 2024

Accepted 30 January, 2024

Kata Kunci:

Asam Askorbat;
AuNPs; Iradiasi Sinar
UV; Nilai pH

Keywords:

Ascorbic acid; AuNPs; pH
Values; UV Irradiation

INDEXED IN

SINTA - Science and
Technology Index
Crossref
Google Scholar
Garba Rujukan Digital: Garuda

**CORRESPONDING
AUTHOR**

Resti Pranata Putri
Program Studi Teknologi
Rekayasa Pangan, Jurusan
Teknologi Pertanian, Politeknik
Negeri Jember

EMAIL

resti.pranata@polije.ac.id

OPEN ACCESS

E ISSN 2623-2022

Green Synthesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs) Menggunakan Asam Askorbat dan Iradiasi Sinar UV

Green Synthesis and Characterization of Gold Nanoparticles (AuNPs) Using Ascorbic Acid and UV Irradiation

Resti Pranata Putri^{1*}, Silvia Oktavia Nur Yudiastuti¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

Abstrak: Nanopartikel Emas (AuNPs) bersifat inert dan memiliki resistensi tinggi terhadap oksidasi permukaan, sehingga AuNPs memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai bahan dalam kemasan makanan. AuNPs dapat diproduksi dengan cara mereduksi ion Au(III) menjadi nanopartikel emas menggunakan metode green synthesis dengan asam askorbat atau yang lebih dikenal sebagai vitamin C. Dalam penelitian ini, dilakukan investigasi terhadap pengaruh pH dan iradiasi sinar UV terhadap efektivitas reduksi ion Au(III) menjadi AuNPs dengan penambahan asam askorbat. Proses reduksi dilakukan dengan penambahan larutan HAuCl_4 , pada konsentrasi 0,25 mM, dengan asam askorbat pada konsentrasi 0,75 mM dan berbagai tingkat pH, yaitu 1; 3; 5; 7; 9; dan 11 dalam sebuah reaktor yang dilengkapi dengan lampu UV selama 24 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asam askorbat secara signifikan meningkatkan reduksi Au(III) di bawah iradiasi sinar UV dengan mencapai kondisi optimum pada pH 3. Hasil karakterisasi AuNPs menggunakan Transmission Electron Microscopy (TEM) dan pola Selected Area Electron Diffraction (SAED) menunjukkan bahwa produk yang terbentuk dari reduksi ion-ion Au(III) dengan asam askorbat di bawah iradiasi UV terdiri dari nanopartikel emas (AuNPs) dengan diameter rata-rata 25,64 nm.

Abstract: Gold nanoparticles (AuNPs) are inert and exhibit high resistance to surface oxidation, making them potentially suitable for application as materials in food packaging. AuNPs can be produced by reducing gold ions Au(III) to elemental gold using green synthesis method with ascorbic acid, also known as vitamin C. In this study, an investigation was conducted on how the pH levels and UV irradiation affect its efficacy in reducing Au(III) ions with ascorbic acid. The reduction process was carried out by exposing a mixture consisting of $[\text{AuCl}_4]^-$ ions, at a concentration of 0.25 mM, to ascorbic acid at a concentration of 0.75 mM and different pH levels, namely 1; 3; 5; 7; 9; and 11 within a reactor equipped with UV light for a full 24-hour cycle. The research findings indicated that ascorbic acid could notably enhanced the reduction of Au(III) in the presence of UV irradiation, reaching an optimum at pH 3. Characterization analysis using Transmission Electron Microscopy (TEM) and Selected Area Electron Diffraction (SAED) indicated that the product formed from reducing Au(III) ions with ascorbic acid under UV irradiation comprised of elemental gold nanoparticles (AuNPs) with average diameter of 25.64 nm.

Jurnal Kolaboratif Sains (JKS)

Doi: 10.56338/jks.v7i2.4717

Pages: 621-629

LATAR BELAKANG

Nanopartikel Emas (AuNPs) termasuk salah satu jenis nanopartikel yang paling penting karena sifatnya yang inert, biokompatibilitas yang baik, serta toksisitas yang rendah (Hammami et al., 2021). Aplikasi AuNPs meliputi beberapa bidang, yaitu di bidang pangan, medis, dan teknologi. Di bidang pangan, AuNPs berpotensi digunakan sebagai bahan kemasan makanan untuk memperpanjang masa simpan produk makanan (Dash et al., 2022). AuNPs memiliki kemampuan untuk mengikat berbagai jenis gugus fungsional karena memiliki luas permukaan yang besar dan sensitivitas pengikatan molekul target yang tinggi (Gu et al., 2018). AuNPs juga bersifat inert dan memiliki resistensi tinggi terhadap oksidasi permukaan (Paidari & Ibrahim, 2021). Bergantung pada ukuran dan bentuknya, AuNPs memiliki sifat antimikroba yang kuat (Lima et al., 2013). Berdasar sifat-sifat tersebut, AuNPs sesuai untuk digunakan sebagai bahan kemasan makanan.

AuNPs dapat diproduksi dengan mereduksi ion-ion emas, seperti Au(I) atau Au(III), menjadi partikel emas (Au) menggunakan metode fisika, kimia, maupun biologis di bawah kondisi tertentu (Hammami et al., 2021). Salah satu metode untuk mensintesis AuNPs adalah metode *green synthesis* dengan asam askorbat. *Green synthesis* menawarkan alternatif yang berkelanjutan dengan biaya dan konsumsi energi yang lebih rendah, serta dampak lingkungan yang lebih sedikit (Fu et al., 2011). *Green synthesis* juga ditandai oleh sifatnya yang ramah lingkungan, terjangkau, serta yang paling penting, tidak memerlukan suhu, tekanan, maupun energi yang tinggi, serta tidak menghasilkan bahan kimia berbahaya (Awad et al., 2019).

Menurut Fu et al. (2011), asam askorbat atau yang lebih dikenal sebagai vitamin C, adalah agen pereduksi dan agen penstabil yang sangat baik dalam *green synthesis* nanopartikel emas dan nanopartikel perak. Asam askorbat terkenal sebagai antioksidan, memiliki sifat ramah lingkungan, dan memiliki sifat biodegradabilitas dan biokompatibilitas yang baik. Selain itu, asam askorbat tidak bersifat toksik dan memiliki kelarutan yang sangat baik dalam air. Mekanisme sintesis nanopartikel emas menggunakan asam askorbat bergantung pada pH, di mana lapisan kompleks ionik terbentuk di atas nanopartikel emas dan dapat memperlambat agregasi nanopartikel tersebut (Tyagi et al., 2011).

Pemanfaatan iradiasi sinar UV telah terbukti mempercepat sintesis nanopartikel emas (AuNPs) (Gomes et al., 2023). Selain itu, nilai pH juga sangat berpengaruh pada pertumbuhan AuNPs yang diinduksi oleh iradiasi sinar UV dengan penambahan asam organik. Yang et al. (2007) sebelumnya telah melaporkan pengaruh nilai pH terhadap sintesis AuNPs dengan penambahan asam sitrat. Namun, belum ada penelitian secara ekstensif dilakukan tentang studi pengaruh pH terhadap sintesis AuNPs dengan penambahan asam askorbat yang disertai iradiasi sinar UV. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kami menunjukkan pengaruh pH dan iradiasi sinar UV dalam *green synthesis* AuNPs dengan menggunakan asam askorbat (vitamin C) serta karakterisasi AuNPs yang dihasilkan pada proses tersebut.

METODE

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas laboratorium, alat timbang listrik (Libror EB-330 Shimadzu), *magnetic stirrer*, satu set reaktor UV yang dilengkapi lampu UV tipe *black light blue* (BLB) 40-Watt, 220 Volt dengan panjang gelombang 340-490 nm. Untuk keperluan analisis digunakan alat spektrofotometri serapan atom (ASS) merk Perkin Elmer tipe 3110,

mikroskop transmisi elektron (TEM) dan *Selected Area Electron Diffraction* (SAED) serta program *Diffraction Ring Profiler* dan program imageJ.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan HAuCl_4 , L-asam askorbat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), *buffer* pH 1, 3, 5, 7, 9, dan 11, kertas saring Whatman 42 *ashless circles* 90mm dan akuabides.

Metode

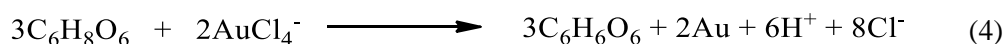
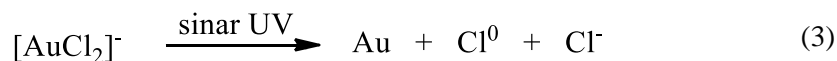
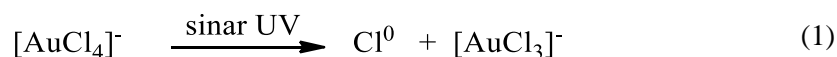
Proses reduksi Au (III) oleh sinar UV dilakukan dengan sistem *batch* dalam reaktor yang dilengkapi dengan lampu UV dan *plate* yang dilengkapi dengan *magnetic stirrer* (pengaduk magnet). Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh pH larutan dan pengaruh iradiasi sinar UV terhadap reduksi Au(III) dengan asam askorbat untuk mensintesis AuNPs. Untuk mempelajari pengaruh pH larutan terhadap efektivitas reduksi ion Au(III) oleh adanya sinar UV, nilai pH ion Au(III) dan asam askorbat diatur pada nilai yang bervariasi yaitu 1, 3, 5, 7, 9, dan 11 dengan penambahan larutan *buffer* yang sesuai. Untuk mempelajari pengaruh pH terhadap efektivitas reduksi ion Au(III) oleh asam askorbat dan sinar UV dilakukan penambahan 12,5 mL ion Au (III) 0,25 mM pada pH tertentu dengan 12,5 mL asam askorbat 0,75 mM pada pH yang sama ke dalam erlenmeyer. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditutup dengan plastik transparan. Semua erlenmeyer kemudian dimasukkan ke dalam reaktor tertutup yang dilengkapi *magnetic stirrer* dan dilakukan iradiasi dengan lampu UV selama 24 jam. Filtrat yang diperoleh disaring kemudian dianalisis dengan spektrofotometri serapan atom (SSA) untuk mengidentifikasi konsentrasi Au(III) yang tereduksi menjadi Au^0 .

Untuk mempelajari pengaruh iradiasi sinar UV terhadap efektivitas reduksi ion Au(III) oleh asam askorbat dilakukan dengan menambahkan 12,5 mL Au(III) 0,25 mM dan 12,5 mL asam askorbat 0,75 mM ke dalam erlenmeyer pada pH optimum yang didapatkan dari langkah sebelumnya, kemudian ditutup dengan plastik transparan dan dimasukkan ke dalam reaktor tertutup yang dilengkapi *magnetic stirrer* dalam kondisi gelap selama 24 jam. Perlakuan yang sama juga dilakukan untuk kondisi iradiasi dengan lampu UV selama 24 jam. Filtrat yang diperoleh disaring kemudian dianalisis dengan spektrofotometri serapan atom (SSA) untuk mengidentifikasi konsentrasi Au(III) yang tereduksi menjadi Au.

Hasil reduksi Au (III) berupa padatan logam emas. Setelah dikeringkan, padatan emas kemudian dianalisis dengan alat *Transmission Electron Microscope* (TEM) yang dilengkapi dengan teknik *Selected Area Electron Diffraction* (SAED) untuk mengetahui morfologi padatan dan untuk membuktikan padatan yang terbentuk merupakan nanopartikel emas (AuNPs). Program ImageJ digunakan untuk menentukan ukuran partikel AuNPs dan pola SAED diolah dengan program *Diffraction Ring Profiler*.

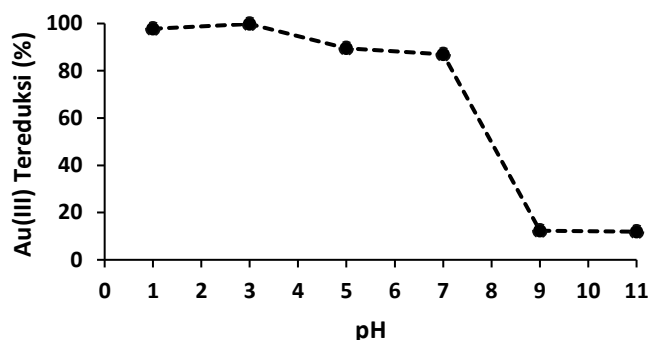
PEMBAHASAN

Ion $[\text{AuCl}_4]^-$ dapat mengalami reduksi menjadi nanopartikel emas dengan iradiasi sinar UV dengan membentuk larutan campuran yang semula berwarna kekuningan menjadi merah keunguan setelah iradiasi selama 24 jam, sesuai dengan reaksi yang ditunjukkan pada persamaan (1), (2), dan (3) (Yang et al., 2007). Selain itu, reduksi Ion $[\text{AuCl}_4]^-$ menjadi nanopartikel emas oleh asam askorbat juga dapat terjadi sesuai dengan persamaan (4) (Tyagi et al., 2011).



Pengaruh pH

Efektivitas reduksi ion Au(III) menjadi partikel emas (AuNPs) dengan penambahan asam askorbat serta iradiasi sinar UV sangat dipengaruhi oleh nilai pH larutan dengan mencapai optimum pada pH 3, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh pH terhadap reduksi Au(III) menjadi AuNPs dengan iradiasi sinar UV

Pada gambar 1, ditunjukkan grafik yang menggambarkan pengaruh nilai pH terhadap proses reduksi Au(III) menjadi AuNPs dengan menggunakan iradiasi sinar UV pada pH 1, 3, 5, 7, 9, dan 11. Hasil menunjukkan adanya peningkatan efektivitas reduksi Au(III) dari 97,74% pada pH 1 menjadi 99,80% pada pH 3. Namun, pada pH 5 terjadi penurunan efektivitas menjadi 89,55%, diikuti dengan penurunan lebih lanjut menjadi 87,01% pada pH 7. Dalam lingkungan basa, teramati penurunan drastis efektivitas reduksi AuNPs menjadi 12,33% pada pH 9 dan 11,91% pada pH 11.

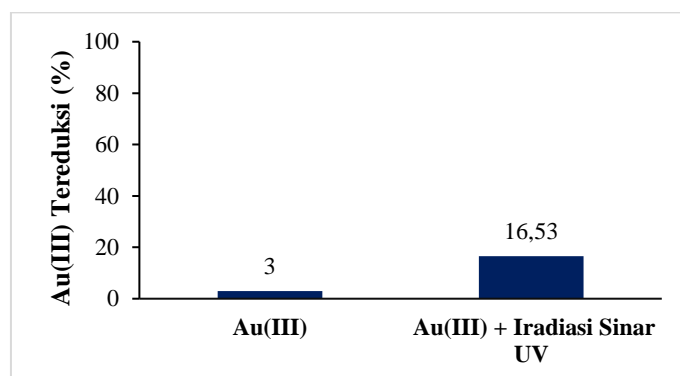
Nilai efektivitas reduksi Au(III) pada pH 3 relatif lebih besar dibanding pada pH 1. Pada pH 3, Au(III) berada dalam bentuk $[\text{AuCl}_4]^-$ dan asam askorbat berada dalam bentuk $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ dan $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6^-$, dengan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ merupakan bentuk yang dominan. Namun, $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6^-$ merupakan spesies asam askorbat yang lebih reaktif atau lebih mudah untuk teroksidasi dibanding $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (Holder et al., 2000), hal ini menyebabkan kemampuan reduksi asam askorbat pada pH 3 relatif lebih baik dibanding pada pH 1. Pada peningkatan nilai pH dari 5 hingga 7, asam askorbat berada dalam bentuk $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6^-$ sementara persentase ion $[\text{AuCl}_4]^-$ dalam sistem reaksi mengalami penurunan. Pada kondisi ini mulai terbentuk spesies ion Au(III) yang lain, yaitu $[\text{AuCl}_3(\text{OH})]^-$, $[\text{AuCl}_2(\text{OH})_2]^-$, $[\text{AuCl}(\text{OH})_3]^-$, dan $[\text{Au}(\text{OH})_4]^-$ (Paclawski & Fitzner, 2004). Spesies-spesies tersebut lebih sulit tereduksi dibanding $[\text{AuCl}_4]^-$, karena adanya ligan OH yang dapat menghalangi interaksi asam askorbat dengan ion Au(III) dan menghambat terjadinya proses transfer elektron (Yang et al., 2007).

Proses reduksi ion Au(III) pada kondisi basa terbukti berjalan sangat rendah. Pada pH 9 dan 11 ion Au(III) sebagian besar berada dalam bentuk $[\text{Au}(\text{OH})_4]^-$. dan asam askorbat berada dalam bentuk

$C_6H_6O_6^{2-}$. Kedua spesies tersebut sangat sulit untuk bereaksi, $Au(OH)_4^-$ tidak memiliki ligan Cl yang dapat berfungsi sebagai jembatan (*bridge connection*) pada proses transfer elektron untuk mereduksi ion Au(III) dan $C_6H_6O_6^{2-}$ memiliki kestabilan yang lebih rendah dibanding spesies asam askorbat lainnya sehingga kurang efektif dalam mereduksi ion Au(III) (Paclawski & Fitzner, 2004).

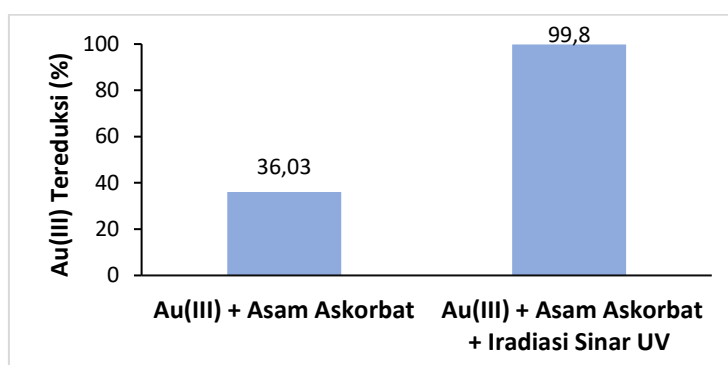
Pengaruh Iradiasi Sinar UV

Investigasi pengaruh iradiasi sinar UV pada reduksi Au(III) pada pH optimum, yaitu pH 3, ditunjukkan pada gambar 2. Tanpa iradiasi sinar UV, efektivitas reduksi Au(III) menjadi AuNPs adalah 3 % sedangkan dengan iradiasi sinar UV selama 24 jam efektivitasnya meningkat menjadi 16,53%. Reduksi tersebut dapat terjadi karena sinar UV mengakibatkan fotolisis air yang menghasilkan elektron. Elektron tersebut kemudian digunakan untuk mereduksi Au(III). Proses fotolisis air tersebut berlangsung lambat sehingga elektron yang dihasilkan relatif sedikit, yang menyebabkan reduksi Au(III) kurang efektif. Selain reduksi ion Au(III) oleh adanya elektron hasil fotolisis air (Hojo et al., 2014), ion tersebut juga dapat direduksi secara langsung oleh sinar UV sesuai pada persamaan (1) sampai dengan (3).



Gambar 2. Pengaruh iradiasi sinar UV terhadap reduksi ion Au(III) menjadi AuNPs

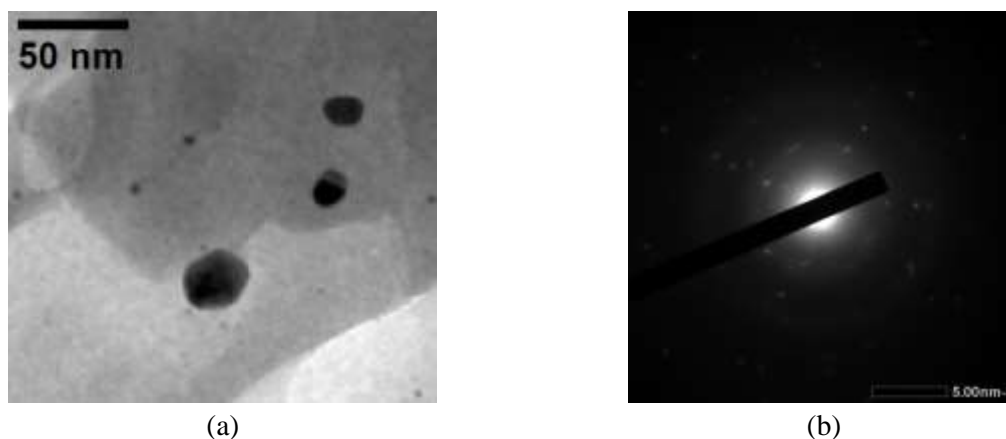
Dengan adanya asam askorbat, Au(III) dapat direduksi melalui asam asetat dikarboksilat, yang dihasilkan dari oksidasi asam askorbat oleh Au(III) atau oksidan lain dalam larutan seperti ditunjukkan pada persamaan (3). Gambar 3 menunjukkan bahwa iradiasi sinar UV dapat meningkatkan reduksi ion Au(III) menjadi AuNPs dari semula 36,03 % menjadi 99,80%. Oleh karena itu, reduksi Au(III) menjadi AuNPs dengan penambahan asam askorbat dan iradiasi sinar UV didominasi oleh reaksi foto-kimia. Reaksi ini terjadi karena terbentuknya kompleks asam organik dengan Au(III) yang dapat tereksitasi akibat adanya iradiasi sinar UV dan tereduksi menjadi nanopartikel emas (AuNPs) dan produk oksidasi dari asam organik tersebut (Yang et al., 2007).



Gambar 3. Pengaruh iradiasi sinar UV terhadap reduksi ion Au(III) menjadi AuNPs oleh asam askorbat

Karakterisasi AuNPs

Nanopartikel emas (AuNPs) berbentuk padatan berwarna kekuningan didapatkan pada reduksi ion Au(III) oleh asam askorbat dengan iradiasi sinar UV. Padatan tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan instrumentasi *Transmission Electron Microscope* (TEM) untuk mengetahui morfologinya pada skala 50 nm, seperti ditunjukkan pada Gambar 4(a). Teknik *Selected Area Electron Diffraction* (SAED) juga digunakan untuk menganalisis jenis padatan seperti ditunjukkan pada gambar 4(b).



Gambar 4. (a) Citra TEM untuk *green-synthesized* AuNPs dan (b) Pola SAED untuk *green-synthesized* AuNPs

Berdasarkan citra TEM pada gambar 4(a) terlihat bahwa AuNPs yang disintesis pada pH 3 memiliki bentuk sferikal dengan ukuran bervariasi dan cenderung teraglomerasi. Pada pH di bawah 7, bentuk sferikal dari AuNPs tidak mudah dipertahankan dan memungkinkan aglomerasi. Aglomerasi ini dikarenakan adanya adsorpsi ion $[\text{AuCl}_4]^-$ pada permukaan AuNPs (Tyagi et al., 2011). Pada citra TEM tersebut, ukuran diameter rata-rata adalah 25,64 nm.

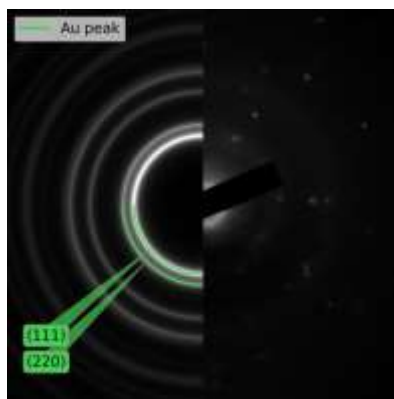
Pola SAED pada gambar 4(b) diolah menggunakan program *Diffraction Ring Profiler* yang menghasilkan gambar 5(a) dan 5(b) yang menunjukkan profil cincin difraksi antara AuNPs

dibandingkan dengan standar Au (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards-JCPDS* no. 04-0784, USA).

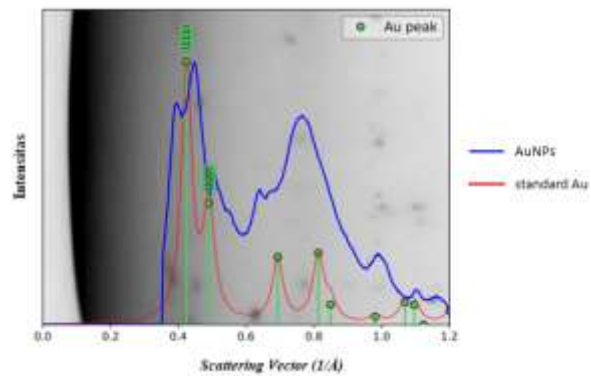
Pola SAED lebih lanjut diolah untuk mendapatkan nilai jarak antar bidang kristal (d) yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada penelitian ini, AuNPs memiliki jarak antar bidang kristal sebesar 2,37 Å untuk nilai hkl (111) dan 2,03 Å untuk nilai hkl (200). Data ini menyerupai nilai dari standar Au yang memiliki jarak antar bidang kristal sebesar 2,355 Å dan 2,039 Å dengan nilai hkl sebesar (111) dan (200). Dari data tersebut, dapat dipastikan bahwa sampel padatan merupakan partikel emas (Au).

Tabel 1. Jarak antar bidang kristal (d) dari *green-synthesized* AuNPs dibandingkan dengan data standar Au dari JCPDS

<i>Green-synthesized</i> AuNPs $d(\text{Å})$	Standar Au berdasar JCPDS $d(\text{Å})$	hkl
2,37	2,355	(111)
2,03	2,039	(200)



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Hasil olahan pola SAED untuk *green-synthesized* AuNPs dan (b) Profil cincin difraksi untuk *green-synthesized* AuNPs

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *green synthesis* nanopartikel emas (AuNPs) menggunakan asam askorbat secara signifikan dapat meningkatkan reduksi Au(III) di bawah iradiasi sinar UV dengan mencapai kondisi optimum pada pH 3. Hasil karakterisasi AuNPs menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) dan pola *Selected Area Electron Diffraction* (SAED) menunjukkan bahwa produk yang terbentuk dari reduksi ion-ion Au(III) dengan asam askorbat di bawah iradiasi UV terdiri dari nanopartikel emas (AuNPs) berbentuk sferikal dan cenderung teraglomerasi dengan diameter rata-rata 25,64 nm.

SARAN

Penelitian ini merekomendasikan untuk penelitian selanjutnya mengkaji aplikasi AuNPs sebagai bahan kemasan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Awad, M. A., Eisa, N. E., Virk, P., Hendi, A. A., Ortashi, K. M. O. O., Mahgoub, A. S. A., Elobeid, M. A., & Eissa, F. Z. 2019. Green synthesis of gold nanoparticles: Preparation, characterization, cytotoxicity, and anti-bacterial activities. *Materials Letters*, 256, 126608. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126608>
- Dash, K. K., Deka, P., Bangar, S. P., Chaudhary, V., Trif, M., & Rusu, A. 2022. Applications of Inorganic Nanoparticles in Food Packaging: A Comprehensive Review. *Polymers*, 14(3), 521. <https://doi.org/10.3390/polym14030521>
- Fu, X., Yang, H., Zhang, X., Li, X., Xu, L., & Jia, Y. 2011. One-step method for preparation of pH-responsive gold nanoparticles with block copolymer shell structures by UV irradiation. *Polymer Bulletin*, 67(6), 1059–1072. <https://doi.org/10.1007/s00289-011-0524-x>
- Gomes, D. S. B., Paterno, L. G., Santos, A. B. S., Barbosa, D. P. P., Holtz, B. M., Souza, M. R., Moraes-Souza, R. Q., Garay, A. V., De Andrade, L. R., Sartoratto, P. P. C., Mertz, D., Volpato, G. T., Freitas, S. M., & Soler, M. A. G. 2023. UV-Accelerated Synthesis of Gold Nanoparticle–Pluronic Nanocomposites for X-ray Computed Tomography Contrast Enhancement. *Polymers*, 15(9), 2163. <https://doi.org/10.3390/polym15092163>
- Gu, H., Chen, X., Chen, F., Zhou, X., & Parsaee, Z. 2018. Ultrasound-assisted biosynthesis of CuO-NPs using brown alga *Cystoseira trinodis*: Characterization, photocatalytic AOP, DPPH scavenging and antibacterial investigations. *Ultrasonics Sonochemistry*, 41, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.09.006>
- Hammami, I., Alabdallah, N. M., Jomaa, A. A., & Kamoun, M. 2021. Gold nanoparticles: Synthesis properties and applications. *Journal of King Saud University - Science*, 33(7), 101560. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101560>
- Hojo, M., Uji-yie, Y., Tsubota, S., Tamura, M., Yamamoto, M., Okamura, K., & Isshiki, K. 2014. Can pure gold be dissolved in seawater mixed with aqueous nitric acid? *Journal of Molecular Liquids*, 194, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.01.014>
- Holder, A. A., Brown, R. F. G., Marshall, S. C., Payne, V. C. R., Cozier, M. D., Alleyne, W. A., & Bovell, C. O. 2000. Mechanism of the oxidation of L-ascorbic acid by the bis(pyridine-2,6-dicarboxylate)cobaltate(III) ion in aqueous solution. *Transition Metal Chemistry*, 25(5), 605–611. <https://doi.org/10.1023/A:1007046125017>
- Lima, E., Guerra, R., Lara, V., & Guzmán, A. 2013. Gold nanoparticles as efficient antimicrobial agents for *Escherichia coli* and *Salmonella typhi*. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-11>
- Paclawski, K., & Fitzner, K. 2004. Kinetics of gold(III) chloride complex reduction using sulfur(IV). *Metallurgical and Materials Transactions B*, 35(6), 1071–1085. <https://doi.org/10.1007/s11663-004-0063-z>
- Paidari, S., & Ibrahim, S. A. 2021. Potential application of gold nanoparticles in food packaging: A mini review. *Gold Bulletin*, 54(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/s13404-021-00290-9>

- Tyagi, H., Kushwaha, A., Kumar, A., & Aslam, M. 2011. pH-Dependent Synthesis of Stabilized Gold Nanoparticles Using Ascorbic Acid. *International Journal of Nanoscience*, 10(04n05), 857–860. <https://doi.org/10.1142/S0219581X11009301>
- Yang, S., Wang, Y., Wang, Q., Zhang, R., & Ding, B. 2007. UV irradiation induced formation of Au nanoparticles at room temperature: The case of pH values. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 301(1–3), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.12.051>