

Sintesis *Silver Nanoparticles* (AgNPs) Menggunakan Bioreduktor Limbah Daun Pisang Kepok (*Musa paradisiaca linn*)

Andi Rusnaenah^{a*}, Tabrizia Aqilah Sarah Azzahra^b

^{ab} Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Indonesia, 10510

*Corresponding author: andiena@stmi.ac.id

Diterima : 10 Januari 2024, Direvisi : 01 Februari 2024, Diterbitkan : 07 Februari 2024

Abstrak

Nanoteknologi merupakan pengembangan material pada skala nano dengan ukuran berkisar 1-100 nm. *Silver nanoparticles* (AgNPs) banyak diaplikasi dalam industri otomotif, terutama sebagai antimikroba untuk komponen *interior* otomotif. Daun pisang kepok (*Musa paradisiaca linn*) mempunyai kandungan senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid dan taninyang berpotensi berperan sebagai bioreduktor untuk mereduksi ion perak (Ag^+) pada larutan $AgNO_3$ menjadi AgNPs (Ag^0). Penelitian ini bertujuan untuk sintesis AgNPs menggunakan bioreduktor ekstrak daun pisang kepok. Senyawa AgNPs dibuat dengan mencampurkan ekstrak daun pisang kepok 10 mL dengan 50 mL larutan perak nitrat ($AgNO_3$) 1 mM pada temperatur ruang, direaksikan sampai pada waktu reaksi sampel mencapai panjang gelombang pada rentang 400-500 nm. Proses pembentukan AgNPs dimonitoring dengan Spektrofotometer UV-Vis pada waktu reaksi terbaik selama 10 hari dengan panjang gelombang 440 nm. Hasil pengujian PSA didapatkan distribusi ukuran rata-rata 52,5 nm. Hasil pengujian FTIR pada koloid AgNPs diduga terdapat senyawa fenol (O-H) pada bilangan gelombang 3.564,73 cm^{-1} , keton pada bilangan gelombang 1.749,58 cm^{-1} , C-H pada bilangan gelombang 2.890,83 cm^{-1} , dan alkena (C=C) pada bilangan gelombang 1.558,27 cm^{-1} .

Kata kunci: bioreduktor, daun pisang kepok, *green synthesis*, *silver nanoparticles*

Abstract

Nanotechnology is the development of materials on a nanoscale with sizes ranging from 1 to 100 nm. *Silver nanoparticles* (AgNPs) are widely applied in the automotive industry, especially as antimicrobial agents for automotive interior components. Banana kepok leaves (*Musa paradisiacalinn*) contain secondary metabolite compounds such as flavonoids and tannins that can potentially act as bioreducers to reduce the silver ion (Ag^+) in $AgNO_3$ solutions to AgNPs (Ag^0). This study aims to synthesize AgNPs using banana leaf extract bioreducers. AgNPs are prepared by mixing 10 mL of banana leaf extract with 50 mL of a 1 mM silver nitrate ($AgNO_3$) solution at room temperature, reacting until the sample reaction reaches a wavelength of 400-500 nm. The formation process of AgNPs is monitored by a UV-Vis spectrophotometer at the best reaction time for 10 days with a wavelength of 440 nm. The PSA test results found an average size distribution of 52.5 nm. The results of FTIR testing on colloid AgNPs are thought to have phenol (O-H) compounds at 3,564.73 cm^{-1} , ketones at 1,749.58 cm^{-1} , C-H at 2,890.83 cm^{-1} , and alkenes (C=C) at 1,558.27 cm^{-1} .

Keywords: bioreductor, banana kepok leaves, *green synthesis*, *silver nanoparticles*

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, bahan struktur nano telah digunakan secara signifikan dalam penelitian di berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Nanopartikel memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga rasio luas permukaan terhadap volume lebih besar dan lebih reaktif dibanding dengan material ukuran besar (*bulk*). Nanopartikel logam seperti perak

(Ag), emas (Au), dan tembaga (Cu) memiliki sifat seperti kekuatan mekanik, elektrtonik, magnetik, kestabilan termal, katalitik, optik dan antimikroba. Diantara nanopartikel logam tersebut, *silver nanoparticles* (AgNPs) memiliki kemampuan antimikroba lebih baik yang dapat dikompositkan dengan komponen interior mobil seperti sabuk pengaman,

bantalan jok dan pintu panel (Bissessur dkk., 2020; Mathew dkk., 2019; Mohseni dkk., 2019).

Ada tiga metode utama untuk mensintesis AgNPs, yaitu fisika, kimia, dan biologis atau *green synthesis*. Senyawa AgNPs yang disintesis dengan metode kimia memiliki efek pencemaran lingkungan dan potensi masalah kesehatan. Metode fisika membutuhkan biaya, tekanan, suhu dan energi yang tinggi. Namun dengan metode *green synthesis* menggunakan sumber daya alam, seperti tanaman, bakteri, jamur dan alga yang berperan sebagai agen pereduksi dan *capping*. Sintesis AgNPs menggunakan ekstrak tumbuhan memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan metode lain karena hemat energi, tidak beracun, bebas polusi, ramah lingkungan, ekonomis, dan menggunakan bahan baku terbarukan, dapat dibudidayakan sehingga keberadaannya dialam melimpah (Ying dkk., 2022).

Daun pisang kepok (*Musa paradisiaca linn*) biasanya digunakan sebagai pembungkus makanan untuk menambah aroma khas pada makanan. Daun pisang kepok merupakan tumbuhan yang memiliki sifat antioksidan yang tinggi sehingga ada yang memanfaatkan sebagai obat tradisional. Daun pisang kepok juga memiliki sifat antimikroba dan antiinflamasi. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2022), produksi pisang di Indonesia pada 2029 mencapai 9,60 juta ton, jumlah tersebut lebih banyak 9,79% dibanding pada tahun sebelumnya yaitu sebanyak 8,74 juta ton dan produktivitas pisang di Jawa Barat sendiri mencapai 1,32 juta ton pada 2022. Pisang yang sudah dipanen tidak akan berbuah lagi, sehingga harus ditebang untuk penanaman bibit pisang kembali. Pohon pisang yang ditebang pada akhirnya akan menjadi limbah, termasuk daun pisang. Daun

pisang kepok mengandung senyawa flavonoid, saponin, dan tanin (Asuquo dan Udobi, 2016). Kandungan pisang kepok Beberapa indikator terbentuknya AgNPs yaitu secara visual terlihat adanya perubahan warna dari tidak berwarna menjadi coklat jernih, kenaikan pH ekstrak bioreduktor dengan sintesis AgNPs dan diperkuat dengan spektrum UV-Vis berada pada panjang gelombang 400-500 nm. AgNPs yang disintesis dengan tumbuhan yang berbeda akan memperoleh ukuran yang berbeda juga, meskipun memiliki salah satu atau beberapa molekul dan volume yang sama, karena masing-masing tumbuhan memiliki konsentrasi biomolekul yang berbeda, sehingga waktu reaksi yang dibutuhkan berbeda pula untuk mendapatkan AgNPs (Salayoa dkk. 2021; Shaik dkk., 2018).

Penelitian Nugroho et al., (2021) menggunakan daun pisang raja sebagai bioreduktor, disintesis pada temperatur diatas suhu ruang, diperoleh ukuran AgNPs 57 nm. Penggunaan temperatur diatas suhu ruang memerlukan energi dan biaya. Adapun penelitian (Wang et al., 2018) menggunakan daun jambu biji (*Psidium guajava*) disintesis pada temperatur ruang, diperoleh ukuran AgNPs sebesar 20-35 nm. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis dengan temperatur ruang dapat menghasilkan AgNPs dalam rentang 1-100 nm.

Berdasarkan uraian diatas, memunculkan permasalahan yaitu apakah daun pisang kepok dapat digunakan sebagai bioreduktor untuk sintesis AgNPs pada suhu ruang dan berapa ukuran AgNPs yang diperoleh. Tujuan penelitian ini adalah untuk sintesis AgNPs menggunakan daun pisang kepok sebagai bioreduktor pada suhu ruang.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Limbah daun pisang kepok didapatkan dari kebun di daerah Cilangkap, Jawa Barat. Perak nitrat (AgNO_3), akuades, dan NaOH di beli di Toko Harum Kimia, Jakarta. Sedangkan senyawa FeCl_3 merk Merck KGaA dan HCl 2N merk Merck.

2.2 Persiapan Ekstrak Daun Pisang Kepok

Daun pisang kepok dicuci dengan air mengalir kemudian dikering anginkan. Daun pisang kepok direbus sebanyak 10g ke dalam 100 mL aquades selama 1 jam pada temperatur 100°C . Rebusan daun pisang kepok disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 1 dan ekstrak yang diperoleh disimpan pada temperatur 4°C sampai digunakan untuk sintesis AgNPs.

2.3 Uji Fitokimia Ekstrak Daun Pisang Kepok

Pengujian fitokimia dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu:

a. Uji Flavonoid

Pengujian dilakukan dengan memasukkan 3 mL ekstrak daun pisang kepok kedalam tabung reaksi lalu ditambahkan dengan 1 ml larutan NaOH 10%. Hasil positif ditunjukkan dengan timbulnya warna kuning (Melkamu & Bitew, 2021)

b. Uji Saponin

Pengujian dilakukan dengan memasukkan 10 ml air panas kedalam tabung reaksi yang berisi 1 ml sampel uji yang telah dilarutkan dalam aseton. Selanjutnya larutan didinginkan dan dikocok selama 10 detik. Terbentuknya buih selama kurang lebih selama 1 menit dengan ketinggian 1-10 cm dan tidak hilang bila ditambahkan 1 tetes HCl 2N menandakan bahwa ekstrak yang diuji mengandung saponin (Melkamu & Bitew, 2021).

c. Uji Tanin

Pengujian dilakukan dengan memasukkan 0,5 mL ekstrak daun pisang kepok dipindahkan kedalam tabung reaksi ditambah 1 mL air mendidih dan ditambahkan 2-3 tetes larutan FeCl_3 1%. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya warna biru tua atau hitam kehijauan (Melkamu & Bitew, 2021; Sirisangsawang & Phetyim, 2023).

2.4 Sintesis Silver Nanoparticles

Sintesis AgNPs dilakukan dengan mencampurkan ekstrak daun pisang kepok dengan larutan AgNO_3 (1:5) pada temperatur ruang. Campuran diamati dan dicatat berupa perubahan warna, waktu mulai terjadi reaksi dan selang waktu reaksi berikutnya, pH serta dilakukan pengujian spektrum UV-Vis (Wang et al., 2018). Perubahan warna mulai terjadi pada waktu 12 jam, lalu dilanjutkan pengamatan berikutnya pada waktu 24, 36, 60, 84 dan 120 jam. Sampel yang memenuhi kriteria koloid AgNPs disimpan di tempat gelap untuk selanjutnya dilakukan uji PSA dan FTIR.

2.5 Karakterisasi AgNPs




Campuran larutan AgNO_3 dengan ekstrak daun pisang kepok dimonitoring pada panjang gelombang 300-500 nm menggunakan *Spectrophotometer Ultra Violet Visible (UV-Vis) SHIMADZU BioSpec-mini Single Beam*. Untuk mengukur distribusi ukuran rata-rata partikel dari koloid AgNPs menggunakan metode *Dynamic Light Scattering (DLS) Particle Size Analyzer (PSA) HORIBASZ100*. Sampel diidentifikasi antara 400 and 4000 cm^{-1} menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Nicolet IS5 Thermoscientific*, dengan resolusi sebesar 4 cm^{-1} .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Fitokimia

Hasil uji fitokimia menunjukkan a daun pisang kepok mengandung senyawa metabolit sekunder flavonoid dan tanin. Kandungan fitokimia dalam ekstrak daun pisang kepok dapat berperan sebagai *capping agent* dan stabilisator. Tumbuhan menunjukkan keanekaragaman kimia yang tinggi karena terdapat berbagai faktor-faktor intrinsik dan ekstrinsi seperti variasi genetik, faktor ekologis dan lingkungan, dan lain-lain. Selain itu, aspek lingkungan yang berbeda termasuk suhu, radiasi, dan periode sintesis merupakan faktor yang menentukan kualitas dan kuantitas fitokimia. Berikut data hasil uji fitokimia pada daun pisang kepok ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak Daun Pisang Kepok

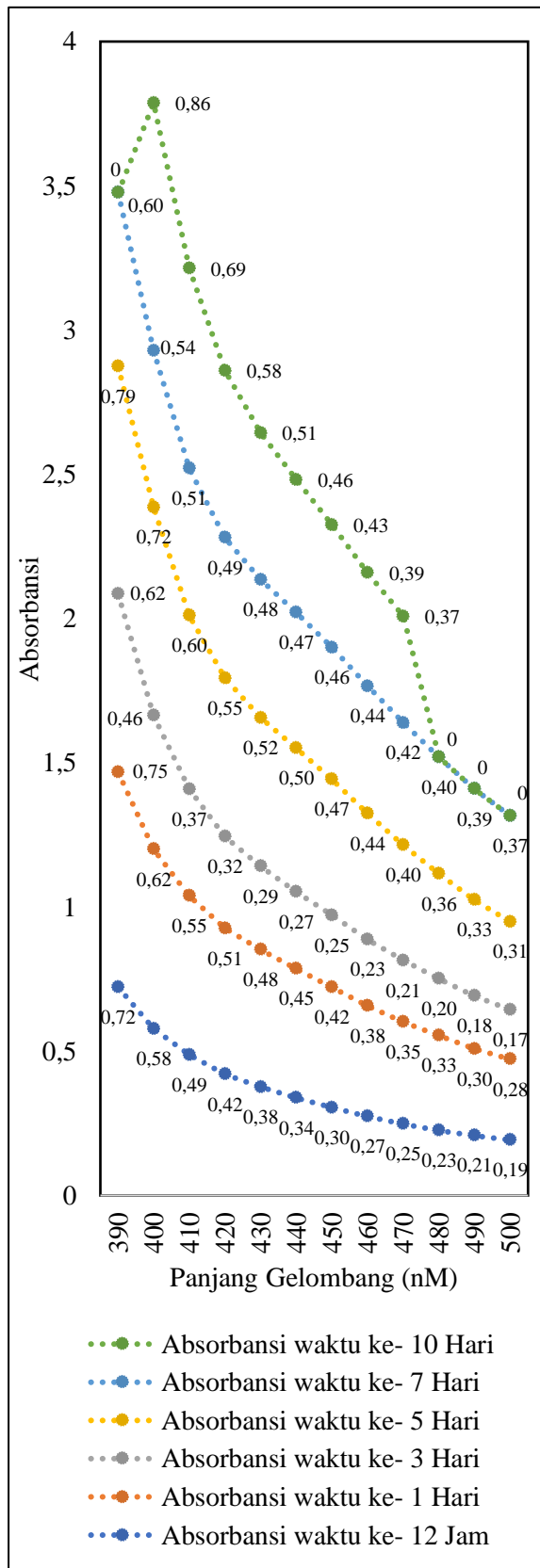
Senyawa Metabolit	Reagen	Hasil	Keterangan
Flavonoid	<i>Alkaline reagent test</i>	+	 Munculnya warna kuning
Saponin	<i>Frothing test</i>	-	 Terbentuknya buih selama kurang lebih 1 menit dengan ketinggian 1-10 cm
Tanin	<i>Ferric chloride test</i>	+	 Munculnya warna hijau

kehitaman atau biru kehitaman

3.2 Uji Serapan UV-Vis

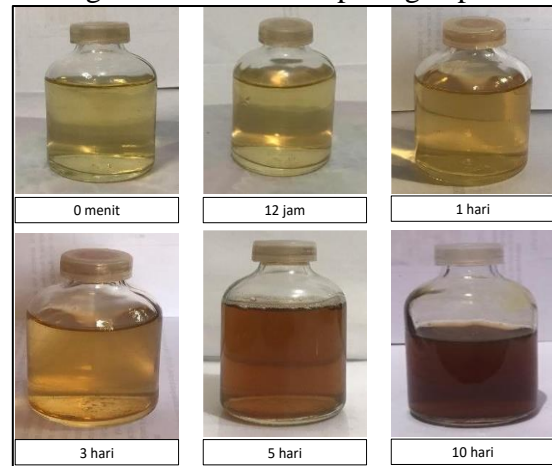
Identifikasi pembentukan AgNPs dilakukan melalui pengamatan visual dan analisis *Surface Plasmon Resonance* (SPR) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengujian UV-Vis pada Gambar 1, didapatkan puncak yang muncul pada panjang gelombang 440 nm dengan absorbansi sebesar 1,067 dan waktu reaksi selama 10 hari, hal ini menunjukkan terbentuknya AgNPs. Indikator terbentuknya AgNPs sejalan dengan penelitian sebelumnya yaitu panjang gelombang maksimum AgNPs berada pada rentang 400-500 nm (Le et al., 2021; Rusnaenah et al., 2017; Salayová et al., 2021; Ying et al., 2022).

Hasil observasi secara visual dari AgNPs yang disintesis menggunakan ekstrak daun pisang kepok pada Gambar 2, yaitu pada waktu 0 menit warna larutan kuning jernih, menjadi kuning kemudian warna berubah menjadi coklat pada waktu reaksi 10 hari. Hal ini sejalan dengan perubahan pH pada sampel, pengamatan pH sebelum dan setelah reaksi berlangsung yaitu masing-masing 5 dan 6. Perubahan pH pada sampel menunjukkan perubahan ion dalam senyawa metabolit sekunder, yaitu kemampuan senyawa dalam mereduksi ion perak yang menyebabkan terjadinya oksidasi pada senyawa tersebut, hal ini ditandai dengan perubahan warna AgNPs. pH AgNPs yang meningkat diduga banyak gugus fungsi yang mereduksi ion perak sehingga AgNPs lebih stabil dan mencegah terjadinya aglomerasi (Alayande dkk., 2021). Penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa ukuran intensitas puncak *Surface Plasmon Resonance* (SPR) meningkat dengan kenaikan pH (Khan dkk., 2022).



Gambar 1. Grafik UV-Vis larutan

AgNO₃-ekstrak daun pisang kepok

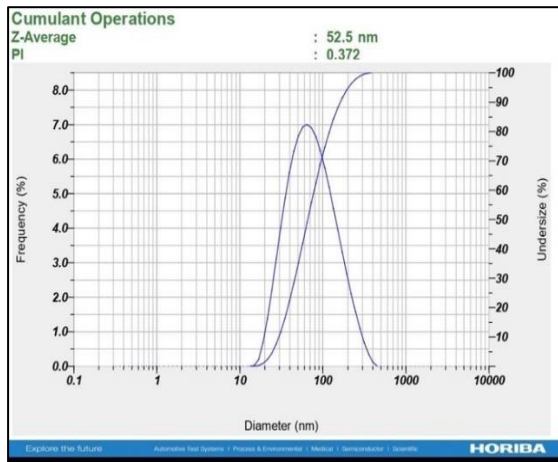


Gambar 2. Sintesis AgNPs

3.3 Uji *Particle Size Analyzer* (PSA)

Karakterisasi koloid nanopartikel dengan menggunakan PSA dilakukan untuk mengukur distribusi ukuran rata-rata partikel. Berdasarkan hasil analisis UV-Vis yang telah dilakukan pada Gambar 3, didapatkan puncak yang berada pada rentang 400-500 nm yaitu pada Panjang gelombang 440 nm pada sampel yang disintesis selama 10 hari, kemudian dilanjutkan dengan pengujian PSA.

Berdasarkan hasil PSA grafik distribusi koloid AgNPs pada waktu reaksi 10 hari diperoleh ukuran AgNPs 52,5 nm, hal ini mendukung hasil pengujian UV-Vis, pengukuran pH dan pengamatan secara visual. Ukuran AgNPs ini sesuai definisi nanopartikel dalam rentang ukuran 1-100 nm. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya (Rusnaenah dkk., 2016; Ghatage et al., 2023; Logambal et al., 2023). Data grafik hasil pengujian PSA dengan sampel AgNPs ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



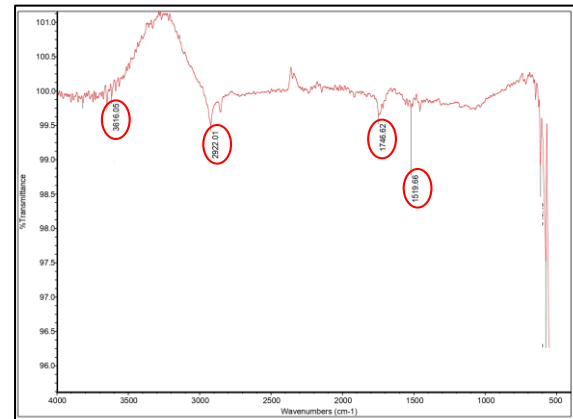
Gambar 3. Grafik PSA AgNPS

Distribusi ukuran partikel AgNPs yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan penelitian Nugroho dan Artikawati, (2021) yang menggunakan ekstrak daun pisang raja yaitu diperoleh ukuran $57,16 \pm 0,40$ nm. Namun masih jauh lebih besar dibandingkan dengan penelitian Banala dkk., (2015) yang menggunakan ekstrak daun pepaya menghasilkan ukuran partikel 5-15 nm. Hal ini dapat terjadi dikarenakan setiap tumbuhan memiliki konsentrasi biomolekul yang berbeda, sehingga ukuran yang dihasilkan dapat berbeda pula tergantung dengan tumbuhan yang digunakan (Shaik dkk., 2018). Aktivitas fitokimia sebagai agen pereduksi dipengaruhi oleh pH larutan, semakin asam pH sampel maka akan semakin besar ukuran nanopartikel yang dihasilkan. Sedangkan sampel yang memiliki pH basa, akan memiliki ukuran partikel lebih kecil. AgNPs yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun pisang kepok memiliki pH sebelum dan setelah sintesis masing-masing 5 dan 6 (Alayande dkk., 2021).

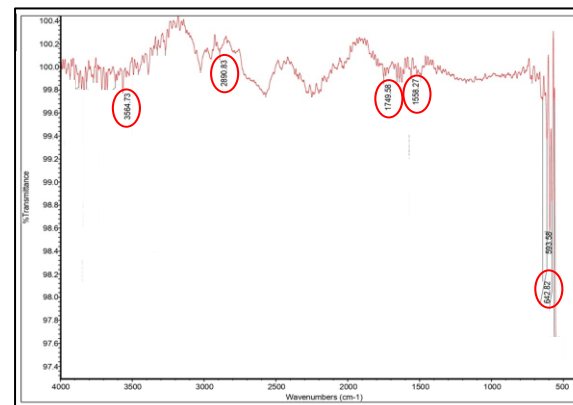
3.4 Uji FTIR

Hasil analisis FTIR pada Gambar 4 menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang pada spektrum ekstrak dengan AgNPs. Pergeseran ini diduga menunjukkan ekstrak daun pisang kepok

berfungsi sebagai agen pereduksi dan agen penstabil AgNPs.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Hasil FTIR ekstrak daun pisang kapok, (b) Hasil FTIR kolois AgNPs

Pada ekstrak daun pisang kepok diduga terdapat gugus fungsi O-H yaitu pada bilangan gelombang $3.616,05 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H *stretching* dan gugus fungsi C=O masing-masing terdapat pada bilangan gelombang $2.922,01$ dan $1.746,62 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C=C dan C-H bend masing-masing terdapat pada bilangan gelombang $1.519,66$ dan $646,18 \text{ cm}^{-1}$.

Sedangkan koloid AgNPs terdapat gugus fungsi O-H yaitu pada bilangan gelombang $3.564,73 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H *stretching* dan C=O masing-masing terdapat pada bilangan gelombang

2.890,83 dan 1.749,58 cm^{-1} . Gugus fungsi C=C dan C-H bend masing-masing pada bilangan gelombang 1.557,26 dan 642,82 cm^{-1} . Berdasarkan data tersebut maka dengan adanya gugus fungsi O-H, C=O, C=C, dan C-H yang terkandung di dalam ekstrak daun pisang kepok diduga merupakan senyawa yang berfungsi sebagai agen pereduksi pada larutan AgNO_3 membentuk AgNPs. Adanya pergeseran bilangan gelombang diduga menunjukkan terjadinya reaksi redoks (Rusnaenah dkk., 2016).

4. KESIMPULAN

Senyawa AgNPs dapat disintesis menggunakan daun pisang kapok sebagai bioreduktor pada suhu ruang, diperoleh ukuran sebesar 52,5 nm, hal tersebut didukung dari hasil karakterisasi UV-Vis pada panjang gelombang 440 nm dan pengamatan secara visual sampel berwarna coklat tua, serta pH meningkat. Terbentuknya AgNPs juga dikonfirmasi melalui karakterisasi FTIR dengan adanya pergeseran bilangan gelombang yang diduga terjadinya reaksi redoks.

5. DAFTAR PUSTAKA

Alayande, S. O., Akinsiku, A. A., Akinsipo (Oyelaja), O. B., Ogunjinmi, E. O., & Dare, E. O. (2021). *Green synthesized silver nanoparticles and their therapeutic applications. In Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 94, pp. 585–611). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.01.009>

Asuquo, E. G., & Udobi, C. E. (2016). *Antibacterial and toxicity studies of the ethanol extract of Musa paradisiaca leaf*. *Cogent Biology*, 2(1), 1219248. <https://doi.org/10.1080/23312025.2016.1219248>

Banala, R. R., Nagati, V. B., & Karnati, P. R. (2015). *Green synthesis and characterization of Carica papaya*

leaf extract coated silver nanoparticles through X-ray diffraction, electron microscopy and evaluation of bactericidal properties. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(5), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.01.007>

Bissessur, R. (2020). *Nanomaterials applications. In Polymer Science and Nanotechnology: Fundamentals and Applications* (pp. 435–453). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816806-6.00018-2>

Ghatage, M. M., Mane, P. A., Gambhir, R. P., Parkhe, V. S., Kamble, P. A., Lokhande, C. D., & Tiwari, A. P. (2023). *Green synthesis of silver nanoparticles via Aloe barbadensis miller leaves: Anticancer, antioxidative, antimicrobial and photocatalytic properties. Applied Surface Science Advances*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100426>

Le, N. T. T., Trinh, B. T. D., Nguyen, D. H., Tran, L. D., Luu, C. H., & Hoang Thi, T. T. (2021). *The Physicochemical and Antifungal Properties of Eco-friendly Silver Nanoparticles Synthesized by Psidium guajava Leaf Extract in the Comparison With Tamarindus indica. Journal of Cluster Science*, 32(3), 601–611. <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01823-6>

Logambal, S., Thilagavathi, T., Chandrasekar, M., Inmozhi, C., Belle Ebanda Kedi, P., Bassyouni, F. A., Uthrakumar, R., Muthukumar, A., Naveenkumar, S., & Kaviyarasu, K. (2023). *Synthesis and antimicrobial activity of silver nanoparticles: Incorporated couroupita guianensis flower petal extract for biomedical applications. Journal of King Saud University - Science*, 35(1).

- <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102455>
- Mathew, J., Joy, J., & George, S. C. (2019). *Potential applications of nanotechnology in transportation: A review*. In *Journal of King Saud University - Science* (Vol. 31, Issue 4, pp. 586–594). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.015>
- Melkamu, W. W., & Bitew, L. T. (2021). *Green synthesis of silver nanoparticles using Hagenia abyssinica (Bruce) J.F. Gmel plant leaf extract and their antibacterial and anti-oxidant activities*. *Heliyon*, 7(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08459>
- Mohseni, M., Ramezanzadeh, B., Yari, H., & Moazzami, M. (2012). *The Role of Nanotechnology in Automotive Industries*. In *New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering*. InTech. <https://doi.org/10.5772/49939>
- Nugroho, B. H., Artikawati, R., & Farmasi, S. J. (2021). Inovasi pengembangan nanopartikel perak menggunakan daun pisang (*Musa sapientum*) sebagai bioreduktor ramah lingkungan *Development innovation of silver nanoparticles used leaves of banana (Musa sapientum) as eco-friendly bioreductor*. *Jurnal Ilmiah Farmasi (Scientific Journal of Pharmacy)*, 17(1), 64–75. <http://journal.uii.ac.id/index.php/JIF>
- Rusnaenah, A., Zakir, M., & Budi, P. (2017). *biosynthesis of silver nanoparticles using ketapang leaf extract, modification with p-coumaric acid for detecting melamine* Biosintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Daun Ketapang, Modifikasi dengan Asam p-kumarat untuk Aplikasi Deteksi Melamin. In *J. Chem. Res* (Vol. 4, Issue 2).
- Salayová, A., Bedlovičová, Z., Daneu, N., Baláž, M., Lukáčová Bujňáková, Z., Balážová, L., & Tkáčiková, L. (2021). *Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity using various medicinal plant extracts: Morphology and antibacterial efficacy*. *Nanomaterials*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/nano11041005>
- Shaik, M. R., Khan, M., Kuniyil, M., Al-Warthan, A., Alkathlan, H. Z., Siddiqui, M. R. H., Shaik, J. P., Ahamed, A., Mahmood, A., Khan, M., & Adil, S. F. (2018). *Plant-Extract-Assisted green synthesis of silver nanoparticles using Origanum vulgare L. Extract and their microbicidal activities*. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10040913>
- Sirisansawang, R., & Phetyim, N. (2023). *Optimization of tannin extraction from coconut coir through response surface methodology*. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13377>
- Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P. C., Clubb, P., Rico, C., He, F., & Hong, J. (2022). *Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations*. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 26). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102336>
- Zakir, M., Maming, M., Lembang, M. S., & Lembang, E. Y. (2021). *Reduction mechanisms of Ag(I) and Au(III) in the synthesis of silver and gold nanoparticles using leaf extract of Terminalia catappa*. *Jurnal Natural*, 21(2), 89–98. <https://doi.org/10.24815/jn.v21i2.20677>