

Pembuatan dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Buah Mangrove *Rhizophora stylosa*

(*Fabrication and Characterization of Silver Nanoparticles Using Extract of Mangrove Fruit of *Rhizophora stylosa**)

Nancy Willian^{a*}, Hilfi Pardi^a, Syukri Arief^b

^aJurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jalan Politeknik Km. 24, Tanjungpinang, 29115, Indonesia

^bJurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang Sumatera Barat 25163 Indonesia

*Corresponding author: nancywillian@umrah.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.19.1.59359.53-60

Received 14 February 2022, Accepted 15 December 2022, Published 22 March 2022

Kata kunci:

karakterisasi;
mangrove;
nanopartikel perak;
Rhizophora stylosa.

ABSTRAK. Nanopartikel perak menampilkan sifat fisik dan biologis yang unik yang telah menarik minat penelitian karena aplikasi yang menjanjikan. Pada penelitian ini, proses fabrikasi nanopartikel perak (AgNPs) dilakukan dengan metode *green* sintesis menggunakan tanaman mangrove dengan pelarut air. Ekstrak buah mangrove *Rhizophora stylosa* (RS) pertama kali digunakan sebagai reduktor dan stabilizer dalam sintesis AgNPs. Karakteristik AgNPs ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis, FTIR, XRD dan TEM. Analisis spektrum UV-vis menunjukkan panjang gelombang pada 430 – 445 nm. Studi FTIR mengungkapkan adanya senyawa fitokimia aktif yang bertindak sebagai zat penutup dan penstabil nanopartikel. TEM menunjukkan morfologi AgNPs yang ditemukan berbentuk bola dengan ukuran diameter sekitar 10 – 60 nm. Pola XRD menunjukkan bahwa semua sampel AgNPs yang diperoleh memiliki struktur *face-center cubic* (fcc) yang menegaskan bahwa nanopartikel bersifat padatan kristalin dengan ukuran kristal 38 – 77 nm. Studi ini membuktikan kemampuan biomaterial dalam sintesis AgNPs dengan mengadopsi prinsip sintesis hijau.

Keywords:

characterization;
mangrove;
silver nanoparticles;
Rhizophora stylosa.

ABSTRACT. Silver nanoparticles display unique physical and biological properties that have attracted research interest because of their promising applications. In this research, silver nanoparticle (AgNPs) fabrication process was carried out via green synthesis methods using mangrove plants and water as a solvent. Mangrove fruit extract *Rhizophora stylosa* (RS) was first used as a reducing agent and stabilizer in the synthesis of AgNPs. The characteristics of AgNPs were characterized using UV-Vis, FTIR, XRD, and TEM spectrophotometers. UV-vis spectrum analysis showed a peak at 430 – 445 nm. FT-IR studies revealed the presence of active phytochemical compounds which act as coating agents and stabilizers for nanoparticles. TEM showed that the morphology of AgNPs was spherical with a diameter size of 10 – 60 nm. The XRD patterns showed that all of the AgNPs sample obtained had a face-center cubic (fcc) structure, indicating that the nanoparticles are crystalline solids with a crystallite size of 38 – 77 nm. This study proves the ability of biomaterials in the synthesis of silver nanoparticles by adopting the principle of green synthesis.

PENDAHULUAN

Dalam nanobioteknologi, metode *green chemistry* menggunakan sistem biologis untuk fabrikasi nanopartikel masih menjadi pilihan, dengan aplikasi spektrum luas di hampir setiap bidang (Quester *et al.*, 2016; Samanta *et al.*, 2019). Nanopartikel perak (AgNPs) adalah salah satu nanomaterial yang paling banyak dipelajari karena stabilitasnya yang tinggi dan reaktivitas kimia yang rendah dibandingkan dengan logam lain. Nanopartikel ini biasanya disintesis menggunakan zat pereduksi kimia beracun yang mereduksi ion logam menjadi nanopartikel tak bermuatan seperti natrium borohidrat (Pinho and Torrente-murciano, 2019). Namun, dalam beberapa dekade terakhir, beberapa upaya dilakukan untuk mengembangkan metode sintesis hijau untuk menghindari penggunaan bahan berbahaya, selain itu metode ini lebih *eco-friendly*.

Cite this as: Willian, N., Pardi, H., & Arief, S. 2023. Pembuatan dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Buah Mangrove *Rhizophora stylosa*. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(1), 53-60.
<http://dx.doi.org/10.20961/alchemy.19.1.59359.53-60>

Metode komersial untuk produksi nanopartikel perak umum digunakan, tetapi produksi nanopartikel perak dengan bantuan material biologis telah terbukti lebih efisien dan ramah lingkungan (Ahmad *and* Khan, 2013). Bahan biologis lebih bermanfaat dalam sintesis nanopartikel karena sintesis menggunakan ekstrak tanaman lebih cepat dan lebih stabil (Naidu *et al.*, 2019a). Selain itu, persiapan melibatkan penggunaan ekstrak tanaman sebagai agen *capping* yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan tidak beracun. Fabrikasi AgNPs melalui proses kimia hijau harus dievaluasi dari tiga aspek spesifik, yaitu pemilihan media pelarut, pemilihan agen pereduksi tidak beracun, dan pemilihan bahan ramah lingkungan untuk stabilisasi nanopartikel perak. Pelarut air umumnya digunakan sebagai pelarut yang ramah lingkungan untuk menghasilkan nanopartikel logam. Nanopartikel biasanya berukuran lebih kecil dari 100 nm dengan 20 – 15.000 atom (Gouda *et al.*, 2015).

Tumbuhan laut merupakan potensi sumber bahan biologis untuk sintesis nanopartikel perak yang menarik untuk dikembangkan seperti tanaman mangrove. Mangrove adalah tanaman yang kuat karena mereka dapat bertahan hidup di lingkungan yang ekstrim seperti salinitas tinggi, pasang surut, sedimentasi tinggi, dan tanah berlumpur (Bandaranayake, 1998). Tanaman pantai ini telah digunakan secara tradisional sebagai pengobatan karena peran senyawa bioaktif. Tanaman ini memiliki senyawa metabolit sekunder yang beragam seperti flavonoid, tanin, steroid, triterpenoid, dan fenol (Willian *et al.*, 2020). Senyawa bioaktif ini bertanggung jawab atas reduksi ion logam Ag⁺ menjadi nanopartikel logam Ag (Das *et al.*, 2020). Beberapa jenis mangrove telah dilaporkan memiliki potensi baik sebagai reduktor dalam produksi termasuk potensi biomedis, di antaranya menggunakan daun mangrove *Avicennia marina*, *Rhizophora lamarckii*, *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora stylosa* (Balakrishnan *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2017; Ramalingam *and* Rajaram, 2018; Willian *et al.*, 2021). Tanaman ini juga telah dilaporkan memiliki potensi sebagai antitumor, antikanker, antibakteri, dan antioksidan (Grandiflora *et al.*, 2019; Willian *et al.*, 2021). Beberapa penelitian sebelumnya, penggunaan ekstrak daun lebih sering digunakan, dan dalam perkembangannya, penggunaan buah tanaman sebagai bioreduktor perlu diteliti lebih lanjut. Kandungan metabolit yang terkandung bisa menentukan kecepatan sintesis dan dispersi yang homogen dari nanopartikel yang dihasilkan. Menurut Farhadi *et al.* (2017), laju sintesis nanopartikel lebih cepat menggunakan ekstrak buah tanaman (Farhadi *et al.*, 2017). Penggunaan daun mangrove jenis ini telah dilakukan sebagai *capping agent* pada studi sebelumnya (Willian *et al.*, 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana proses sintesis dan karakterisasi nanopartikel perak dengan buah mangrove *Rhizophora stylosa*, mengingat metabolit sekunder buah-buahan terkenal karena kandungan polifenolnya yang tinggi, di antaranya antosianin yang menempati posisi paling dominan (Mariychuk *et al.*, 2020). Berdasarkan studi sebelumnya, belum pernah dilaporkan tentang sintesis nanopartikel perak menggunakan buah mangrove jenis *Rhizophora stylosa* sebagai bahan pereduksi yang ramah lingkungan. Dalam penelitian ini diharapkan menghasilkan AgNPs yang lebih ramah lingkungan tanpa penambahan bahan kimia.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat gelas laboratorium, neraca analitik, *hot plate stirrer*, kertas saring whatman, *centrifuge*, dan oven. Instrumen karakteristik meliputi spektrofotometer UV-Vis (Shiamdzu 1800), XRD (Phillips X'pert Powder PAN analitik), TEM (JEOL JEM 1 00), FT-IR (parkin Elmer)

Sintesis Biogenik AgNPs



Gambar 1. (a) Mangrove *Rhizophora stylosa* dan (b) Buah mangrove *Rhizophora stylosa*.

Buah dari mangrove RS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dicuci untuk menghilangkan sisa garam dan kotoran. Buahnya dikeringkan dan dijadikan bubuk menggunakan blender elektronik. Persiapan pembuatan ekstrak buah mangrove RS menggunakan air deionisasi adalah 10 gram bubuk buah ditimbang dan dicampur dengan 100 mL air deionisasi diaduk dan dipanaskan selama 1 jam pada suhu 65 °C. Kertas saring whatman

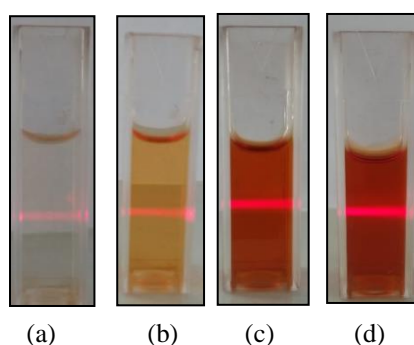
digunakan untuk memisahkan filtrat dan ekstrak. Ekstrak dikumpulkan dan siap digunakan selama satu minggu pada suhu 4 °C. Larutan perak AgNO₃ (Merck) dengan konsentrasi 1 mM dibuat dengan menimbang 0,084935 gram kristal AgNO₃ yang dilarutkan dalam pelarut air dalam labu ukur 500 mL yang kemudian digunakan sebagai larutan stok. Campuran reaksi diinkubasi pada suhu kamar dengan variasi waktu inkubasi hingga 1 bulan. Selama pencampuran, proses reduksi ion perak menjadi nanopartikel diamati melalui perubahan warna larutan.

Karakterisasi AgNPs

Proses produksi AgNPs diverifikasi dengan uji spektrofotometer UV-Vis pada rentang 200 – 800 nm. Bubuk nanopartikel perak didapatkan dengan cara presipitasi koloid nanopartikel. Proses presipitasi dilakukan dengan meningkatkan konsentrasi koloid menjadi 10 kali lipat, dengan terlebih dahulu didiamkan selama 1 minggu, endapan dicuci dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 130 °C. Bubuk AgNPs dikarakterisasi dengan XRD, TEM, dan FTIR. XRD (Philips X-pert Powder PAN Analytical) digunakan untuk pengukuran kristalisasi, TEM (JOEL JEM 1400) untuk mengukur ukuran dan bentuk partikel, serta FTIR (Parkin-Elmer) untuk mengetahui komponen bioaktif dari metabolit sekunder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam percobaan ini, ekstrak buah RS dicampur dengan larutan perak nitrat 1 mM dibiarkan bereaksi dengan volume total sintesis 50 mL. Ketika 49,5 mL larutan perak nitrat ditambahkan dengan 0,5 mL ekstrak buah, maka untuk sesaat larutan itu mulai membentuk nanopartikel perak yang ditandai dengan perubahan warna sesuai pada Gambar 2. Perubahan warna pertama kali diamati pada waktu 7 menit, hal ini menandakan sintesis nanopartikel menggunakan buah mangrove RS lebih cepat dibandingkan dengan daun pada studi sebelumnya (Willian *et al.*, 2020b). Perubahan warna terjadi dari bening menjadi warna kuning kecoklatan. Perubahan warna menunjukkan eksitasi getaran plasmon permukaan dalam nanopartikel logam (Bakshi *et al.*, 2015). Proses sintesis nanopartikel berhenti ketika warna larutan menjadi tetap, warnanya berubah dari bening, kuning muda menjadi coklat dan coklat tua karena resonansi plasmon permukaan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

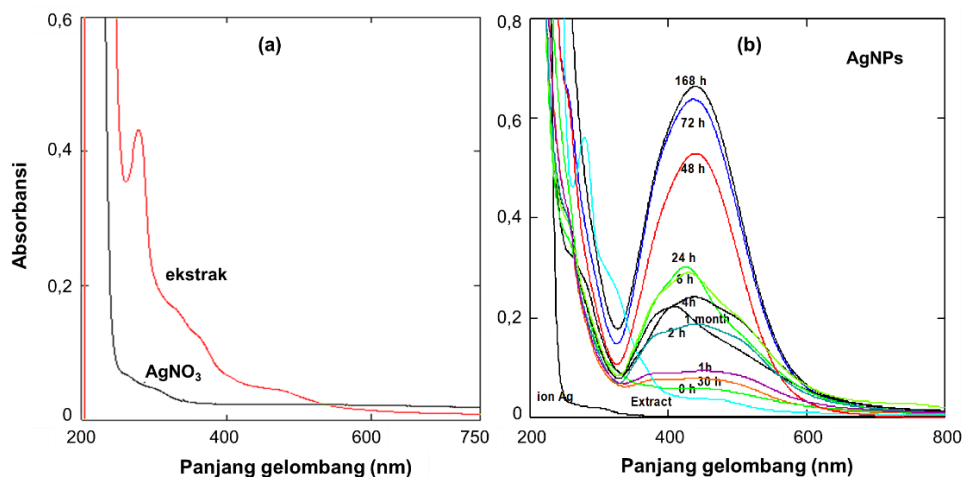


Gambar 2. Perubahan warna larutan AgNPs yang dimediasi ekstrak bunga *Rhizophora Stylosa* (a) larutan perak nitrat, (b) 7 menit, (c) 17 menit (d) 40 menit.

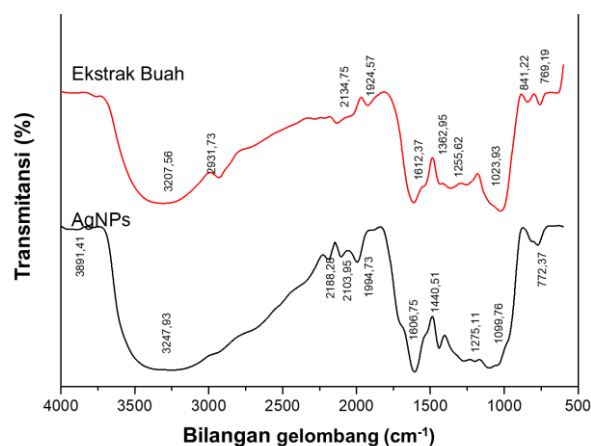
Gambar 2 memperlihatkan larutan koloid yang diamati secara visual dengan bantuan sinar laser. Sinar laser membantu mengamati kestabilan koloid berdasarkan pengaruh efek Tyndal. Arah sinar sejajar mengindikasikan pembentukan koloid nanopartikel. Perubahan warna selama pengamatan menandakan terjadinya pertumbuhan ukuran partikel. Perubahan warna ini juga memengaruhi ukuran partikel yang terbentuk, dari studi menjelaskan bahwa warna larutan kekuningan (*pale yellow*), dan seiring bertambahnya waktu akan menjadi coklat muda yang menandakan pertumbuhan partikel, dan partikel akan menjadi lebih besar lagi saat larutan berubah menjadi coklat tua (*reddish color*) (Afreem *et al.*, 2020). Secara umum, meskipun menggunakan air sebagai pelarut adalah metode yang sangat murah, cepat dan ramah lingkungan, ekstrak yang diperoleh dengan prosedur ini mungkin mengandung kumpulan konstituen hidrofilik yang berbeda dengan konsentrasi yang bervariasi pada setiap waktu preparasi (Farhadi *et al.*, 2017).

Pembentukan AgNPs dikonfirmasi oleh analisis spektrum serapan UV-Vis antara 200 – 800 nm yang ditandai dengan puncak *Surface Plasmon Resonance* (SPR) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Suspensi larutan (1 mL) diencerkan dengan volume konstan dengan air deionisasi (10 mL) dan spektrum serapan diukur dalam temperatur ruangan. *Baseline* ditentukan menggunakan air deionisasi sebagai pelarut. Proses reduksi perak dari ion Ag⁺ menjadi Ag menjadi dasar pembentukan puncak SPR pada analisis spektrum. Seperti yang terlihat pada

Gambar 3, setelah sintesis berjalan 30 menit, reaksi belum menunjukkan pembentukan nanopartikel yang terlihat dari puncak spektrum UV-Vis. Setelah sintesis selama 2 jam, puncak nanopartikel perak mulai muncul dan meningkat sebanding dengan waktu reaksi sintesis. Puncak penyerapan luas muncul pada $\lambda_{max} = 430$ nm, puncak tajam yang terbentuk pada saat nanopartikel dibiarkan bereaksi pada suhu kamar pada 24 jam hingga 1 minggu. Stabilitas turun secara bertahap selama satu bulan waktu inkubasi. Hasil ini juga didukung oleh penelitian Isaac *et al.* (2013) di mana sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak buah *Averrhoa bilimbi* Linn. menampilkan puncak SPR pada 420 nm (Isaac *et al.*, 2013). Selanjutnya, Salari *et al.* (2018) menemukan puncak SPR pada AgNPs di kisaran 425 – 438 nm menggunakan ekstrak buah *Prosopis farcta* (Salari *et al.*, 2019). Pertumbuhan nanopartikel perak secara kualitatif juga dapat diamati dari pergeseran puncak SPR nanopartikel perak. Posisi puncak plasmon tergantung pada ukuran dan bentuk partikel (Suárez-cerda *et al.*, 2015).



Gambar 3. (a) Spektra absorbansi ekstrak buah dan ion perak dan (b) puncak SPR AgNPs yang dihasilkan dari reaksi antara larutan perak nitrat dan ekstrak buah dalam konsentrasi 1 mM dengan variasi waktu.

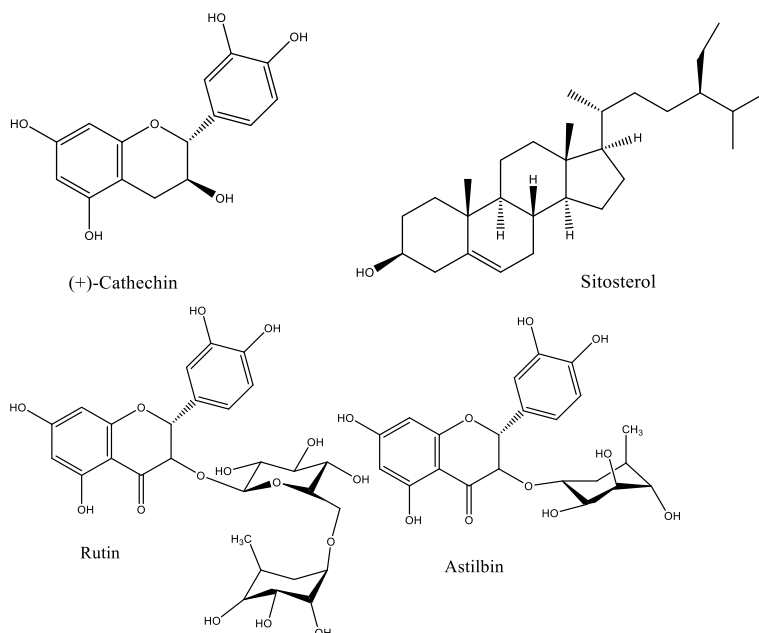


Gambar 4. Spektrum FTIR (a) ekstrak buah mangrove RS dan (b) AgNPs.

Keberhasilan biomolekul dalam ekstrak buah RS untuk reduksi garam perak nitrat dianalisis melalui spektroskopi inframerah dalam kisaran 4000 – 500 cm⁻¹ menggunakan *Fourier Transform Spectrometer* (Perkin Elmer) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Larutan koloid menunjukkan perubahan warna setelah penambahan 0,5 mL ekstrak buah mangrove RS. Perubahan warna larutan koloid mengkonfirmasi keberadaan nanopartikel. Seperti ditunjukkan dalam hasil FTIR yang digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan molekul bio yang bertanggung jawab untuk stabilisasi nanopartikel perak yang disintesis (Al Hindawi *et al.*, 2019). Spektroskopi inframerah dilakukan untuk mengenali biomolekul untuk stabilisasi dan pembatasan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak tanaman. Hal Ini digunakan untuk menyelidiki komposisi kimia nanopartikel perak dan lingkungan *capping agent* biologis yang mencegah aglomerasi (Johnson *et al.*, 2018). Gambar 5 menunjukkan spektrum inframerah dari ekstrak buah dan nanopartikel perak yang disintesis. Pita

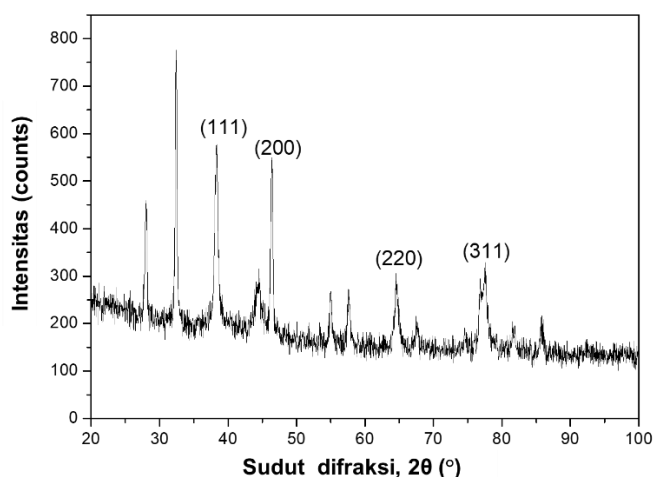
serapan $3391,41\text{ cm}^{-1}$ sesuai dengan getaran peregangan O–H, yang menunjukkan adanya alkohol dan fenol. puncak pada 1606 cm^{-1} dalam spektrum sesuai dengan kisaran ikatan karbonil dan ikatan amida-I dan –N–H rentang getaran ikatan protein amida-II. Rekaman pada $1440,51\text{ cm}^{-1}$ adalah peregangan simetris khas C–O–O dari kelompok karboksil residu asam amino. Puncak pada $1099,79\text{ cm}^{-1}$ karena peregangan C–N amina alifatik dan puncak pada 772 cm^{-1} disebabkan oleh peregangan aromatik C–H. Hal ini dapat dianggap sebagai ligan *capping* yang memberikan stabilitas pada nanopartikel (Naidu *et al.*, 2019b).

Berdasarkan studi sebelumnya, kandungan komponen bioaktif yang ada pada tanaman mangrove di antaranya *teraxerol*, *teraxerone* (triterpenoid), sitosterol (steroid), *photocatechic acid* dan *isovanilic acid* (senyawa fenolik), rutin, astilbin, dan *catechin* (flavonoid) (Li *et al.*, 2007; Nie *et al.*, 2007; Takara *et al.*, 2008). Struktur yang dimaksud terlihat seperti Gambar 5.



Gambar 5. Komponen senyawa kimia pada tanaman mangrove.

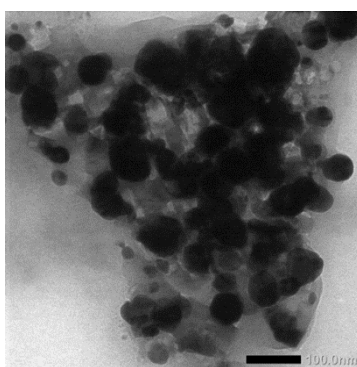
Agen aktif hadir dalam tanaman yang bertanggung jawab untuk kemungkinan reduksi ion perak menjadi nanopartikel perak termasuk terpenoid, polisakarida, fenolat, alkaloid, flavon, asam amino, enzim senyawa alkohol, dan protein (Mustapha *et al.*, 2022). Mekanisme untuk reduksi AgNO_3 menjadi AgNPs adalah bahwa flavonoid yang ada dalam ekstrak dapat mengalami transformasi tautomerik dari enol menjadi bentuk keto yang melepaskan atom hidrogen reaktif yang bertanggung jawab atas reduksi AgNO_3 menjadi AgNPs (Jayapriya *et al.*, 2019; Makarov *et al.*, 2014; Rajeshkumar and Bharath, 2017).



Gambar 6. Spektra XRD dari Ag-NPs yang disintesis.

Struktur kristal AgNPs ditentukan dengan menggunakan analisis XRD (**Gambar 6**). Pola XRD menunjukkan puncak difraksi Bragg pada 38,29°; 44,50°; dan 64,76°; 77,80° yang sesuai dengan bidang kisi (111), (200) dan (220) dan (311) masing-masing, mengkonfirmasi struktur kristal kubik pusat muka (fcc) AgNPs (JCPDS-004-0783). Pada spektrum XRD terdapat puncak tambahan yang diketahui berasal dari sumber organik alam dan kemungkinan fasa kristalin organik dan amorf (**Das *et al.*, 2019**). Berdasarkan pada perhitungan rumus Scherrer, maka ukuran kristal perak yang terbentuk ditemukan dengan rentang 38–77 nm.

Hasil pengamatan dengan TEM (**Gambar 7**) menunjukkan bahwa ada lapisan penutup dalam sintesis AgNPs yang dimediasi tanaman, di mana ekstrak tanaman bertindak sebagai lapisan penutup (*capping agent*), memengaruhi nanopartikel selama pertumbuhannya. Hal ini juga memengaruhi ukuran distribusi nanopartikel ini (**Willian *et al.*, 2021**). AgNPs yang dimediasi ekstrak buah strukturnya berbentuk bulat, kebanyakan seragam dengan variasi ukuran partikel sedang. Sebagian besar nanopartikel berkisar antara 10 – 60 nm. Nanopartikel sferis (bulat) memiliki monodispersitas yang tinggi dan kristalinitas. Berdasarkan teori nukleasi dan pertumbuhan kristal, berbagai jenis senyawa organik pada dasarnya berperan dalam pembentukan kristal nanopartikel sebagai *capping agent*. Selain itu, ukuran partikel nanopartikel yang dihasilkan cocok digunakan dalam aplikasi biomedis (**Bazmandeh *et al.*, 2020**).



Gambar 7. Mikrograf TEM dari AgNPs.

Senyawa bioaktif bertanggung jawab atas reduksi ion logam Ag⁺ menjadi nanopartikel logam Ag meskipun unsur-unsur yang berpartisipasi dalam sintesis dan mekanisme yang mendasari bio-reduksi ion belum sepenuhnya dipahami. Bio-reduksi perak telah dihipotesiskan bahwa pertama-tama melibatkan perangkap ion perak di permukaan protein dalam ekstrak tumbuhan melalui interaksi elektrostatis. Ion perak kemudian direduksi oleh protein, yang mengarah pada transformasi struktur sekundernya dan pembentukan inti perak. Nukleus Ag akan tumbuh bersamaan dengan proses reduksi dari ion Ag (**Mustapha *et al.*, 2022**).

KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel perak dari tanaman laut ekstrak buah mangrove *Rhizophora Stylosa* (RS) menyediakan rute yang mudah dan efisien untuk sintesis nanopartikel perak. Biosintesis nanopartikel oleh buah RS cepat sehingga membutuhkan sedikit waktu. Adanya perubahan warna dari kuning muda menjadi coklat terjadi karena resonansi permukaan plasma selama reaksi yang diperlukan oleh spektroskopi UV-Vis. Ukuran nanopartikel yang dihasilkan, yakni 10 – 60 nm dengan ukuran kristal 38 – 77 nm. Dengan ukuran dan kestabilan nanopartikel yang dihasilkan, buah mangrove sangat menjanjikan jika diaplikasikan di bidang biomedis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Karya penelitian ini didukung oleh Universitas Maritim Raja Ali Haji dan Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Padang (STIFARM).

DAFTAR PUSTAKA

- Afreen, A., Ahmed, R., Mehboob, S., Tariq, M., Alghamdi, H.A., Zahid, A.A., Ali, I., Malik, K., and Hasan, A., 2020. Phytochemical-Assisted Biosynthesis of Silver Nanoparticles from *Ajuga Bracteosa* for Biomedical Applications. *Materials Research Express*, 7. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aba5d0>.
- Ahmad, T., and Khan, W. 2013. Size Variation of Gold Nanoparticles Synthesized Using Tannic Acid in Response

- to Higher Chloroauric Acid Concentrations. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 3(3): 62–68. <http://dx.doi.org/10.4236/wjnse.2013.33009>.
- Al Hindawi, A.M., Joudah, I., Hamzah, S., and Tarek, Z., 2019. Plant Extract: Safe Way for Fabrication Silver Nanoparticles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 571. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/571/1/012069>.
- Johnson, M., Santhanam, A., Thangaiah, S., and Narayanan, J., 2018. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Cyathea Nilgirensis* Holttum and Their Cytotoxic and Phytotoxic Potentials. *Particulate Science and Technology*, 36, 578–582. <https://doi.org/10.1080/02726351.2016.1278292>.
- Bakshi, M., Ghosh, S., and Chaudhuri, P., 2015. Green Synthesis , Characterization and Antimicrobial Potential of Sliver Nanoparticles Using Three Mangrove Plants from Indian Sundarban. <https://doi.org/10.1007/s12668-015-0175-8>.
- Balakrishnan, S., Srinivasan, M., and Mohanraj, J., 2014. Biosynthesis of Silver Nanoparticles from Mangrove Plant (*Avicennia Marina*) Extract and Their Potential Mosquito Larvicidal Property. *Journal of Parasitic Diseases*, 40, 991–996. <https://doi.org/10.1007/s12639-014-0621-5>.
- Bandaranayake, W.M., 1998. Traditional and Medicinal Uses of Mangroves. *Mangroves and Salt Marshes*, 2, 133–148. <http://dx.doi.org/10.1023%2FA%3A1009988607044>.
- Bazmandeh, A.Z., Rezaei, A., Reza, H., Jafarbigloo, G., Javar, M.A., Hassanzadeh, A., Amirian, A., Niakan, M.H., Nave, H.H., and Mehrabi, M., 2020. Green Synthesis and Characterization of Biocompatible Silver Nanoparticles Using *Stachys Lavandulifolia* Vahl. *Extract and Their Antimicrobial Performance Study*, 8, 284–290.
- Das, D., Haydar, M.S., and Mandal, P., 2020. Impact of Physical Attributes on Proficient Phytosynthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Fresh Mulberry Leaves: Characterization, Stability and Bioactivity Assessment. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*,. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01794-1>.
- Das, S.K., Behera, S., Patra, J.K., and Thatoi, H., 2019. Green Synthesis of Sliver Nanoparticles Using *Avicennia Officinalis* and *Xylocarpus Granatum* Extracts and In Vitro Evaluation of Antioxidant, Antidiabetic and Anti-Inflammatory Activities. *Journal of Cluster Science*, 30, 1103–1113. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01571-2>.
- Farhadi, S., Ajerloo, B., and Mohammadi, A., 2017. Green Biosynthesis of Spherical Silver Nanoparticles by Using Date Palm (*Phoenix Dactylifera*) Fruit Extract and Study of Their Antibacterial and Catalytic Activities. *Acta Chimica Slovenica*, 129–143. <https://doi.org/10.17344/acsi.2016.2956>.
- Gouda, S., Das, G., Sen, S.K., Thatoi, P., and Patra, J.K., 2015. Mangroves, a Potential Source for Green Nanoparticle Synthesis: A Review. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 44, 635–645.
- Grandiflora, T., Activity, I.A., Pal, P., Gupta, N., and Jain, S., 2019. Preparation , Characterization and Evaluation of Silver Nanoparticles Of 9, 229–235.
- Isaac, R.S.R., Sakthivel, G., and Murthy, C., 2013. Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles Using *Averrhoa Bilimbi* Fruit Extract. *Journal of Nanotechnology*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/906592>.
- Jayapriya, M., Dhanasekaran, D., Arulmozhi, M., Nandhakumar, E., Senthilkumar, N., and Sureshkumar, K., 2019. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Piper Longum* Catkin Extract Irradiated by Sunlight: Antibacterial and Catalytic Activity. *Research on Chemical Intermediates*. <https://doi.org/10.1007/s11164-019-03812-5>.
- Kumar, S.D., Singaravelu, G., Ajithkumar, S., Murugan, K., Nicoletti, M., and Benelli, G., 2017. Mangrove-Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles with High HIV-1 Reverse Transcriptase Inhibitory Potential. *Journal of Cluster Science*, 28, 359–367. <https://doi.org/10.1007/s10876-016-1100-1>.
- Li, D.L., Li, X.M., Peng, Z.Y., and Wang, B.G., 2007. Flavanol Derivatives from *Rhizophora Stylosa* and Their DPPH Radical Scavenging Activity. *Molecules*, 12, 1163–1169. <https://doi.org/10.3390/12051163>.
- Makarov, V. V., Love, A.J., Sinitsyna, O. V., Makarova, S.S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M.E., and Kalinina, N.O., 2014. “Green” Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Acta Naturae*, 6, 35–44. <https://doi.org/10.32607/20758251-2014-6-1-35-44>.
- Mariychuk, R., Porubská, J., Ostafin, M., Čaplovičová, M., and Eliašová, A., 2020. Green Synthesis of Stable Nanocolloids of Monodisperse Silver and Gold Nanoparticles Using Natural Polyphenols from Fruits of *Sambucus Nigra* L. *Applied Nanoscience (Switzerland)*,. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01324-y>.
- Mustapha, T., Misni, N., Ithnin, N.R., Daskum, A.M., and Unyah, N.Z., 2022. A Review on Plants and Microorganisms Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles, Role of Plants Metabolites and Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020674>.

- Naidu, K.S.B., Murugan, N., Adam, J.K., and Sershen, 2019a. Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles from *Avicennia Marina* Seed Extract and Its Antibacterial Potential. *BioNanoScience*, 9, 266–273. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00612-4>.
- Naidu, K.S.B., Murugan, N., and Sershen, 2019b. Physico-Chemical and Antibacterial Properties of Gold Nanoparticles Synthesized Using *Avicennia Marina* Seeds Extract. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 0098. <https://doi.org/10.1080/0035919X.2019.1666321>.
- Nie, Z., Jian, K., Zhong, C., Wang, L., and Yang, Y., 2007. Enhanced Radical Scavenging Activity by Antioxidant-Functionalized Gold Nanoparticles : A Novel Inspiration for Development of New Artificial Antioxidants 43, 1243–1254. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.06.011>.
- Pinho, B., and Torrente-murciano, L., 2019. Reaction Chemistry & Engineering Size and Shape Evaluation †. <https://doi.org/10.1039/c9re00452a>.
- Quester, K., Avalos-borja, M., and Castro-longoria, E., 2016. Controllable Biosynthesis of Small Silver Nanoparticles Using Fungal Extract. *Journal of Nanomaterials and Biotechnology*, 7, 118–125. <http://dx.doi.org/10.4236/jbnb.2016.72013>.
- Rajeshkumar, S., and Bharath, L. V., 2017. Mechanism of Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles – A Review on Biomolecules Involved, Characterisation and Antibacterial Activity. *Chemico-Biological Interactions*, 273, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019>.
- Ramalingam, V., and Rajaram, R., 2018. Enhanced Antimicrobial, Antioxidant and Anticancer Activity of *Rhizophora Apiculata*: An Experimental Report. *3 Biotech*, 8. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1222-2>
- Salari, S., Esmaeilzadeh, S., and Samzadeh-kermani, A., 2019. In-Vitro Evaluation of Antioxidant and Antibacterial Potential of Green Synthesized Silver Nanoparticles Using *Prosopis Farcta* Fruit Extract. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 18, 430–445.
- Samanta, S., Agarwal, S., Nair, K.K., Harris, R.A., and Swart, H., 2019. Biomolecular Assisted Synthesis and Mechanism of Silver and Gold Nanoparticles. *Materials Research Express*, 6. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab296b>.
- Suárez-cerda, J., Alonso-nuñez, G., Espinoza-gómez, H., and Flores-lópez, L.Z., 2015. Synthesis, Kinetics and Photocatalytic Study of “Ultra-Small” Ag-NPs Obtained by a Green Chemistry Method Using an Extract of *Rosa 'Andeli'* Double Delight Petals. *Journal Of Colloidal and Interface Science*,. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.07.049>.
- Takara, K., Kuniyoshi, A., Wada, K., Kinjyo, K., and Iwasaki, H., 2008. Antioxidative Flavan-3-Ol Glycosides from Stems of *Rhizophora Stylosa*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 72, 2191–2194. <https://doi.org/10.1271/bbb.80065>.
- Willian, N., Syukri, S., Zulhadjri, Z., and Arief, S., 2021. Marine Plant Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Mangrove *Rhizophora Stylosa*: Effect of Variable Process and Their Antibacterial Activity. *F1000Research*, 10, 768. <https://doi.org/10.12688/f1000research.54661.1>.
- Willian, N., Syukri, Zulhadjri, Labanni, A., and Arief, S., 2020. Bio-Friendly Synthesis of Silver Nanoparticles Using Mangrove *Rhizophora Stylosa* Leaf Aqueous Extract and Its Antibacterial and Antioxidant Activity. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13, 1478–1485. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1335760>.