

Kontrol Ukuran Nanopartikel Perak dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Manggis

Yulni Septriani, Mulda Muldarisnur*

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 27 November 2021
Direvisi: 01 Desember 2021
Diterima: 14 Desember 2021

Kata kunci:

Ekstrak kulit buah manggis
Nanopartikel Perak
AgNO₃
Polyethylene Glycol 6000
Plasmonik Permukaan

Keywords:

Mangosteen rind extract
Silver Nanoparticles
AgNO₃
Polyethylene Glycol 6000
Surface Plasmon

Penulis Korespondensi:

Mulda Muldarisnur
Email:
mulda.muldarisnur@gmail.com

ABSTRAK

Nanopartikel perak memiliki banyak aplikasi di bidang elektronik, kesehatan, tekstil, sensor, hingga sel surya. Untuk menjamin keberlangsungan pemanfaatan nanopartikel perak, metode sintesis yang ramah lingkungan sangat diperlukan. Nanopartikel perak dapat disintesis dengan menggunakan agen pereduksi alami dari ekstrak kulit buah manggis. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan perak nitrat (AgNO₃) dan PEG 6000 dengan variasi konsentrasi ekstrak kulit buah manggis 10 mL, 20 mL, 35 mL, dan 50 mL pada suhu 600 °C selama 1 jam. Ukuran nanopartikel perak yang terbentuk diestimasi dari posisi puncak resonansi plasmon permukaan yang diperoleh dari pengukuran UV-Vis. Terbentuknya nanopartikel perak terbukti dari terbentuknya puncak tajam pada difraktogram sinar-X tanpa ada puncak impuritas. Ukuran nanopartikel perak yang terbentuk semakin besar dengan makin tingginya konsentrasi ekstrak kulit buah manggis, yaitu secara berurutan adalah 50 nm, 55 nm, 60 nm, dan 70 nm. Hasil ini menunjukkan terdapatnya peluang untuk mengontrol ukuran nanopartikel perak melalui variasi konsentrasi ekstrak kulit buah manggis

Silver nanoparticles have many applications in electronics, healthcare, textiles, sensors, and solar cells. To ensure the sustainability of the use of silver nanoparticles, an environmentally friendly synthesis method is needed. Silver nanoparticles can be synthesized using natural reducing agents from mangosteen rind extract. The synthesis was carried out by mixing silver nitrate (AgNO₃) and PEG 6000 solutions with varying concentrations of mangosteen rind extract 10, 20, 35, and 50 mL at 600 °C for 1 hour. The size of the formed silver nanoparticles was estimated from the peak position of the surface plasmon resonance obtained from UV-Vis measurements. The formation of silver nanoparticles is evident from the formation of sharp peaks on the X-ray diffractogram without any peaks of impurities. The size of the silver nanoparticles formed increases with the concentration of mangosteen rind extract, which are 50 nm, 55 nm, 60 nm, and 70 nm respectively. These results indicate an opportunity to control the size of silver nanoparticles by varying the concentration of mangosteen rind extract.

I. PENDAHULUAN

Sejak dua dekade terakhir, sintesis dan aplikasi nanopartikel berkembang sangat pesat. Nanopartikel menawarkan banyak keunggulan pada sifat listrik, optik, kimia, mekanik, magnetik dan termal dibandingkan material berukuran besar (*bulk*) (Aliofkhazraei, 2015). Kelebihan ini muncul karena adanya peningkatan luas permukaan spesifik dan efek pembendungan kuantum terhadap elektron ketika ukuran nanopartikel kurang dari 100 nm. Kedua hal ini memungkinkan kontrol sifat fisika dan kimia nanopartikel melalui modifikasi kimia permukaan serta ukuran dan geometri nanopartikel. Nanopartikel dapat terbentuk secara alami maupun disintesis di laboratorium. Nanopartikel memiliki aplikasi yang luas di berbagai bidang seperti elektronik, optik, migas, tekstil, kosmetik, kesehatan, lingkungan, pertanian, dan lain – lainnya (Pal *et al.*, 2019). Diantara banyaknya nanopartikel yang sudah dikembangkan, nanopartikel perak menjadi salah satu yang menarik perhatian peneliti. Nanopartikel perak dapat digunakan untuk aplikasi pada piranti optik dan elektronik (Singh & Kaur, 2019), diagnosa molekuler, pelapis anti mikroba, anti oksidan dan pengobatan luka (Zhang *et al.*, 2016), hingga sel surya (Perdana & Muldarisnur, 2021).

Nanopartikel perak dapat disintesis dengan menggunakan metode fisika atau kimia. Berbagai metode sintesis nanopartikel yang sudah dikembangkan dapat dikelompokkan ke dalam dua pendekatan, yaitu: *top-down* dan *bottom-up* (Ijaz *et al.*, 2020). Pendekatan *top-down* menggunakan metode destruktif, dimana material berukuran besar didekomposisi menjadi molekul yang lebih kecil dan kemudian dikonversi menjadi nanopartikel. Pendekatan ini biasanya memerlukan peralatan khusus yang mahal karena diperlukannya kondisi vakum dan atau suhu tinggi. Pendekatan *bottom-up* bersifat konstruktif, dimana nanopartikel terbentuk dari zat yang relatif lebih sederhana. Metode pada pendekatan ini meliputi *chemical vapour deposition*, sol-gel, *pyrolysis* dan metode kimia basah. Pendekatan *bottom-up* lebih sering digunakan karena tidak memerlukan peralatan yang kompleks dan mahal. Metode kimia yang banyak digunakan untuk sintesis nanopartikel menimbulkan dampak negatif seperti penggunaan atau dihasilkannya bahan kimia yang berbahaya bagi kesehatan ataupun lingkungan. Hal ini mendorong dikembangkannya metode sintesis ramah lingkungan (*green synthesis*) dengan memanfaatkan bahan alami seperti ekstrak tanaman sebagai prekursor, agen pereduksi atau katalis (Ahmad *et al.*, 2019). Pada metode ini, sintesis nanopartikel dilakukan dengan memanfaatkan senyawa-senyawa organik yang terkandung di dalam tanaman untuk mereduksi ion logam menjadi nanopartikel.

Nanopartikel perak dapat disintesis menggunakan prekursor senyawa organik seperti perak nitrat (AgNO_3). Perak nitrat merupakan prekursor serbaguna karena relatif stabil terhadap cahaya dan mudah dilarutkan dalam berbagai pelarut termasuk air. Ekstrak tumbuhan seperti daun belimbing wuluh (Prasetiowati *et al.*, 2018), daun salam (Taba *et al.*, 2019), dan daun teh (Rahim *et al.*, 2020) telah dimanfaatkan untuk sintesis nanopartikel perak. Pada penelitian tersebut, diameter nanopartikel yang didapatkan masih diatas 150 nm dan waktu sintesis cukup lama yaitu mencapai delapan hari. Tanaman manggis diketahui mengandung senyawa mangostin yang merupakan senyawa turunan *xanton* (Pedraza-Chaverri *et al.*, 2008). Senyawa mangostin ini memiliki gugus hidroksil yang sangat efisien dalam mereduksi ion Ag^+ menjadi nanopartikel Ag. Sintesis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak daun manggis dengan variasi waktu reaksi telah pernah dilaporkan (Masakke *et al.*, 2015). Pada penelitian ini didapatkan ukuran nanopartikel perak yang terbentuk tidak seragam (204 – 562 nm) dan agregasi nanopartikel terjadi ketika sintesis dilakukan lebih dari 60 menit. Penggunaan ekstrak kulit buah manggis dengan variasi konsentrasi AgNO_3 dapat menghasilkan nanopartikel perak berukuran 32 - 126 nm namun dengan kristalinitas yang masih rendah (Yanti & Astuti, 2018).

Berdasarkan potensi dihasilkannya nanopartikel perak berukuran di bawah 100 nm dengan menggunakan ekstrak kulit buah manggis, maka penulis tertarik untuk mengembangkan lebih lanjut penelitian tersebut dengan memvariasikan volume ekstrak kulit buah manggis. Konsentrasi ekstrak manggis diperkirakan akan menentukan efektivitas reduksi ion Ag^+ sehingga mempengaruhi ukuran dan konsentrasi nanopartikel perak yang dihasilkan. Konsentrasi agen pereduksi juga akan mempengaruhi laju nukleasi dan penumbuhan kristal pembentuk nanopartikel pada saat sintesis. Nanopartikel yang terbentuk dikarakterisasi secara visual dan menggunakan spektroskopi UV-Vis dan difraksi sinar-X.

II. METODE

2.1 Pembuatan Ekstrak kulit buah manggis

Kulit buah manggis yang digunakan untuk pembuatan ekstrak dipilih yang dalam kondisi segar. Potongan kulit buah manggis sebanyak 1500 gram dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan 50 mL aquabides lalu dipanaskan sampai mendidih. Setelah mendidih, air rebusan kulit buah manggis didinginkan secara alami hingga mencapai suhu ruang. Setelah itu, air rebusan disaring menggunakan kertas saring Whatman No.42 dan kemudian disimpan di lemari pendingin.

2.2 Sintesis Nanopartikel Perak

Nanopartikel disintesis dengan metode reduksi. Ekstrak kulit buah manggis sebanyak 10 mL, 20 mL, 35 mL, dan 50 mL ditambahkan ke dalam campuran 35 mL AgNO_3 dan 20 g PEG 6000 dan kemudian didinginkan selama 155 menit. Setelah didinginkan, larutan tersebut diaduk hingga mengental menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Pelarut kemudian diuapkan dengan melakukan *sintering* pada suhu 600 °C selama 1 jam hingga didapatkan sampel berupa serbuk.

2.3 Karakterisasi Sampel

Serbuk nanopartikel dilarutkan kembali di dalam aquades untuk diobservasi secara visual dan kemudian spektrum absorbansinya diukur menggunakan spektrometer UV-Vis dalam rentang 380 – 1100 nm. Puncak absorpsi sampel akan digunakan untuk mengestimasi ukuran partikel dengan membandingkannya dengan hasil simulasi menggunakan model hamburan Mie (Bohren & Huffman, 1998). Struktur dan ukuran kristal nanopartikel perak yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan difraksi Sinar-X. Ukuran kristal yang terbentuk dapat ditentukan menggunakan persamaan Scherrer (Cullity & Stock, 2014):

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

dimana D = diameter kristal, K = faktor bentuk dari kristal (0,9), β = lebar puncak saat intensitas setengah maksimum (FWHM) dalam radian, θ = sudut difraksi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Observasi Visual

Larutan nanopartikel perak diobservasi secara visual untuk melihat apakah terbentuk nanopartikel atau tidak. Terbentuknya partikel diindikasikan pada peningkatan turbiditas dan perubahan warna larutan (Gambar 1). Warna larutan berubah dari kuning jernih, kuning pucat, jingga, dan merah. Disamping perubahan warna, turbiditas larutan nanopartikel perak juga meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi ekstrak kulit buah manggis.

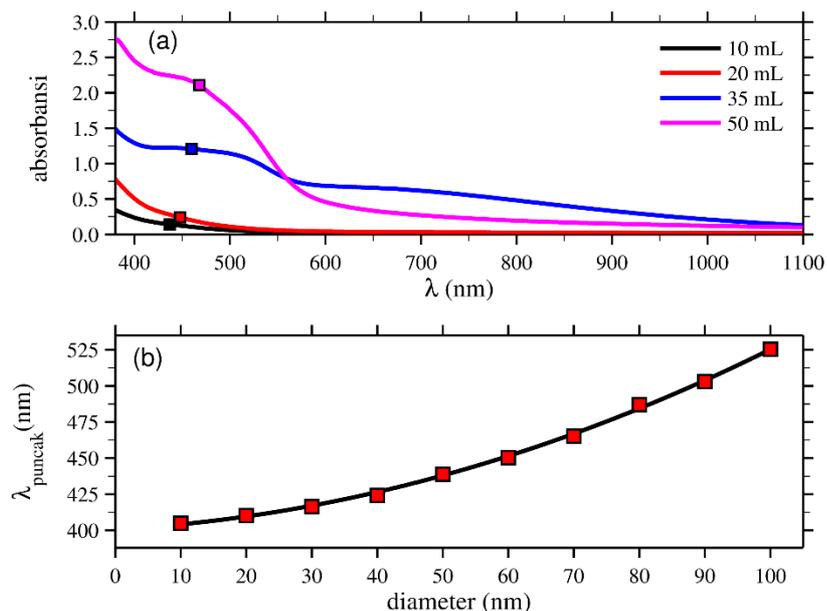


Gambar 1 Larutan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan agen pereduksi AgNO_3 35 mL dengan variasi konsentrasi ekstrak kulit buah manggis 10 mL, 20 mL, 35 mL, dan 50 mL.

Perbedaan warna mengindikasikan perbedaan ukuran nanopartikel yang terbentuk. Semakin besar diameter nanopartikel, semakin bergeser puncak absorpsi ke panjang gelombang yang lebih panjang (Bohren & Huffman, 1998). Disisi lain, turbiditas berkaitan dengan penyerapan atau hamburan cahaya yang akan semakin tinggi ketika konsentrasi partikel dalam larutan semakin tinggi sebagaimana dirumuskan oleh hukum Lambert-Beer (Gauglitz & Vo-Dinh, 2003). Untuk sampel yang disintesis dengan 10 mL air rebusan kulit manggis masih belum menunjukkan adanya absorpsi yang signifikan. Hal ini kemungkinan terkait dengan belum terbentuknya atau terlalu rendahnya konsentrasi nanopartikel perak yang terbentuk. Warna yang kuning jernih juga mengindikasikan partikel yang terbentuk kemungkinan berukuran kecil. Pada konsentrasi ekstrak kulit buah manggis 20 mL mulai terlihat peningkatan absorpsi dan warna larutan mulai lebih kuning. Hal ini menandakan peningkatan ukuran dan konsentrasi nanopartikel. Turbiditas meningkat drastis pada saat konsentrasi ekstrak kulit buah manggis 35 mL dan 50 mL yang mengindikasikan semakin tingginya konsentrasi nanopartikel. Warna larutan yang berubah dari kuning menjadi jingga dan kemudian merah mengindikasikan peningkatannya ukuran partikel. Warna larutan saat disintesis dengan 35 mL dan 50 mL tidak terlalu berbeda, hal ini dapat diartikan bahwa ukuran partikel yang didapatkan tidak jauh berbeda.

3.2 Spektrum Absorbansi

Untuk memperkuat hasil pengamatan visual, dilakukan pengukuran spektrum absorbansi dari larutan menggunakan spektrometer UV-Vis dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 2 (a). Absorbansi terlihat meningkat signifikan dengan semakin tingginya konsentrasi ekstrak kulit buah manggis. Disamping itu terlihat pergeseran puncak absorpsi ke panjang gelombang yang lebih panjang. Puncak absorpsi tidak terlalu terlihat pada saat konsentrasi ekstrak kulit manggis yang digunakan hanya 10 mL. puncaknya mulai terlihat saat ekstrak kulit manggis yang digunakan 20 mL.



Gambar 2 (a) Absorbansi larutan nanopartikel perak yang disintesis dengan variasi konsentrasi ekstrak kulit buah manggis 10 mL, 20 mL, 35 mL dan 50 mL, (b) hasil simulasi puncak absorpsi nanopartikel perak dalam pelarut air sebagai fungsi diameter partikel menggunakan teori hamburan Mie.

Keberadaan puncak absorpsi mengindikasikan terjadinya resonansi plasmonik. Resonansi plasmonik terkait dengan osilasi dipolar elektron bebas pada permukaan nanopartikel perak ketika disinari dengan gelombang elektromagnetik (Perdana & Muldarisnur, 2020). Puncak resonansi nanopartikel logam bergantung pada diameter nanopartikel dan indeks bias medium sekitar. Untuk menunjukkan hubungan ini, dilakukan simulasi dengan menggunakan teori hamburan Mie untuk nanopartikel perak berbentuk bulat dengan medium sekitar adalah air. Hasil simulasi ini ditampilkan pada Gambar 2(b). Panjang gelombang puncak absorpsi bergeser ke panjang gelombang lebih panjang

ketika ukuran nanopartikel bertambah. Posisi puncak resonansi plasmonik memiliki kebergantungan kuadratik terhadap diameter nanopartikel. Pergeseran ini terjadi karena berkurangnya gaya pemulih osilasi elektron ketika ukuran nanopartikel bertambah. Panjang gelombang puncak absorpsi (Gambar 2(a)) dibandingkan dengan hasil simulasi hamburan Mie (Gambar 2(b)) sehingga didapatkan estimasi ukuran partikel yang dihasilkan ketika disintesis dengan konsentrasi ekstrak kulit buah manggis yang berbeda. Hasil estimasi ukuran nanopartikel ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan nilai absorbansi maksimal dengan panjang gelombang setiap sampel nanopartikel perak yang disintesis dengan ekstrak kulit buah manggis dengan konsentrasi 10 mL, 20 mL, 35 mL, dan 50 mL.

konsentrasi (mL)	Maksimum absorbansi	Puncak absorbansi (nm)	Estimasi ukuran nanopartikel (nm)
10	0,143	437	50
20	0,240	448	58
35	1,207	460	65
50	2,108	468	70

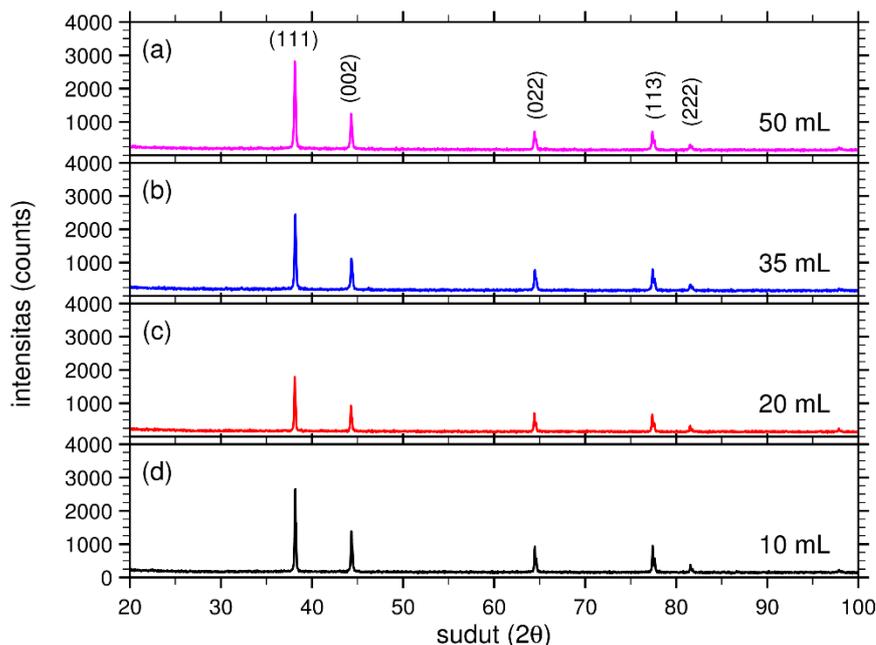
Membesarnya ukuran partikel dengan semakin meningkatnya konsentrasi ekstrak kulit buah manggis mengindikasikan bahwa proses reduksi prekursor AgNO_3 semakin efektif. Disamping itu, Peningkatan maksimum absorbansi menunjukkan peningkatan konsentrasi nanopartikel yang terbentuk. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa konsentrasi optimum ekstrak kulit buah manggis berada pada rentang 35 – 50 mL.

3.3 Analisis difraksi sinar-X

Untuk memastikan bahwa nanopartikel yang terbentuk adalah perak, maka dilakukan pengujian menggunakan difraksi sinar-X dan hasil yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 3. Data yang diperoleh dibandingkan dengan data standar ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) untuk mendapatkan struktur dan parameter kisi kristal. Sebelum analisis parameter kisi sudah dilakukan proses *refinement* dengan menggunakan metode *Rietveld* yang dapat dilakukan secara otomatis pada *software* yang digunakan untuk pengukuran difraksi sinar-X.

Puncak-puncak tajam dan *noise* yang rendah mengindikasikan kristalinitas nanopartikel pada semua sampel cukup tinggi. Tidak terdapat perbedaan signifikan pada posisi puncak-puncak difraksi sinar-X pada semua sampel. Semua puncak difraksi orde terendah untuk kristal *face-centered cubic* muncul pada semua sampel nanopartikel yang disintesis dengan konsentrasi berbeda. Perbedaan hanya terlihat pada intensitas puncak difraksi bidang kristal (111) yang menunjukkan kenaikan dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak kulit buah manggis. Peningkatan intensitas ini menunjukkan konsentrasi agen pereduksi sangat menentukan efisiensi konversi Ag^+ menjadi Ag. Kemunculan puncak-puncak difraksi dengan indeks Miller semua genap atau semua ganjil menunjukkan bahwa struktur kristal nanopartikel yang terbentuk adalah perak dengan struktur kristal kubik berpusat muka (Kittel, 2005). Ukuran kristal nanopartikel perak yang disintesis dengan konsentrasi ekstrak kulit buah manggis 10 mL, 20 mL, 35 mL dan 50 mL dihitung menggunakan Persamaan Scherrer dan didapatkan hasil berturut turut 54,7 nm, 54,8 nm, 27 nm, dan 27,1 nm. Berkurangnya ukuran kristal dengan semakin tingginya konsentrasi ekstrak kulit buah manggis kemungkinan berkaitan dengan laju nukleasi dan pertumbuhan kristal yang semakin cepat sehingga mengakibatkan terbentuknya lebih dari satu domain kristal yang tumbuh secara bersamaan (*heterogeneous nucleation*).

Hasil karakterisasi menggunakan XRD dari keempat sampel yang digunakan menunjukkan bahwa tidak ada puncak-puncak selain difraksi dari perak. Hasil ini menunjukkan bahwa residu dari ekstrak kulit buah manggis tidak terdapat pada nanopartikel yang diperoleh. Hilangnya residu ini kemungkinan terjadi pada saat dilakukan proses *sintering* pada suhu 600 °C yang mengakibatkan terdekomposisinya senyawa organik dari ekstrak kulit buah manggis.



Gambar 3 Pola difraksi sinar-X nanopartikel perak yang disintesis dengan variasi konsentrasi ekstrak kulit buah manggis, (a) 50 mL, (b) 35 mL, (c) 20 mL, dan (d) 10 mL.

IV. KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel perak menggunakan metode reduksi dengan memvariasikan volume ekstrak kulit buah manggis 10 mL, 20 mL, 35 mL dan 50 mL mampu menghasilkan nanopartikel perak dengan ukuran 50 nm – 70 nm. Konsentrasi nanopartikel perak yang dihasilkan berbanding lurus dengan ekstrak kulit buah manggis yang digunakan untuk mereduksi AgNO_3 . Peningkatan konsentrasi terlihat dengan semakin tingginya puncak absorbansi nanopartikel. Puncak difraksi sinar-X yang tinggi menunjukkan tingginya kemurnian nanopartikel perak yang didapatkan. Ukuran kristal yang diperoleh berada dalam rentang 27 nm – 54 nm. Nanopartikel yang didapatkan dapat digunakan untuk meningkatkan penyerapan cahaya matahari pada sel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., Munir, S., Zeb, N., Ullah, A., Khan, B., Ali, J., Bilal, M., Omer, M., Alamzeb, M., Salman, S. M., and Ali, S. (2019). Green nanotechnology: a review on green synthesis of silver nanoparticles — an ecofriendly approach. *International Journal of Nanomedicine*, **14**, 5087–5107.
- Aliofkhazraei, M. (2015). *Handbook of Nanoparticles*. Springer International Publishing.
- Bohren, C. F., and Huffman, D. R. (1998). *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. John Wiley & Sons.
- Cullity, B. D., and Stock, S. R. (2014). *Elements of X-ray Diffraction* (3 ed.). Pearson.
- Gauglitz, G., and Vo-Dinh, T. (Eds.). (2003). *Handbook of Spectroscopy*. Wiley - VCH.
- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., and Bukhari, A. (2020). Detail Review on Chemical, Physical and Green Synthesis, Classification, Characterizations and Applications of Nanoparticles. *Green Chem. Lett. and Rev.*, **13**(3), 223-245.
- Masakke, Y., Sulfikar, and Rasyid, M. (2015). Biosintesis Partikel-nano Perak Menggunakan Ekstrak Metanol Daun Manggis (*Garcinia mangostana L.*). *Jurnal Sainsmat*, **4**(1), 28-41.
- Pal, A., Rani, S., Parshad, J., Pal, T., and Pal, S. (2019). Application of Nanoparticles in Applied Science: A Review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, **8**(10), 2318-2325.
- Pedraza-Chaverri, J., Cárdenas-Rodríguez, N., Orozco-Ibarra, M., and Pérez-Rojas, J. M. (2008). Medicinal Properties of Mangosteen (*Garcinia mangostana*). *Food and Chemical Toxicology*, **46**, 3227–3239.

- Perdana, I., and Muldarisnur, M. (2020). Pengaruh Variasi Periodisitas Nanopartikel Ag-SiO₂ terhadap Peningkatan Absorpsi Cahaya Matahari pada Sel Surya Organik. *Jurnal Fisika Unand*, **9**(2), 202 – 208.
- Perdana, I., and Muldarisnur, M. (2021). Optimization of Ag-SiO₂ core-shell nanoparticles arrangement for light absorption enhancement in organic solar cells. *AIP Conference Proceeding*, **2320**, 030008.
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., and Wardani, S. (2018). Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi L.*) sebagai Antibakteri. *Indo. J. Chem. Sci.*, **7**(2), 161-166.
- Rahim, D. M., Herawati, N., and Hasri. (2020). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Teh Hijau (*Camellia Sinensis*) dengan Iradiasi Microwave. *Jurnal Chemica*, **21**(1), 30 - 41.
- Singh, A., and Kaur, K. (2019). Biological and Physical Applications of Silver Nanoparticles with Emerging Trends of Green Synthesis. In S. M. Avramescu, K. Akhtar, I. Fierascu, S. B. Khan, F. Ali, and A. M. Asiri (Eds.), *Engineered Nanomaterials - Health and Safety*. IntechOpen.
- Taba, P., Parmitha, N. Y., and Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium Polyanthum*) Sebagai Bioreduktor Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *Indo. J. Chem. Res.*, **7**(1), 51-60.
- Yanti, W. R. O., and Astuti. (2018). Sintesis Nanokristal Perak Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana L.*). *Jurnal Fisika Unand*, **7**(3), 286-291.
- Zhang, X.-F., Liu, Z.-G., Shen, W., and Gurunathan, S. (2016). Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *Int. J Mol. Sci.*, **17**(9), 1534.