

## Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Campuran Reduktor Kimia Trisodium Sitrat dan Bioreduktor Ekstrak Kulit Batang Cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.)

(*Silver Nanoparticles Synthesis using a Mixture of Chemical Reductors of Trisodium Citrate and Bioreductors of Cempedak Stem Bark Extract (Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.))

Isah Waliah Indriani, Noor Hindryawati\*, Irfan Ashari Hiyahara

Laboratorium Kimia Anorganik, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Mulawarman  
 Jalan Barong Tongkok, Samarinda Ulu, Samarinda, Kalimantan Timur, 76116, Indonesia

\*Corresponding author: [hindryawati@gmail.com](mailto:hindryawati@gmail.com)

DOI: [10.20961/alchemy.21.2.103484.389-400](https://doi.org/10.20961/alchemy.21.2.103484.389-400)

Received 4 June 2025, Revised 14 July 2025, Accepted 31 Agustus 2025, Published 30 September 2025

### Kata kunci:

bioreduktor;  
 kulit batang  
 cempedak;  
 nanopartikel perak;  
 reduktor.

**ABSTRAK.** Sintesis nanopartikel perak (AgNPs) telah dilakukan menggunakan reduktor kimia trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan bioreduktor dari ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) serta campuran keduanya. AgNPs hasil sintesis dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, PSA (*Particle Size Analyzer*) dan TEM (*Transmission Electron Microscope*). AgNPs berhasil disintesis dapat dilihat dari perubahan warna medium reaksi menjadi kuning kecokelatan. AgNPs tetap stabil dipengukuran hari ke 5, ditunjukkan dari data spektrofotometer UV-Vis. Panjang gelombang maksimum muncul berturut turut untuk AgNPs dengan reduktor  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  pada 426 – 430 nm; AgNPs dengan bioreduktor dari ekstrak kulit batang cempedak pada 426 – 428 nm; dan AgNPs dengan bioreduktor campuran pada 428 – 432 nm. Kondisi optimum sintesis AgNPs diperoleh dengan reduktor campuran pada konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  4,5 mM; perbandingan volume  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ :ekstrak kulit batang cempedak 2:1. Hasil karakterisasi dari PSA menunjukkan nanopartikel perak memiliki distribusi ukuran rata-rata 78,2 nm. Morfologi nanopartikel perak dari TEM menunjukkan AgNPs berbentuk bulat dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 93,49 nm.

### Keywords:

bioreductors;  
 cempedak bark;  
 reductor;  
 silver nanoparticles.

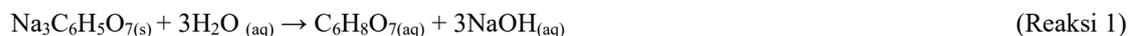
**ABSTRACT.** The synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) has been carried out using the chemical reductant trisodium citrate ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) and bioreductant prepared from the extract of cempedak bark (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) and a mixture of both. The synthesized AgNPs were analyzed using a UV-Vis Spectrophotometer, PSA (*Particle Size Analyzer*), and TEM (*Transmission Electron Microscope*). The successful synthesis of AgNPs can be identified from the change in color of the reaction medium to brownish yellow. AgNPs remained stable on the 5th day of measurement, as shown by the UV-Vis spectrophotometer data. The maximum wavelengths appeared successively for AgNPs with  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  reductant at 426 – 430 nm; AgNPs with bioreductant from cempedak bark extract at 426 – 428 nm; and AgNPs with mixed bioreductant at 428 – 432 nm. The conditions for AgNPs synthesis are optimum with a mixed reducing agent at a concentration of  $\text{AgNO}_3$  of 4.5 mM; the volume ratio of  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ :cempedak bark extract of 2:1. The characterization results from PSA showed that silver nanoparticles had an average size distribution of 78.2 nm. The morphology of silver nanoparticles from TEM showed that AgNPs were spherical with an average particle size of 93.49 nm.

## PENDAHULUAN

Nanopartikel perak merupakan nanopartikel logam dengan aplikasi beragam dan tingkat komersial yang tinggi. Selain mempunyai sifat optis yang lebih baik, kelebihan nanopartikel perak dibanding nanopartikel logam lain yaitu mempunyai sifat fisik dan kimia yang khas, seperti aktivitas katalitik, stabilitas termal, dan konduktivitas dalam proses pembuatan material baru. Hal ini dikarenakan nanopartikel perak memiliki area permukaan yang besar sehingga dapat di aplikasikan sebagai agen antibakteri, anti-jamur, penyimpanan makanan dan dibidang medis lainnya. Selain itu, nanopartikel perak juga dapat diaplikasikan untuk pelapis tekstil dan sensor lingkungan (Oktavia and Sutoyo, 2021).

**Cite this as:** Indriani, I. W., Hindryawati, N., Hiyahara, I. A. (2025). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Campuran Reduktor Kimia Trisodium Sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan Bioreduktor Ekstrak Kulit Batang Cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 21(2), 389-400. doi: <http://dx.doi.org/10.20961/alchemy.21.2.103484.389-400>.

Nanopartikel perak dapat disintesis menggunakan metode *top-down* dan *bottom-up*. Metode *bottom-up* umum digunakan karena menghasilkan nanopartikel dengan stabilitas lebih baik daripada metode *top-down* (Fadillah and Arumsari, 2022). Metode *bottom-up* dilakukan untuk membentuk nanopartikel dari material yang lebih kecil seperti pada reaksi reduksi ion  $\text{Ag}^+$  menjadi nanopartikel perak dan  $\text{Ag}^0$  oleh reduktor (Oktavia and Sutoyo, 2021). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan reduktor trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) untuk mereduksi Ag dan untuk meningkatkan laju reaksi sintesis nanopartikel. Trisodium sitrat berperan sebagai reduktor serta stabilisator karena merupakan larutan penyangga dan merupakan garam yang terbentuk dari asam lemah (asam sitrat) dan basa kuat (NaOH) sebagaimana Reaksi 1 (Dewi *et al.*, 2020).



Mekanisme dari reduktor kimia trisodium sitrat yaitu muatan negatifnya akan meningkat seiring dengan meningkatnya pH, karena adanya gugus asam karboksilat yang terdeprotonasi. Permukaan nanopartikel akan mengadsorpsi ion sitrat yang bermuatan negatif dan mengakibatkan tolakan antar nanopartikel yang mencegah terjadinya agregasi pada nanopartikel yang terbentuk (Dewi *et al.*, 2020). Namun, penggunaan bahan kimia sebagai reduktor dalam pembuatan nanopartikel berdampak negatif dan dapat menghasilkan bahan sisa reaksi yang berbahaya. Hal ini karena adanya sifat toksik dari pelarut yang dipakai pada permukaan material (Indah *et al.*, 2022). Oleh karena itu, sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak bahan alam yang digunakan sebagai bioreduktor perlu dikembangkan.

Bioreduktor merupakan agen pereduksi alami yang berasal dari bahan-bahan alam, mengandung senyawa antioksidan atau poliol yang mampu mereduksi ion perak (Prasetiowati *et al.*, 2018). Dalam proses sintesis nanopartikel, bioreduktor dapat mereduksi logam disebabkan sifat nukleofilik dari senyawa fenolik yang terdapat dalam metabolit sekunder tumbuhan. Akan tetapi, ukuran nanopartikel yang dihasilkan cenderung lebih besar dan kurang seragam jika dibandingkan dengan nanopartikel yang terbentuk dari reduktor kimia. Hal ini terjadi karena kapasitas dan potensi zat ekstraktif setiap tumbuhan berbeda dan terjadi aglomerasi saat pembentukan nanopartikel (Sihotang *et al.*, 2020).

Novelti dari penelitian ini yaitu menekankan pada penggunaan campuran reduktor yaitu trisodium sitrat dengan ekstrak kulit batang cempedak sebagai reduktor dalam sintesis nanopartikel perak. Hasil yang diharapkan adalah terbentuk nanopartikel perak yang lebih stabil dan seragam, mengurangi toksisitas bahan sisa reaksi, serta mengurangi jumlah penggunaan reduktor kimia. Selain mempelajari sintesis nanopartikel perak, studi ini juga menginvestigasi kestabilan nanopartikel perak yang terbentuk berdasarkan variasi konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  dan volume dari trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak serta campuran keduanya. Karakterisasi untuk melihat keberhasilan pembentukan dan kestabilan partikel dilakukan dengan spektrofotometri UV-Vis. Lebih lanjut, ukuran dan morfologi nanopartikel perak yang terbentuk dari hasil optimasi kestabilan nanopartikel perak berdasarkan perbandingan volume trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang menggunakan metode eksperimental dan dilaksanakan dalam tiga tahap. Tahap pertama mencakup proses persiapan, ekstraksi, dan uji fitokimia terhadap kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.). Kulit batang diambil dari pohon cempedak yang tumbuh di Desa Senoni, Kecamatan Sebulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Sebanyak 500 g kulit batang dikumpulkan, kemudian dipotong kecil-kecil hingga berukuran sekitar 1 cm. Potongan tersebut dikeringkan terlebih dahulu di bawah sinar matahari langsung, lalu dioven pada suhu 40 °C selama dua jam.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{AgNO}_3$  (99,98% Merck),  $\text{CH}_3(\text{OH})$  (99% ROFA Lab),  $\text{CHCl}_3$  (Sigma Aldrich),  $\text{NH}_3$  (25-30% Merck),  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  (99% Lobachemie), pereaksi Dragendroff (Merck),  $\text{FeCl}_3$  (Sigma Aldrich), pita Mg,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Merck),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (98% Sigma Aldrich), HCl (Merck Pro analyst). Sedangkan Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas kimia, neraca digital, labu takar, labu *Erlenmeyer*, kaca arloji, batang pengaduk, spatula, gelas ukur, pipet volume, pipet tetes, botol reagen gelap, tabung reaksi, botol vial, termometer, *hot plate* (mascot), *magnetic stirrer* (faithful), *rotary evaporator*, oven (memmert).

## Ekstraksi

Ekstraksi dilakukan menggunakan metode maserasi dan dilanjutkan dengan evaporasi. Sebanyak 210 gram sampel kering kulit batang cempedak dimaserasi menggunakan pelarut metanol sebanyak 3000 mL selama tiga

hari (3×24 jam) dalam botol *reagen* berwarna gelap. Setelah proses maserasi, campuran disaring menggunakan kertas saring Whatman No.1 untuk memisahkan filtrat dari residunya. Filtrat yang diperoleh kemudian diuapkan menggunakan *rotary evaporator* hingga pelarut menguap seluruhnya dan dihasilkan ekstrak metanol pekat dengan rendemen sebesar 20,88%. Selanjutnya, ekstrak ini diuji kandungan senyawa metabolit sekundernya melalui uji fitokimia, yang meliputi uji terhadap senyawa alkaloid, fenolik, flavonoid, tanin, triterpenoid, dan steroid.

### Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak dengan memvariasikan konsentrasi larutan AgNO<sub>3</sub> serta volume trisodium sitrat (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) dan ekstrak kulit batang cempedak. Konsentrasi AgNO<sub>3</sub> yang digunakan yaitu 1,5 mM, 3 mM, dan 4,5 mM. Sementara itu, ekstrak cempedak dan larutan Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub> masing-masing digunakan dalam konsentrasi 1% (v/v) dengan pelarut air. Proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan 100 mL aquades dan padatan AgNO<sub>3</sub>, lalu ditambahkan larutan trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak dalam volume yang divariasikan. Campuran ini kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada suhu 60 °C hingga 70 – 80 °C. Perubahan warna larutan menjadi indikator terbentuknya nanopartikel perak. Setelah itu, campuran tetap diaduk tanpa pemanasan hingga suhu kembali ke suhu ruang.

### Karakterisasi Nanopartikel Perak

Karakterisasi terhadap nanopartikel perak yang telah terbentuk. Karakterisasi dilakukan menggunakan beberapa instrumen, yaitu spektrofotometer UV-Vis (Thermoscientific Orion Aquamate 8100), Particle Size Analyzer (PSA) menggunakan Nano Particle Analyzer SZ-100 dari Horiba Ltd, dan Transmission Electron Microscopy (TEM) model HT7700 dari HITACHI, Jepang. Larutan nanopartikel perak dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dalam rentang panjang gelombang 300 – 600 nm selama lima hari berturut-turut untuk mengevaluasi kestabilan nanopartikel yang dihasilkan. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan mengamati absorbansi dari larutan nanopartikel perak hasil variasi konsentrasi AgNO<sub>3</sub>, serta variasi volume dari reduktor berupa trisodium sitrat (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.). Puncak absorbansi yang menunjukkan resonansi plasmon permukaan nanopartikel perak berada pada rentang 400 – 450 nm, dan digunakan sebagai indikator panjang gelombang maksimum. Nanopartikel perak yang menunjukkan kestabilan terbaik kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan alat PSA untuk menentukan distribusi ukuran partikelnya, dan menggunakan TEM untuk mengamati morfologi permukaan nanopartikel yang ditampilkan dalam bentuk citra visual.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

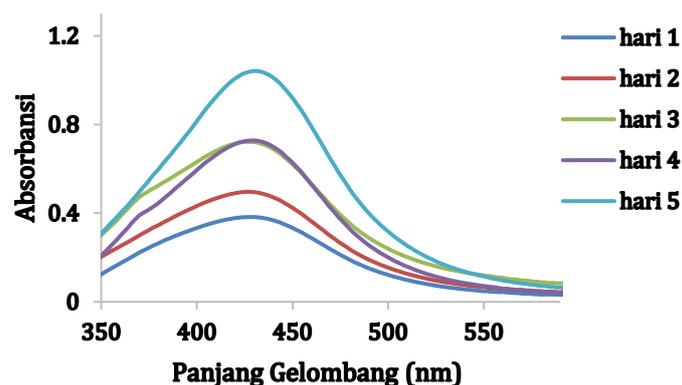
### Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Reduktor Kimia

Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan reduktor kimia trisodium sitrat (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) yang dicampurkan dengan larutan AgNO<sub>3</sub> sebagai prekursor. Sintesis nanopartikel perak dengan reduktor kimia dilakukan dengan bantuan pemanasan pada suhu 70 – 80 °C untuk mempercepat proses pembentukan nanopartikel perak. Terjadi perubahan warna menjadi kuning kecokelatan yang menandakan terbentuknya nanopartikel perak (Fatihin *et al.*, 2016). Proses reduksi terhadap larutan AgNO<sub>3</sub> yaitu ion Ag<sup>+</sup> menjadi Ag<sup>0</sup> oleh ion sitrat. Saat larutan trisodium sitrat ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan AgNO<sub>3</sub> biasanya membutuhkan waktu untuk terjadi perubahan warna dari penetesan larutan trisodium sitrat terakhir secara bertahap menjadi kuning pucat hingga kuning kecokelatan. Warna kuning kecokelatan adalah karakteristik dari terbentuknya koloid nanopartikel perak. Nanopartikel perak yang terbentuk tidak hanya dilihat dari perubahan warna larutan tetapi juga dari munculnya panjang gelombang maksimal di kisaran 400 – 450 nm yang merupakan puncak khas nanopartikel perak.

Hasil sintesis nanopartikel perak berupa larutan berwarna kuning kecokelatan kemudian dianalisis menggunakan instrumen spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui kestabilan nanopartikel yang terbentuk melalui data absorbansi dan panjang gelombang optimumnya. Menurut Ariyanta (2014), mekanisme reaksi pembentukan nanopartikel perak dengan reduktor trisodium sitrat ditunjukkan pada Reaksi 2.



Apabila terjadi pergeseran puncak absorbansi ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi, hal tersebut mengindikasikan rendahnya kestabilan larutan koloid nanopartikel perak akibat terjadinya aglomerasi. Pengukuran terhadap panjang gelombang maksimum dilakukan selama lima hari berturut-turut untuk memantau kestabilan nanopartikel perak yang dihasilkan, dengan hasil pengamatan disajikan pada Gambar 1.



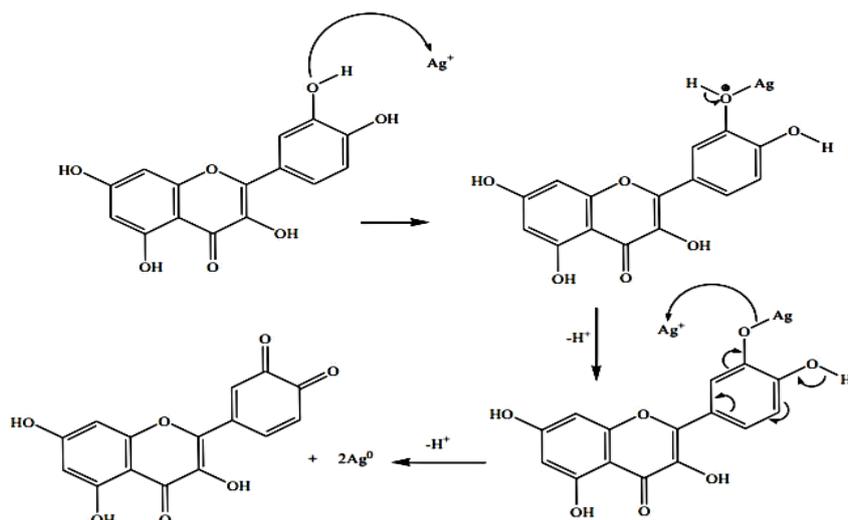
**Gambar 1.** Spektrum Uv-Vis dari nanopartikel perak menggunakan reduktor trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ).

Berdasarkan [Gambar 1](#), hasil pengukuran koloid nanopartikel perak menggunakan spektrofotometri UV-Vis dari hasil sintesis  $\text{AgNO}_3$  dengan reduktor trisodium sitrat selama selama 5 hari diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,382 – 1,041 dengan panjang gelombang antara 426 – 430 nm yang mengindikasikan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil. Trisodium sitrat yang bersifat bermuatan negatif akan menempel pada permukaan nanopartikel perak, sehingga menghasilkan gaya tolak-menolak antar partikel dan membantu mencegah terjadinya aglomerasi. Selanjutnya, pembuatan sintesis nanopartikel perak dilakukan menggunakan bioreduktor. Sebelum melakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor, lebih dulu dilakukan preparasi sampel bioreduktor. Ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) yang sudah dikeringkan sebanyak 210 g dimaserasi dengan pelarut metanol sebanyak 3000 mL selama  $3 \times 24$  jam di dalam botol reagen gelap. Pelarut metanol yang bersifat semipolar dapat melarutkan senyawa polar maupun nonpolar untuk menarik senyawa kimia metabolit sekunder yang terdapat di dalam sampel ekstrak kulit batang cempedak. Filtrat dan residu disaring menggunakan kertas *Whatmann No.1*. Kemudian filtrat di evaporasi menggunakan *rotary evaporator* hingga pelarut menguap dan diperoleh ekstrak metanol kental dengan rendemen sebesar 20,88%. Selanjutnya, uji fitokimia dilakukan secara kualitatif pada ekstrak kulit batang cempedak. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ekstrak kulit batang cempedak positif mengandung metabolit sekunder berupa flavonoid, tanin, alkaloid, triterpenoid dan fenolik, sebagaimana halnya yang dilaporkan dalam penelitian [Sihotang \*et al.\* \(2020\)](#) yang menunjukkan bahwa ekstrak kulit batang cempedak positif mengandung senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik dan triterpenoid.

### Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor

Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan bioreduktor ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) menggunakan larutan  $\text{AgNO}_3$  sebagai prekursor. Proses reduksi terjadi terhadap larutan  $\text{AgNO}_3$  yaitu ion  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$  oleh senyawa metabolit sekunder bioreduktor. Sintesis nanopartikel perak dengan bioreduktor dilakukan dengan bantuan pemanasan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  untuk mempercepat proses pembentukan nanopartikel perak. Mekanisme terbentuknya nanopartikel perak dimulai pada saat perak nitrat terdisosiasi menjadi ion perak positif ( $\text{Ag}^+$ ) dan ion nitrat negatif ( $\text{NO}_3^-$ ) saat dilarutkan dalam air. Terjadi perubahan ion  $\text{Ag}^+$  menjadi ion  $\text{Ag}^0$  pada reaksi reduksi dengan menerima donor elektron.

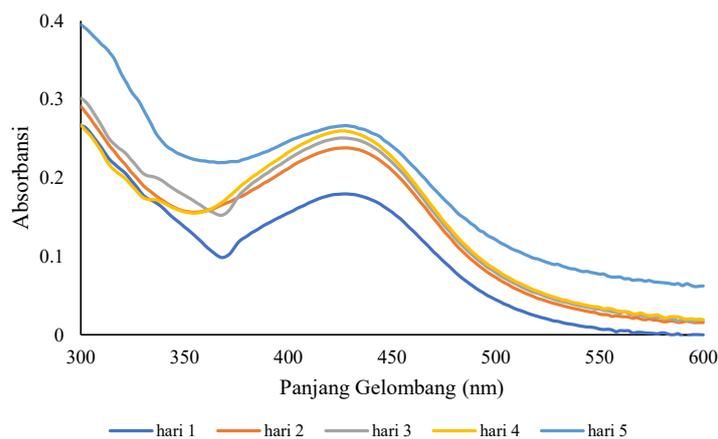
Metabolit sekunder berupa biomolekul seperti flavonoid, terpenoid, asam amino, alkaloid, senyawa fenolik dan biomolekul yang mengandung gugus fungsi aldehid yang terdapat pada ekstrak tanaman berperan menjadi reduktor ion perak. Senyawa metabolit sekunder mengandung gugus fungsi yang dapat mendonorkan elektron ke ion  $\text{Ag}^+$  untuk menghasilkan nanopartikel perak ([Prasetyaningtyas \*et al.\*, 2020](#)). [Kasim \*et al.\* \(2020\)](#) menyatakan mekanisme reaksi pembentukan nanopartikel perak dengan bioreduktor ([Gambar 2](#)).



**Gambar 2.** Mekanisme reaksi oksidasi–reduksi dalam pembentukan nanopartikel perak menggunakan bioreduktor flavonoid dari ekstrak tumbuhan.

Senyawa metabolit sekunder pada ekstrak tumbuhan seperti flavonoid pada [Gambar 2](#) mempunyai potensial reduksi sebesar 0,33 V sehingga dapat mereduksi ion  $\text{Ag}^+$  dengan potensial reduksi sebesar 0,8 V. Selain itu, ekstrak tumbuhan yang berperan sebagai *capping agent* dapat mempengaruhi variasi ukuran nanopartikel yang terbentuk yaitu sekitar 5 – 500 nm tergantung komposisi kandungan senyawa metabolit sekunder pada ekstrak bahan alam yang digunakan. Semakin tinggi jumlah senyawa metabolit sekundernya maka semakin stabil ukuran nanopartikel perak yang terbentuk. *Capping agent* berperan sebagai penstabil nanopartikel perak agar tidak terjadi aglomerasi. Aglomerasi adalah peristiwa pertumbuhan ukuran nanopartikel perak karena adanya gaya tarik-menarik antar nanopartikel pada saat reduksi ion  $\text{Ag}^+$ . Pada saat penambahan *capping agent*, interaksi elektrostatis akan terjadi antara *capping agent* yang terbentuk dari senyawa metabolit sekunder golongan fenolik dan polifenol yang bermuatan parsial negatif dengan nanopartikel perak yang bermuatan parsial positif ([Oktavia and Sutoyo, 2021](#)).

Selanjutnya, kestabilan larutan koloid nanopartikel perak yang terbentuk diuji menggunakan instrumen spektrofotometri UV-Vis dengan melihat perubahan puncak serapannya. Pengukuran panjang gelombang maksimum dilakukan selama 5 hari untuk melihat kestabilan dari nanopartikel perak yang terbentuk ([Gambar 3](#)).



**Gambar 3.** Spektrum UV-Vis dari nanopartikel perak menggunakan bioreduktor ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.).

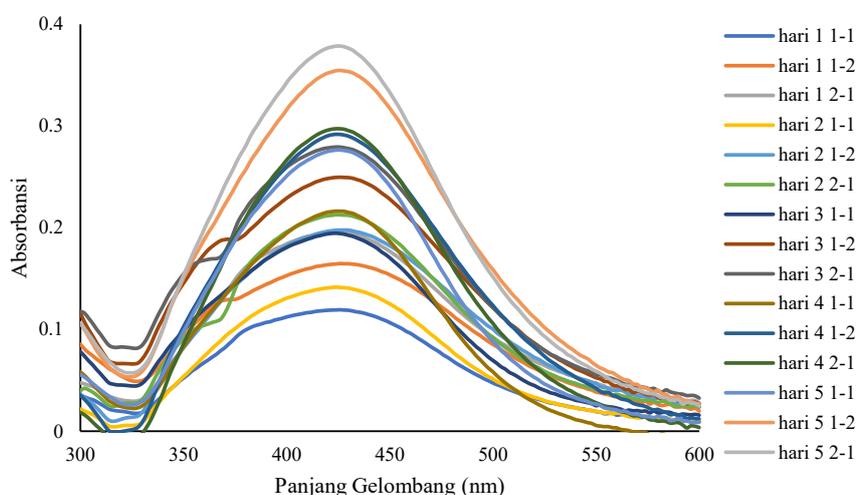
Berdasarkan hasil pengukuran koloid nanopartikel perak menggunakan spektrofotometri UV-Vis dari hasil sintesis  $\text{AgNO}_3$  dengan bioreduktor ekstrak kulit batang cempedak selama 5 hari diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,179 – 0,266 dengan panjang gelombang antara 426 – 428 nm. Hal ini mengindikasikan bahwa koloid

hasil sintesis memiliki kestabilan yang cukup baik dan tidak mengalami aglomerasi. Penggunaan bioreduktor dalam sintesis nanopartikel memungkinkan terjadinya reduksi ion logam karena adanya sifat nukleofilik dari senyawa fenolik yang terdapat dalam metabolit sekunder tumbuhan, serta keberadaan senyawa antioksidan lainnya seperti terpenoid, alkaloid, flavonoid, dan tanin (Purnamasari, 2015). Oleh karena itu, ekstrak kulit batang cempedak berpotensi dimanfaatkan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak dengan memvariasikan konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  serta volume trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.).

### Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Campuran Reduktor dan Bioreduktor

Sintesis nanopartikel perak selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan volume campuran antara reduktor kimia berupa trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan bioreduktor dari ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) dengan konsentrasi larutan  $\text{AgNO}_3$  yang berbeda, yaitu 1,5 mM, 3 mM, dan 4,5 mM. Peningkatan konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  sebagai prekursor dapat mempercepat proses reduksi nanopartikel perak, yang ditandai dengan perubahan warna larutan dari kuning terang menjadi kuning kecokelatan serta peningkatan nilai absorbansi (Prasetiowati *et al.*, 2018). Warna larutan mencerminkan nilai absorbansi nanopartikel perak. Semakin gelap warna yang terbentuk, maka absorbansi yang dihasilkan juga akan semakin tinggi (Mursyida and Anjeli, 2025). Semakin besar volume reduktor yang digunakan, maka warna larutan menjadi lebih pekat akibat terbentuknya lebih banyak partikel koloid dan meningkatnya ukuran nanopartikel (Fatihin *et al.*, 2016).

Proses sintesis nanopartikel perak dengan kombinasi reduktor kimia dan bioreduktor dilakukan dengan pemanasan pada suhu 60 °C guna mempercepat pembentukan nanopartikel. Larutan hasil sintesis yang berwarna kuning kecokelatan kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan panjang gelombang optimum serta mengevaluasi kestabilan larutan koloidnya. Pengukuran panjang gelombang maksimum dilakukan selama lima hari untuk menilai kestabilan nanopartikel perak hasil variasi konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  sebesar 1,5 mM, dengan perbandingan volume campuran reduktor trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak (v/v) secara berturut-turut yaitu 1:1, 1:2, dan 2:1, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.

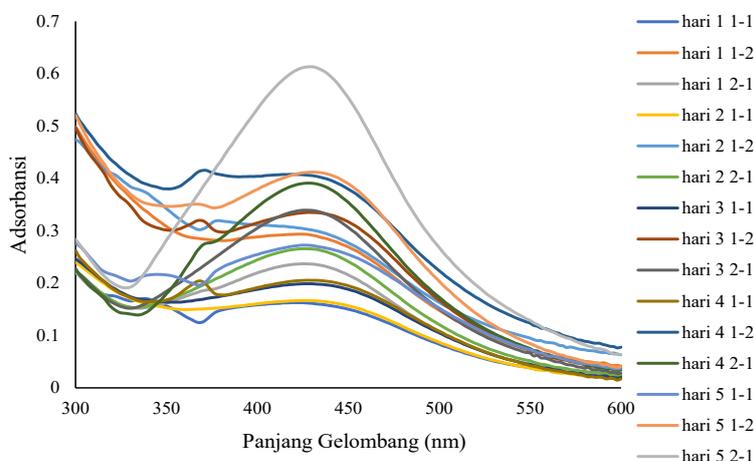


**Gambar 4.** Spektrum UV-Vis yang menunjukkan kestabilan nanopartikel perak variasi  $\text{AgNO}_3$  1,5 mM dengan variasi volume campuran reduktor trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) selama 5 hari.

Berdasarkan hasil pengukuran koloid nanopartikel perak menggunakan spektrofotometri UV-Vis selama 5 hari dapat dilihat dari hasil nilai absorbansi dan pergeseran puncak serapan panjang gelombang maksimumnya. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 1:1 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,119 – 0,276 dengan panjang gelombang antara 424 – 426 nm yang mengindikasikan bahwa koloid yang terbentuk dari proses sintesis memiliki tingkat kestabilan yang cukup baik. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 1:2 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,164 – 0,354 dengan panjang gelombang antara 424 – 428 nm yang menandakan bahwa koloid hasil sintesis bersifat cukup stabil. Pada

campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 2:1 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,196-0,378 dengan panjang gelombang antara 424 – 426 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil.

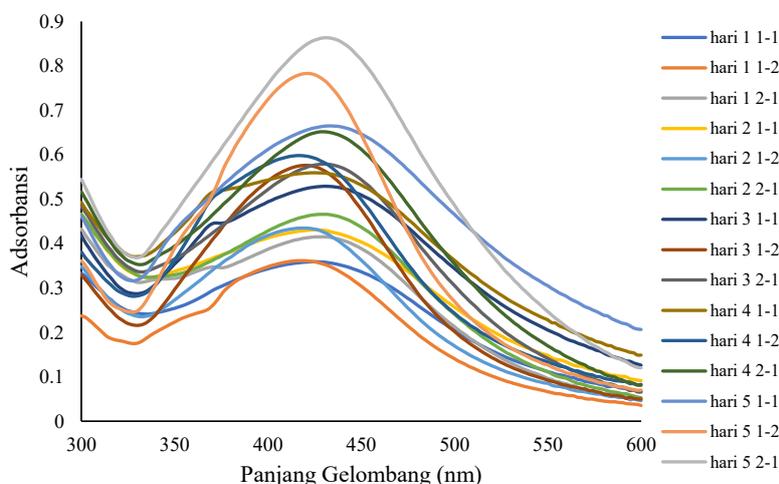
Dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum selama 5 hari untuk melihat kestabilan nanopartikel perak yang terbentuk dari prekursor  $\text{AgNO}_3$  3 mM pada variasi volume campuran reduktor trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak (v/v) secara berurutan 1:1 ; 1:2 ; 2:1 pada [Gambar 5](#).



**Gambar 5.** Spektrum UV-Vis yang menunjukkan kestabilan nanopartikel perak variasi  $\text{AgNO}_3$  3 mM dengan reduktor campuran trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) selama 5 hari.

Berdasarkan hasil pengukuran koloid nanopartikel perak menggunakan spektrofotometri UV-Vis selama 5 hari dapat dilihat dari hasil nilai absorbansi dan pergeseran puncak serapan panjang gelombang maksimumnya. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 1:1 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,162 – 0,272 dengan panjang gelombang antara 424 – 428 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 1:2 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,293 – 0,411 dengan panjang gelombang antara 418 – 430 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis kurang stabil. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 2:1 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,236 – 0,613 dengan panjang gelombang antara 426 – 430 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil.

Variasi selanjutnya yaitu sintesis nanopartikel perak dengan konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  4,5 mM pada variasi volume campuran reduktor trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak (v/v) secara berurutan 1:1 ; 1:2 ; 2:1. Analisis dilakukan selama 5 hari dengan mengukur panjang gelombang maksimum pada [Gambar 6](#).



**Gambar 6.** Spektrum UV-Vis yang menunjukkan kestabilan nanopartikel perak variasi  $\text{AgNO}_3$  4,5 mM dengan reduktor campuran trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) selama 5 hari.

Berdasarkan hasil pengukuran koloid nanopartikel perak menggunakan spektrofotometri UV-Vis selama 5 hari pada Gambar 4, 5, dan 6 dapat dilihat dari hasil nilai absorbansi dan pergeseran puncak serapan panjang gelombang maksimumnya. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 1:1 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,358 – 0,664 dengan panjang gelombang antara 424 – 434 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis kurang stabil. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 1:2 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,361 – 0,782 dengan panjang gelombang antara 416 – 422 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil. Pada campuran trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 2:1 diperoleh rentang nilai absorbansi sebesar 0,415 – 0,863 dengan panjang gelombang antara 428 – 432 nm yang menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil.

Untuk memastikan kestabilan nanopartikel perak yang terbentuk, maka dilakukan perhitungan standar deviasi (SD) untuk mengetahui sebaran nilai dari panjang gelombang maksimum dan absorbansi selama 5 hari yang dapat dilihat dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Panjang gelombang maksimum seluruh variasi nanopartikel perak selama 5 hari.

No	Variasi		Panjang Gelombang Maksimum (nm)					SD	Rata-Rata
	[AgNO <sub>3</sub> ] 100 mL	Reduktor:Bio reduktor (v/v)	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5		
1	AgNO <sub>3</sub> 1,5 mM	1:1	426	424	424	424	426	1,095	424,8
		1:2	426	428	426	424	426	1,414	426
		2:1	426	424	424	424	426	1,095	424,8
2	AgNO <sub>3</sub> 3 mM	1:1	424	426	426	428	426	1,414	426
		1:2	422	424	428	418	430	4,774	424,4
		2:1	426	426	426	428	430	1,788	427,2
3	AgNO <sub>3</sub> 4,5 mM	1:1	424	426	430	424	434	4,335	427,6
		1:2	418	418	420	416	422	2,280	418,8
		2:1	428	430	430	430	432	1,414	430
4	AgNO <sub>3</sub> 4,5 mM	reduktor	428	426	426	430	430	2	428
5	AgNO <sub>3</sub> 4,5 mM	bioreduktor	428	428	426	426	428	1,095	427,2

Berdasarkan Tabel 1, nilai kestabilan nanopartikel perak berdasarkan kecenderungan nilai panjang gelombang maksimum menunjukkan standar deviasi yang cukup tinggi, bahkan melebihi angka 1, dan dalam beberapa sampel mencapai angka 4. Pada semua variasi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> dengan perbandingan reduktor 1:1 menunjukkan sebaran data cukup tinggi dengan nilai SD tinggi hingga mencapai 4. Disisi lain, perbandingan volume reduktor 2:1 menunjukkan sebaran data yang cenderung lebih homogen dengan nilai SD dikisaran 1. Nilai SD yang besar (> 1) mengindikasikan adanya penyebaran data yang cukup besar dari nilai rata-rata. Besarnya nilai standar deviasi diduga disebabkan oleh ketidakhomogenan ukuran partikel yang diduga disebabkan oleh variasi kondisi dalam proses sintesis, atau perbedaan kondisi lingkungan saat pengujian. Meskipun nilai rata-rata menunjukkan kestabilan yang cukup baik, besarnya standar deviasi mengindikasikan bahwa tidak semua sampel menunjukkan kecenderungan yang konsisten.

Selanjutnya, perhitungan SD untuk absorbansi dari semua variasi perlakuan juga dilakukan sebagai salah satu cara untuk melihat ketersebaran sampel nanopartikel perak yang terbentuk pada Tabel 2. Data pada Tabel 2 menunjukkan ketersebaran dan konsistensi dari hasil sintesis. Nilai SD memberikan gambaran seberapa besar variasi data antar pengulangan (Hari 1 hingga Hari 5) dalam setiap kombinasi perlakuan. Secara umum, nilai SD yang diperoleh berada dalam rentang 0,034 hingga 0,253, dan sebagian besar di antaranya berada di bawah angka 0,1, yang merupakan indikator konsistensi data yang tinggi. Variasi yang rendah tersebut menunjukkan bahwa absorbansi antar hari relatif stabil, menandakan bahwa nanopartikel perak yang terbentuk memiliki tingkat reproduktibilitas yang baik. Nilai SD yang rendah menunjukkan salah satu indikator bahwa partikel yang terbentuk memiliki ukuran yang relatif seragam. Ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap absorbansi (khususnya terhadap puncak plasmon permukaan lokal, SPR). Apabila partikel tidak seragam atau ukuran tersebar luas,

memiliki kecenderungan penyimpangan atau pergeseran nilai absorbansi yang cukup besar dari waktu ke waktu. Namun, berdasarkan hasil perhitungan sebagian besar perlakuan menghasilkan nilai SD yang rendah, yang mencerminkan bahwa penyebaran ukuran partikel homogen.

**Tabel 2.** Absorbansi seluruh variasi nanopartikel perak selama 5 hari.

No	Variasi		Absorbansi					SD	Rata-Rata
	[AgNO <sub>3</sub> ] 100 mL	Reduktor:Bioreduktor (v/v)	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5		
1	AgNO <sub>3</sub> 1,5 mM	1:1	0,119	0,141	0,194	0,216	0,276	0,062	0,189
		1:2	0,164	0,197	0,249	0,291	0,354	0,075	0,251
		2:1	0,196	0,212	0,279	0,297	0,378	0,072	0,272
2	AgNO <sub>3</sub> 3 mM	1:1	0,162	0,166	0,198	0,205	0,272	0,044	0,201
		1:2	0,293	0,304	0,334	0,407	0,411	0,056	0,350
		2:1	0,236	0,265	0,339	0,390	0,613	0,149	0,369
3	AgNO <sub>3</sub> 4,5 mM	1:1	0,358	0,431	0,529	0,559	0,664	0,118	0,508
		1:2	0,361	0,434	0,576	0,598	0,782	0,162	0,550
		2:1	0,415	0,466	0,579	0,652	0,863	0,176	0,595
4	AgNO <sub>3</sub> 4,5 mM	reduktor	0,382	0,496	0,721	0,728	1,041	0,253	0,674
5	AgNO <sub>3</sub> 4,5 mM	bioreduktor	0,179	0,238	0,250	0,259	0,266	0,034	0,238

Dari hasil perbandingan uji kestabilan nanopartikel perak yang terbentuk dari variasi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> dan volume campuran reduktor yang digunakan diketahui bahwa lamanya waktu penyimpanan dan kondisi lingkungan penyimpanan berpengaruh terhadap kestabilan nanopartikel yang terbentuk. Semakin lama waktu penyimpanan dari hari 1-5 diketahui nilai absorbansi nanopartikel perak memiliki kecenderungan kestabilan yang baik. Sedangkan berdasarkan panjang gelombang mengalami pergeseran menjadi lebih besar. Berdasarkan hasil penelitian selama lima hari, diketahui bahwa peningkatan konsentrasi AgNO<sub>3</sub> berbanding lurus dengan nilai absorbansi yang dihasilkan (Kasim *et al.*, 2020).

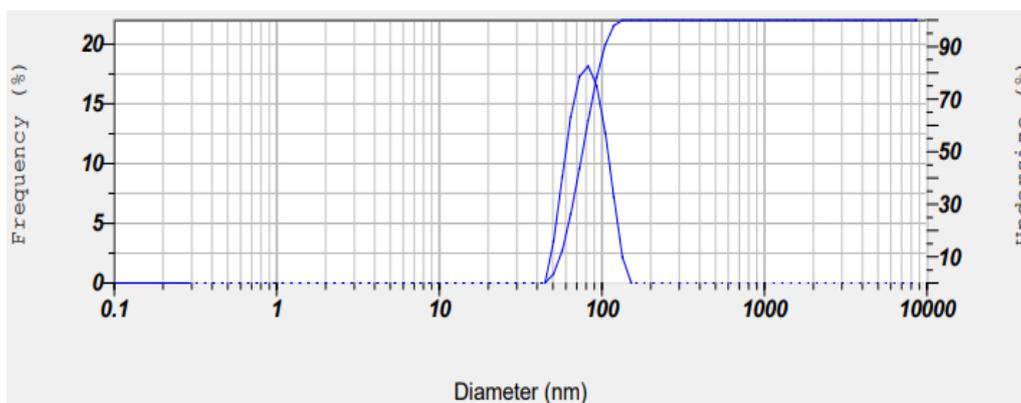
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada seluruh variasi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> dan volume campuran reduktor yang digunakan, diketahui nanopartikel perak yang terbentuk dari konsentrasi AgNO<sub>3</sub> 4,5 mM dan campuran reduktor dengan rasio trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak yang digunakan sebesar 2:1 menunjukkan kestabilan nanopartikel perak yang cukup baik dan absorbansi yang besar. Pada konsentrasi tersebut selisih pergeseran panjang gelombang tidak begitu berbeda dan tidak terlalu jauh dibandingkan dengan nanopartikel variasi lainnya. Hal ini menandakan nanopartikel perak yang terbentuk cukup stabil. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum dan absorbansi nanopartikel perak yang terbentuk menggunakan reduktor trisodium sitrat saja atau bioreduktor ekstrak kulit batang cempedak saja digunakan sebagai pembanding. Selanjutnya, variasi AgNO<sub>3</sub> 4,5 mM dan campuran reduktor dengan rasio trisodium sitrat dan ekstrak kulit batang cempedak 2:1 akan digunakan untuk karakterisasi menggunakan instrumen lain.

### Karakterisasi Nanopartikel Perak

Nanopartikel perak yang telah di sintesis menggunakan campuran antara trisodium sitrat (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) dengan variasi paling optimal berdasarkan hasil pengukuran kestabilannya menggunakan spektrofotometri UV-Vis kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen PSA. Langkah ini dilakukan guna mengidentifikasi sebaran ukuran partikel pada nanopartikel perak yang terbentuk (Gambar 7).

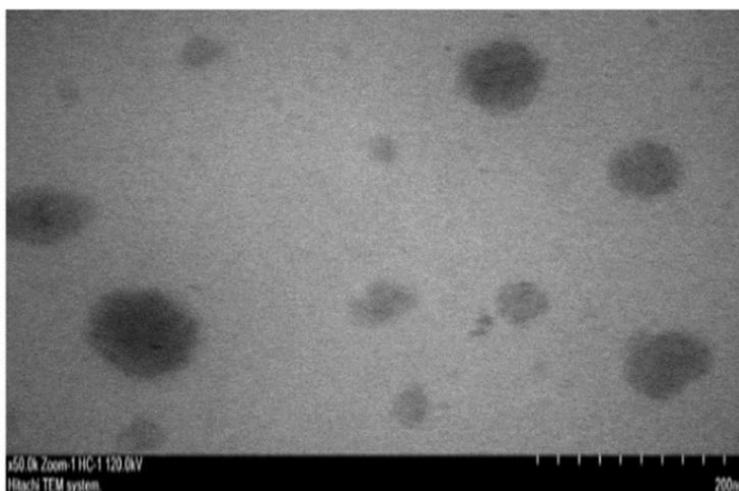
Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan instrumen PSA pada Gambar 7 diketahui distribusi ukuran nanopartikel perak yang terbentuk berkisar antara 50,53 nm hingga 134,16 nm dengan ukuran rata-rata 78,2 nm. Dari hasil pengukuran tersebut diketahui ukuran rata-rata nanopartikel yang terbentuk kurang dari 100 nm yang berarti berukuran nano meskipun kurang seragam. Ketidakteraturan ukuran nanopartikel perak yang terbentuk dengan ukuran di atas 100 nm kemungkinan dikarenakan terjadi proses aglomerasi. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa distribusi ukuran partikel tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian (Sihotang *et al.*, 2020) yaitu

nanopartikel perak dengan reduktor kimia berkisar antara kurang dari 10 hingga kurang dari 100 nm dan nanopartikel perak dengan bioreduktor berkisar antara 40 nm hingga lebih dari 100 nm.



**Gambar 7.** Hasil karakterisasi nanopartikel perak menggunakan instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA).

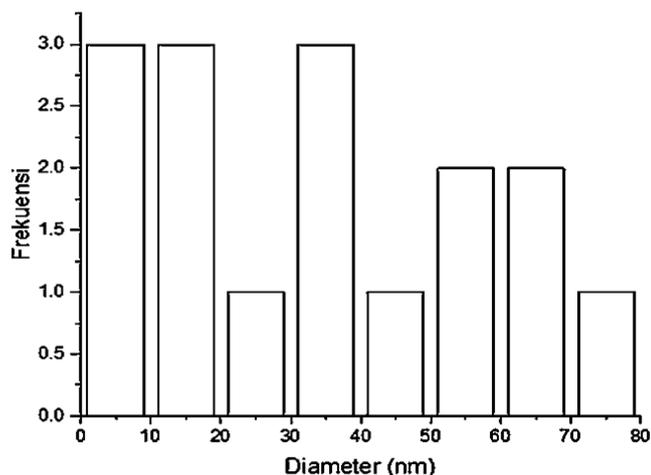
Nanopartikel perak yang telah di sintesis menggunakan campuran antara trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) dengan variasi paling optimal berdasarkan hasil pengukuran kestabilannya menggunakan spektrofotometri UV-Vis kemudian di karakterisasi menggunakan instrumen *Transmission Electron Microscope* (TEM). Hal ini bertujuan untuk mengetahui morfologi dan bentuk nanopartikel serta memastikan terbentuknya nanopartikel perak dari hasil gambar difraksi seperti yang dapat dilihat pada [Gambar 8](#).



**Gambar 8.** Hasil karakterisasi nanopartikel perak menggunakan instrumen *Transmission Electron Microscope* (TEM).

Berdasarkan hasil karakterisasi nanopartikel perak menggunakan TEM pada skala 200 nm diperoleh morfologi dari nanopartikel berbentuk bulat. Nanopartikel perak yang terbentuk mempunyai variasi ukuran partikel yang beragam dengan distribusi ukuran partikel yang diukur menggunakan *software ImageJ*. Hasil distribusi ukuran nanopartikel perak dapat dilihat pada [Gambar 9](#).

Berdasarkan [Gambar 9](#), diketahui distribusi dari nanopartikel dengan diameter 0 – 20 nm dan 30 – 40 nm memiliki frekuensi paling besar, artinya nanopartikel yang terbentuk sebagian besar berukuran sekitar 0 – 20 nm dan 30 – 40 nm. Hasilnya diperoleh rata-rata diameter dari partikel sebesar 93,49 nm. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan instrumen PSA yaitu sebesar 78,2 nm. Dapat disimpulkan ukuran nanopartikel perak yang terbentuk cenderung dibawah 100 nm yang berarti berukuran nano. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa rata-rata ukuran partikel cenderung mendekati hasil penelitian ([Sihotang \*et al.\*, 2020](#)) yaitu nanopartikel perak dengan reduktor kimia sebesar 66,54 nm dan nanopartikel perak dengan bioreduktor sebesar 78,88 nm.



**Gambar 9.** Histogram dari distribusi nanopartikel perak yang dikarakterisasi menggunakan instrumen *Transmission Electron Microscope* (TEM).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nanopartikel perak berhasil disintesis dengan menggunakan kombinasi reduktor kimia trisodium sitrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) dan bioreduktor berupa ekstrak kulit batang cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.). Sintesis dilakukan pada variasi konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  sebesar 4,5 mM, dengan perbandingan volume trisodium sitrat dan ekstrak cempedak 2:1. Formulasi ini menghasilkan koloid nanopartikel perak yang stabil selama lima hari. Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa nanopartikel perak terbentuk pada rentang panjang gelombang 428 – 432 nm, yang ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kuning kecokelatan sebagai indikator khas pembentukan nanopartikel perak. Karakterisasi lebih lanjut menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa nanopartikel yang dihasilkan memiliki distribusi ukuran rata-rata sebesar 78,2 nm, menandakan bahwa partikel yang terbentuk berukuran nano, homogen, dan tidak mengalami aglomerasi. Selain itu, hasil pencitraan menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM) mengonfirmasi bahwa morfologi nanopartikel perak berbentuk bulat, dengan rata-rata diameter dari partikel sebesar 93,49 nm. Nanopartikel perak yang terbentuk berpotensi untuk diaplikasikan sebagai katalis dalam proses fotodegradasi, kedepannya akan dikembangkan untuk diaplikasikan sebagai material antibakteri, antiinflamasi, ataupun tabir surya.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

## KONTRIBUSI PENULIS

IWI: Analisis Data, Sumber Daya, Penulisan Draf Manuskrip, Telaah dan Penyuntingan Manuskrip; NH: Penyelidikan, Metodologi, Perangkat Lunak, Pengawasan, Validasi dan Visualisasi; IAH: Konseptualisasi, Akuisisi Pendanaan, Administrasi Proyek dan Supervisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanta, H.A., 2016. Preparasi Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 10, 36–42. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v10i1.477>.
- Damayanti, E., Awaluddin, A., and Muhdarina, M., 2021. Sintesis Katalis Fe/SOD Berbasis Lempung Alam Maredan untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18, 122–129. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.1.47874.122-129>.
- Dewi, A., Putri, S.E., and Salempa, P., 2020. Synthesis and Characterization of Gold Nanoparticles Using Trisodium Citrate as a Reductant. *Jambura Journal of Chemistry*, 2, 10–16. <https://doi.org/10.34312/jambchem.v2i1.5024>.
- Fadillah, I., and Arumsari, A., 2022. Kajian Literatur Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Reduktor Kimia dan Biologi serta Uji Aktivitas Antibakteri. *Jurnal Riset Farmasi*, 1, 141–149. <https://doi.org/10.29313/jrf.v1i2.569>.

- Fatihin, S., Harjono, H., and Kusuma, S.B.W., 2016. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Buah Jambu Biji Merah (*Psidium guajava* L.). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(3), 174-177.
- Hardian, A., Putri, R.H., Budiman, S., and Syarif, D.G., 2021. Sintesis Keramik Komposit ZrO<sub>2</sub>-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebagai Fotokatalis Magnetik untuk Degradasi Metilen Biru. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17, 43-53. <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.1.39240.43-53>.
- Indah, I., Asri, M., Auliah, N., and Ashari, A.T., 2022. Sintesis Nanopartikel Perak dengan Air Rebusan Daun Pegagan (*Centella asiatica* L.) dan Uji Aktivitas dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* dan *Staphylococcus aureus*. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*, 26, 88-91.
- Kasim, S., Taba, P., Ruslan, and Anto, R., 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) sebagai Bioreduktor. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6, 126-133. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i2.15137>.
- Kusumandari, K., Qusnudin, A., Saraswati, T.E., and Dhruv, D., 2024. TiO<sub>2</sub>-N/Polystyrene Photocatalyst-Combined Corona Plasma Treatment for Methylene Blue Degradation. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 20, 62-69. <https://doi.org/10.20961/alchemy.20.1.76692.62-69>.
- Mursyida, E., and Anjeli, Y.P., 2024. Nanopartikel Perak dari Ekstrak Kulit Nanas: Potensi Antifungal terhadap *Malassezia Furfur* ATCC 14521. *Termometer: Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan dan Kedokteran*, 3, 101-114. <https://doi.org/10.55606/termometer.v3i1.4563>.
- Oktavia, I.N., and Sutoyo, S., 2021. Article Review: Synthesis of Silver Nanoparticles Using Bioreduktor from Plant Extract as an Antioxidant. *Unesa Journal of Chemistry*, 10, 37-54. <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n1.p37-54>.
- Prasetiowati, A.L., Prasetya, A.T., and Wardani, S., 2018. Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7, 160-166.
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A.T., and Widiarti, N., 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9, 37-43.
- Purnamasari, M.D., 2015. Sintesis Antibakteri Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Sirih (*Piper betle* Linn) dengan Irradiasi Microwave. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Sihotang, D.V., Ruga, R., and Hindryawati, N., 2020. Synthesis of Silver Nanoparticle Using Bioreduktor Method from Cempedak (*Artocarpus integrifolius* L. f) Bark Extract. *Proceeding 4th ICTROPS*, 27 October 2021, Mulawarman University Press, Samarinda, Kalimantan Timur, pp. 10-14.