

Sintesis Nanopartikel Perak Dengan Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Kulit Buah Sirsak (*Annora muricata L.*) Untuk Identifikasi Logam Berat Merkuri pada *Whitening Body Lotion* yang Dijual di *E-Commerce*

Riska Yudhistia A*, Nafrila Raheny, Hanandayu Widwastuti, Nurma Sabila

Prodi D3 Analisis Farmasi dan Makanan, Poltekkes Kemenkes Malang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia

*Email korespondensi: riska_yudhistia@poltekkes-malang.ac.id

Doi: 10.30867/jifs.v5i2.896

ABSTRAK

Penggunaan merkuri sebagai pemutih masih banyak ditemukan pada *whitening body lotion* yang tidak memiliki izin edar. Identifikasi merkuri dapat dilakukan secara kolorimetri menggunakan Nanopartikel Perak (AgNPs). AgNPs dapat disintesis dengan menggunakan bioreduktor dari metabolit sekunder yang ada pada ekstrak kulit buah sirsak. Pada pembentukan AgNPs perbandingan volume mempengaruhi hasil nanopartikel yang terbentuk. Variasi perbandingan volume yang digunakan pada penelitian ini (ekstrak kulit buah sirsak: larutan AgNO₃ 2 mM) antara lain 1:20; 1:30; dan 1:40 (v:v). Karakterisasi AgNPs yang terbentuk pada berbagai variasi komposisi dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Nilai panjang gelombang maksimum 400-450 nm menandakan AgNPs telah terbentuk. Hasil AgNPs dengan absorbansi optimum yang didapatkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). AgNPs pada kondisi optimum digunakan untuk identifikasi merkuri pada sampel *whitening body lotion*. Dari penelitian ini didapatkan semua variasi komposisi AgNPs dapat terbentuk AgNPs dengan komposisi paling optimum pada 1:20 dengan ukuran partikel 77,12 nm. Pengujian sampel secara kolorimetri dengan AgNPs menunjukkan 1 dari 5 sampel positif merkuri. Sampel positif pada sampel E dengan adanya perubahan warna dari coklat menjadi putih keruh, semakin lama memudar menjadi tidak berwarna. Uji pembandingan dengan menggunakan kalium iodida juga menunjukkan hasil positif merkuri pada sampel E.

Kata kunci: Bioreduktor; Kulit Buah Sirsak, Nanopartikel Perak, *Whitening Body Lotion*

ABSTRACT

The use of mercury as a whitening agent is still frequently found in whitening body lotions that do not have official distribution permits. Mercury identification can be carried out colorimetrically using Silver Nanoparticles (AgNPs). AgNPs can be synthesized using bioreductants derived from secondary metabolites found in soursop peel extract. In the synthesis of AgNPs, the volume ratio influences the resulting nanoparticles. The volume ratios used in this study were 1:20, 1:30, and 1:40 (v:v). Characterization of the AgNPs formed with these different compositions was conducted using a UV-Vis spectrophotometer. A maximum wavelength in the range of 400–450 nm indicates the successful formation of AgNPs. The AgNPs with the highest absorbance were further characterized using a Particle Size Analyzer (PSA). The optimally synthesized AgNPs were then used to identify mercury in whitening body lotion samples. The study showed that the most optimal composition was at a 1:20 ratio, resulting in a particle size of 77,12 nm. Colorimetric testing of the samples using AgNPs showed that 1 out of 5 samples tested positive for mercury. The positive result was found in sample E, which showed a color change from brown to colorless. The comparative test using potassium iodide also gives the same result.

Keywords : bioreductor, mercury, silver nanoparticles, soursop peel, whitening body lotion

PENDAHULUAN

Whitening body lotion merupakan sediaan kosmetik yang sering dipilih untuk memutihkan kulit secara instan, padahal sediaan kosmetik bukan berfungsi untuk merubah warna kulit tetapi hanya merawat kulit. Bahkan masih ada produsen *whitening body lotion* yang tidak bertanggungjawab menambahkan logam berat Hg pada produk yang dijual sebagai bahan untuk memutihkan kulit secara instan. Hal ini terbukti pada beberapa penelitian yang menemukan masih adanya kandungan logam berat merkuri (Hg) pada *whitening body lotion*. Berdasarkan pengawasan selama periode Januari-Maret (triwulan I) 2025, Kepala BPOM Taruna Ikrar merilis temuan 16 item kosmetik yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan/atau dilarang salah satunya adalah mengandung merkuri. Di dalam Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 23 Tahun 2019 Tentang Persyaratan Teknis Bahan Kosmetika disebutkan bahwa merkuri dan senyawanya termasuk ke dalam daftar bahan yang dilarang dalam kosmetika (BPOM, 2019).

Adanya larangan penggunaan merkuri sebagai bahan kosmetika dikarenakan efek yang ditimbulkan oleh logam berat merkuri dalam tubuh. Logam berat merkuri yang terakumulasi berlebihan di dalam tubuh dapat menyebabkan ketulian, sakit kepala, hipertensi, gangguan saraf, hingga kerusakan otak permanen. Melihat efek yang ditimbulkan oleh merkuri sehingga diperlukan pengendalian mutu pada produk kosmetik yang diduga mengandung merkuri salah satunya dalam *whitening body lotion* (Lim et al., 2021).

Merkuri dalam kosmetik dapat ditentukan kadarnya dengan menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi, Spektrofotometer Fluoresensi, dan Spektrofotometer Serapan Atom. Namun, metode ini memerlukan waktu, biaya yang mahal, dan memerlukan instrument khusus (Schiesaro et al., 2020). Berdasarkan perkembangan ilmu pengetahuan, terdapat metode alternatif untuk mendeteksi logam berat merkuri secara kualitatif yang mudah, cepat, dan hemat biaya yaitu dengan metode kolorimetri menggunakan nanopartikel perak (AgNPs) sebagai reagen. Nanopartikel perak (AgNPs) merupakan partikel yang berdiameter antara 1 nm hingga kurang dari 100 nm (Oktavia & Sutoyo, 2021). Nanopartikel perak dapat disintesis berdasarkan metode fisika (*top down*) dan kimia (*bottom up*). Di antara kedua metode ini, metode kimia merupakan metode yang banyak dipilih dalam sintesis nanopartikel perak dikarenakan kemudahan dan kesederhanaan dalam proses sintesis, serta nanopartikel perak yang dihasilkan memiliki stabilitas yang lebih baik dibandingkan metode fisika (*top-down*) (Fadillah & Arumsari, 2022). Namun, sintesis nanopartikel perak dengan metode kimia memerlukan reduktor yang tidak ramah lingkungan yang memungkinkan dapat mencemari lingkungan sehingga diperlukan agen pereduksi yang ramah lingkungan, yaitu bioreduktor yang berasal dari ekstrak tanaman.

Nanopartikel perak yang direduksi dengan ekstrak dari tanaman tidak beracun bagi manusia dan lingkungan. Ekstrak tanaman dapat mereduksi nanopartikel perak, dikarenakan adanya senyawa metabolit sekunder yang mereduksi ion perak menjadi atom perak dan membentuk nanopartikel perak David & Moldovan (2020). Senyawa metabolit sekunder sendiri banyak ditemukan hampir pada seluruh bagian tanaman, salah satunya adalah pada kulit buah sirsak. Selama ini kulit buah sirsak hanya sebatas limbah organik yang masih jarang dimanfaatkan. Namun, dalam kulit buah sirsak ditemukan senyawa metabolit sekunder seperti triterpenoid, saponin, polifenol, dan tannin dengan aktivitas antioksidan sebesar 95,2%. Senyawa-senyawa ini berperan penting dalam pembentukan inti nanopartikel dan stabilisasi permukaan, sehingga dapat menghasilkan AgNPs yang lebih stabil, berukuran seragam, dan memiliki daya reaktivitas tinggi. Dibandingkan dengan bioreduktor alami lainnya, ekstrak kulit buah sirsak berpotensi memberikan kestabilan koloid yang lebih baik serta meningkatkan sensitivitas perubahan warna dalam deteksi merkuri. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi kesenjangan pengetahuan mengenai pemanfaatan limbah kulit buah sirsak, tetapi juga menawarkan pendekatan sintesis *green chemistry* yang berkelanjutan untuk pengembangan sensor kolorimetrik yang efisien dan ramah lingkungan (Asworo & Widwastuti, 2023).

Pembentukan nanopartikel perak dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya penggunaan pelarut pada ekstraksi metabolit sekunder, konsentrasi AgNO_3 , dan volume AgNO_3 (Kasim et al., 2020);(Asworo et al., 2023) Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Asworo et al., 2023, dilakukan optimasi konsentrasi larutan AgNO_3 pada sintesis AgNPs dengan bioreduktor ekstrak kulit buah sirsak. Namun, untuk volume AgNO_3 belum dilakukan penelitian, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan optimasi komposisi sintesis AgNPs dengan bioreduktor ekstrak buah sirsak. Hasil sintesis AgNPs pada komposisi optimum nantinya akan digunakan untuk mengidentifikasi merkuri pada sampel *whitening body lotion* yang tidak memiliki izin edar.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini diperlukan beberapa peralatan, diantaranya pisau, talenan, neraca digital (GSF), oven (Thermo Fisher), loyang, grinder, ayakan mesh 200, labu ukur 100 mL (Iwaki), neraca analitik (Ohaus), spatula, kaca arloji, Erlenmeyer 250 mL (Iwaki), batang pengaduk, corong gelas, beaker glass 50 mL (Iwaki), labu ukur 250 mL (Iwaki), pipet ukur 10 mL, bola hisap, pipet tetes, botol kaca gelap 100 mL, mikropipet 100 – 1000 μL (Dragon Lab), gelas ukur 50 mL (Iwaki), *hotplate* (Thermo scientific), spektrofotometer UV-Vis (Biobase), *particle size analyzers* (Anton Paar Merek *Litesizer 500*), *magnetic stirrer*, labu ukur 10 mL (Iwaki), mikropipet 20 – 200 μL (Dragon Lab), tabung reaksi (Iwaki), rak tabung reaksi, tabung digesti tertutup, *digestive furnace* (Baskara), labu ukur 50 mL (Iwaki), lemari pendingin.

Untuk bahan yang diperlukan pada penelitian ini, diantaranya buah sirsak, akuades, etanol 96%, aluminium foil, kertas saring, AgNO_3 , HgCl_2 (Smart-Lab), PbCl_2 (Smart-Lab), CdSO_4 (Smart-Lab), sampel *whitening body lotion*, asam nitrat pekat, dan Kalium Iodida (Smart-Lab).

Pembuatan Serbuk Simplisia Kulit Buah Sirsak

Tanaman yang digunakan dalam proses pembuatan AgNPs adalah *Annona muricata* atau yang dikenal dengan tanaman sirsak. Bagian tanaman yang digunakan adalah kulit buah sirsak. Buah sirsak diperoleh dari pasar Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Sebanyak 3 kg buah sirsak dikupas kulit buahnya kemudian dicuci hingga bersih, dipotong kecil-kecil dan dikeringkan pada suhu 60°C. Kulit buah sirsak yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan grinder dan diayak dengan ayakan 200 mesh. Hasil ayakan serbuk disimpan dalam wadah kedap udara (Asworo et al., 2023)

Pembuatan Ekstrak Kulit Buah Sirsak

Ekstrak kulit buah sirsak dibuat dengan menimbang serbuk simplisia kulit buah sirsak sebanyak 5 gram lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 50 mL pelarut yang merupakan campuran akuades dan etanol 96% (7 : 1). Selanjutnya campuran tersebut dimaserasi pada tempat gelap selama 24 jam. Ekstrak kulit buah sirsak diperoleh dengan menyaring maserat dengan menggunakan kertas saring dan disimpan dalam botol kaca gelap (Asworo et al., 2023)

Optimasi Komposisi Nanopartikel Perak secara *Green Synthesis*

Nanopartikel perak dibuat dengan mencampurkan 1 mL ekstrak kulit buah sirsak dengan dengan beberapa variasi volume larutan AgNO_3 2 mM, yaitu 20 mL, 30 mL, dan 40 mL yang ditempatkan pada beaker glass yang berbeda dengan tiga kali replikasi. Variasi volume AgNO_3 dilakukan untuk mengetahui volume optimum AgNO_3 yang diperlukan pada pembentukan nanopartikel perak. Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan dipanaskan di atas *hotplate* pada suhu 60°C hingga terjadi perubahan warna. Nanopartikel perak kemudian disimpan dalam botol kaca gelap selama 24 jam sebelum dilakukan karakterisasi (Kasim et al., 2020)

Karakterisasi Nanopartikel Perak

Hasil sintesis AgNPs yang sebelumnya telah disimpan dalam botol kaca gelap selama 24 jam kemudian dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 350 – 700 nm. Karakteristik larutan diamati dari perubahan warna dan serapan UV-Vis maksimum pada waktu 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, dan 9 hari. Nilai panjang gelombang maksimum 400-450 nm menandakan AgNPs telah terbentuk. AgNPs dengan komposisi optimum kemudian ditentukan ukurannya menggunakan *Nano Particle Size Analyzer and Zeta Potential Litesizer 500* (Anton Paar Austria GMBH).

Destruksi Sampel

Sebelum dilakukan pengujian, sampel didestruksi basah terlebih dahulu. Sampel ditimbang sebanyak 0,5 gram, dimasukkan ke dalam tabung digesti tertutup, dan ditambahkan 7 mL asam nitrat pekat kemudian didestruksi pada suhu maksimum 60°C selama tidak kurang dari 3 jam. Setelah mencapai suhu ruang, hasil destruksi diencerkan dengan akuades hingga 50 mL dan didiamkan dalam lemari pendingin selama 24 jam kemudian difiltrasi. Filtrat yang didapatkan siap untuk dilakukan analisis (BPOM, 2011).

Uji Kualitatif dengan Nanopartikel Perak

Pengujian kualitatif dilakukan pada larutan sampel, kontrol positif dan kontrol negatif. Larutan sampel sebanyak 2 tetes ditambahkan kedalam tabung reaksi yang telah berisi 2 tetes AgNPs. Untuk kontrol positif, sebanyak 2 tetes larutan standar merkuri 1000 ppm ditambahkan pada tabung reaksi yang berisi 2 tetes AgNPs. Kemudian untuk kontrol negatif, hanya menambahkan 4 tetes AgNPs dalam tabung reaksi. Perubahan warna larutan sampel yang terjadi diamati secara visual kemudian dibandingkan dengan perubahan warna yang terjadi pada kontrol positif dan kontrol negatif. Adanya perubahan warna menjadi putih keruh dan semakin lama akan memudar hingga menjadi tidak berwarna/ bening menunjukkan bahwa pada sampel terdapat merkuri (Prasetya et al., 2019).

Uji Kualitatif dengan Kalium Iodida

Pengujian kualitatif dilakukan pada larutan sampel, kontrol positif dan kontrol negatif. Larutan sampel sebanyak 2 tetes ditambahkan kedalam tabung reaksi yang telah berisi 2 tetes Kalium Iodida. Untuk kontrol positif, sebanyak 2 tetes larutan standar merkuri 1000 ppm ditambahkan pada tabung reaksi yang berisi 2 tetes Kalium Iodida. Kemudian untuk kontrol negatif, hanya menambahkan 4 tetes Kalium Iodida dalam tabung reaksi. Perubahan warna larutan sampel yang terjadi diamati secara visual kemudian dibandingkan dengan perubahan warna yang terjadi pada kontrol positif dan kontrol negatif. Perubahan warna larutan sampel yang terjadi diamati secara visual kemudian dibandingkan dengan perubahan warna yang terjadi pada kontrol positif dan kontrol negatif.

Pengolahan dan analisis data

Data diperoleh dari pengujian sampel di laboratorium dengan menggunakan metode kolorimetri. Analisis data yang diperoleh disajikan dalam bentuk gambar, tabel dan deskripsi hasil dari proses pengujian kualitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan nanopartikel melalui reduksi ion logam (*precursor*) oleh zat pereduksi (reduktor) melibatkan dua tahap utama yaitu nukleasi dan pertumbuhan. Rasio reduktor : *precursor* memengaruhi kedua tahap tersebut secara langsung baik dari segi laju reduksi maupun inti yang terbentuk. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan dengan rasio reduktor tetap dan *precursor* divariasikan untuk mengetahui kondisi optimum AgNPs yang terbentuk. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi antara ekstrak: larutan AgNO₃ 2 mM (v:v) yaitu 1:20 ; 1:30 ; dan 1:40. Hasil dari proses sintesis AgNPs dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



(a) Sebelum Pemanasan (b) Setelah pemanasan

Gambar 1. Perbandingan warna AgNPs sebelum dipanaskan dan sesudah dipanaskan

Dari gambar tersebut terlihat sebelum dilakukan pemanasan, campuran ekstrak dan larutan AgNO_3 2 mM tidak berwarna, kemudian setelah dipanaskan berubah menjadi kuning kecoklatan hingga coklat muda. Perubahan warna menandakan terbentuknya AgNPs dalam koloid. Terjadinya perubahan warna disebabkan karena adanya proses oksidasi dan reduksi. Senyawa organik yang terdapat pada ekstrak kulit buah sirsak akan mereduksi Ag^+ yang terdapat pada nanopartikel perak menjadi Ag^0 sehingga senyawa organik tersebut akan mengalami oksidasi (Jabir et al, 2021)

Berdasarkan uji skrining yang dilakukan oleh (Asworo & Widwastuti, 2023), di dalam kulit buah sirsak terdapat senyawa triterpenoid, saponin, polifenol, dan tannin yang berperan dalam proses reduksi ion logam pada nanopartikel perak. Ion Ag^+ akan mengalami reduksi oleh senyawa tannin yang terdapat pada ekstrak kulit buah sirsak. Gugus R-OH yang terdapat pada senyawa tersebut akan berubah menjadi gugus R-O yang kemudian akan mengikat ion Ag^+ , sehingga membentuk RO-Ag. Adanya ion Ag^+ yang terikat ini, akan terjadi pemutusan rantai senyawa sehingga terlepas dan membentuk Ag^0 (Fajri et al., 2022). Perubahan warna AgNPs dari hari ke hari yang telah disintesis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengamatan hasil sintesis AgNPs

Komposisi AgNPs	Waktu Pengamatan					
	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7	Hari ke-9
1:20	Coklat muda	Kuning coklat kehitaman	Kuning coklat kehitaman dengan sedikit endapan	Kuning coklat kehitaman dan terdapat endapan	Kuning coklat kehitaman dan terdapat endapan	Kuning coklat kehitaman dan terdapat endapan
1:30	Coklat muda	Kuning coklat sedikit kehitaman	Kuning coklat kehitaman	Kuning coklat kehitaman dengan sedikit endapan	Kuning coklat kehitaman dan terdapat endapan	Kuning coklat kehitaman dan terdapat endapan
1:40	Kuning kecoklatan	Coklat gelap	Coklat gelap keruh	Coklat gelap dengan sedikit endapan	Coklat kehitaman dan terdapat endapan	Coklat kehitaman dan terdapat endapan

Dari Tabel 1 dapat dilihat pada semua komposisi sintesis AgNPs pada hari ke-0 yaitu setelah dilakukannya pemanasan pada proses sintesis AgNPs dengan bioreduktor ekstrak kulit buah sirsak, terdapat perubahan warna menjadi coklat muda atau kuning kecoklatan. Pada komposisi AgNPs 1:20 dan 1:30, warna koloid berubah warna menjadi coklat muda yang mengindikasikan adanya pembentukan nanopartikel perak. Pada komposisi AgNPs 1:40 terdapat perubahan warna koloid dari tidak berwarna menjadi kuning kecoklatan, di mana perubahan warna ini juga mengindikasikan adanya pembentukan nanopartikel perak.

Intensitas perubahan warna AgNPs meningkat seiring bertambahnya durasi waktu yaitu dari hari ke-0, 1, 3, 5, 7, dan 9 dengan komposisi AgNPs yang berbeda yaitu 1:20; 1:30; dan 1:40. Rasio antara volume larutan *precursor* AgNO₃ dan zat reduktor dapat mempengaruhi karakteristik AgNPs yang dihasilkan. Semakin sedikit larutan AgNO₃ 2 mM yang dicampurkan dengan ekstrak kulit buah sirsak, maka AgNPs yang terbentuk semakin pekat. Menurut Prasetyaningtyas et al., 2020, hal ini menunjukkan bahwa proses reduksi pada komposisi nanopartikel perak dengan perbandingan AgNO₃ 2 mM lebih sedikit akan berjalan lebih cepat dibandingkan komposisi AgNO₃ 2 mM lebih banyak. Selain itu, seiring bertambahnya durasi waktu juga mempengaruhi warna AgNPs yang dihasilkan. Semakin lama waktu penyimpanan AgNPs menyebabkan warna dari AgNPs menjadi semakin pekat. Adanya perubahan warna yang semakin pekat menandakan semakin banyak senyawa organik yang teroksidasi dan semakin banyak Ag⁺ yang tereduksi menjadi Ag⁰ yang menunjukkan semakin banyak nanopartikel perak yang terbentuk (Kosimaningrum et al., 2020).

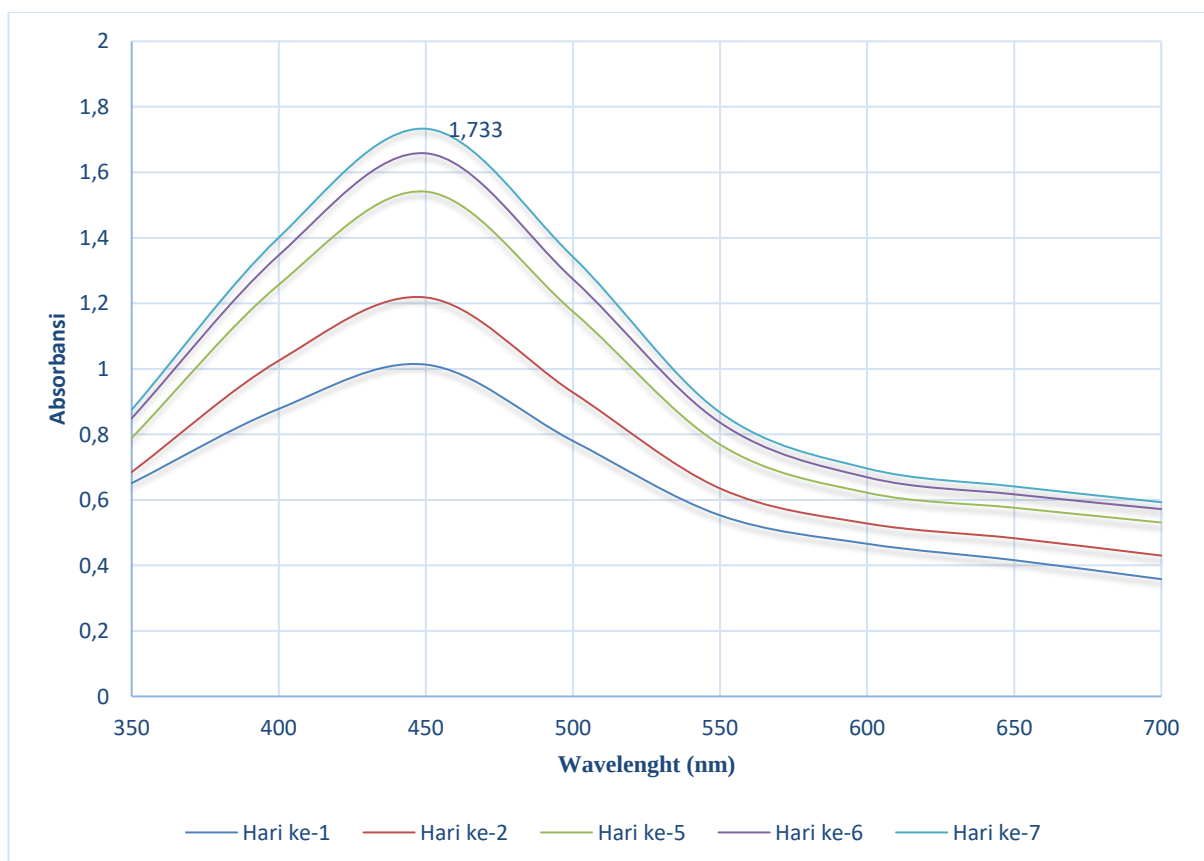
Hasil Karakterisasi AgNPs

Nanopartikel perak memiliki warna khas akibat fenomena *Surface Plasmon Resonance* (SPR) yaitu getaran kolektif elektron bebas pada permukaan partikel logam saat terkena cahaya. Warna khas yang terbentuk dapat dikuantifikasikan dengan pengukuran λ_{maks} AgNPs. Panjang gelombang SPR tergantung pada ukuran dan bentuk partikel, kerapatan, jarak antar partikel dan lingkungan. Semakin kecil partikel, resonansi terjadi pada panjang gelombang lebih pendek (*blue-shift*) dan semakin besar partikel, puncak SPR bergeser ke panjang gelombang lebih panjang (*red-shift*) Jayanti et al. (2024)

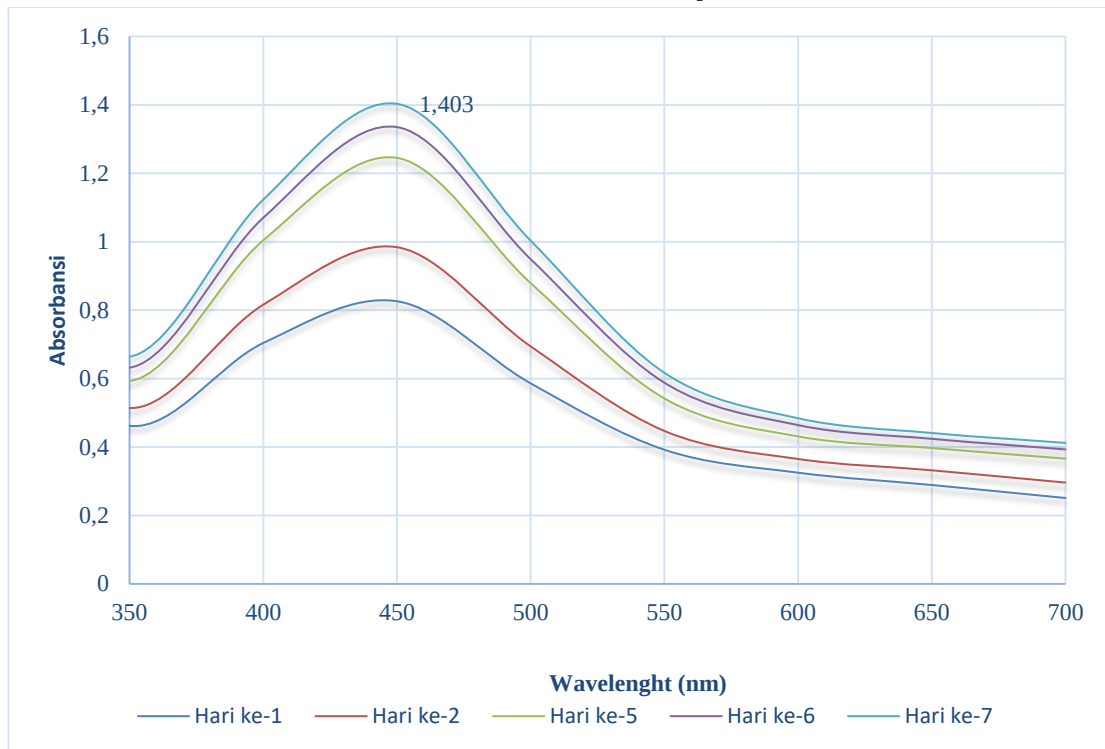
Panjang gelombang maksimum diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui terbentuk atau tidaknya AgNPs yang dihasilkan berdasarkan absorbansi pada rentang panjang gelombang 350 – 700 nm (Asworo et al., 2023). Terbentuknya AgNPs ditandai dengan puncak absorbansi pada kisaran panjang gelombang 400 – 450 nm pada spektrum UV-Vis (Fajri et al., 2022). Dari gambar 2,3 dan 4 dapat diketahui bahwa semua komposisi dalam sintesis nanopartikel perak memiliki absorbansi maksimum yang bervariasi, namun puncak absorbansinya berada pada panjang gelombang yang sama yaitu pada 450 nm yang menandakan bahwa telah terbentuk nanopartikel perak pada semua komposisi. Puncak absorbansi dari AgNPs berada pada panjang gelombang 450 nm dikarenakan adanya reduksi pada Ag⁺ oleh senyawa metabolit sekunder menjadi Ag⁰. Semakin besar komposisi larutan AgNO₃ 2 mM terhadap ekstrak kulit buah sirsak yang digunakan maka semakin kecil absorbansi yang dihasilkan (Taba et al., 2019). Komposisi sintesis nanopartikel perak 1:20 memiliki absorbansi yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi 1:30 dan 1:40. Besarnya absorbansi koloid nanopartikel perak yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah nanopartikel yang terbentuk. Semakin besar nilai absorbansi maka semakin banyak nanopartikel perak yang terbentuk (La Tapa et al., 2016). Panjang gelombang maksimum yang didapatkan mengarah ke panjang gelombang lebih panjang (*red-shift*). Hal ini berarti puncak SPR yang bergeser ke panjang gelombang *red-shift* akan menghasilkan partikel yang akan mulai teragregasi.

Perubahan spektrum UV-Vis koloid AgNPs terus dipantau dari waktu ke waktu untuk melihat kestabilannya. Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan grafik absorbansi dan panjang gelombang maksimum AgNPs yang dihasilkan dari masing-masing variasi komposisi pada hari ke-1 hingga hari ke-9 setelah proses sintesis. Nilai absorbansi dari masing-masing komposisi nanopartikel perak mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu. Peningkatan nilai absorbansi dari AgNPs mengindikasikan semakin bertambahnya jumlah nanopartikel yang terbentuk seiring dengan bertambahnya waktu.

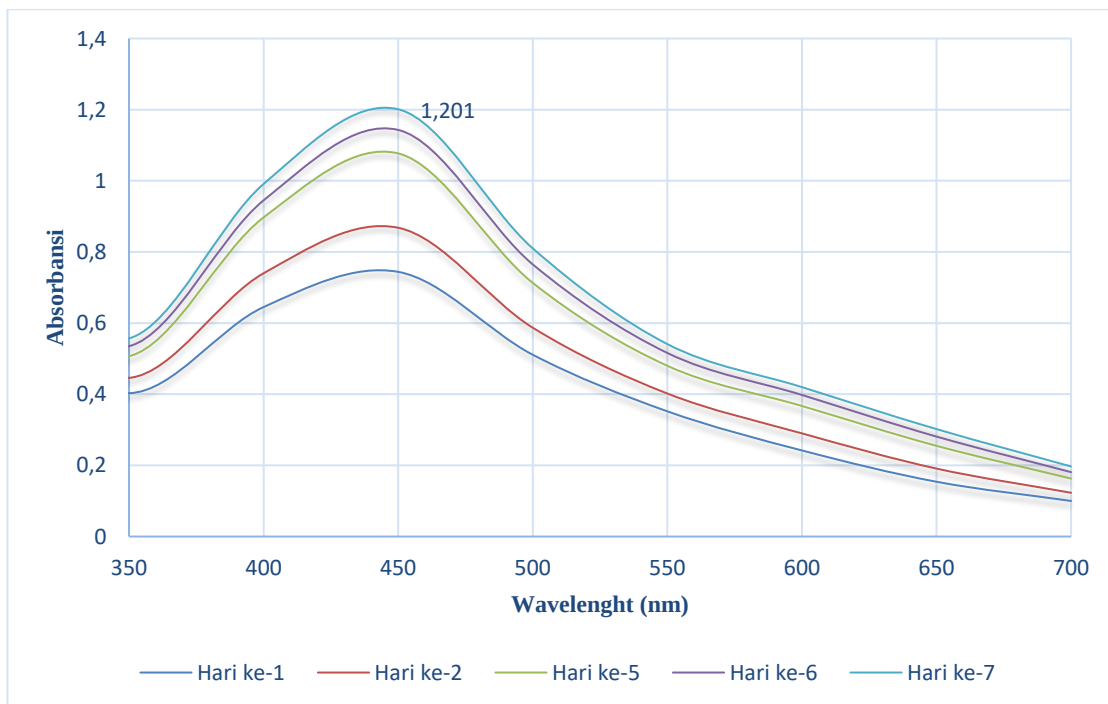
Dilihat dari panjang gelombang maksimum yang dihasilkan dari masing-masing komposisi sintesis AgNPs pada gambar 3, 4 dan 5, tidak terdapat pergeseran panjang gelombang maksimum seiring dengan bertambahnya waktu yang menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan bersifat stabil (La Tapa et al., 2016). Dari hal ini dapat diketahui bahwa pada perbandingan 1:20 merupakan komposisi yang paling maksimum dikarenakan pada komposisi ini puncak yang dihasilkan mengerucut dengan absorbansi paling besar dengan nanopartikel perak yang stabil ketika diamati panjang gelombangnya pada waktu 1, 3, 5, 7, dan 9 hari. Pada AgNPs komposisi 1:20 kemudian dinalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengukur dan menganalisis ukuran partikelnya. Hasil yang didapatkan ukuran partikel yang terbentuk pada perbandingan volume 1:20 ternyata rata-rata adalah sebesar 77,12 nm dengan *Polydispersity Index* (PDI) 0,245 seperti terlihat pada Gambar 5. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran rata-rata partikel berada di rentang nanopartikel (<100 nm). Distribusi ukuran partikel AgNPs yang terbentuk juga termasuk kategori baik dengan distribusi ukuran cukup seragam dan sistem koloid relative stabil terbukti dengan nilai PDI sebesar < 0,3 yang cocok untuk aplikasi biomedis, kosmetik maupun sensorik (Romero-Carmona et al, 2024). *Diffusion Coefficient* sebesar $6,4 \mu\text{m}^2/\text{s}$ menunjukkan partikel kecil memiliki koefisien difusi tinggi dengan % *Transmittance* 43,2 %. Nilai *Mean Intensity* sebesar 302,3 kcounts/s menunjukkan kekuatan sinyal cahaya yang tersebar cukup tinggi dan stabil untuk analisis. Meskipun pada penentuan λ_{maks} AgNPs yang terbentuk berdasarkan pendekatan literatur mulai terbentuk agregasi ternyata hasil pengukuran menggunakan PSA mendapatkan hasil yang baik.



Gambar 2. Grafik penentuan panjang gelombang maksimum pada komposisi 1:20

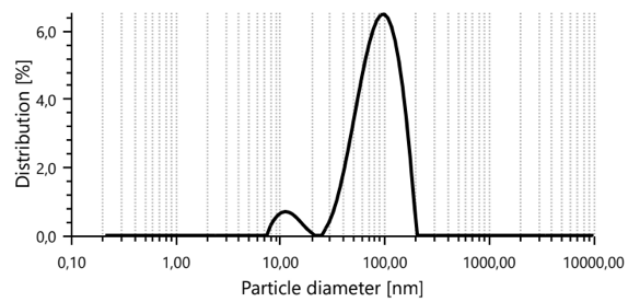


Gambar 3. Grafik penentuan panjang gelombang maksimum pada komposisi 1:30



Gambar 4. Grafik penentuan panjang gelombang maksimum pada komposisi 1:40

Particle size distribution (intensity)

**Results**

Hydrodynamic diameter	77,12 nm	Mean intensity	302,3 kcounts/s
Polydispersity index	24,5 %	Absolute intensity	899403,4 kcounts/s
Diffusion coefficient	6,4 $\mu\text{m}^2/\text{s}$	Intercept $g1^2$	0,6625
Transmittance	43,2 %	Baseline	0,999

Particle size distribution peaks (intensity)

Peak name	Size [nm]	Area [%]	Standard deviation [nm]
Peak 1	92,83	94,45	42,85
Peak 2	12,05	5,55	2,50
Peak 3	-	-	-

Gambar 5. Hasil Pengukuran Partikel AgNPs menggunakan *Particle Size Analyzer***Hasil Analisis Logam Merkuri pada Sampel *Whitening Body Lotion***

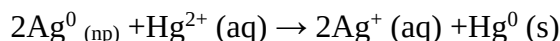
AgNPs dengan komposisi optimum 1:20 kemudian digunakan untuk identifikasi logam merkuri pada sampel *whitening Body Lotion*. Sebelum dilakukan pengujian sampel yang akan digunakan perlu dilakukan destruksi basah terlebih dahulu. Hasil destruksi sampel *whitening body lotion* kemudian dilakukan pengujian secara kualitatif dengan metode kolorimetri menggunakan AgNPs komposisi optimum. Masing-masing filtrat sampel direaksikan dengan nanopartikel perak dengan perbandingan 1:1 (v/v) dalam tabung reaksi. Perubahan warna pada masing-masing filtrat sampel diamati secara visual dengan dibandingkan terhadap kontrol positif sampel. Hasil uji kolorimetri pada filtrat sampel dengan nanopartikel perak dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 2. Hasil Uji Merkuri pada Sampel menggunakan AgNPs

Nama Sampel	Hasil Uji Sampel	Keterangan
Kontrol positif	Putih	+
Kontrol negative	Cokelat	-
Sampel	Cokelat muda	-
Sampel B	Cokelat muda	-
Sampel C	Cokelat muda	-
Sample D	Cokelat muda	-
Sampel E	Putih	+

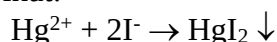
Dari hasil pengujian secara kolorimetri dengan menggunakan AgNPs dapat dilihat bahwa pada sampel A tidak terdapat perubahan warna koloid nanopartikel perak. Hasil yang serupa juga terlihat pada sampel B, C, dan D yang menunjukkan tidak adanya perubahan warna koloid nanopartikel perak. Namun, hasil pengujian pada sampel E menunjukkan adanya perbedaan hasil dari sampel-sampel sebelumnya. Pada sampel E terdapat perubahan warna koloid nanopartikel perak menjadi putih yang semakin lama memudar dan menjadi tidak berwarna.

Adanya perubahan warna koloid AgNPs pada sampel E, dikarenakan ion Hg^{2+} yang terdapat pada larutan sampel akan mengoksidasi Ag^0 yang terdapat pada koloid nanopartikel perak sehingga akan membentuk kembali ion Ag^+ yang menjadikan tidak berwarna sesuai dengan reaksi redoks berikut: (Jabbar et al., 2023)



Menurut (Prasetia et al., 2019), adanya proses oksidasi ini dikarenakan perbedaan nilai potensial reduksi antara Hg^{2+} dan juga Ag^+ . Ion Hg^{2+} memiliki nilai potensial reduksi +0,92V sementara ion Ag^+ memiliki nilai potensial reduksi +0,80V, sehingga ion Hg^{2+} akan menjadi oksidator untuk mengoksidasi Ag^0 yang terdapat pada koloid nanopartikel perak. Dari hasil pengujian dengan nanopartikel perak dapat diketahui bahwa sampel E mengandung merkuri (Hg). Sebelum reaksi larutan AgNPs stabil memiliki warna kuning kecokelatan setelah penambahan Hg^{2+} , AgNPs teroksidasi dan mengalami agregasi dan LSPR bergeser ke panjang gelombang lebih panjang atau bahkan hilang terbukti pada kontrol positif maupun sampel yang positif mengandung Hg, larutan berubah warna menjadi putih. Tandanya Ion Hg^{2+} telah bereaksi sempurna dengan AgNPs dan nanopartikel tidak lagi memiliki plasmon permukaan aktif sehingga warna khasnya hilang.

Untuk memastikan hasil pengujian dengan nanopartikel perak, larutan sampel juga diuji secara kualitatif dengan menggunakan pereaksi kalium iodide 0,5N. Masing-masing filtrat sampel direaksikan dengan larutan kalium iodida 0,5N dengan perbandingan 1:1 (v/v) dalam tabung reaksi. Perubahan warna yang terjadi pada masing-masing filtrat sampel diamati secara visual dengan dibandingkan terhadap kontrol positif. Hasil uji dengan KI 0,5N pada filtrat sampel dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil pengujian secara kolorimetri dengan menggunakan larutan KI 0,5N dapat dilihat bahwa pada sampel A terdapat perubahan warna menjadi kuning sedikit kehijauan. Hasil yang serupa juga terlihat pada sampel B, C, dan D yang menunjukkan adanya perubahan warna menjadi kuning sedikit kehijauan. Namun, hasil pengujian pada sampel E menunjukkan adanya perbedaan hasil dari sampel-sampel sebelumnya. Pada sampel E terdapat perubahan warna menjadi jingga. Adanya endapan berwarna jingga pada sampel E dikarenakan ketika kalium iodida bereaksi dengan merkuri akan membentuk endapan merkuri (II) iodida yang berwarna jingga. Reaksi yang terjadi antara kalium iodida dengan merkuri adalah sebagai berikut:



Tabel 3. Hasil Uji Merkuri pada Sampel menggunakan KI 0,5 N

Nama Sampel	Hasil Uji Sampel	Keterangan
Kontrol positif	Jingga	+
Kontrol negatif	Tidak berwarna	-
A	Kuning sedikit kehijauan	-
B	Kuning sedikit kehijauan	-
C	Kuning sedikit kehijauan	-
D	Kuning sedikit kehijauan	-
E	Jingga	+

Dari hasil uji kolorimetri baik dengan menggunakan nanopartikel perak dan juga pereaksi KI sampel E menunjukkan hasil yang positif merkuri.

KESIMPULAN

Pembentukan AgNPs dengan bioreduktor ekstrak kulit buah sirsak (*Annona muricata*) dapat dilakukan sebagai pengembangan metode biosintesis nanopartikel perak. Hasil yang didapatkan menunjukkan adanya pembentukan nanopartikel perak ditandai dengan adanya serapan khas pada panjang gelombang 400-450 nm, menandakan terbentuknya plasmon permukaan lokal (LSPR) yang stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio optimum reduktor : *precursor* dengan komposisi optimum 1: 20. Ukuran AgNPs yang terbentuk pada kondisi optimum 77,12 nm, menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah sirsak efektif sebagai agen bioreduksi dan stabilisasi. AgNPs pada kondisi optimum yang didapatkan pada penelitian ini kemudian digunakan untuk analisis kandungan logam berat merkuri pada 5 sampel *whitening body lotion* yang dijual di *e-commerce* dan ditemukan 1 sampel mengandung merkuri dengan ditandai perubahan warna AgNPs menjadi warna putih yang berarti ion Hg^{2+} pada sampel telah bereaksi sempurna dengan AgNPs. Temuan ini memperkaya literatur mengenai pemanfaatan limbah kulit buah tropis sebagai bioreduktor alami dan dapat menjadi dasar untuk pengembangan sensor kolorimetri logam berat berbasis AgNPs. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan optimasi parameter sintesis seperti pH, suhu, waktu reaksi maupun konsentrasi ion perak agar memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil (<50 nm).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Poltekkes Kemenkes Malang yang telah memfasilitasi penelitian ini .

DAFTAR PUSTAKA

- Asworo, R. Y., & Widwastuti, H. (2023). Pengaruh Ukuran Serbuk Simplisia dan Waktu Maserasi terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Sirsak. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 3(2). <https://doi.org/10.37311/ijpe.v3i2.19906>
- Asworo, R. Y., Widwastuti, H., & Widayanti, E. (2023). Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Kulit Sirsak sebagai Bioreduktor. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 3(3). <https://doi.org/10.37311/ijpe.v3i3.22310>
- BPOM. (2011). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor HK.03.1.23.08.11.07331 Tahun 2011 Tentang Metode Analisis Kosmetika*.
- BPOM. (2019). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 23 Tahun 2019 Tentang Persyaratan Teknis Bahan Kosmetika*.
- David, L., & Moldovan, B. (2020). Green Synthesis of Biogenic Silver Nanoparticles for Efficient Catalytic Removal of Harmful Organic Dyes. *Journal Nanomaterials*, 10, 202. <https://doi.org/10.3390/nano10020202>
- Fadillah, I., & 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>
- Fajri, N., Putri, L. F. A., Prasetyo, M. R., Azizah, N., Pratama, Y., & Susanto, N. C. A. (2022). Potensi Batang Pisang (*Musa paradisiaca* L) sebagai bioreduktor dalam Green Sintesis Ag nanopartikel. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(1), 33. <https://doi.org/10.56064/jps.v24i1.668>
- Jabbar, A., Abbas, A., Assad, N., Naeem-Ul-Hassan, M., Alhazmi, H. A., Najmi, A., Zoghebi, K., Al Bratty, M., Hanbashi, A., & Amin, H. M. A. (2023). A highly selective Hg^{2+} colorimetric sensor and antimicrobial agent based on green synthesized silver nanoparticles using *Equisetum diffusum* extract. *RSC Advances*, 13(41), 28666–28675. <https://doi.org/10.1039/d3ra05070j>
- Jabir, M. S., Saleh, Y. M., Sulaiman, G. M., Yaseen, N. Y., Sahib, U. I., Dewir, Y. H., Alwahibi, M. S., & Soliman, D. A. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using *Annona muricata* extract as an inducer of apoptosis in cancer cells and inhibitor for NLRP3 inflammasome via enhanced autophagy. *Nanomaterials*, 11(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/nano11020384>

- Jayanti, P. D., Zurnansyah, Kusumah, H. P., Mahardhika, L. J., Riswan, M., Wahyuni, S., Adrianto, N., Cuana, R., Istiqomah, N. I., Ali, H., Ali, D., Chotimah, & Suharyadi, E. (2024). Localized surface plasmon resonance properties of green synthesized Ag/rGO composite nanoparticles utilizing *Amaranthus viridis* extract for biosensor applications. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 9(3), 100747.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2024.100747>
- Kartika, Y., Yuharmen, G. F., Putri, E. M., & Alchalish, D. T. (2017). *Pemanfaatan Ekstrak Air Rimpang Jahe Merah (Zingiber officinale Linn. var. rubrum) pada Biosintesis Sederhana Nanopartikel Perak*.
- Kasim, S., Taba, P., Ruslan, & Anto, R. (2020). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Sebagai Bioreduktor: Synthesis of Silver Nanoparticles Using Leaves Extract of Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) As a Bioreductor. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6, 126–133. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i2.15137>
- Kosimaningrum, W. E., Badra Pitaloka, A., Hidayat, S., Aisyah, W., Ramadhan, S., & Rosyid, M. A. (2020). Sistesis Nanopartikel Perak Melalui Reduksi Spontan Menggunakan Reduktor Alami Ekstrak Kulit Lemon Serta Karakterisasinya Sebagai Antifungidan Antibakteri. In *Jurnal Integrasi Proses* (Vol. 9, Issue 2). <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- La Tapa, F., Suryanto, E., & Irma Momuat, L. (2016). Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Empelur Batang Sagu Baruk (*Arenga microcarpha*) dan Aktivitas Antioksidannya. *Chem. Prog*, 9(8). <https://doi.org/10.35799/cp.9.1.2016.13907>
- Lim, J. W., Kim, T.-Y., & Woo, M.-A. (2021). Trends in sensor development toward next-generation point-of-care testing for mercury. *Biosensors and Bioelectronics*, 183, 113228.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113228>
- Oktavia, I. N., & Sutoyo, S. (2021). Article Review: Syntesis of Silver Nanoparticles Using Bioreductor From Plant Extract As An Antioxidant. In *UNESA Journal of Chemistry* (Vol. 10, Issue 1).
- Prasetia, E., Firdaus, M. L., & Elvinawati, E. (2019). Upaya Peningkatan Sensitivitas Nanopartikel Perak Untuk Analisis Ion Merkuri(II) Secara Citra Digital Dengan Penambahan NaCl. *ALOTROP*, 3(2). <https://doi.org/10.33369/atp.v3i2.10120>
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A. T., Widiarti, N., Kimia, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2020). Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. In *J. Chem. Sci* (Vol. 9, Issue 1).
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Romero-Carmona, C. E., Chávez-Corona, J. I., Lima, E., Cortés, H., Quintanar-Guerrero, D., Bernad-Bernad, M. J., Ramos-Martínez, I., Peña-Corona, S. I., Sharifi-Rad, J., & Leyva-Gómez, G. (2024). Nanoparticle and microparticle-based systems for enhanced oral insulin delivery: A systematic review and meta-analysis. In *Journal of Nanobiotechnology* (Vol. 22, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-03045-8>
- Schiesaro, I., Burratti, L., Meneghini, C., Fratoddi, I., Prossposito, P., Lim, J., Scheu, C., Venditti, I., Iucci, G., & Battocchio, C. (2020). Hydrophilic Silver Nanoparticles for Hg(II) Detection in Water: Direct Evidence for Mercury–Silver Interaction. *The Journal of Physical Chemistry C*, 124, 25975–25983. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c06951>
- Taba, P., Parmitha, N., & Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Sebagai Bioreduktor Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *Indo. J. Chem. Res.*, 7, 51–60. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.7-ptb>