

Nanopartikel Perak Termodifikasi PVA menggunakan Ekstrak Bahan Alam untuk Deteksi Logam sebagai Upaya Kontrol Lingkungan

Khansa Cahaya Angelia¹, Prina Kharismawati¹

¹MTs Negeri 6 Sleman, Indonesia

ABSTRACT

Environmental pollution caused by industrial, residential, and other human activities requires simple and environmentally friendly methods for detecting heavy metals. This study aimed to characterize silver nanoparticles synthesized using sappan wood extract as a bioreductor and PVA as a stabilizer, and to examine their ability to detect metal ions. The research involved the synthesis of silver nanoparticles from silver nitrate precursor, PVA modification at concentrations of 0.75% and 1.5%, characterization using UV-Vis spectrophotometry and a Particle Size Analyzer, and selectivity testing against Hg^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , and Pb^{2+} ions. The results showed that silver nanoparticles were successfully formed, as indicated by the yellow color of the solution and an absorption peak in the range of 400-500 nm. The particle sizes obtained were 145.6 nm and 150.5 nm. The selectivity test showed the strongest response to Hg^{2+} , indicated by the disappearance of the AgNP absorption peak and a wavelength shift to 293.0 nm. These findings suggest that PVA-modified silver nanoparticles synthesized using sappan wood extract have potential as a material for detecting metal ions, particularly mercury, as part of environmental control efforts.

Keywords: *silver nanoparticles; PVA; sappan wood; metal ions; environmental control*

ABSTRAK

Pencemaran air, udara, dan tanah akibat aktivitas industri, kawasan permukiman, dan aktivitas manusia lainnya menuntut tersedianya metode deteksi logam berat yang sederhana dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak rebusan kayu secang sebagai bioreduktor dan PVA sebagai penstabil, serta menguji kemampuannya dalam mendeteksi ion logam. Penelitian dilakukan melalui sintesis nanopartikel perak dari prekursor perak nitrat, modifikasi PVA pada konsentrasi 0,75% dan 1,5%, karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis dan Particle Size Analyzer, serta uji selektivitas terhadap ion Hg^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , dan Pb^{2+} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel perak berhasil terbentuk, ditandai oleh perubahan warna larutan menjadi kuning dan puncak serapan pada rentang 400-500 nm. Ukuran partikel yang diperoleh masing-masing sebesar 145,6 nm dan 150,5 nm. Uji selektivitas menunjukkan respons paling kuat terhadap Hg^{2+} dengan hilangnya puncak serapan AgNP dan pergeseran panjang gelombang menjadi 293,0 nm. Temuan ini menunjukkan bahwa nanopartikel perak termodifikasi PVA berbasis ekstrak kayu secang berpotensi digunakan sebagai material deteksi ion logam, terutama merkuri, dalam upaya kontrol lingkungan.

Kata Kunci: *nanopartikel perak; PVA; kayu secang; ion logam; kontrol lingkungan*

Contact: prinakharismawati@gmail.com

Pendahuluan

Pencemaran logam berat menjadi persoalan lingkungan yang terus menguat seiring pertumbuhan industri, kepadatan permukiman, dan meningkatnya aktivitas manusia yang menghasilkan limbah cair. Logam berat seperti Fe, Cu, Cr, Pb, dan Hg berisiko karena dapat bertahan lama di lingkungan, terakumulasi pada organisme, dan menimbulkan dampak kesehatan meskipun berada pada konsentrasi rendah. Karena itu, kontrol lingkungan tidak cukup hanya bertumpu pada pengolahan limbah, tetapi juga memerlukan metode deteksi yang cepat, sederhana, dan sensitif. Metode analisis instrumental untuk logam berat memang menawarkan akurasi tinggi, namun tidak selalu mudah diakses oleh sekolah, laboratorium kecil, atau unit pemantauan lingkungan yang membutuhkan respons awal secara cepat. Literatur terbaru menunjukkan bahwa sensor kolorimetri berbasis nanopartikel perak dan emas banyak dikembangkan karena perubahan warna dan pergeseran surface plasmon



resonance dapat diamati secara relatif sederhana untuk mendeteksi ion logam berat (Ali et al., 2021; Hyder et al., 2021; Sudarman et al., 2023).

Nanopartikel perak menarik karena memiliki sifat optik, luas permukaan tinggi, dan reaktivitas permukaan yang dapat dimodifikasi. Dalam sintesis hijau, ekstrak tumbuhan berfungsi sebagai reduktor sekaligus penstabil melalui kandungan fenolik, flavonoid, tanin, dan metabolit sekunder lain. Studi sintesis hijau menunjukkan bahwa pH, suhu, waktu reaksi, konsentrasi prekursor, dan jenis ekstrak sangat memengaruhi ukuran, kestabilan, serta respons optik nanopartikel (Liaqat et al., 2022; Widatalla et al., 2022; Ajaykumar et al., 2023). Kendala utama sintesis nanopartikel perak adalah kecenderungan aglomerasi, yang dapat menggeser panjang gelombang serapan dan menurunkan performa sensor. Polivinil alkohol (PVA) banyak digunakan sebagai penstabil karena mampu membentuk matriks polimer yang menghambat agregasi dan membantu mempertahankan sifat plasmonik nanopartikel. Bukti mutakhir menunjukkan bahwa PVA dapat menjaga stabilitas nanopartikel perak lebih baik daripada beberapa agen penstabil lain, baik dalam sistem suspensi maupun film (Bashir et al., 2022; Fabiani & Lingga, 2022; Erol et al., 2025).

Pada sisi aplikasi, AgNP telah terbukti dapat digunakan untuk deteksi kolorimetri Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Au^{3+} , dan ion logam lain melalui mekanisme agregasi, oksidasi, etching, atau pembentukan amalgam di permukaan nanopartikel (Abbasi et al., 2022; Jabbar et al., 2023; Samuel & Rao, 2023; Arain et al., 2024; Islam et al., 2025). Namun, sebagian besar studi masih memisahkan antara pengembangan sintesis hijau, stabilisasi polimer, dan validasi sensor terhadap logam target, sehingga integrasi ketiganya masih menjadi ruang penelitian yang terbuka. Berangkat dari celah tersebut, penelitian ini mengembangkan nanopartikel perak termodifikasi PVA menggunakan ekstrak bahan alam sebagai platform deteksi logam. Kebaruan artikel diletakkan pada upaya menghubungkan pemanfaatan bioreduktor alami, stabilisasi PVA, dan orientasi aplikasi sebagai kontrol lingkungan dalam satu rancangan eksperimen sederhana. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada sintesis nanopartikel berbasis green chemistry, tetapi juga pada pengembangan instrumen deteksi awal yang potensial digunakan dalam edukasi sains dan pemantauan lingkungan skala terbatas.

Metode

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen laboratorium untuk mensintesis nanopartikel perak termodifikasi PVA dengan ekstrak kayu secang sebagai bioreduktor. Variabel bebas penelitian adalah konsentrasi PVA 0,75% dan 1,5%, sedangkan variabel terikatnya meliputi perubahan warna, panjang gelombang maksimum, absorbansi, ukuran partikel, dan respons terhadap ion logam. Variabel kontrol mencakup konsentrasi AgNO_3 , volume ekstrak, volume PVA, kecepatan pengadukan, dan lama sintesis. Prosedur penelitian meliputi ekstraksi kayu secang menggunakan akuabides, pembuatan larutan AgNO_3 1,5 mM, pembuatan larutan PVA, sintesis AgNP melalui pengadukan 450 rpm selama dua jam, pengamatan stabilitas selama beberapa hari, analisis UV-Vis pada rentang 300-500 nm, pengukuran ukuran partikel menggunakan PSA, serta uji selektivitas terhadap Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , dan Hg^{2+} . Data dianalisis secara deskriptif dengan menghubungkan perubahan visual, puncak serapan, ukuran partikel, dan respons selektivitas sebagai dasar penilaian performa sensor.

Hasil

Hasil penelitian memperlihatkan pola yang relatif konsisten antara bukti visual, data spektral, dan respons selektivitas. Bukti pertama tampak pada ekstrak kayu secang yang berubah menjadi larutan oranye kemerahan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1; perubahan ini mengindikasikan adanya komponen bioaktif yang berpotensi berperan sebagai reduktor. Interpretasinya, ekstrak tidak hanya menjadi bahan tambahan, tetapi menjadi aktor kimia utama dalam proses reduksi Ag^+ menjadi AgNP. Dengan demikian, klaim awal yang dapat ditarik adalah bahwa sintesis hijau berbasis kayu secang layak digunakan sebagai dasar pembentukan nanopartikel perak.

Pada tahap sintesis, variasi PVA menghasilkan perbedaan karakter fisik koloid. Sampel PVA 0,75% cenderung lebih jernih, sedangkan PVA 1,5% tampak lebih keruh dan

menunjukkan kecenderungan pembentukan endapan. Data UV-Vis pada Tabel 1 memperkuat bukti tersebut karena puncak serapan berada pada rentang khas nanopartikel perak. Interpretasinya, PVA berperan menstabilkan koloid, tetapi konsentrasi yang lebih tinggi tidak otomatis menghasilkan dispersi yang lebih baik. Klaim yang dapat diajukan adalah bahwa efektivitas PVA perlu dibaca sebagai fungsi keseimbangan antara stabilisasi dan kemungkinan peningkatan viskositas atau agregasi.

Pengukuran PSA yang ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan ukuran partikel pada orde nano, meskipun ukurannya masih relatif besar untuk sensor kolorimetri yang sangat sensitif. Bukti selektivitas pada Tabel 2 dan Gambar 4 memperlihatkan respons paling kuat terhadap Hg^{2+} , ditandai oleh perubahan absorbansi dan pergeseran panjang gelombang. Interpretasinya, interaksi permukaan AgNP dengan Hg^{2+} lebih dominan dibanding ion logam lain yang diuji. Dengan demikian, klaim utama hasil penelitian adalah bahwa AgNP-PVA berbasis ekstrak kayu secang memiliki potensi awal sebagai sensor Hg^{2+} , tetapi masih memerlukan optimasi ukuran, stabilitas, dan batas deteksi.

Ekstraksi Kayu Secang

Kayu secang diekstrak menggunakan pelarut akuabides, akuabides dipilih karena akuabides lebih stabil, tidak beracun, ramah lingkungan dan ekonomis. Ekstraksi dilakukan pada suhu $70-80^{\circ}C$, mula-mula larutan berwarna kuning, semakin lama semakin pekat dan hasil akhir ekstraksi kayu secang menghasilkan larutan berwarna orange kemerahan. Setelah proses pemanasan, campuran didiamkan hingga mencapai suhu kamar kemudian ekstrak disaring untuk memisahkan antara ampas dan filtratnya.

Gambar 1 memperlihatkan ekstrak kayu secang sebagai bagian dari bukti visual yang mendukung uraian pada bagian ini.



Gambar 1. Ekstrak Kayu Secang

Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan mencampurkan prekursor ($AgNO_3$), PVA sebagai penstabil, dan ekstrak kayu secang sebagai bioreduktor. Untuk mendapatkan nanopartikel perak dengan karakteristik yang diinginkan baik sifat fisik maupun kimianya maka diperlukan perbandingan atau variasi formula. Proses sintesis dapat dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi prekursor, zat penstabil, ataupun jumlah reduktor. Selain itu metode sintesis (suhu, kecepatan pengadukan, lama pengadukan, dan pH) juga dapat mempengaruhi pembentukan nanopartikel.

Pada penelitian ini awalnya sintesis nanopartikel dilakukan dengan menggunakan prekursor $AgNO_3$ dengan konsentrasi 0,05 M mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Amanah, dkk (2021). Sebanyak 40 mL perak nitrat 0,05 M disintesis dengan 12 mL PVA dan

3 mL ekstrak kayu secang. Proses sintesis dilakukan dengan cara pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 450 rpm selama 2 jam. Hasil sintesis menunjukkan terbentuknya koloid yang berwarna keabuan dan sangat pekat. Pada menit ke-3 larutan yang semula berwarna orange berubah menjadi kecoklatan dan semakin pekat. Keadaan ini menunjukkan bahwa reaksi reduksi terjadi secara mendadak dan dapat dipastikan bahwa partikel yang terbentuk lebih besar dari ukuran nano. Hal ini dapat terjadi karena beberapa

faktor seperti konsentrasi prekursor yang terlalu pekat atau reduktor yang digunakan juga sangat kuat. Berikut adalah kenampakan perubahan warna nanopartikel setelah disintesis selama 2 jam:

Berdasarkan hasil percobaan pertama maka peneliti mengubah konsentrasi perak nitrat menjadi lebih kecil yakni 1,5 mM berdasarkan referensi dari penelitian yang telah dilakukan oleh Matutu dan Taba. Pada penelitian tersebut dilakukan sintesis nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi AgNO_3 2 mM, 1,5 mM, 1 mM, dan 0,5 mM. Diperoleh hasil bahwa konsentrasi 1,5 mM AgNO_3 menghasilkan nanopartikel dengan nilai absorbansi terbaik.

Pada percobaan sintesis nanopartikel perak yang kedua dengan konsentrasi AgNO_3 1,5 mM 40 mL, PVA 12 mL, dan ekstrak kayu secang 1,5 mL perubahan fisik terjadi secara perlahan. Terbentuknya nanopartikel perak secara umum ditandai dengan adanya perubahan warna larutan menjadi kuning hingga kecoklatan dari waktu ke waktu. Pengamatan perubahan warna dilakukan dalam rentang 30 menit selama masa sintesis 2 jam. Awalnya larutan berwarna bening kenuningan kemudian semakin lama warna kuning yang dihasilkan semakin pekat. Pada menit pertama warna larutan sudah menunjukkan warna kekuningan yang berasal dari warna ekstrak kayu secang. Terdapat perbedaan warna antara sampel dengan konsentrasi PVA 0,75% dengan PVA 1,5%. Sampel dengan konsentrasi PVA 0,75% memiliki warna yang lebih jernih dan belum terlihat adanya endapan pada hari pertama. Namun, sampel dengan konsentrasi PVA 1,5% memiliki warna kuning kecoklatan lebih keruh. Warna dapat menggambarkan nilai absorbansi nanopartikel perak, semakin pekat warna AgNP dari warna awalnya maka diindikasikan nilai absorbansinya semakin tinggi (Sari, dkk.,

. Pada pengamatan fisik hari ke-4 terlihat bahwa sampel nanopartikel berubah warna menjadi kecoklatan, terlihat jelas terbentuknya koloid dan terdapat sedikit endapan pada dasar tabung. Adanya endapan menandakan bahwa nanopartikel perak mengalami ketidakstabilan sehingga menyebabkan terbentuknya agregat atau mengalami aglomerasi (penggumpalan). Partikel yang semula berukuran nano kini bergabung menjadi partikel dengan ukuran yang lebih besar dari 100 nm.

Hasil Pengujian Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis digunakan secara kualitatif untuk mengidentifikasi terbentuknya nanopartikel perak berdasarkan nilai panjang gelombang serapan maksimumnya. Nanopartikel perak memiliki panjang gelombang serapan maksimum antara 400–500 nm. Pengujian nanopartikel perak menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan setiap hari selama 4 hari berturut-turut. Larutan blanko yang digunakan dalam pengukuran UV-Vis adalah akuabides dimana akuabides merupakan pelarut yang digunakan dalam sintesis nanopartikel perak. Hasil pengukuran absorbansi dan panjang gelombang maksimum dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1 menyajikan hasil pengujian uv-vis sebagai dasar pembacaan data dan analisis pada bagian ini.

Tabel 1. Hasil pengujian UV-Vis

Sampel	Hari ke-	λ (nm)	Absorbansi
	1	444,6	0,574
PVA 0,75%	2	456,6	0,995
PVA 0,75%	3	466,2	1,117
	4	490,4	2,386

	1	455,2	1,343
PVA 1,5%	2	476,4	1,713
PVA 1,5%	3	483,2	1,879
	4	496,0	2,543

Berdasarkan hasil pengukuran absorbansi dan panjang gelombang maka dapat diketahui bahwa sampel nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak kayu secang telah terbentuk dengan ditunjukkannya kemunculan puncak absorbansi pada panjang gelombang 400-500 nm. Pada hari pertama sintesis nanopartikel dengan konsentrasi PVA 0,75% dan 1,5% telah menunjukkan hasil terbentuknya nanopartikel. Nilai absorbansi dan panjang gelombang meningkat seiring bertambahnya waktu. Nilai absorbansi menunjukkan kecenderungan jumlah nanopartikel yang dihasilkan, semakin tinggi nilai absorbansi maka jumlah nanopartikel yang dihasilkan semakin banyak (Solomon, dkk, 2007).

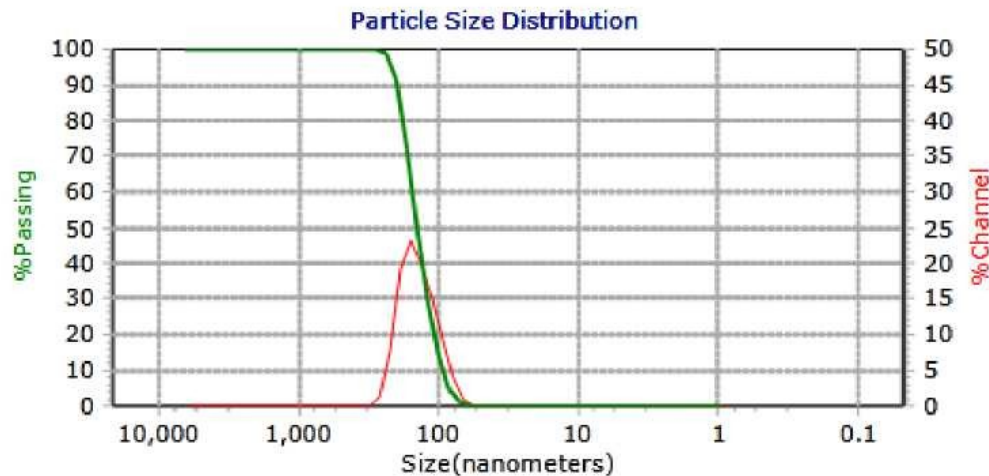
Ukuran nanopartikel pada nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang 420-450 berkisar antara 40-80 nm. Pada tabel diatas diketahui bahwa hingga hari ke-3 panjang gelombang masih dibawah 480 nm, maka diperkirakan nanopartikel telah terbentuk dengan ukuran nanometer (kurang dari 100 nm). Namun puncak serapan panjang gelombang dari waktu ke waktu masih menunjukkan pergeseran yang artinya bahwa nanopartikel belum stabil. Pergeseran panjang gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa kestabilan nanopartikel berkurang dan cenderung mengalami aglomerasi. Hasil pengukuran kestabilan AgNP menunjukkan bahwa lamanya penyimpanan berpengaruh terhadap kestabilan nanopartikel perak. Pertambahan waktu penyimpanan menunjukkan pembentukan partikel dengan ukuran semakin besar. Nilai absorbansi yang terus meningkat seiring pergeseran puncak serapan ke panjang gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang terbentuk bertambah banyak seiring lamanya waktu kontak (Handayani, 2010).

Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk dapat memvariasikan kondisi (pH, waktu sintesis, kecepatan pengadukan) pada saat sintesis ataupun mengubah konsentrasi bahan yang digunakan, dengan begitu akan diketahui kondisi optimum yang dapat menghasilkan nanopartikel dengan karakteristik yang diinginkan. Pada penelitian ini penggunaan PVA dengan konsentrasi 0,75% dan 1,5% belum mampu menstabilkan nanopartikel dalam waktu 7 hari, maka diperlukan variasi konsentrasi lain dalam rentang lebih kecil dari 0,75% ataupun lebih besar dari 1,5%.

Hasil Pengujian PSA (Particle Size Analyzer)

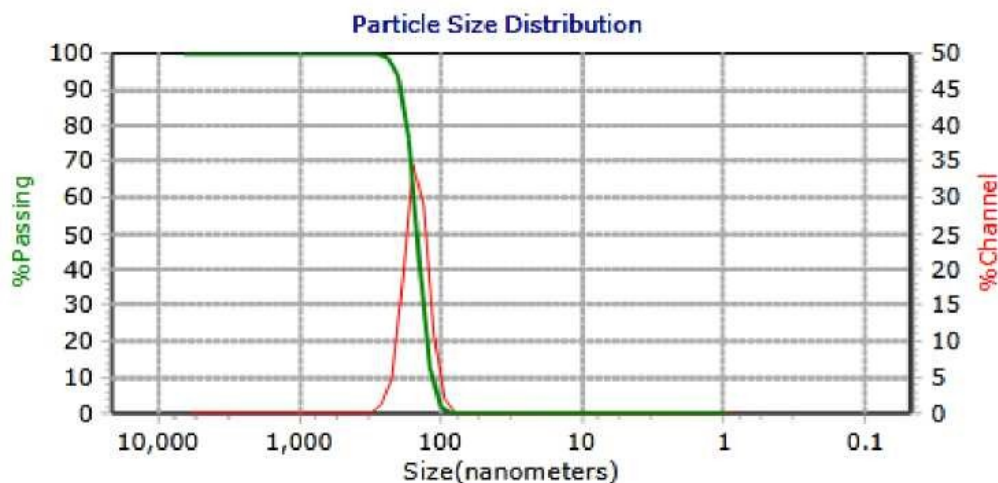
Pengukuran nanopartikel dengan menggunakan PSA menggunakan sampel basah berupa larutan nanopartikel yang telah diencerkan menggunakan akuabides dengan konsentrasi 5%. Nanopartikel yang merupakan larutan pekat harus diencerkan karena konsentrasi larutan yang pekat dapat mengganggu kerja alat PSA. Pengukuran dilakukan secara triplo (3x pengulangan). Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk distribusi, sehingga hasil pengukuran dapat menggambarkan ukuran sampel secara keseluruhan.

Gambar 2 memperlihatkan hasil analisis psa sampel 1 sebagai bagian dari bukti visual yang mendukung uraian pada bagian ini.



Gambar 2. Hasil analisis PSA sampel 1

Gambar 3 memperlihatkan hasil analisis psa sampel 2 sebagai bagian dari bukti visual yang mendukung uraian pada bagian ini.



Gambar 3. Hasil analisis PSA sampel 2

Berdasarkan hasil pengukuran nanopartikel perak menggunakan PSA diketahui bahwa sampel 1 dengan konsentrasi PVA 0,75% memiliki ukuran partikel rata-rata sebesar 145,6 nm, sedangkan sampel 2 dengan konsentrasi PVA 1,5% memiliki ukuran partikel rata-rata sebesar 150,5 nm. Ukuran nanopartikel lebih dari 100 nm yang artinya ukuran nanopartikel telah berubah menjadi mikrometer. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor salah satunya adalah sifat nanopartikel yang mudah mengalami agregasi membentuk *bulk* (material berukuran besar). Nanopartikel perak mempunyai karakteristik mudah mengalami aglomerasi antar partikel dan mudah teroksidasi (Lembang, 2013). Berdasarkan kondisi larutan nanopartikel yang diamati selama 7 hari kemungkinan nanopartikel telah mengalami

15 aglomerasi sejak hari ke-4 sehingga pengukuran nanopartikel menggunakan PSA pada hari ke-7 menunjukkan hasil yang kurang baik.

Meski begitu, hasil pengukuran menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi nanopartikel adalah 100% artinya nanopartikel telah tersintesis dengan baik. Perlu adanya pengukuran nanopartikel pada hari sebelum hari ke-7 (sebelum nanopartikel mengalami aglomerasi) untuk mengetahui apakah pada usia nanopartikel kurang dari 7 hari menunjukkan ukuran partikel kurang dari 100 nm.

Uji Selektivitas Nanopartikel terhadap Larutan Logam

Uji selektivitas nanopartikel terhadap larutan logam dilakukan pada saat nanopartikel berusia 4 hari. Larutan logam yang digunakan adalah Hg^{2+} (HgCl_2), Fe^{3+} (FeCl_3), Cu^{2+} (CuSO_4), Cr^{3+} ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$), Pb^{2+} ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) dengan konsentrasi 0,1 M. Larutan induk selanjutnya diencerkan menggunakan akuades hingga konsentrasi 250 ppm. Deteksi keberadaan ion logam dengan nanopartikel dilakukan dalam tabung reaksi dengan cara mengamati perubahan warna dan absorbansi. Setelah larutan ion logam dicampur dengan nanopartikel perak terjadi perubahan warna pada larutan Fe^{3+} yang semula berwarna kuning menjadi kuning yang lebih terang. Pada ion logam lainnya perubahan warna menjadi sedikit kuning yang dipengaruhi oleh warna nanopartikel perak.

Hasil pengujian absorbansi dan panjang gelombang pada ion logam yang dideteksi menggunakan nanopartikel perak didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2 menyajikan hasil analisis uv-vis terhadap selektivitas logam sebagai dasar pembacaan data dan analisis pada bagian ini.

Tabel 2. Hasil analisis uv-vis terhadap selektivitas logam

Logam	Logam	Logam	Logam + nanopartikel	Logam + nanopartikel
Logam	A (nm)	Absorbansi	A (nm)	Absorbansi
Cu^{2+}	364,5	0,007	482,0	0,584
Cr^{3+}	298,0	0,031	488,0	0,605
Hg^{2+}	282,5	0,025	293,0	1,547
Pb^{2+}	338,0	0,006	353,5	0,495
Fe^{3+}	298,0	2,377	289,0	2,432

Berdasarkan hasil analisis spektrometri uv-vis dapat dilihat bahwa pada penambahan Hg^{2+} larutan tidak lagi menunjukkan adanya AgNP karena puncak serapan AgNP menghilang (puncak AgNP yang awalnya berada pada panjang gelombang 400-500 nm berubah menjadi 293 nm). Menghilangnya puncak serapan AgNP disebabkan teroksidasinya AgNP oleh ion logam Hg^{2+} menjadi ion Ag^+ kembali. Pada logam Cu^{2+} dan Cr^{3+} juga mengalami pergeseran panjang gelombang menjadi semakin besar, namun pada Pb^{2+} dan Fe^{3+} tidak mengalami pergeseran yang signifikan pada puncak panjang gelombangnya. Jadi dapat diketahui bahwa AgNP hasil sintesis dari AgNO_3 dengan bioreduktor ekstrak kayu secang selektif terhadap logam Hg^{2+} dengan ditunjukkan oleh spektrum panjang gelombang yang menurun (lebih kecil

dari 400 nm) dan absorbansi yang meningkat. Untuk dapat mengetahui sensitivitas nanopartikel perak dalam mendeteksi logam Hg^{2+} maka diperlukan pengujian lebih lanjut dengan cara memvariasikan konsentrasi ion Hg^{2+} dalam satuan ppm. Pengujian dengan cara memvariasikan konsentrasi logam dapat dilakukan untuk mengetahui kadar minimum logam yang dapat dideteksi dengan nanopartikel perak.

Diskusi

Temuan penelitian ini memperkuat argumen bahwa sintesis hijau AgNP dapat menjadi alternatif yang lebih sederhana dan ramah lingkungan dibanding sintesis kimia konvensional. Peran ekstrak kayu secang sebagai bioreduktor selaras dengan literatur yang menunjukkan bahwa fitokimia tumbuhan dapat mereduksi ion perak sekaligus membantu stabilisasi permukaan nanopartikel. Perbedaan karakter antara PVA 0,75% dan 1,5% menunjukkan bahwa penambahan stabilisator tidak boleh diperlakukan secara linear. Konsentrasi yang lebih tinggi dapat membantu stabilisasi, tetapi juga dapat memengaruhi viskositas, difusi, dan kecenderungan agregasi. Di titik ini, desain eksperimen perlu diperluas dengan rentang konsentrasi yang lebih halus agar komposisi optimum dapat ditentukan secara lebih kuat.

Rentang panjang gelombang UV-Vis yang teramati mendukung pembentukan nanopartikel perak, tetapi pergeseran puncak juga menandakan bahwa ukuran dan distribusi partikel belum sepenuhnya stabil. Hasil PSA yang berada di atas 100 nm masih dapat disebut nanoscale, namun untuk aplikasi sensor yang sangat sensitif, ukuran yang lebih kecil dan distribusi yang lebih sempit biasanya lebih diharapkan. Respons paling jelas terhadap Hg^{2+} menarik karena literatur sensor AgNP banyak melaporkan interaksi kuat

antara merkuri dan permukaan perak melalui mekanisme amalgamasi atau perubahan agregasi. Walau demikian, klaim selektivitas belum cukup hanya berdasarkan perubahan visual dan UV-Vis pada konsentrasi tunggal. Uji batas deteksi, rentang linear, replikasi, dan gangguan ion lain masih diperlukan.

Dari sisi kontribusi, penelitian ini kuat sebagai eksperimen pengembangan awal dan edukasi sains lingkungan. Kombinasi bahan alam, PVA, dan pengujian logam menjadikan rancangan ini relatif aplikatif untuk laboratorium pendidikan. Kelemahannya, data karakterisasi masih terbatas sehingga belum cukup untuk klaim sensor lingkungan siap pakai. Dengan demikian, posisi artikel sebaiknya ditempatkan sebagai proof of concept. Klaim yang terlalu luas tentang kontrol lingkungan perlu ditahan, sementara kekuatan artikel ditekankan pada potensi sintesis hijau AgNP-PVA dan arah optimasi sensor Hg²⁺ berbasis indikator kolorimetri sederhana.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel perak termodifikasi PVA dapat disintesis menggunakan ekstrak kayu secang dan menghasilkan karakter visual, spektral, serta ukuran partikel yang mendukung pembentukan AgNP. Variasi PVA memengaruhi kejernihan dan stabilitas koloid, sementara uji selektivitas menunjukkan respons paling kuat terhadap Hg²⁺. Temuan ini menempatkan AgNP-PVA berbasis ekstrak bahan alam sebagai kandidat awal sensor kolorimetri logam, khususnya merkuri. Akan tetapi, penelitian lanjutan perlu memperkuat optimasi konsentrasi PVA, distribusi ukuran partikel, replikasi, batas deteksi, dan uji interferensi sebelum klaim aplikasi kontrol lingkungan dinyatakan lebih luas.

Referensi

- Abbasi, N., Hameed, M. U., Nasim, N., Ahmed, F., Altaf, F., Shahida, S., Fayyaz, S., Sabir, S. M., & Bocchetta, P. (2022). Plasmonic Nano Silver: An Efficient Colorimetric Sensor for the Selective Detection of Hg²⁺ Ions in Real Samples. *Coatings*. <https://doi.org/10.3390/coatings12060763>
- Adam, et al. (2022). Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol terhadap Ukuran dan Kestabilan Nanopartikel Perak Hasil Sintesis menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Akasia. *Jurnal Chemical*. 23(1), 50-58.
- Ajaykumar, A. P., Mathew, A., Chandni, A. P., Varma, S., Jayaraj, K. N., Sabira, O., Rasheed, V. A., Binitha, V. S., Swaminathan, T. R., Basheer, V. S., Giri, S., & Chatterjee, S. (2023). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Leaf Extract of the Medicinal Plant, *Uvaria narum* and Its Antibacterial, Antiangiogenic, Anticancer and Catalytic Properties. *Antibiotics*, 12. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030564>
- Ali, S., Chen, X., Shi, W., Huang, G., Yuan, L.-M., Meng, L., Chen, S., Zhonghao, X., & Chen, X. (2021). Recent Advances in Silver and Gold Nanoparticles-Based Colorimetric Sensors for Heavy Metal Ions Detection: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 53, 718–750. <https://doi.org/10.1080/10408347.2021.1973886>
- Amanah, I.N., et al. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak-Ekstrak Daun Pelawan Termodifikasi PVA. *Fullerene Journal Of Chem*. 6(2), 118-123.
- Arain, M., Nafady, A., Haq, M. A. U., Asif, H. M., Ahmad, H. B., Soomro, R., Shah, M. R., M.-U.-R., & S. (2024). Secnidazole functionalized silver nanoparticles as trace level colorimetric sensor for the detection of cadmium ions. *Optik*. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2024.171620>
- Aritonang, H.F., Koleangan, H., Wuntu, A.D. (2019). Synthesis Of Silver Nanoparticles Using Aqueous Extract Of Medicinal Plants (*Impatiens balsamina* And *Lantana camara*) Fresh Leaves And Analysis Of Antimicrobial Activity. *International Journal Of Microbiology*. 1-8.
- Badfar, M., Rastegarzadeh, S., & Taghavi, M. (2025). A novel plasmonic sensor for the detection of palladium based on facile in situ formation of silver nanoparticles in morin-formaldehyde/polyvinyl alcohol film. *Talanta*, 298 Pt A, 128791. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.128791>
- Bae, Eunjoo., Hee-Jin Park., Junsu Park., Jeyong Yoon., Younghun Kim., Kyunghee Choi., Jongheop Yi. (2011). Effect of Chemical Stabilizers In Silver Nanoparticle

- Suspensions On Nanotoxicity. Bull. Korean Chem. Soc. Vol 32 (2): 613-619. Bakir. 2011. Pengembangan Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Air Rebusan Daun Bisbul (*Diospyros Blancoi*) Untuk Deteksi Ion Tembaga (II) dengan Metode Kolorimetri. Skripsi. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia.
- Bashir, S., Ali, A., Bashir, M., Aftab, A., Ghani, T., Javed, A., Rafique, S., Shah, A., Solvas, X. C. I., & Inayat, M. H. (2022). Droplet-based microfluidic synthesis of silver nanoparticles stabilized by PVA and PVP: applications in anticancer and antimicrobial activities. *Chemical Papers*, 76, 7205–7216. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02403-w>
- Chandran, S.O., Chaundhary, M., Parischa, R., Ahmad, A. & Sastry, M. (2006). Synthesis of Gold Nanotriangles and Silver Nanoparticle using Aloe vera plant Extract. *Biotechnology Progress*. 22. 577-583.
- Erol, I., Hazman, Ö., Yılmaz, F., & Khamidov, G. (2025). Enhanced Biological, Thermal and Dielectric Properties of Polyvinyl Alcohol by a Methacrylate Polymer and Green Synthesized Silver Nanoparticles. *Journal of Polymers and the Environment*, 33, 2173–2192. <https://doi.org/10.1007/s10924-025-03516-5>
- Fabiani, V., & Lingga, R. (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles via *Cratoxylum glaucum* Leaf Extract Loaded Polyvinyl Alcohol and Its Antibacterial Activity. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v7i3.64719>
- Fabiani, V.A.; Putri, M.A.; Saputra, M.E.; Indriyani, D.P. (2019). Sintesis Nanosilver Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Pelawan (*Tristaniaopsis Merguensis*) Dan Uji Aktivitas Antibakteri. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)* 4, 172–178.
- Handayani W. (2010). Potensi Ekstrak Beberapa Jenis Tumbuhan Sebagai Agen Pereduksi Untuk Biosintesis Nanopartikel Perak. Seminar Nasional Biologi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Haryono, A. et al. (2008). Sintesa Nanopartikel Perak dan Potensi Aplikasinya. *Journal of Industrial Research*. 2.
- Hasan, M.I. (2012). Modifikasi Nanopartikel Perak dengan Polivinil Alkohol untuk Meningkatkan Selektivitas dan Stabilitas Indikator Logam Tembaga (Cu): Uji Coba pada Mikroalga Merah. Skripsi. Program Studi Farmasi. Universitas Indonesia.
- Hyder, A., Buledi, J., Nawaz, M., Rajpar, D. B., Shah, Z., Orooji, Y., Yol, M. L., Karimi-Maleh, H., Lin, H., & Solangi, A. (2021). Identification of heavy metal ions from aqueous environment through gold, Silver and Copper Nanoparticles: An excellent colorimetric approach. *Environmental research*, 112475. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112475>
- Islam, M., Das, S., Nahim, M. A. M., Karim, M. R., Kundu, R., Khan, M. A. R., Rahman, S., Al-Gawati, M. A., Alodhayb, A. N., & Ahsan, H. M. (2025). A highly selective colorimetric sensor of mercury(II) ions and hydrogen peroxide by biosynthesized silver nanoparticles in water and investigations of the interaction between silver and mercury. *RSC Advances*, 15, 10074–10084. <https://doi.org/10.1039/d5ra01733e>
- Jabbar, A., Abbas, A., Assad, N., Naeem-Ul-Hassan, M., Alhazmi, H., Najmi, A., Zoghebi, K., Bratty, A. M., Hanbashi, A., & Amin, H. M. A. (2023). A highly selective Hg²⁺ colorimetric sensor and antimicrobial agent based on green synthesized silver nanoparticles using *Equisetum diffusum* extract. *RSC Advances*, 13, 28666–28675. <https://doi.org/10.1039/d3ra05070j>
- Karlina, Y., et al. (2016). Pengujian Potensi Antijamur Ekstrak Air Kayu Secang terhadap *Aspergillus niger* dan *Candida albicans*. *Chimica et Natura Acta*. Vol. 4. NO. 2. 84-87.
- Keat, C.L., Aziz, A., Eid, A.M., Elmarguzi, N.A. (2015). Biosynthesis of Nanoparticles and Silver Nanoparticles. *Bioresources and Bioprocessing*. 2(47).
- Khalid, Z., Ali, A., Siddique, A., Zaman, Y., Sibtain, M., Abbas, A., Alam, M. M., & Alwethaynani, M. S. (2025). Causonis trifolia-based green synthesis of multifunctional silver nanoparticles for dual sensing of mercury and ferric ions, photocatalysis, and biomedical applications. *RSC Advances*, 15, 16879–16893. <https://doi.org/10.1039/d5ra01882j>

- Lembang, Esty Yunita. Zakir, Maming M. (2013). Sintesis Nanopartikel Perak Dengan Metode Reduksi Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia Catappa*). *Jurnal Penelitian Kimia*. 2(1): 3-11.
- Liaqat, N., Jahan, N., K.-U.-R., Anwar, T., & Qureshi, H. (2022). Green synthesized silver nanoparticles: Optimization, characterization, antimicrobial activity, and cytotoxicity study by hemolysis assay. *Frontiers in Chemistry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.952006>
- Maharani, K. (2003). Stabilitas pigmen Brazilin Pada kayu Secang (*Caesalpinia sappan* L.). Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Ninggar, R., D. (2014). Kajian Yuridis tentang Pengendalian Limbah Batik di kota Yogyakarta. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada Press.
- Nomer, N.M.G.R, et al. (2019). Kandungan Senyawa Flavonoid dan Antioksidan Ekstrak Kyu Secang serta Aktivitas Antibakteri terhadap *Vibrio cholerae*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. Vol. 8. No. 2.
- Priya, R. S., Geetha, D., & Ramesh, P. S. (2016). Antioxidant activity of chemically synthesized AgNPs and biosynthesized *Pongamia pinnata* leaf extract mediated AgNPs—A comparative study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.07.037>
- Rachmawati, F., Rusdiarso, B., & Kunarti, E. S. (2024). Fast and Simple Au³⁺ Colorimetric Detection Using AgNPs and Investigating Its Reaction Mechanism. *Indonesian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.22146/ijc.84446>
- Rossi, A., Cuccioloni, M., Magnaghi, L. R., Biesuz, R., Zannotti, M., Petetta, L., Angeletti, M., & Giovannetti, R. (2022). Optimizing the Heavy Metal Ion Sensing Properties of Functionalized Silver Nanoparticles: The Role of Surface Coating Density. *Chemosensors*. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10110483>
- Samuel, V. R., & Rao, K. (2023). A Rapid Colorimetric Dual Sensor for the Detection of Mercury and Lead Ions in Water Using Cysteine Capped Silver Nanoparticles. *Chemical Physics Impact*. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100161>
- Sari, et al. (2017). Pembuatan Nanopartikel Perak (NPP) dengan Bioreduktor Ekstrak Buah *Muntingia calabura* L untuk Analisis Logam Merkuri. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 1(1), 20-26.
- Shankar, S.S., et al. (2004). Rapid synthesis of Au, Ag, and Bimetallic Au Core-Ag Shell Nanoparticle using Neem Leaf Broth. *Journal of Colloid and Interface Science*. 275 (4). Hal 496-502.
- Solomon, S.D.; Bahadory, M.; Jeyarajasingam, A.V.; Rutkowsky, S.A.; Boritz, C. (2007). Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 84, 322–325. Wahyudi. 2011. Sintesis Nanopartikel Perak Dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri *E. Coli* Dan *S. Aureus*. *Arena Tekstil*. 26 (1).1-60.
- Yasin, Sohail., Lin Liu & Juming Yao. (2013). Biosynthesis of Silver Nanoparticles by Bamboo Leaves Extract and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*. Vol. 6, No. 1.