

KAJIAN LITERATUR SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK (AGNP) MENGUNAKAN BERBAGAI EKSTRAK TANAMAN SEBAGAI BIOREDUKTOR MELALUI METODE GREEN SYNTHESIS

Defandio Putra Gemilang Argiansyah¹, Dewi Anggraini Septaningsih², Mentari Zikri Anty³,
Ajeng Arimby Setyaningsih Putri Yan Prawira⁴.

Email: def270504@gmail.com¹, dewi.2986@gmail.com², mentarizikri17@gmail.com³,
ajengprawira369@gmail.com⁴

Universitas Pertahanan Republik Indonesia

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan sintesis nanopartikel perak (AgNP) menggunakan berbagai ekstrak tanaman sebagai bioreduktor melalui pendekatan *green synthesis*. Metode ini memanfaatkan senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, dan terpenoid yang berperan dalam mereduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 serta menstabilkan nanopartikel yang terbentuk. Berbagai jenis tanaman dan bagian tanaman seperti daun, akar, kulit batang, dan bunga telah dilaporkan mampu menghasilkan AgNP dengan karakteristik yang berbeda-beda tergantung pada kondisi sintesis. Hasil kajian menunjukkan bahwa parameter seperti konsentrasi $AgNO_3$, pH, suhu, waktu reaksi, serta metode sintesis (misalnya maserasi dan sonikasi) sangat memengaruhi ukuran, bentuk, dan stabilitas nanopartikel. Secara umum, metode dengan energi tambahan seperti sonikasi menghasilkan nanopartikel yang lebih homogen dibandingkan metode konvensional. Selain itu, AgNP hasil *green synthesis* memiliki potensi aplikasi yang luas, terutama sebagai antibakteri, biosensor, dan dalam bidang medis serta lingkungan.

Kata Kunci: Nanopartikel Perak, Sintesis Hijau (*Green Synthesis*), Bioreduktor Ekstrak Tanaman.

PENDAHULUAN

Nanoteknologi adalah disiplin ilmu yang mengalami perkembangan yang sangat cepat, dengan fokus pada penciptaan material yang berukuran nanometer yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda dari material yang lebih besar (Winata *et al.*, 2025). Nanopartikel, terutama yang berbasis logam, digunakan secara luas di berbagai sektor seperti biomedis, farmasi, katalisis, dan industri tekstil karena memiliki area permukaan yang luas dan juga aktivitas biologis yang signifikan (Vanlalveni *et al.*, 2021; Hadi, 2025). Salah satu tipe nanopartikel yang paling banyak diteliti adalah nanopartikel perak (AgNP) karena sifat antimikroba, antiinflamasi, dan kemampuan katalitik yang luar biasa. Karakteristik AgNP dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, dan distribusi partikel yang terbentuk selama proses pembuatan (Manalu *et al.*, 2024; Prasetyaningtyas *et al.*, 2020; Qurrataayun *et al.*, 2022). Dengan demikian, metode sintesis menjadi elemen krusial dalam menentukan mutu nanopartikel tersebut. Secara umum, pembuatan AgNP dapat dilakukan melalui pendekatan fisika, kimia, dan biologi. Metode kimia sering dipilih karena dapat menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang seragam, tetapi penggunaan bahan kimia yang berbahaya serta kondisi reaksi yang tidak ramah lingkungan adalah kelemahan terbesar dari pendekatan ini (Huq *et al.*, 2022).

Sebagai solusi, metode sintesis ramah lingkungan atau *green synthesis* semakin berkembang, dengan memanfaatkan sumber hayati sebagai agen pereduksi dan penstabil. Cara ini dianggap lebih berkelanjutan, hemat biaya, dan aman karena tidak melibatkan bahan kimia beracun (Eker *et al.*, 2025). Dalam pendekatan ini, bioreduktor yang digunakan biasanya berasal dari ekstrak tumbuhan, mikroorganisme, atau biomolekul tertentu. Ekstrak tumbuhan menjadi pilihan utama karena mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, alkaloid, terpenoid, dan saponin yang berfungsi dalam mereduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 sekaligus menjaga stabilitas nanopartikel yang terbentuk (Eker *et al.*, 2025; Rusnaenah *et al.*, 2024). Proses ini melibatkan gugus fungsi aktif seperti hidroksil ($-\text{OH}$) yang berperan dalam proses reduksi dan pembentukan inti nanopartikel. Berbagai kajian telah melaporkan keberhasilan dalam sintesis AgNP dengan menggunakan bioreduktor dari sejumlah jenis tumbuhan. Selain itu, penggunaan ekstrak daun dari tanaman lain seperti *Terminalia catappa* juga cukup efektif dalam peran sebagai agen pereduksi dalam pembuatan AgNP. Temuan-temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa jenis tanaman dan kandungan metabolitnya memiliki dampak besar terhadap karakteristik nanopartikel yang dihasilkan (Apriliyanti *et al.*, 2019; Handoko *et al.*, 2022; Az-Zhahra *et al.*, 2020; Prasetyaningtyas *et al.*, 2020; Taba *et al.*, 2019; Qurrataayun *et al.*, 2022).

Walaupun metode sintesis ramah lingkungan menawarkan beragam keuntungan, masih terdapat perbedaan dalam hasil sintesis di berbagai penelitian, terutama terkait dengan ukuran partikel, kestabilan, serta efektivitas aplikasinya. Faktor-faktor seperti konsentrasi ekstrak, konsentrasi AgNO_3 , pH, suhu, dan durasi reaksi telah diketahui mempengaruhi proses pembentukan dan karakteristik AgNP. Oleh karena itu, diperlukan kajian literatur untuk mengkaji dan merangkum berbagai penelitian terkait metode *green synthesis*. Selain itu, kajian ini juga bertujuan membandingkan efektivitas berbagai jenis tanaman.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji secara komparatif sintesis nanopartikel perak (AgNP) menggunakan bioreduktor alami serta karakteristiknya melalui pengumpulan, analisis, dan sintesis literatur ilmiah. Literatur yang dikaji meliputi artikel jurnal internasional terindeks dan prosiding konferensi yang membahas sintesis AgNP menggunakan metode *green synthesis* dengan bioreduktor, seperti ekstrak tumbuhan, mikroorganisme, atau biomolekul alami. Kriteria inklusi meliputi penelitian yang menggunakan larutan prekursor perak (umumnya AgNO_3), menjelaskan kondisi sintesis

secara rinci, serta menyediakan data karakterisasi minimal dua dari tiga teknik utama, yaitu spektrofotometri UV-Vis untuk identifikasi pembentukan nanopartikel (puncak *Surface Plasmon Resonance*), XRD untuk analisis struktur kristal, dan FTIR untuk identifikasi gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi dan stabilisasi.

Data yang diekstraksi dari setiap literatur mencakup jenis bioreduktor (misalnya jenis tanaman dan bagian yang digunakan), metode ekstraksi (pelarut, suhu, waktu), serta kondisi sintesis seperti konsentrasi ekstrak, konsentrasi AgNO₃, rasio volume ekstrak terhadap larutan perak, pH, suhu reaksi, dan waktu inkubasi. Selain itu, dikumpulkan pula data hasil karakterisasi meliputi panjang gelombang maksimum (λ_{max}) UV-Vis, ukuran kristalit dari XRD, gugus fungsi aktif dari FTIR, ukuran partikel dan distribusinya (DLS/TEM), morfologi partikel (SEM/TEM), serta stabilitas nanopartikel. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi pengaruh parameter sintesis terhadap karakteristik AgNP yang dihasilkan. Analisis juga dilakukan untuk membandingkan efektivitas berbagai jenis bioreduktor dalam menghasilkan nanopartikel dengan ukuran kecil, stabilitas tinggi, serta aktivitas fungsional yang optimal. Selanjutnya, dilakukan evaluasi terhadap keunggulan dan keterbatasan masing-masing sumber bioreduktor serta penentuan potensi terbaiknya berdasarkan parameter ukuran partikel, kestabilan, dan karakteristik fisikokimia lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

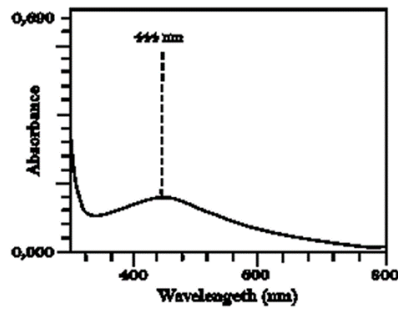
1. Daun Rami sebagai Bioreduktor AgNP (Handoko *et al.*, 2022)

Rami (*Boehmeria nivea*) adalah tanaman dari keluarga Urticaceae yang seluruh organnya dapat dimanfaatkan salah satunya daun. Daun rami mengandung beberapa senyawa aktif seperti alkaloid, lignin, flavonoid, terpenoid, glikosida, asam behenat, asam ursolat, sitosterol, kolesterol, kiwionoside, rutin, urasil, quercetin, α -amyrin, nonakosanol, emodin, emodin-8-O- β -glukosida, polidatin, katekin, epikatekin, dan epicatechin gallate (ECG). Senyawa-senyawa tersebut dapat bersifat antiinflamasi, antiviral, antibakteri, antitumor, dan antioksidan. Selain itu, gugus hidroksil yang terkandung dalam senyawa-senyawa tersebut berpotensi untuk mereduksi ion perak menjadi nanopartikel perak dalam tabel 1.

Tabel 1 Senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak daun rami dari hasil analisis GCMS

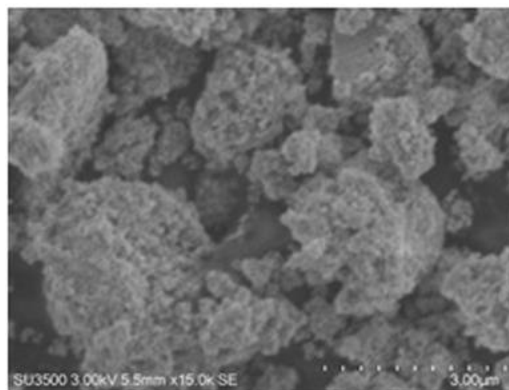
Senyawa Antibakteri	Deskripsi	Referensi
Tetradeka-13-en 11-un-1-ol	Senyawa antibakteri dan kandidat proses reduksi Ag ⁺ dengan gugus fungsi OH	Kristiani <i>et al.</i> (2016)
α -metil linoleat	Senyawa antibakteri	Fitriana (2017)
1-(4-bromobutil) 2-piperidinon	Senyawa antibakteri	Dawood <i>et al.</i> (2019)
Dietilen glikol	Kandidat proses reduksi Ag ⁺ dengan gugus fungsi OH	Loo <i>et al.</i> (2012)
Etil palmitat	Kandidat proses reduksi Ag ⁺ dengan gugus fungsi OH	Dawes <i>et al.</i> (2015)
Asam miristoleat	Kandidat proses reduksi Ag ⁺ dengan gugus fungsi OH	Agasti & Kaushik (2014)

Proses sintesis nanopartikel perak dilakukan secara *green synthesis* dengan cara mereduksi AgNO₃ dengan bioreduktor ekstrak rami dalam irradiasi microwave. *Irradiasi microwave* akan mempercepat proses reduksi yang dapat berpengaruh langsung pada proses nukleasi sintesis nanopartikel perak melalui pemanasan yang homogen. Hal tersebut didukung oleh dasar kinetika reaksi dimana pemanasan dapat meningkatkan intensitas tumbukan sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya interaksi antara reduktor dan prekursor.



Gambar 1 Spektrum UV-Vis hasil sintesis nanopartikel Ag dengan bioreduktor ekstrak daun rami (*B. nivea*)

Terbentuknya nanopartikel perak dapat ditandai dengan adanya λ_{maks} di kisaran 400-450 nm yang merupakan khas nanopartikel perak. Gambar 1 menampilkan hasil pengukuran spektroskopi UV-Vis pada sampel nanopartikel perak hasil sintesis dengan ekstrak daun rami. Hasil spektrum UV-Vis menunjukkan adanya serapan pada panjang gelombang 444 nm yang dapat mengonfirmasi terbentuknya nanopartikel perak akibat adanya aktivitas *surface plasmon resonance*. Walaupun bentuk serapan yang lebar dan tidak tajam, pada posisi panjang gelombang tersebut menunjukkan hasil reduksi ion Ag^+ belum maksimal sebagai produk nanopartikel yang monodispersi.



Gambar 2 Hasil SEM

Fenomena pembentukan nanopartikel perak selanjutnya dikonfirmasi dengan hasil *scanning electron microscope* (SEM) (Gambar 2). Hasilnya menunjukkan bahwa partikel perak hasil sintesis masih berbentuk polikristalin, walaupun beberapa partikel dengan ukuran nanometer sudah dapat diamati.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sintesis nanopartikel perak dengan bantuan iradiasi microwave mampu mempercepat proses reduksi ion perak, yang ditandai dengan munculnya puncak serapan pada panjang gelombang 444 nm. Ukuran kristal yang dihasilkan relatif kecil yaitu sekitar 18,80 nm dengan struktur kristal *face-centered cubic* (FCC), menandakan keberhasilan pembentukan AgNP yang baik. Namun demikian, hasil analisis SEM menunjukkan adanya aglomerasi partikel, yang mengindikasikan bahwa stabilitas nanopartikel masih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun metode microwave efektif dalam mempercepat sintesis, diperlukan optimasi lebih lanjut terutama dalam penggunaan agen penstabil.

2. Daun Nipah Sebagai Bioreduktor Agnp (Az-Zhahra Et Al., 2020)

Tanaman nipah (*Nypa fruticans*) merupakan tanaman bakau berbentuk seperti palem yang habitatnya di perairan payau. Luas hutan nipah yang ada di Indonesia seluas 4.237.000 hektar. Hutan nipah tersebar di Daerah Sulawesi, Kalimantan, Sumatera, Maluku, dan Papua. Tanaman nipah memiliki aktivitas antioksidan yang menandakan bahwa tanaman nipah mampu menjadi agen pereduksi. Nipah (*Nypa fruticans*) mengandung polifenol, tanin, dan

alkaloid yang dapat dilihat pada Tabel 2 Polifenol merupakan senyawa kimia yang tergolong sebagai antioksidan alami yang ditemukan dari tanaman.

Tabel 2 Hasil skrining fitokimia

Metabolit sekunder	Hasil
Flavonoid	+
Tanin	+
Fenolik	+
Polifenol	+

Pengujian flavonoid, ekstrak daun nipah yang ditambahkan HCl pekat dengan serbuk Mg terjadi perubahan warna jingga pada tabung. Pengujian tanin, saat ekstrak daun nipah yang direaksikan dengan FeCl₃ 10% terbentuk warna hitam kehijauan. Pengujian fenolik terbentuk warna hitam pekat dengan diteteskan FeCl₃ 1% ke ekstrak daun nipah. Hasil positif polifenol, ekstrak daun nipah ditambahkan FeCl₃ terbentuk warna hijau kehitaman. Senyawa metabolit sekunder tanin, polifenol, flavonoid, dan fenolik merupakan pereduksi yang memiliki struktur gugus -OH berikatan dengan benzena. Aktivitas antioksidan dari metabolit sekunder ekstrak daun nipah merupakan pereduksi logam Ag. Mekanisme berupa reaksi redoks. Proses tersebut terjadi karena adanya transfer elektron dari zat pereduksi ke ion logam sehingga Ag⁺ dapat tereduksi menjadi Ag. Dari hasil pengujian didapatkan IC₅₀ 7,045 ppm. Nilai IC₅₀ < 50 ppm memiliki kategori sangat kuat. Aktivitas antioksidan yang kuat menandakan mampu berpotensi sebagai bioreduksi yang baik.



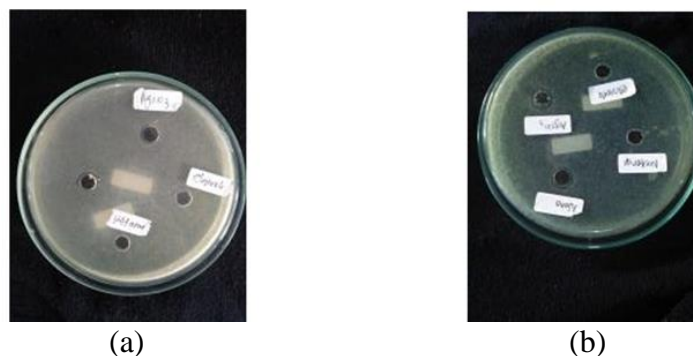
Gambar 3 Nanopartikel perak hasil sintesis. Terbentuknya nanopartikel perak ditandai dengan adanya perubahan warna larutan menjadi jingga kecoklatan.

Parameter terbentuknya nanopartikel perak yaitu pada proses sintesis selama 5 jam terbentuk larutan berwarna jingga kecoklatan proses sintesis. Hasil sintesis dapat dilihat pada gambar 3 Ukuran nanopartikel perak sangat kecil sehingga memiliki luas permukaan yang besar. Hal ini telah diketahui bahwa ketika disintesis pada skala nano, aktivitas optik dan intensitas fluoresensi meningkat.

Tabel 3 Panjang Gelombang maksimal nanopartikel Perak

Panjang Gelombang Maksimum	Absorbansi	Ukuran nanopartikel
438nm	0,177	60-80 nm

Perhitungan panjang gelombang dilakukan pada rentang 400-500 nm karena pada rentang tersebut terjadi absorpsi larutan orange kecoklatan nanopartikel perak. Nanopartikel perak dapat menyerap dan menyebarkan sinar dengan efisien. Interaksi kuat dengan sinar disebut dengan *Surface Plasmon Resonance* dalam ikatan konduksi elektron kolektif dengan sinar panjang gelombang yang spesifik. Deteksi molekul biologis tunggal membutuhkan sampel terang dengan sinar intens. Hal ini meningkatkan photobleaching. Sifat penyebaran sinar kuat nanopartikel perak menurunkan intensitas eksitasi dan waktu fluoresensi, yang mengurangi photobleaching secara signifikan.



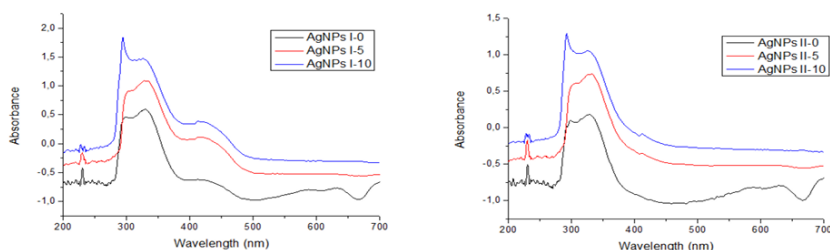
Gambar 4 Hasil pengujian aktivitas antibakteri nanopartikel perak dengan bakteri uji (a) *Staphylococcus aureus* dan (b) *Escherichia coli*. Aktivitas antibakteri dapat dilihat adanya zona bening pada media agar.

Sintesis AgNP menggunakan ekstrak daun nipah menghasilkan nanopartikel dengan ukuran 60–80 nm, yang masih berada dalam rentang nanopartikel namun relatif lebih besar. Aktivitas antibakteri pada gambar 4 yang dihasilkan cukup baik, ditunjukkan dengan zona hambat terhadap *E. coli* sebesar 10,504 mm dan *S. aureus* sebesar 9,393 mm. Hal ini menunjukkan bahwa AgNP efektif sebagai agen antibakteri, terutama terhadap bakteri Gram negatif. Namun, ukuran partikel yang cukup besar kemungkinan menyebabkan luas permukaan yang lebih kecil sehingga aktivitas antibakterinya belum maksimal.

3. Daun Kemangi Sebagai Bioreduktor Agnp (Prasetyaningtyas *Et Al.*, 2020)

Ketersediaan sumber daya alam di Indonesia sangat berlimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini memungkinkan untuk memperoleh reduktor alami. Bioreduktor dapat diperoleh dari bahan alam yang mengandung senyawa antioksidan atau poliol yang dapat mereduksi perak. Senyawa metabolit sekunder tumbuhan seperti terpenoid, flavonoid dan tanin memiliki aktifitas antioksidan dan berperan dalam reduksi perak. Salah satu tumbuhan yang memiliki aktivitas antioksidan adalah daun kemangi (*Ocimum basilicum L.*). Tanaman ini memiliki khasiat untuk pengobatan sembelit, diare, penyakit kulit, gangguan ginjal, epilepsi dan penambah aroma pada makanan. Zat aktif yang ada pada daun kemangi antara lain flavonoid, saponin, tanin, alkaloid, triterpenoid/steroid dan minyak atsiri.

Larutan AgNPs I merupakan larutan yang terdiri dari 35 mL AgNO₃, 10 mL ekstrak daun kemangi dan 15 mL kitosan, sedangkan AgNPs II merupakan larutan yang terdiri dari 45 mL AgNO₃, 10 mL ekstrak daun kemangi dan 15 mL kitosan dan di inkubasi selama 2 minggu atau 14 hari.



Gambar 5 Spektra UV-Vis pengamatan kestabilan (a)AgNPs I-kit dan (b)AgNPs II-kit selama 2 minggu.

Pada Gambar 5 menunjukkan puncak serapan maksimum AgNPs I-kit dan AgNPs II-kit pada hari pertama sintesis berada pada λ_{maks} 300–400 nm. Hal ini mengindikasikan bahwa reduksi Ag⁺ dalam larutan belum terjadi secara sempurna sehingga λ_{maks} koloid hasil sintesis terdeteksi sebagai ion Ag⁺. Handayani (2011), menyatakan bahwa absorbansi maksimum pada λ_{maks} 400–450 nm merupakan nanopartikel perak, sedangkan pada λ_{maks} 300–400 nm adalah ion Ag⁺. Kestabilan larutan koloid AgNPs berdasarkan fungsi waktu juga dapat dianalisis berdasarkan perubahan puncak serapannya. Pergeseran puncak serapan ke panjang gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa kestabilan nanopartikel perak

kurang dan cenderung mengalami aglomerasi. Hasil penentuan kestabilan AgNPs hasil sintesis ditunjukkan pada Gambar 3.1. Kestabilan diukur pada hari ke-0, 5, dan 10 setelah sintesis. Hasil pengukuran kestabilan AgNPs pada Gambar 3 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). Gaya tegang permukaan besar menyebabkan gaya kohesi antar partikel semakin besar sehingga interaksi antara nanopartikel perak lebih mungkin terjadi. Hal ini menyebabkan ukuran nanopartikel perak cenderung lebih besar karena membentuk cluster. Ukuran nanopartikel yang besar dan sedikit pada penelitian ini kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur larutan, reduktor, serta waktu reaksi. Pada saat sintesis AgNPs-kit tidak dilakukan pemanasan ataupun variasi suhu. Hal tersebut mengakibatkan laju pembentukan nanopartikel perak membutuhkan waktu lebih lama untuk menghasilkan partikel nano yang lebih banyak. Volume ekstrak kemangi yang terlalu sedikit dibandingkan volume kitosan dan garam AgNO₃ menyebabkan keberadaan ion Ag⁺ berlebih dalam larutan dan berkurangnya fungsi ekstrak kemangi sebagai bioreduktor AgNPs. Peristiwa ini didukung oleh hasil karakterisasi ukuran partikel menggunakan *Particle size analyzer* (PSA).

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kitosan sebagai *capping agent* berpengaruh terhadap karakteristik nanopartikel yang dihasilkan. Meskipun kondisi optimum telah diperoleh pada rasio tertentu, ukuran partikel yang dihasilkan justru cukup besar yaitu sekitar 366 nm, yang sebenarnya sudah berada di luar rentang nanopartikel ideal. Distribusi ukuran yang tidak merata serta nilai zeta potensial yang rendah menunjukkan bahwa sistem kurang stabil dan cenderung mengalami aglomerasi. Walaupun demikian, AgNP masih menunjukkan aktivitas antibakteri, dengan efektivitas yang lebih tinggi terhadap *E. coli*. Hal ini mengindikasikan bahwa ukuran dan stabilitas partikel sangat mempengaruhi kinerja biologisnya.

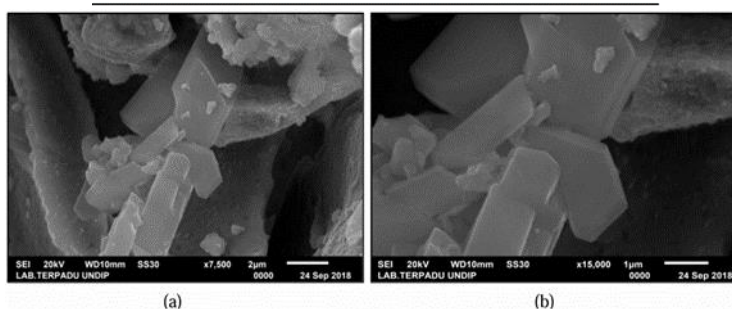
4. Daun Salam Sebagai Bioreduktor Agnp (Taba *Et AL.*, 2019)

Daun salam (*Syzygium polyanthum*) memiliki kandungan alkaloid, saponin, quinon, fenolik, triterpenoid, steroid dan flavonoid. Berdasarkan hasil penelitian, flavonoid merupakan salah satu kelompok senyawa fenolik yang bersifat antioksidan (John *et al.*, 2015; Yahia *et al.*, 2019) serta berperan dalam mencegah kerusakan sel dan komponen selularnya oleh radikal bebas reaktif. Peran antioksidan flavonoid terjadi dengan cara mendonasikan atom hidrogennya atau melalui kemampuannya mengkhelat logam, berada dalam bentuk glukosida (mengandung rantai samping glukosa) atau dalam bentuk bebas yang disebut aglikon. Menurut Bahriul *et al.* (2014), ekstrak daun salam yang meliputi daun muda, daun setengah tua dan daun tua memiliki kemampuan antioksidan yang sangat kuat. Oleh karena itu, ekstrak daun salam mengandung bioreduktor sehingga ekstrak ini berpotensi untuk menghasilkan nanopartikel logam seperti nanopartikel perak. Berdasarkan penelusuran literatur, pemanfaatan ekstrak daun ini untuk menghasilkan nanopartikel perak sampai saat ini belum dilakukan.

Ekstrak daun salam sebanyak 1 mL dipipet dan dimasukkan masing-masing ke dalam empat erlenmeyer 250 mL, kemudian larutan AgNO₃ 2 mM sebanyak 10, 20, 30, dan 40 mL ditambahkan ke dalam masing-masing erlenmeyer. Campuran diaduk dengan pengaduk magnetik selama 15 menit, panjang gelombang dan absorbansi dianalisis dengan UV-Vis.

Tabel 4 Hasil analisis serapan UV-Vis nanopartikel perak

Waktu (Hari)	Panjang Gelombang (nm)	Absorban
1	432	3,316
2	435	3,829
3	437,5	4,121
4	438	4,397
7	442	4,757
8	436,5	4,990
9	446	5,124



Gambar 6 Hasil analisis sampel nanopartikel perak dengan menggunakan SEM pada (a) skala 2 μm (7,500 x) dan (b) skala 1 μm (15,000x).

Hasil Analisis dengan SEM ditunjukkan pada Gambar 6 Hasil SEM nanopartikel perak menunjukkan bahwa morfologi nanopartikel perak memiliki struktur permukaan yang halus dipilih adalah 8 hari (waktu optimum) karena pada waktu tersebut, nanopartikel perak yang dihasilkan memiliki panjang gelombang yang lebih kecil dan absorbansi yang lebih besar dibandingkan dengan hari sebelumnya. Pada hari ke-9 panjang gelombang nanopartikel perak meningkat dengan meningkatnya absorbansi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel perak berhasil disintesis dengan baik, ditandai dengan puncak serapan UV-Vis pada rentang 432–446 nm . Ukuran partikel yang dihasilkan cukup kecil, dengan diameter sekitar 10–13 nm, meskipun hasil PSA menunjukkan distribusi rata-rata sekitar 45,7 nm. Ukuran yang relatif kecil ini menunjukkan efisiensi proses reduksi oleh senyawa aktif dalam ekstrak daun salam. Namun, aktivitas antioksidan yang dihasilkan tergolong lemah dengan nilai IC_{50} sebesar 582,7 ppm, sehingga pemanfaatannya sebagai antioksidan kurang optimal. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua AgNP memiliki aktivitas biologis tinggi, tergantung pada sifat permukaan dan ukuran partikel.

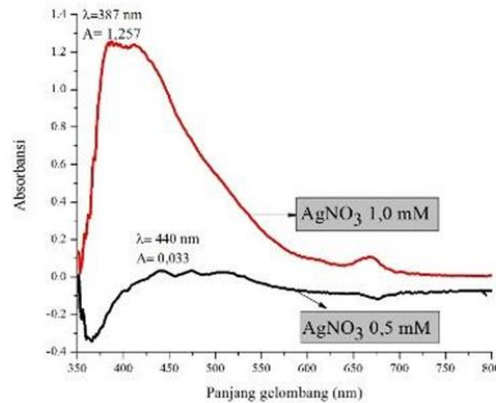
5. Daun Serai sebagai Bioreduktor AgNP (Qurrataayun *et al.*, 2022)

Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi reaksi sangat mempengaruhi pembentukan nanopartikel perak, terutama pH, konsentrasi, dan waktu reaksi. AgNP berhasil terbentuk dengan cepat dalam waktu sekitar 15 menit pada kondisi pH 12, yang ditandai dengan puncak SPR pada 403 nm . Meskipun proses sintesis berlangsung cepat, hasil pemantauan menunjukkan adanya ketidakstabilan yang ditandai dengan perubahan absorbansi selama penyimpanan, yang mengindikasikan terjadinya aglomerasi. Oleh karena itu, diperlukan penambahan agen penstabil agar nanopartikel yang dihasilkan lebih stabil dan tidak mudah menggumpal.

6. Daun Belimbing Wuluh sebagai Bioreduktor AgNP (Prasetiowati *et al.*, 2018)

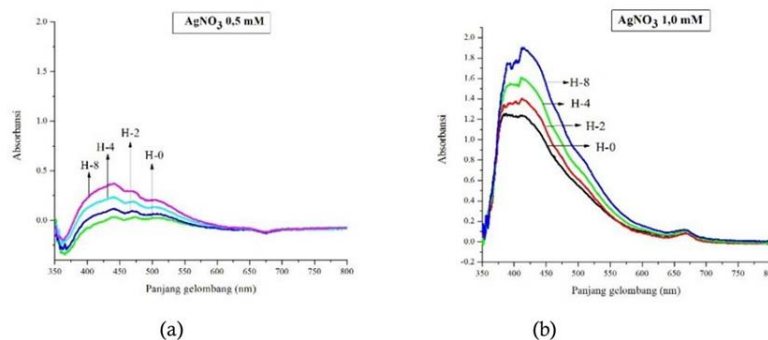
Antioksidan mampu menghambat atau memperlambat kerusakan akibat proses oksidasi. Senyawa senyawa yang memiliki kemampuan untuk mengoksidasi dapat dikatakan sebagai oksidator atau agen pengoksidasi. Oksidator melepas elektron dari senyawa lain, sehingga dirinya sendiri akan tereduksi. Salah satu tumbuhan yang memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi adalah daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) tanaman ini memiliki khasiat untuk pengobatan diabetes melitus, zat aktif yang biasa didapatkan pada daun belimbing

wuluh antara lain adalah saponin dan tannin. Daun belimbing wuluh mempunyai potensi sebagai agen pereduksi dalam sintesis nanopartikel. Teknik sintesis nanopartikel disebut dengan bottom up atau dikenal pula sebagai proses self assembly, yang dilakukan dengan mencampurkan prekursor partikel dengan reduktor dan penstabil berupa bahan kimia anorganik. Salah satu agen penstabil adalah Polyvinyl Alcohol (PVA), agen penstabil ini memiliki beberapa kelebihan yaitu tidak beracun, larut dalam air, serta kemampuan biokompatibel dan biodegradabel yang sangat bagus. Senyawa polimer ini mampu sebagai penghalang terjadinya proses aglomerasi dan proses oksidasi yang tidak diinginkan.



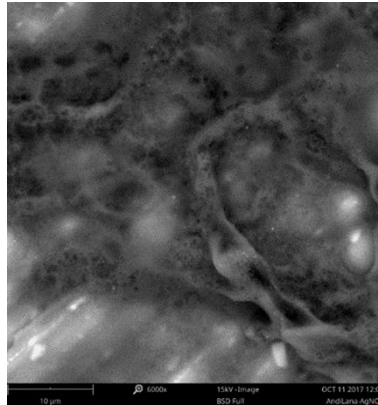
Gambar 7 Spektrum UV-Vis nanopartikel perak variasi konsentrasi AgNO₃

Terbentuknya nanopartikel perak bias dilihat pada Gambar 7 dari munculnya λ_{maks} di kisaran 400-450 nm yang merupakan khas nanopartikel perak. Pada reduktor yang sama, dengan konsentrasi prekursor lebih besar membuat reduksi nanopartikel perak membutuhkan waktu yang lebih cepat terlihat dari perubahan warna dari kuning cerah menjadi kuning kecoklatan dan meningkatkan intensitas absorbansi pada konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM. Berdasarkan hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis bahwa λ_{maks} yang diperoleh jauh dari serapan khas nanopartikel perak. Dimana hasil sintesis nanopartikel perak pada konsentrasi AgNO₃ 0,5 mM menunjukkan λ_{maks} yaitu 440 nm dengan nilai absorbansi 0,033. Nilai absorbansi yang kecil menunjukkan nanopartikel yang terbentuk juga sedikit, sedangkan pada hasil sintesis nanopartikel perak pada konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM memiliki λ_{maks} sebesar 387 nm dan nilai absorbansi 1,257, nilai panjang maksimum yang di bawah 400 nm dapat diartikan bahwa proses reduksi kimia belum berjalan secara sempurna nanopartikel yang terbentuk adalah Ag⁺. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan *Sharma et al.*, (2009) yang melaporkan bahwa hasil dari spektrofotometer pada panjang gelombang 400-450 nm nanopartikel perak yang terbentuk merupakan partikel Ag⁰, sedangkan pada panjang gelombang 380-400 nm nanopartikel perak yang terbentuk adalah Ag⁺, ini dapat diartikan bahwa proses reduksi secara kimia belum berjalan sempurna.



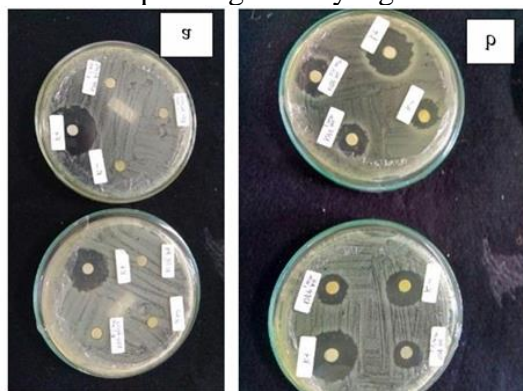
Gambar 8 Spektra UV-Vis: pengamatan kestabilan nanopartikel perak dalam selama 8 hari (a) AgNO₃ 0,5 mM dan (b) AgNO₃ 1,0 mM.

Hasil dari pengukuran kestabilan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada Gambar 8 menunjukkan nanopartikel dari konsentrasi AgNO₃ 0,5 dan 1,0 mM terlihat stabil, menurut Saware *et al.*, (2014) karena jumlah Ag⁺ yang tereduksi lebih sedikit sehingga ekstrak menjadi berlebih dan menyebabkan nanopartikel perak yang terbentuk lebih stabil. Jumlah Ag⁺ yang direduksi lebih banyak tetapi jumlah ekstrak berlebih sehingga nanopartikel yang terbentuk menjadi stabil. Nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO₃ 0,5 mM lebih stabil dibandingkan dengan nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM. Hal ini terlihat dari puncak pergeseran panjang gelombang pada nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM sekitar 387-412 nm, sedangkan pada nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO₃ 0,5 mM tidak terjadi perubahan puncak serapan panjang gelombang yang signifikan dari hari ke-0 sampai ke-8 yaitu 440-441 nm. Keadaan ini menunjukkan bahwa nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO₃ 0,5 mM maupun 1,0 mM hasil sintesis yang relatif cukup stabil. Penggunaan larutan PVA yang digunakan pada proses sintesis nanopartikel juga dapat mempengaruhi hasil yang stabil. Secara kualitatif semakin tinggi nilai absorbansi dapat diasumsikan nanopartikel yang terbentuk semakin banyak atau konsentrasi nanopartikel dalam larutan semakin tinggi.



Gambar 9 Morfologi nanopartikel perak AgNO₃ 1,0 mM.

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk menunjukkan gambaran morfologi dari partikel. Selain itu analisis menggunakan SEM juga dapat memberikan informasi distribusi ukuran. Sampel yang dianalisis menggunakan SEM adalah sampel yang terbaik dan stabil dari sintesis nanopartikel perak yaitu konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM pada waktu pembentukan hari ke-4 yang memiliki ukuran rata-rata partikel terkecil yaitu 112,8 nm. Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM dapat dilihat bahwa nanopartikel yang terbentuk sedikit bulat (spherical). SEM di ukur dengan perbesaran 6.000 x dan akselerasi tegangan sebesar 15 kv, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.3. morfologi dari nanopartikel perak terlihat tidak begitu jelas dan menampilkan gambar yang tidak fokus.



Gambar 10 Aktivitas antibakteri nanopartikel perak terhadap bakteri (a) *Escherichia coli* dan (b) *Bacillus subtilis*.

Pada Gambar 10 dilakukan pengujian untuk mengetahui aktivitas antibakteri nanopartikel perak hasil sintesis, pada penelitian ini uji antibakteri dilakukan terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* dengan metode difusi cakram. Proses pengujian yaitu menggunakan cakram kertas yang telah direndam dalam nanopartikel perak kemudian ditempel pada media pertumbuhan bakteri dan diinkubasi selama 24 jam. Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa nanopartikel perak memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Hal ini dapat dilihat dari lebar zona bening pada media yang telah ditanam bakteri. Semakin lebar zona bening yang ditimbulkan maka semakin kuat daya hambat senyawa tersebut terhadap pertumbuhan bakteri.

Tabel 5 Diameter zona hambat nanopartikel perak terhadap bakteri *E. coli* dan *Bacillus subtilis*.

Sampel	Diameter zona bening (mm)		Metode
	Pengulangan I	Pengulangan II	
NPP AgNO ₃ 0,5 mM	7,0	5,1	Cakram (<i>Bacillus subtilis</i>)
NPP AgNO ₃ 1,0 mM	5,8	5,1	
Kontrol negatif (ekstrak belimbing wuluh+air)	4,6	4,7	
Kontrol positif (Amoxicilin 2%)	9,6	9,2	
NPP AgNO ₃ 0,5 mM	0,7	0,7	
NPP AgNO ₃ 1,0 mM	0,8	0,8	Cakram (<i>Escherichia coli</i>)
Kontrol negatif (ekstrak belimbing wuluh+air)	-	-	
Kontrol positif (Amoxicilin 2%)	11,1	10,3	

Berdasarkan Tabel 5 Daya hambat nanopartikel perak terhadap bakteri *Bacillus subtilis* lebih kuat dibandingkan daya hambat bakteri *E. coli*. Menurut Arifin, *et al.* (2016), ketahanan bakteri Gram negatif, dalam hal ini bakteri *E. coli*, bisa dikaitkan dengan struktur dinding selnya. Bakteri Gram negatif memiliki penghalang permeabilitas yang efektif, yaitu lapisan tipis lipopolisakarida pada membran bagian luar yang dapat membatasi penetrasi larutan nanopartikel perak. Sedangkan bakteri Gram positif hanya memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih mudah diakses untuk permeasi oleh larutan nanopartikel perak. Hasil menunjukkan bahwa lebar zona bening yang paling stabil dan jelas pada cakram yang direndam menggunakan nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM. Hal ini membuktikan bahwa nanopartikel perak dengan ukuran terkecil dan stabilitas yang baik memiliki kemampuan antibakteri yang lebih besar.

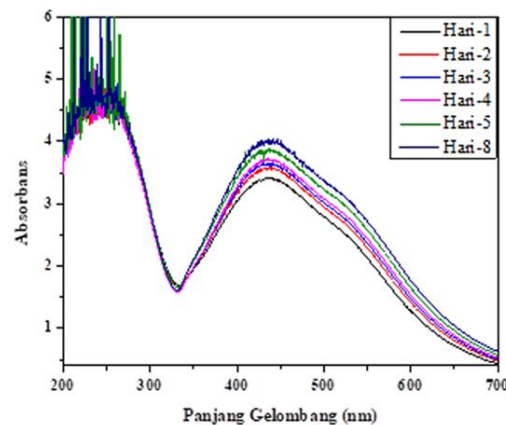
Pada penelitian ini, sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh menunjukkan bahwa senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid dan tanin berperan sebagai bioreduktor dengan mendonorkan elektronnya kepada ion Ag⁺. Kondisi optimal sintesis diperoleh pada konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM dengan waktu pembentukan hari ke-4, yang ditandai dengan panjang gelombang serapan maksimum 412 nm. Hasil PSA menunjukkan ukuran partikel rata-rata 112,8 nm, meskipun nilai tersebut masih di atas rentang nanometer ideal (1–100 nm). Karakterisasi SEM menunjukkan morfologi partikel cenderung bulat namun kurang fokus. Stabilitas terbaik justru ditunjukkan oleh konsentrasi AgNO₃ 0,5 mM, yang tidak mengalami pergeseran panjang gelombang signifikan selama 8 hari, berkat peran PVA sebagai agen penstabil. Uji antibakteri membuktikan bahwa nanopartikel perak lebih efektif menghambat bakteri Gram positif (*Bacillus subtilis*) dibandingkan Gram negatif (*E. coli*), karena struktur dinding sel Gram negatif yang lebih kompleks dengan lapisan lipopolisakarida membatasi penetrasi nanopartikel. Zona hambat paling jelas terlihat pada konsentrasi AgNO₃ 1,0 mM, menunjukkan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil dan stabilitas yang baik meningkatkan aktivitas antibakteri.

7. Daun Enceng Gondok sebagai Bioreduktor AgNP (Kasim *et al.*, 2020)

Senyawa bioaktif yang terkandung pada tumbuhan seperti senyawa antioksidan dan senyawa metabolit sekunder tertentu, seperti kelompok senyawa terpenoid dan flavonoid yang diduga berperan dalam proses reduksi ion logam. Berbagai jenis kelompok tanaman yang mengandung metabolit sekunder seperti yang telah di tuliskan diatas, salah satunya eceng gondok. Eceng gondok merupakan tumbuhan yang mengambang di permukaan air

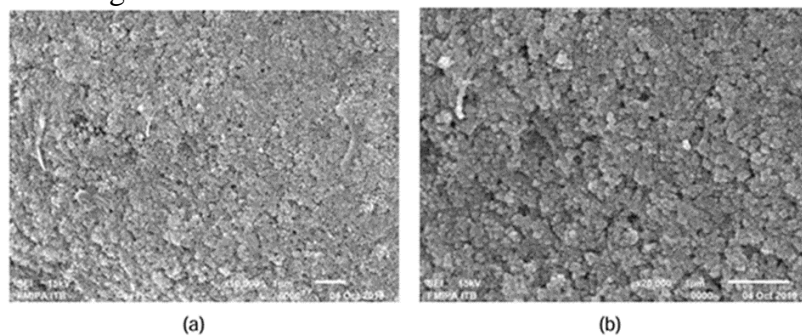
(gulma). Eceng gondok dapat menyebabkan gangguan antara lain adalah dapat menyebar di area yang luas dan menutupi permukaan air, dapat mengurangi cahaya yang masuk ke dalam badan air, yang mengakibatkan berkurangnya kandungan oksigen terlarut yang dalam air. Hasil uji fitokimia yang telah dilakukan ternyata ekstrak tanaman eceng gondok memiliki kandungan metabolit sekunder seperti senyawa alkaloid, komponen fenol, terpenoid dan senyawa flavonoid. Pemanfaatan ekstrak eceng gondok sebagai bioreduktor pada sintesis nanopartikel belum pernah dilakukan, sehingga sangat berpotensi sebagai bioreduktor terbaru dalam sintesis nanopartikel perak.

Larutan konsentrasi AgNO_3 dengan variasi 0,5 mM; 1,0 mM; 1,5 mM; dan 2,0 mM. Spektrum serapan UV-Vis dari nanopartikel perak sebagai fungsi konsentrasi larutan AgNO_3 dapat dilihat pada Gambar 1. Pengukuran absorbansi larutan dilakukan pada kisaran panjang gelombang 200-700 nm menunjukkan bahwa panjang gelombang dan absorbansi dari nanopartikel perak bertambah dengan bertambahnya waktu. Nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi larutan AgNO_3 , menunjukkan semakin kecil konsentrasi larutan AgNO_3 yang digunakan maka semakin kecil absorbansi yang terbentuk. Begitu sebaliknya semakin besar konsentrasi larutan AgNO_3 yang digunakan maka semakin besar absorbansi yang terbentuk. Dari keempat variasi konsentrasi larutan AgNO_3 yang memiliki panjang gelombang paling kecil dan absorbansi yang besar adalah konsentrasi 2 mM. Gambar 7.1. menunjukkan konsentrasi larutan AgNO_3 yang digunakan untuk sintesis nanopartikel perak.



Gambar 11 Optimasi konsentrasi larutan AgNO_3

Analisis SEM bertujuan untuk menunjukkan morfologi partikel. Pembesaran gambar nanopartikel perak dilakukan pada skala 10.000x, dan 20.000x. Hasil analisis disajikan pada Gambar 6a dan 6b. Morfologi nanopartikel menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki bentuk dan ukuran yang beragam. Masakke *et al.* (2015) dan Taba *et al.* (2019) menjelaskan bahwa ukuran yang beragam diakibatkan oleh efek agregasi nanopartikel dan memiliki partikel yang tidak seragam.



Gambar 12 Morfologi nanopartikel perak pada perbesaran (a) 10.000x dan (b) 20.000x

Penelitian ini memanfaatkan ekstrak air daun eceng gondok yang mengandung senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid dan terpenoid sebagai bioreduktor. Hasil

spektrofotometer UV-Vis menunjukkan serapan maksimum pada rentang 432–446 nm, yang merupakan ciri khas nanopartikel perak. Analisis PSA memberikan ukuran partikel rata-rata 93,2 nm, sementara ukuran kristal berdasarkan XRD adalah 50,11 nm, menunjukkan bahwa partikel yang terbentuk cenderung polikristalin. Morfologi SEM menunjukkan bentuk bulat tidak seragam dan bersifat amorf. Analisis FTIR mengonfirmasi bahwa gugus hidroksil (OH) dari senyawa fenolik dalam ekstrak berperan aktif dalam proses reduksi, dan munculnya serapan baru pada bilangan gelombang 364 cm^{-1} menandakan terbentuknya ikatan Ag-O. Secara keseluruhan, ekstrak daun eceng gondok terbukti efektif sebagai bioreduktor meskipun ukuran partikel yang dihasilkan masih beragam dan memerlukan optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan keseragaman.

8. Daun Kelor sebagai Bioreduktor AgNP (Nurfadia *et al.*, 2024)

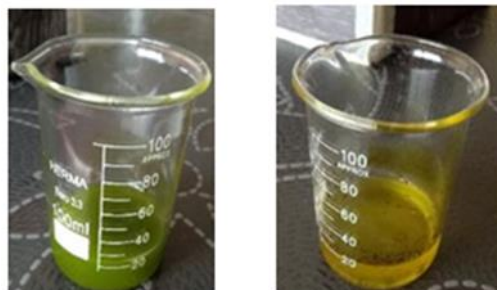
Daun kelor mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder di dalamnya, seperti flavonoid, alkaloid, tanin, saponin, dan terpenoid. Senyawa flavonoid pada daun kelor (*Moringa Oleifera*) dimanfaatkan sebagai reduktor untuk mensintesis NPAg dan berperan sebagai agen penstabil karena memiliki gugus fungsi hidroksil (OH) yang berinteraksi dengan partikel perak membentuk lapisan *electric double layer*.



Gambar 13 Ekstrak Kental Daun Kelor

Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 13, hasil ekstrak kental berwarna hijau kehitaman, memiliki tekstur kental, dan berbau aromatis. Penentuan parameter organoleptik ekstrak ini bertujuan memberikan pengenalan awal ekstrak secara objektif dan sederhana yang dilakukan dengan menggunakan panca indera.

Zat yang dapat berperan sebagai bioreduktor Ag^+ dalam ekstrak tumbuhan adalah senyawa metabolit sekunder golongan fenolik dan polifenol. Hal ini disebabkan senyawa tersebut memiliki potensial reduksi mampu mereduksi ion Ag^+ . Nanopartikel yang telah disintesis memiliki ukuran yang beragam, hal ini dipengaruhi oleh jumlah senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak bahan alam yang berperan sebagai agen penstabil (*capping agent*). Berdasarkan hasil green synthesis perak nitrat 1% menggunakan ekstrak etanol daun kelor 100 ppm (*Moringa oleifera*) menunjukkan hasil adanya perubahan warna larutan yang awalnya berwarna hijau kecoklatan menjadi kuning kecoklatan, hal tersebut dalam dilihat pada gambar 8.2.. Perubahan warna larutan terjadi setelah dilakukan pemanasan menggunakan hot plate, larutan berubah menjadi kuning dalam waktu 6,56 detik.



Gambar 14 Hasil Sintesis Nanopartikel Perak

Salah satu analisis untuk mengidentifikasi terbentuknya nanopartikel yaitu analisis spektrofotometri UV-Vis. Dasar spektrofotometri UV-Vis adalah serapan cahaya, radiasi

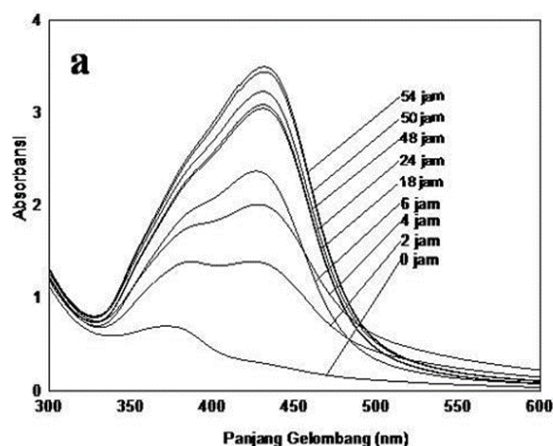
cahaya atau elektromagnet dapat dianggap menyerupai gelombang. Berdasarkan hasil analisis dengan Spektrofotometer UV-Vis, serapan panjang gelombang maksimum untuk nanopartikel berkisar antara 400-500 nm. Panjang gelombang maksimum nanopartikel perak berada pada 400 nm dengan nilai absorbansi 0,966. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Restina (2023), serapan gelombang 400 – 500 nm merupakan panjang gelombang yang spesifik untuk Ag⁰.

Ekstrak etanol daun kelor yang mengandung flavonoid berhasil digunakan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak. Proses sintesis berlangsung cepat, ditandai dengan perubahan warna dari hijau kecoklatan menjadi kuning kecoklatan dalam waktu 6,56 detik setelah pemanasan. Hasil spektrofotometri UV-Vis menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 400 nm dengan nilai absorbansi 0,966, yang mengonfirmasi terbentuknya Ag⁰. Flavonoid dalam daun kelor tidak hanya berperan sebagai reduktor tetapi juga sebagai *capping agent* yang mencegah aglomerasi melalui interaksi elektrostatis. Uji antibakteri terhadap *E. coli* menghasilkan zona hambat sebesar 1,44 cm dan 1,25 cm, yang termasuk dalam kategori daya hambat sedang. Dengan demikian, daun kelor merupakan sumber bioreduktor yang potensial dan efisien untuk sintesis nanopartikel perak yang memiliki aktivitas antibakteri.

9. Daun Ketapang sebagai Bioreduktor AgNP (Rusnaenah *et al.*, 2017)

Ketapang merupakan salah satu tumbuhan yang berpotensi digunakan sebagai bioreduktor dalam mensintesis AgNPs. Tumbuhan ketapang merupakan sumber daya alam terbarukan. Ketapang termasuk jenis tumbuhan tepi pantai yang tumbuh alami pada pantai berpasir atau berbatu, mampu bertahan pada daerah tropis, dapat tumbuh di tanah yang kurang nutrisi, dan tersebar hampir diseluruh wilayah Indonesia sehingga mudah untuk dibudidayakan. Lembang (2013) melaporkan bahwa senyawa fenolik dalam ekstrak daun ketapang dapat mereduksi Ag⁺ menjadi Ag⁰.

Ekstrak sampel (0,25 g/mL) sebanyak 0,2 mL ditambahkan ke dalam 50 mL larutan AgNO₃ 1 mM pada suhu 30°C. Koloid AgNPs disentrifuse pada kecepatan 10.000 rpm selama 30 menit. Analisis UV-Vis terhadap koloid AgNPs dilakukan pada suhu ruang menggunakan spektrofotometer UV-2600 (Shimadzu) pada resolusi 0.5 nm. Pertumbuhan Nanopartikel perak (AgNPs) diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis berdasarkan pita serapan *Surface Plasmon Resonance* (SPR). Pita SPR merupakan kumpulan osilasi terhadap elektron konduksi. Spektroskopi UV-Vis dapat digunakan untuk mengamati pertumbuhan nanopartikel perak. Pada Gambar 9.1., menunjukkan perubahan pola intensitas serapan SPR selama waktu reaksi. Puncak SPR yang khas sekitar 430 nm sesuai untuk karakter SPR AgNP. Nilai SPR ini relatif seperti yang dilaporkan Rajakannu, dkk. (2015) yang menunjukkan nilai serapan SPR AgNP pada 430 nm. Adanya kumpulan osilasi elektron pada permukaan logam menyebabkan eksitasi getaran Plasmon permukaan nanopartikel perak sehingga pita serapan SPR akan muncul pada daerah sekitar 430 nm yang berhubungan dengan frekuensi getaran Plasmon.



Gambar 15 hasil reduksi $[AgNO_3]$ 1 mM dengan ekstrak daun ketapang 0,25 g/mL.

Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun ketapang menghasilkan pita *surface plasmon resonance* (SPR) pada sekitar 430 nm, dengan perubahan warna larutan dari kuning menjadi coklat gelap seiring waktu inkubasi. Analisis XRD mengonfirmasi bahwa nanopartikel perak memiliki struktur kristal kubik dengan ukuran kristal sekitar 43,33 nm berdasarkan perhitungan Debye-Scherrer. Modifikasi dengan asam p-kumarat (APK) menyebabkan penurunan intensitas serapan SPR, yang mengindikasikan adanya interaksi antara gugus fungsi APK (karbonil, hidroksil, dan α -hidroksi fenol) dengan permukaan nanopartikel. Dalam aplikasi deteksi melamin, APK-AgNP menunjukkan respons yang baik terhadap berbagai konsentrasi melamin (0,1–1000 ppm), yang ditandai dengan penurunan serapan SPR dan perubahan warna. Hal ini disebabkan oleh agregasi nanopartikel akibat interaksi antara APK dan melamin. Dengan demikian, sistem ini menawarkan metode deteksi melamin yang sederhana, cepat, dan sensitif.

KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel perak (AgNP) menggunakan ekstrak tanaman sebagai bioreduktor merupakan metode *green synthesis* yang ramah lingkungan dan efektif. Senyawa metabolit sekunder berperan dalam mereduksi dan menstabilkan nanopartikel, dengan ciri terbentuknya puncak SPR pada 400–450 nm. Karakteristik AgNP dipengaruhi oleh jenis tanaman dan kondisi sintesis, di mana metode seperti sonikasi menghasilkan partikel yang lebih homogen dibandingkan maserasi. Secara umum, AgNP memiliki potensi besar sebagai antibakteri, namun masih diperlukan optimasi untuk meningkatkan stabilitas dan keseragaman ukurannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrinar Pramitasari. 2022. Kohesi Gramatikal dan Leksikal pada Lirik Lagu “Kita” Group Band Sheila on 7. *Jurnal Pendidikan Bahasa dan Sastra Indonesia*.
- Apriliyanti, P. I., Zakir, M., & Soekanto, N. H. (2019). Synthesis of silver nanoparticles using bioreductor of ketapang leaf extract (*Terminalia catappa*) and its potential as sunscreen. *Jurnal Akta Kimia Indonesia*, 10(1), 1–19. <https://doi.org/10.70561/ica.v10i1.6395>
- Arifin, N., Harjono, & Wijayati, N. (2016). Sintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor daun jambu biji (*Psidium guajava* L.) dengan iradiasi microwave. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(3), 195–201.
- Az-Zahra, F., Naspiah, N., Febrina, L., & Rusli, R. (2020). Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak metanol daun nipah (*Nypa fruticans*) sebagai agen antibakteri. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 2(3), 166–170. <https://doi.org/10.25026/jsk.v2i3.131>
- Bahriul, P., Rahman, N., & Diah, A. W. M. (2014). Uji aktivitas antioksidan ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) dengan menggunakan DPPH. *Jurnal Akademika Kimia*, 3(3), 143–149.
- Dawes, G. J. S., Scott, E. L., Le Nôtre, J., Sanders, J. P., & Bitter, J. H. (2015). Deoxygenation of

- biobased molecules by decarboxylation and decarbonylation: A review. *Green Chemistry*, 17(6), 3231–3250. <https://doi.org/10.1039/C5GC00023H>
- Dawood, C. H., Najm, M., & Al-Salman, H. N. K. (2019). Antimicrobial activity of 2-piperidinone compound extracted from pomegranate peels. *Asian Journal of Pharmaceutics*, 13(1), 46–53.
- Djayasudarman, W. 1994. *Wacana dan Pragmatik*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Eker, F., Akdaşçi, E., Duman, H., Bechelany, M., & Karav, S. (2025). Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(13), 6222. <https://doi.org/10.3390/ijms26136222>
- Fitriana, W. D. (2017). Analisis komponen kimia minyak atsiri pada ekstrak metanol daun kelor. *Jurnal Pharmascience*, 4(1).
- Goziyah, Putri Nurmala Sari. 2021. Analisis Kohesi Gramatikal dan Leksikal dalam Lagu “Jaga Slalu Hatimu” Karya Grup Band Seventeen. Skripsi. Universitas Negeri Jakarta.
- Hadi, M. N. (2025). Biosintesis nanopartikel dari limbah minyak jelantah untuk aplikasi lingkungan dan kesehatan. *Illea: Journal of Health Sciences*, 1(1), 25–31.
- Halliday, M.A.K., & Hasan, R. 1976. *Cohesion in English*. London: Longman Group Limited.
- Handoko, V., Yusradinan, A., Nursyahid, A., Wandira, A., & Wulandari, A. P. (2022). Green synthesis nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak daun rami (*Boehmeria nivea*) melalui iradiasi microwave. *Chimica et Natura Acta*, 10(1), 15–21.
- Huq, M. A., Ashrafudoulla, M., Rahman, M. M., Balusamy, S. R., & Akter, S. (2022). Green synthesis and antibacterial applications of silver nanoparticles: A review. *Polymers*, 14(4), 742. <https://doi.org/10.3390/polym14040742>
- John, K. M. M., Ayyanar, M., Arumugam, T., Enkhtaivan, G., Jin, K., & Kim, D. H. (2015). Phytochemical screening and antioxidant activity of *Strychnos minor* leaves. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(3), 204–209.
- Kasim, S., Taba, P., Ruslan, & Anto, R. (2020). Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai bioreduktor. *Kovalen*, 6(2), 126–133. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i2.15137>
- Kristiani, E., Nugroho, L., Moeljopawiro, S., & Widyarini, S. (2016). Characterization of volatile compounds of *Albertia papuana*. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 15(5), 959–964.
- Lembang, E. Y., Maming, & Zakir, M. (2013). Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun ketapang. Repository Universitas Makassar.
- Loo, Y. Y., Chieng, B. W., Nishibuchi, M., & Radu, S. (2012). Synthesis of silver nanoparticles using tea leaf extract. *International Journal of Nanomedicine*, 4263–4267.
- Manalu, R., Indrianti, E., & Muhtar, D. (2024). Pembuatan nanopartikel perak menggunakan ampas jeruk nipis. *Jurnal Teknologika*, 14(2), 560–570.
- Masakke, Y., Rasyid, M., & Sulfikar. (2015). Biosintesis nanopartikel perak menggunakan daun manggis. *Jurnal Sainsmat*, 4(1), 28–41.
- Moleong, Lexy J. 1994. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Nurfadia, V. H., Anjas, A. W., & Royani, S. (2024). Green synthesis nanopartikel perak menggunakan daun kelor. *The Journal of Pharmacy*, 1(2), 146–156.
- Octavianus, E. 2006. *Wacana dan Analisis Wacana*. Jakarta: Grasindo.
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., & Wardani, S. (2018). Sintesis nanopartikel perak menggunakan daun belimbing wuluh. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 160–166.
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A. T., & Widiarti, N. (2020). Sintesis nanopartikel perak dengan ekstrak daun kemangi. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), 37–43.
- Qurrataayun, S., Rifai, Y., & Rante, H. (2022). Sintesis hijau nanopartikel perak menggunakan daun serai. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*, 26(3), 124–128.
- Rajakannu, S., Shankar, S., Perumal, S., Subramanian, S., & Dhakshinamoorthy, G. P. (2015). Biosynthesis of silver nanoparticles using mangosteen extract. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(1), 944–952.
- Rani, R., Arifin, Z., & Martutik. 2006. *Prinsip-prinsip Analisis Wacana*. Surabaya: Unesa University Press.
- Rusnaenah, A., Wulansari, I., Kurniasari, N. A., Nurjannah, N., Ifa, L., & Arief, T. (2024). Green synthesis silver nanoparticles using *Pithecellobium jiringa* extract. *Engineering Journal*, 28(5),

1–13.

- Rusnaenah, A., Zakir, M., & Budi, P. (2017). Biosintesis nanopartikel perak menggunakan daun ketapang. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 4(2), 367–372.
- Saware, K., Sawle, B., Salimath, B., Jayanthi, K., & Abbaraju, V. (2014). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Ficus benghalensis*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(15), 868–874.
- Subroto, E. 1992. *Pengantar Metode Penelitian Linguistik Struktural*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Sudaryat, Y. 2009. *Bahasa dalam Wacana: Teori dan Aplikasi*. Bandung: Yrama Widya.
- Sumarlam. 2005. *Teori dan Praktik Analisis Wacana*. Surakarta: Pustaka Cakra.
- Sumarlam. 2008. *Wacana dan Pragmatik*. Surakarta: Pustaka Cakra.
- Taba, P., Parmitha, N. Y., & Kasim, S. (2019). Synthesis of silver nanoparticles using *Syzygium polyanthum*. *Journal of Chemical Research*, 7(1), 51–60.
- Tarigan, H.G. 1987. *Pengajaran Wacana*. Bandung: Angkasa.
- Vanlalveni, C., Lallianrawna, S., Biswas, A., Selvaraj, M., Changmai, B., & Rokhum, S. L. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts. *RSC Advances*, 11(5), 2804–2837.
- Winata, T., Arifin, P., Darma, Y., & Noor, F. A. (2025). *Nanomaterial: Sintesis, karakteristik, dan aplikasinya*. Deepublish.
- Yahia, Y., Bagues, M., Zaghoud, C., Al-Amri, S. M., Nagaz, K., & Guerfel, M. (2019). Phenolic profile and antimicrobial activity of *Calligonum arich*. *South African Journal of Botany*, 124, 414–419.
- Zaimar, M., & Harahap, S. 2011. *Linguistik Umum*. Medan: Perdana Publishi Agasti, N., & Kaushik, N. K. (2014). Myristic acid capped silver nanoparticles: Aqueous phase synthesis and pH-induced optical properties. *Journal of the Chinese Advanced Materials Society*, 2(1), 31–39. <https://doi.org/10.1080/22243682.2014.893411>