

BIOSINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK TANGKAI DAUN MBOTE (*Colocasia esculenta* L) SERTA UJI AKTIVITAS KATALITIKNYA TERHADAP REAKSI REDUKSI ZAT WARNA SINTETIK

K. Mursyidah* dan A. Wahid

Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan, Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia

*Email: khoirotul@yudharta.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan ekstrak tangkai daun Mbote (*Colocasia esculenta* L.) untuk mensintesis nanopartikel perak (AgNp) dan mengetahui pengaruh konsentrasi larutan AgNO₃, volume ekstrak, pH, dan waktu penyimpanan terhadap stabilitas AgNp yang terbentuk pada suhu kamar. Variasi konsentrasi AgNO₃ 1,0 hingga 8,0 mM dan volume ekstrak 0,25 hingga 2,00 mL digunakan untuk sintesis. Pengaruh pH pada stabilitas AgNp pada suhu kamar dipelajari dengan variasi pH 1-11 dan lama penyimpanan 1 jam hingga 1 bulan. Karakterisasi AgNps dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, FTIR, dan TEM. Uji aktivitas katalitik dilakukan dengan mereaksikan 10,00 mL Methylene Blue (MB), Methyl orange (MJ), dan Rhodamine B (RB) dengan 1,00 mL NaBH₄ (2000 mg/L) dan 1.00 mL AgNp. AgNp yang terbentuk memiliki diameter rata-rata $9,845 \pm 3,142$ nm berdasarkan gambar TEM. Konsentrasi AgNO₃ optimum adalah 5,0 mM, dan volume ekstrak adalah 1,00 mL. Kondisi pH yang berbeda menghasilkan warna dan konsentrasi AgNp yang berbeda. Intensitas penyerapan AgNp meningkat seiring dengan meningkatnya waktu penyimpanan, dan AgNps mengendap pada 72 jam. Penggunaan AgNps untuk mereduksi MB, MJ, dan RB dapat mempersingkat waktu reaksi secara signifikan. Kinetika reaksi reduksi MB, MJ, dan RB menggunakan AgNps mengikuti model kinetika orde pertama semu dengan konstanta reaksi (k_{obs}) masing-masing sebesar 0,0107, 0,0234, dan 0,0295 s⁻¹.

Kata kunci: Nanopartikel perak, *Colocasia esculenta* L, Metilen Biru, Metil Jingga, Rhodamine B

ABSTRACT

This study used Mbote leaf stalk extract (*Colocasia esculenta* L.) to synthesize silver nanoparticles (AgNps) and to know the effect of the AgNO₃ solution concentration, extract volume, pH, and the storage time on the AgNp stability formed at room temperature. The AgNO₃ concentration variations of 1.0 to 8.0 mM and extract volumes of 0.25 to 2.00 mL were used for the synthesis. The effect of pH on the AgNp stability at room temperature was studied using pH variations of 1-11 and storage time of 1 hour to 1 month. The AgNps formed were characterized using UV-Vis Spectrophotometer, FTIR, and TEM. A catalytic activity test was carried out by reacting 10.00 mL of Methylene Blue (MB), Methyl orange (MJ), and Rhodamine B (RB) with 1.00 mL of NaBH₄ (2000 mg/L) and 1.00 mL of AgNp. The AgNp formed had an average diameter of 9.845 ± 3.142 nm. The optimum AgNO₃ concentration was 5.0 mM, and the extract volume was 1.00 mL. Different pH conditions produced different colors and concentrations of AgNps. The intensity of the AgNp absorption increased with longer storage time, and the AgNps precipitated at 72 hours. Using AgNps to reduce the MB, MJ, and RB could significantly shorten the reaction time. The reaction kinetics of the reduction of MB, MJ, and RB using AgNps followed a pseudo-first-order model with reaction constants (k_{obs}) of 0.0107, 0.0234, and 0.0295 s⁻¹ respectively.

Keywords: Nanoparticle, *Colocasia esculenta* L, Methylene Blue, Methyl Orange, Rhodamine B

PENDAHULUAN

Nanoteknologi merupakan teknik untuk mendesain dan menyusun material pada skala nano yang memungkinkan untuk dilakukan rekayasa sehingga menghasilkan material baru dengan karakter khusus seperti yang diinginkan. Nanopartikel telah banyak dikaji untuk berbagai aplikasi teknologi dan banyak penelitian dalam berbagai bidang seperti

kesehatan ortopedi (Garimella & Eltorai, 2017), farmasi (Ming *et al.*, 2017), kimia (Bozkurt, 2017), biologi dan lingkungan (Alomar *et al.*, 2020).

Pengembangan penelitian tentang proses sintesis nanopartikel merupakan aspek yang penting dalam nanoteknologi. Metode sintesis nanopartikel secara fisika relatif mahal karena membutuhkan peralatan

canggih. Metode kimia seperti metode sol-gel dan reduksi yang menggunakan bahan kimia sintetis berdampak pada lingkungan baik dari segi proses maupun limbah yang dihasilkan (Nagarjuna *et al.*, 2017). Metode biologi menggunakan mikroorganisme dan enzim merupakan metode yang cukup ramah lingkungan namun relatif sulit karena ketersediaan bahan yang sedikit (Benelli, 2016).

Tumbuhan atau ekstrak tumbuhan yang berperan sebagai agen pereduksi dan *capping agent* dalam sintesis nanopartikel perak merupakan metode alternatif dalam proses sintesis nanopartikel perak secara biologi karena dapat memangkas proses-proses sintesis yang rumit dalam sintesis nanopartikel perak. Bagian tumbuhan seperti daun, batang, buah, kulit buah, dan akar banyak digunakan dalam sintesis nanopartikel perak sehingga menghasilkan nanopartikel perak dalam berbagai bentuk dan ukuran tertentu (Kumar *et al.*, 2021).

Mbote atau talas merupakan tanaman yang dikonsumsi umbinya. Tangkai daun mbote kaya akan polimer seperti lignin, asam galat, *catechin*, *epicatechin*, tanin, antosianin (Mitharwal *et al.*, 2022), selulosa, hemiselulosa, dan pektin yang dapat digunakan sebagai media sintesis nanopartikel perak sehingga sintesis nanopartikel perak dalam penelitian ini merupakan metode alternatif paling mudah, murah, serta paling ramah lingkungan karena dapat mereduksi sampah biologi tangkai daun mbote di lingkungan (Inamuddin & Kanchi, 2020).

Metilen biru (MB), Metil Jingga (MJ), dan Rhodamin B (RB) adalah senyawa kationik yang larut air dan merupakan pewarna yang paling banyak digunakan untuk memproses berbagai jenis bahan tekstil. Zat warna tersebut mengalami reduksi secara perlahan dengan adanya NaBH_4 , toksik bagi lingkungan, dan sering digunakan sebagai pewarna model untuk kajian degradasi zat warna (Oladoye *et al.*, 2022). Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak tangkai daun mbote yang merupakan massa terbesar dari bagian tanaman talas yang tidak terpakai serta dilakukan uji aktivitas katalitiknya terhadap reduksi zat warna MB, MJ, dan RB oleh NaBH_4 .

MATERI DAN METODE

Bahan

AgNO_3 , aseton, Metilen biru, Metil jingga, Rhodamin B (pro analisa), Natrium hidroksida (NaOH), asam nitrat (HNO_3 65%), $\text{NaBH}_4 \geq 98\%$ produksi Aldrich, tangkai daun mbote (*Colocasia esculenta* L), dan akuades.

Alat

Peralatan gelas laboratorium, pH meter (mettler toledo), neraca analitik (Kern ABT 220-4M), oven (Mettler), pengaduk magnet, stopwatch, spektrofotometer infra merah (FTIR Thermo Nicolet iS10), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1700 (E)), Transmission Electron Microscope (TEM) (JEOL JEM-1400).

Cara Kerja

Pembuatan Ekstrak Tangkai daun mbote

Sebanyak 100 g tangkai daun mbote yang telah diperoleh dicuci dan direbus dengan akuades selama 30 menit dalam air mendidih. Tangkai daun mbote digerus dengan 100 mL akuades. Ekstrak yang terbentuk disaring dengan kain katun tipis untuk memisahkan makromolekul dan fasa yang tidak larut air. Filtrat yang diperoleh ditambah dengan aseton yang telah didinginkan dengan volume yang sama sehingga dihasilkan endapan. Endapan tersebut disentrifugasi dengan kecepatan 1000 rpm selama 5 menit. Endapan dilarutkan kembali ke dalam 500 mL akuades dan disimpan dalam lemari es pada suhu 4 °C untuk digunakan dalam tahapan selanjutnya.

Sintesis Nanopartikel Perak

Sebanyak 1,0 mL ekstrak tangkai daun mbote diteteskan sedikit demi sedikit dengan 10 mL larutan AgNO_3 1 mM diinkubasi dalam suhu ruang selama 1 jam sehingga terjadi perubahan warna menjadi kuning-coklat kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Pada penelitian ini dilakukan optimasi dengan bervariasi konsentrasi AgNO_3 , volume ekstrak tangkai daun mbote, pH, dan uji stabilitas nanopartikel perak. Konsentrasi AgNO_3 divariasi pada konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 mM. Volume ekstrak tangkai daun mbote divariasi 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0 mL. pH larutan divariasi dari 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,

dan 11. Stabilitas nanopartikel perak dipelajari dengan mengukur absorbansi koloid nanopartikel dari waktu 1 jam hingga 24 jam.

Karakterisasi

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengamati pembentukan nanopartikel perak serta perubahan intensitas zat warna. Pembentukan nanopartikel ditandai dengan terbentuknya absorbansi pada panjang gelombang sekitar 420 nm. Sedangkan perubahan zat warna diamati pada penurunan absorbansi pada panjang gelombang maksimum. Karakterisasi menggunakan FTIR berfungsi untuk mengetahui gugus fungsi yang terlibat dalam pembentukan nanopartikel perak. Ekstrak tangkai daun mbote dan nanopartikel perak dianalisis menggunakan FTIR. Gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak tangkai daun mbote merupakan gugus fungsi yang terlibat dalam proses reduksi dan stabilisasi nanopartikel perak. TEM untuk menentukan bentuk, ukuran, dan distribusi partikel. Citra TEM yang diperoleh kemudian diolah untuk mengetahui diameter rata-rata nanopartikel perak yang terbentuk.

Uji Aktivitas Katalitik

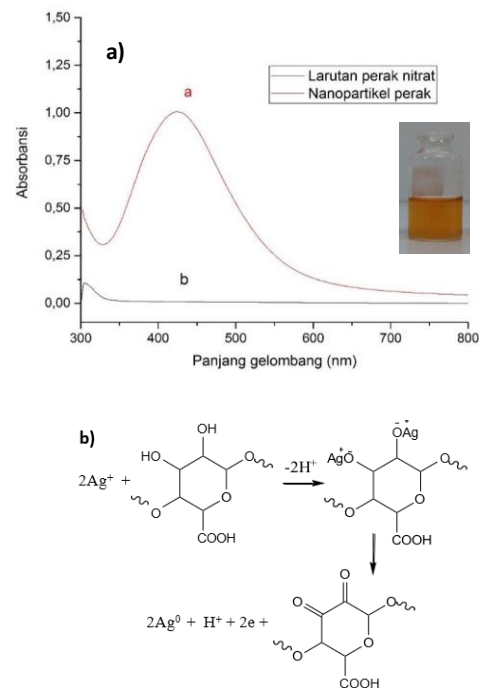
Uji aktivitas katalitik nanopartikel perak dilakukan pada proses reduksi zat warna MB, MJ, dan RB menggunakan NaBH_4 sebagai reduktor. Sebanyak 0,0; dan 1,0 mL nanopartikel perak (AgNp) masing-masing dan 1,0 mL NaBH_4 (200 ppm atau $5,1 \times 10^{-3}$ M) direaksikan dengan 10 mL larutan MB, MJ, dan RB (10 ppm). Panjang gelombang MB, MJ, dan RB berturut-turut diamati pada 663, 465, dan 554 nm selama waktu tertentu. Konstanta laju reaksi reduksi (k) MB, MJ, dan RB dihitung dengan metode penetapan laju reaksi orde satu semu dengan membuat plot antara $\ln(C_t/C_0)$ dan waktu (t) sehingga diketahui slope/kemiringan yang merupakan konstanta laju reaksi (k).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak (AgNp) menggunakan 1,0 mL ekstrak tangkai daun mbote dan 10 mL AgNO_3 (1,00 mM) menghasilkan koloid AgNp berwarna kuning dengan absorbansi pada panjang gelombang

425 nm dan intensitas absorbansi sebesar 1,003. Warna kuning kecoklatan disebabkan oleh *surface plasmon resonance* (SPR) nanopartikel yang dapat teramati secara spesifik menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang sekitar 400 nm (Gambar 1.a). Gambaran sederhana reduksi kimia oleh senyawa ekstrak tangkai daun mbote ditunjukkan oleh Gambar. Ag^+ tereduksi menjadi Ag^0 oleh gugus $-\text{OH}$ sehingga menjadi senyawa kinon (Edison & Sethuraman, 2012) (Gambar 1.b).

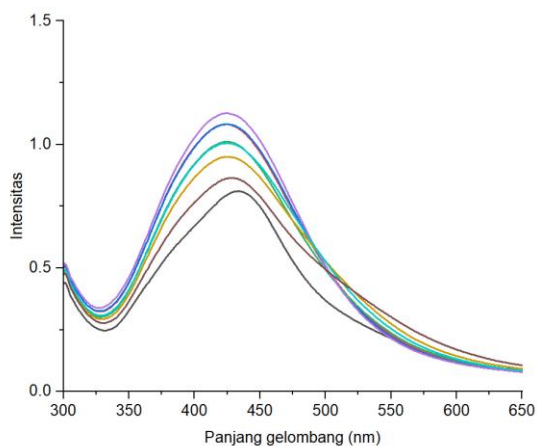


Gambar 1. a) Spektra Uv-Vis nanopartikel perak dan b) mekanisme reduksi nanopartikel perak (Bere *et al.*, 2020; Sagitha *et al.*, 2016)

Pengaruh Konsentrasi AgNO_3

Variasi konsentrasi perak nitrat yang digunakan memberikan pergeseran panjang gelombang maksimum dan perubahan nilai absorbansi. Dari data spektra UV-Vis diketahui terjadi pergeseran ke panjang gelombang yang lebih kecil yaitu dari 436 nm pada konsentrasi larutan perak nitrat 1 mM menjadi 425 nm pada konsentrasi perak nitrat 4 mM. Pergeseran ke panjang gelombang yang lebih kecil (*blue shift*) terjadi akibat berkurangnya ukuran partikel (Velgosová *et al.*, 2016). Secara kualitatif dapat diasumsikan bahwa semakin tinggi λ_{max} maka jumlah nanopartikel yang terbentuk semakin banyak. Nilai absorbansi meningkat dengan

meningkatnya konsentrasi larutan perak nitrat. Nilai absorbansi meningkat secara signifikan dari konsentrasi larutan perak nitrat 1 mM hingga 10 mM yaitu dari 0,742 sampai 1,111. Nilai absorbansi menurun pada konsentrasi larutan perak nitrat 9 mM dan 10 mM yaitu menjadi 1,094 dan 1,098.



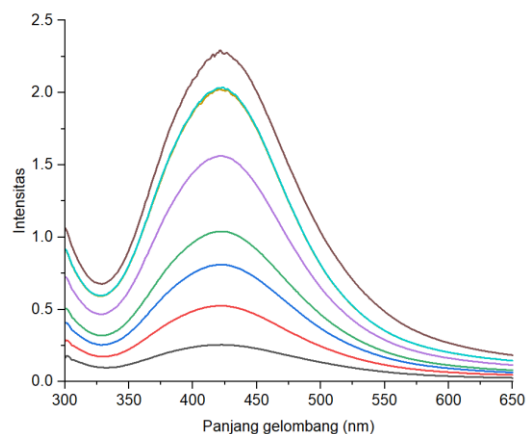
Gambar 2. Spektra UV-Vis AgNp dengan konsentrasi AgNO₃ 1 hingga 8 mM (dari bawah ke atas)

Puncak serapan nanopartikel perak bergeser menuju panjang gelombang yang lebih kecil seiring dengan peningkatan konsentrasi perak nitrat. Hal ini menunjukkan terjadi perubahan ukuran nanopartikel perak menjadi lebih kecil dengan bertambahnya konsentrasi perak nitrat. Pergeseran ke arah panjang gelombang kecil optimum pada konsentrasi perak nitrat 8 mM (Gambar 2).

Pengaruh Volume Ekstrak Tangkai daun mbote

Nilai absorbansi meningkat secara signifikan dengan meningkatnya volume ekstrak tangkai daun mbote yang ditambahkan. Semakin banyak ekstrak yang ditambahkan, semakin banyak jumlah gugus pereduksi yang tersedia sehingga nanopartikel perak yang terbentuk semakin banyak. Kenaikan volume ekstrak tangkai daun mbote dalam sintesis nanopartikel perak juga menyebabkan pergeseran absorbansi resonansi plasmon permukaan yang tidak teratur dan tidak signifikan (Gambar 3). Pada penambahan volume sebanyak 2,00 mL sampai 3,00 mL terbentuk absorbansi dengan puncak lebih dari satu pada panjang gelombang 400-450 nm. Terbentuknya absorbansi lebih dari satu mengindikasikan

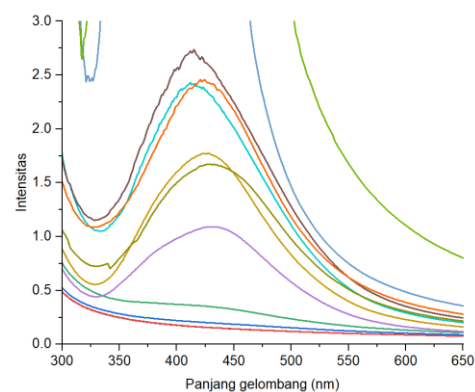
bahwa telah terbentuk anisotropi nanopartikel perak (Eustis dan El-Sayed 2006). Pada penambahan volume sebanyak 2,00 mL sampai 3,00 mL juga terbentuk warna kuning kecokelatan dan mulai terbentuk endapan cokelat pada dasar tabung reaksi.



Gambar 3. Pengaruh volume ekstrak terhadap Spektra UV-Vis 0,25 mL-3,00 mL (dari bawah ke atas)

Pengaruh pH

Nanopartikel perak dapat terbentuk pada pH 4 sampai 10 yang ditandai dengan perubahan warna menjadi kuning hingga coklat. Larutan pada pH 1 sampai 3 tidak mengalami perubahan warna menjadi kuning sedangkan larutan pada pH 4 sampai 11 menunjukkan perubahan warna dari bening menjadi kuning dan coklat (Gambar 2.e). Pada pH 10 diperoleh warna coklat dan sedikit endapan coklat, sedangkan Pada pH 11 diperoleh warna coklat-hitam dan endapan hitam pada dasar gelas. Kecepatan perubahan warna larutan menjadi kuning pada pH asam (4-5) lebih lambat dari pada pH basa (pH 8-11).

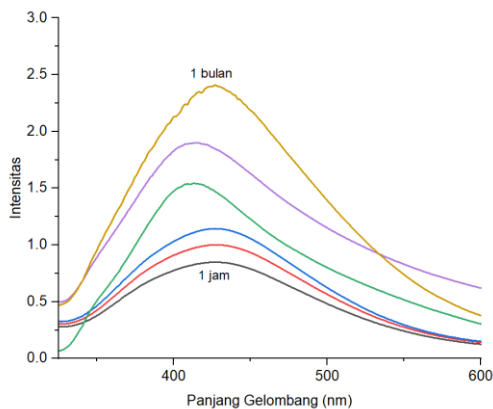


Gambar 4. Pengaruh pH pada intensitas absorbansi nanopartikel perak (pH 3-11)

Gambar 4 menunjukkan pengaruh pH terhadap intensitas absorbansi nanopartikel perak. Absorbansi nanopartikel perak meningkat dari 0,464 menjadi 2,737 pada pH 4 sampai 10 (Gambar 4). Peningkatan intensitas absorbansi mengindikasikan bahwa jumlah nanopartikel yang terbentuk semakin banyak (Velgosová *et al.*, 2016).

Stabilitas nanopartikel perak

Pada tahap ini 10 mL larutan AgNO_3 (5 mM) direaksikan dengan 1,0 mL ekstrak tangkai daun mbote dan diukur absorbansinya pada rentang waktu 1, 2, 3, 24, 72 jam hingga 1 bulan (Gambar 2.d). Absorbansi AgNp meningkat berturut-turut sebesar pada waktu 1, 2, 3, 24, 72 jam, dan 1 bulan.



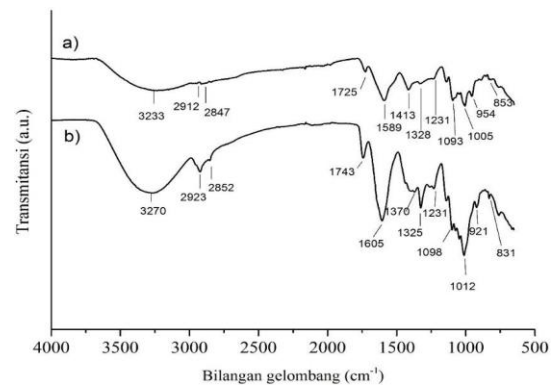
Gambar 5. Stabilitas AgNp dari 1 jam hingga 1 bulan (dari bawah ke atas)

Peningkatan nilai absorbansi secara umum dikarenakan peningkatan jumlah nanopartikel perak. Ion perak terus tereduksi oleh ekstrak tangkai daun mbote selama waktu penyimpanan serta terjadi penggabungan kluster-kluster AgNp yang dapat diamati dengan adanya pelebaran spektra pada 72 jam dan 1 bulan penyimpanan. Pelebaran spektra juga mengindikasikan bahwa terbentuk struktur yang lebih besar yang diakibatkan oleh berubahnya struktur senyawa organik yang berperan sebagai penstabil. Kerusakan struktur senyawa penstabil dalam ekstrak tangkai daun mbote diakibatkan oleh oksigen terlarut yang bereaksi dengan penstabil sehingga senyawa penstabil tidak mampu lagi mempertahankan bentuk dan ukuran AgNp. Pembesaran ukuran nanopartikel atau aglomerasi terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar logam perak (interaksi metalik)

sehingga membentuk partikel yang lebih besar (Kummara *et al.*, 2016).

Karakterisasi FTIR

Spektra FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam ekstrak tangkai daun mbote yang dimungkinkan terlibat dalam sintesis dan stabilisasi pembentukan nanopartikel perak. Spektra pada bilangan gelombang 3270 cm^{-1} , 2923 cm^{-1} , 1743 cm^{-1} , 1605 cm^{-1} , 1325 cm^{-1} , 1231 cm^{-1} , 1012 cm^{-1} , dan 921 cm^{-1} berturut-turut merupakan spektra gugus OH, CH metil ester atau metil, C=O karbonil, gugus karboksil ionik, C-H aromatik atau alifatik, C-O-C asimetris, COCOC dari asetal dan gugus glikoksida (Gambar 6) (Keshav *et al.*, 2019).



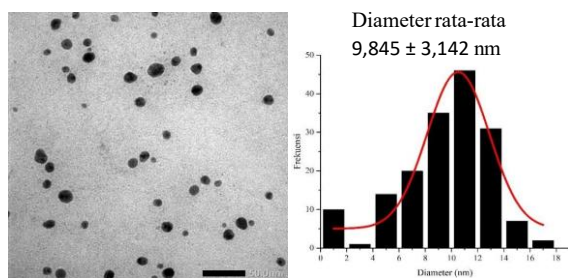
Gambar 6. Spektra FTIR ekstrak (b) dan AgNp (a)

Setelah bereaksi dengan AgNO_3 dan terbentuk AgNp terjadi pergeseran bilangan gelombang yaitu pada bilangan gelombang 3270 cm^{-1} bergeser ke 3233 cm^{-1} , 2923 cm^{-1} bergeser ke 2912 cm^{-1} , 1743 cm^{-1} bergeser ke 1725 cm^{-1} , 1605 cm^{-1} bergeser ke 1589 cm^{-1} , 1325 cm^{-1} bergeser ke 1328 cm^{-1} , 1012 cm^{-1} bergeser ke 1005 cm^{-1} , dan 921 cm^{-1} bergeser ke 954 cm^{-1} . Hal ini mengindikasikan bahwa gugus karboksil dan hidroksil pada ekstrak tangkai daun mbote berpartisipasi dalam proses sintesis nanopartikel perak (Inamuddin & Kanchi, 2020).

Karakterisasi TEM

Hasil analisis nanopartikel perak dengan TEM (JEOL JEM-1400) menggunakan *accelerating voltage* sebesar 120 kV. Sampel dilapiskan pada permukaan *copper grid* kemudian dilakukan pengambilan gambar dengan instrumen

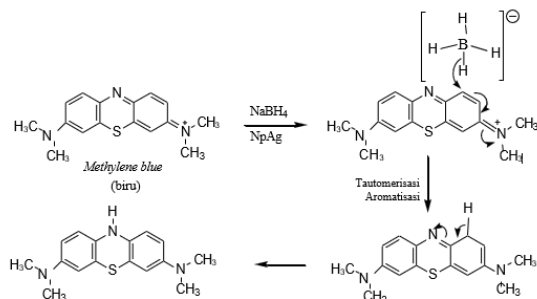
TEM. Reaksi 10 mL larutan perak nitrat pada konsentrasi 5 mM dengan 1,0 mL ekstrak tangkai daun mbote menghasilkan nanopartikel perak dengan ukuran $9,845 \pm 3,142$ nm (Gambar 7). Nanopartikel yang diperoleh berbentuk bulat dan tidak terbentuk agregat. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak tangkai daun mbote yang berperan sebagai reduktor juga mampu berperan sebagai penstabil yang mencegah agregasi pada nanopartikel perak.



Gambar 7. Citra TEM nanopartikel perak dan diameter rata-rata

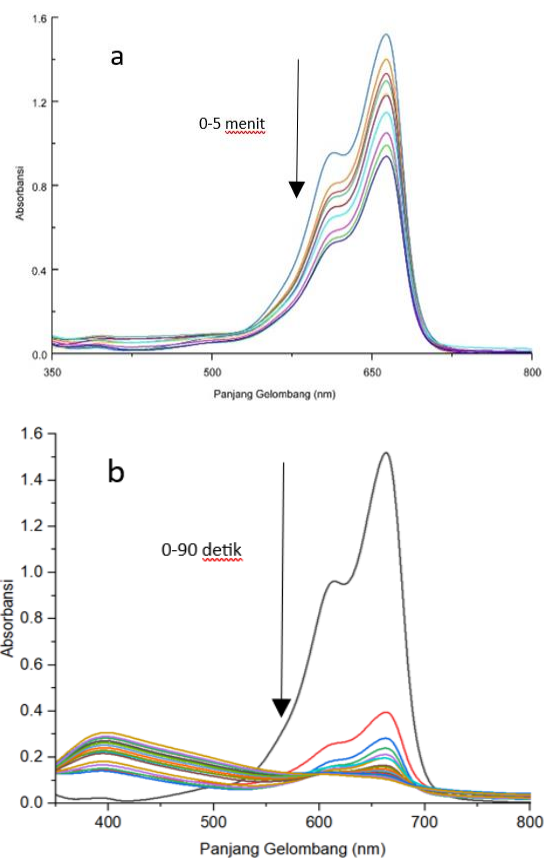
Uji Aktivitas Katalitik

Uji aktivitas katalitik AgNp dilakukan dengan mereduksi larutan MB, MJ, dan RB dengan NaBH_4 dengan penambahan katalis sebanyak 1,0 mL. Hasil reaksi tersebut dibandingkan dengan reaksi reduksi MB, MJ, dan RB oleh NaBH_4 tanpa penambahan AgNp. Reduksi zat warna MB, MJ, dan RB dapat diamati pada penurunan puncak panjang gelombang absorbansi maksimum MB MJ, dan RB pada 663 nm, 465 nm, dan 554 nm berturut-turut (Du *et al.*, 2015). Skema reduksi MB oleh NaBH_4 dengan katalis nanopartikel perak dapat dilihat pada Gambar 8.



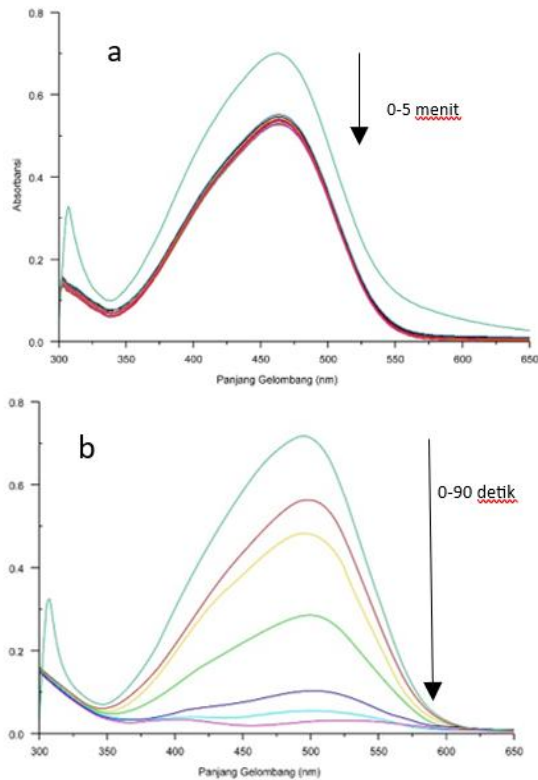
Gambar 8. Skema reduksi MB oleh NaBH_4 dengan katalis nanopartikel perak (Erenler & Hosaflioglu, 2023).

Semakin banyak katalis nanopartikel perak yang ditambahkan semakin banyak orbital p kosong yang tersedia sehingga transfer elektron yang terjadi semakin cepat. Setelah BH_4^- dari NaBH_4 berikatan dengan sisi aktif katalis, selanjutnya BH_4^- dalam katalis membebaskan hidrogen yang mereduksi ikatan $\text{N}=\text{C}$ dalam struktur MB sehingga membentuk struktur senyawa leucomethylene blue yang tidak berwarna.

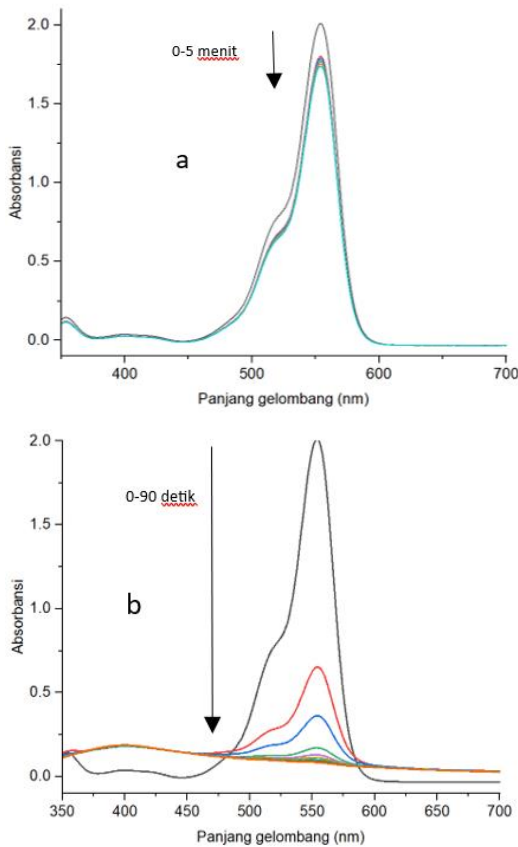


Gambar 9. Reaksi reduksi MB Tanpa AgNp (a) dan dengan AgNp (b)

Kinetika orde satu semu merupakan kinetika reaksi antara dua senyawa di mana konsentrasi senyawa satu berlebih dibanding yang lain sehingga konsentrasi senyawa satu dapat dianggap tetap selama reaksi dan reaksi hanya bergantung pada senyawa dua. Pada penelitian ini, reaksi reduksi MB oleh NaBH_4 dilakukan dengan mereaksikan 10 mL larutan MB, MJ, dan RB 10 ppm dengan 1 mL NaBH_4 2000 ppm. Konsentrasi NaBH_4 dua puluh kali lebih besar dibanding konsentrasi MB, MJ, dan RB. Reduksi MB, MJ, dan RB tidak signifikan tanpa penambahan AgNp (Gambar 9-11 bagian a).



Gambar 10. Reaksi reduksi MJ tanpa AgNp (a) dan dengan AgNp (b)



Gambar 11. Reaksi reduksi RB tanpa AgNp (a) dan dengan AgNp (b)

Penetapan laju reaksi reduksi zat warna MB, MJ, dan RB dapat ditentukan dengan cara membuat plot antara $\ln(C_t/C_0)$ terhadap waktu (t). Dari plot antara $\ln(C_t/C_0)$ terhadap waktu (t) diperoleh Persamaan $y=ax+b$ dari masing-masing reaksi. Simbol a merupakan slope/kemiringan. Slope merupakan nilai tetapan laju reaksi (k_{obs}) yang menggambarkan bahwa semakin besar nilai (k_{obs}) menunjukkan laju reaksi berjalan semakin cepat (Nguyen *et al.*, 2018). Nilai tetapan laju reaksi (k_{obs}) berturut-turut sebesar 0,0107; 0,0234; dan 0,0295 detik^{-1} untuk reduksi MB, MJ, dan RB dengan 1 mL penambahan AgNp. Reaksi dengan katalis menunjukkan laju yang lebih cepat dibanding tanpa katalis (Gambar 9-11 bagian b). Penambahan volume katalis dapat mempercepat laju reaksi karena situs aktif permukaan AgNp semakin banyak sehingga transfer elektron dapat berjalan lebih cepat (Bere *et al.*, 2020).

SIMPULAN

Telah dilakukan sintesis nanopartikel perak dengan diameter rata-rata $9,845 \pm 3,142$ nm menggunakan reduktor ekstrak tangkai daun mbote. Semakin besar konsentrasi AgNO_3 yang ditambahkan, semakin tinggi intensitas absorbansi AgNp yang dihasilkan hingga mencapai optimum pada penambahan AgNO_3 sebesar 1,5 mM. Semakin banyak reduktor yang ditambahkan, juga semakin tinggi intensitas absorbansi AgNp yang dihasilkan. Kondisi pH berpengaruh terhadap kecepatan dan kuantitas pembentukan nanopartikel perak. Pada pH sangat rendah (pH 2-3) AgNp tidak terbentuk, sedangkan pada pH sangat tinggi (pH 10-11) terbentuk endapan coklat-hitam. Intensitas serapan AgNp meningkat pada pH 4 sampai 9 yang mengindikasikan bahwa semakin tinggi pH maka nanopartikel perak yang terbentuk semakin banyak. Intensitas absorbansi AgNp semakin meningkat dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Penambahan AgNp pada reaksi reduksi zat warna MB oleh NaBH_4 dengan sangat cepat dan menghasilkan. Nilai tetapan laju reaksi (k_{obs}) berturut-turut sebesar 0,0107; 0,0234; dan 0,0295 detik^{-1} untuk reduksi MB, MJ, dan RB dengan 1,00 mL penambahan nanopartikel perak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alomar, T. S., AlMasoud, N., Awad, M. A., El-Tohamy, M. F., & Soliman, D. A. 2020. An Eco-Friendly Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles: Characterization, Pharmaceutical and Biomedical Applications. *Materials Chemistry and Physics*. 249: 123007. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123007>
- Benelli, G. 2016, December. Green Synthesized Nanoparticles in The Fight Against Mosquito-Borne Diseases And Cancer—A Brief Review. In *Enzyme and Microbial Technology*. 95: 58–68. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2016.08.022>
- Bere, M. L., Sibarani, J., & Manurung, M. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) Menggunakan Ekstrak Air Daun Kemangi (*Ocimum Sanctum* Linn.) Dan Aplikasinya Dalam Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru. *CAKRA KIMIA (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 7(2): Article 2.
- Bozkurt, P. A. (2017). Sonochemical Green Synthesis of Ag/graphene Nanocomposite. *Ultrasonics Sonochemistry*. 35: 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.10.018>
- Du, S., Liao, Z., Qin, Z., Zuo, F., & Li, X. 2015. Polydopamine Microparticles As Redox Mediators for Catalytic Reduction of Methylene Blue and Rhodamine B. *Catalysis Communications*. 72: 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2015.09.020>
- Erenler, R., & Hosaflioglu, I. 2023. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Onobrychis Sativa* L.: Characterization, Catalytic Degradation of Methylene Blue, Antioxidant Activity, And Quantitative Analysis of Bioactive Compounds. *Materials Today Communications*. 35: 105863.
- Garimella, R., & Eltorai, A. E. M. 2017 March. Nanotechnology in Orthopedics. In *Journal of Orthopaedics*. 14(1): 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2016.10.026>
- Inamuddin, & Kanchi, S. 2020. One-Pot Biosynthesis of Silver Nanoparticle Using *Colocasia Esculenta* Extract: Colorimetric Detection of Melamine in Biological Samples. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 391. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.112310>
- Keshav, A., Sharma, A., & Mazumdar, B. 2019. *Phytochemical Analysis and Antioxidant Activity of Colocasia esculenta (L.) Leaves*. 2589-9147
- Kumar, S., Basumatary, I. B., Sudhani, H. P. K., Bajpai, V. K., Chen, L., Shukla, S., & Mukherjee, A. 2021, June. Plant Extract Mediated Silver Nanoparticles And Their Applications as Antimicrobials and In Sustainable Food Packaging: A State-Of-The-Art Review. In *Trends in Food Science and Technology*. 112: 651–666. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.031>
- Kummara, S., Patil, M. B., & Uriah, T. 2016. Synthesis, characterization, biocompatible and anticancer activity of green and chemically synthesized silver nanoparticles – A comparative study. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 84: 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.09.003>
- Mitharwal, S., Kumar, A., Chauhan, K., & Taneja, N. K. 2022. Nutritional, phytochemical composition and potential health benefits of taro (*Colocasia esculenta* L.) leaves: A review. *Food Chemistry*. 383: 132406. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132406>
- Nagarjuna, R., Challagulla, S., Sahu, P., Roy, S., & Ganesan, R. 2017. Polymerizable sol–gel synthesis of nano-crystalline WO₃ and its photocatalytic Cr(VI) reduction under visible light. *Advanced Powder Technology*. 28(12): 3265–3273. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.09.030>
- Nguyen, N., Truc, T., Nguyen, H., Nguyen, D. T., Van Su, D., Dang, C.-H., & Nguyen, T.-D. 2018. Silver and gold nanoparticles biosynthesized by aqueous extract of burdock root,

- Arctium lappa as antimicrobial agent and catalyst for degradation of pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*. 25.
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. 2022. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 16: 100678.
- Sagitha, P., Sarada, K., & Muraleedharan, K. (2016). One-pot synthesis of poly vinyl alcohol (PVA) supported silver nanoparticles and its efficiency in catalytic reduction of methylene blue. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(10): 2693–2700. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64397-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64397-2)
- Velgosová, O., Mražíková, A., & Marcinčáková, R. 2016. Influence of pH on green synthesis of Ag nanoparticles. *Materials Letters*. 180: 336–339. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.04.045>