

SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR EKSTRAK DAUN KITOLOD (*Hippobroma longiflora* (L.) G.Don.) DAN APLIKASINYA PADA FOTODEGRADASI METIL JINGGA

Silvia Sukmawati¹, Devi Indah Anwar^{1*}, Lela Lailatul Khumaisah¹

¹ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R. Syamsudin, S.H. No. 50, Sukabumi, 43113, Jawa Barat, Indonesia

*Email: deviindahanwar@ummi.ac.id

Abstrak

Metil jingga (MJ) merupakan pewarna sintetis non-biodegradable yang umum ditemukan dalam limbah industri tekstil, sehingga dapat mengganggu ekosistem perairan karena menghambat proses fotosintesis mikroalga. Salah satu metode pengolahan limbah MJ yang efektif dan ramah lingkungan adalah fotodegradasi berbasis fotokatalis nanopartikel perak (NPsAg). NPsAg dinilai mampu mendegradasi zat warna yang memiliki konsentrasi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis NPsAg menggunakan ekstrak daun kitolod (*Hippobroma longiflora* (L.) G.Don) sebagai bioreduktor dan mengevaluasi efektivitasnya dalam mendegradasi MJ. Sintesis nanopartikel perak dilakukan menggunakan metode green synthesis melalui reaksi reduksi yang terjadi pada senyawa poli-ol yang terdapat pada ekstrak daun kitolod. NPsAg yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, FT-IR, XRD, SEM-EDX, dan DRS UV-Vis. Pembentukan NPsAg ditandai dengan perubahan warna menjadi cokelat kehitaman, dan dari hasil spektroskopi UV-Vis terdapat adanya puncak serapan pada 434 nm. Hasil FT-IR menunjukkan adanya peran senyawa fenolik dari ekstrak daun kitolod dalam mereduksi Ag^+ menjadi Ag^0 . Analisis XRD menunjukkan ukuran kristal NPsAg rata-rata sebesar 56.33 nm dengan morfologi NPsAg dari SEM berbentuk bulat. Hasil uji DRS-UV diperoleh nilai band gap 3.04 eV. Efektivitas NPsAg paling optimal dalam mendegradasi MJ 200 ppm terjadi pada pH 2, dengan penambahan 5 mg NPsAg dan waktu radiasi selama 4 jam menghasilkan persentase degradasi 50,87%.

Kata kunci: bioreduktor, daun kitolod, fotodegradasi, metil jingga, nanopartikel perak

Abstract

Methyl orange (MO) is a non-biodegradable synthetic dye commonly found in textile industry wastewater, which can disrupt aquatic ecosystems by inhibiting microalgae photosynthesis. One effective and eco-friendly method for treating MO wastewater is photocatalytic degradation using silver nanoparticles (AgNPs). AgNPs are considered capable of degrading dyes at high concentrations. This study aims to synthesize AgNPs using *Hippobroma longiflora* (L.) G.Don (kitolod) leaf extract as a bioreduktor and to evaluate its effectiveness in the photocatalytic degradation of MO. The synthesis of AgNPs was carried out using a green synthesis method via reduction of polyol compounds present in the kitolod leaf extract. The obtained AgNPs were characterized using UV-Vis, FT-IR, XRD, SEM-EDX, and DRS UV-Vis. The formation of AgNPs was indicated by a color change to brownish-black and a UV-Vis absorption peak at 434 nm. FT-IR results confirmed the role of phenolic compounds from the kitolod leaf extract in reducing Ag^+ to Ag^0 . XRD analysis revealed an average crystallite size of 56.33 nm, while SEM images showed spherical morphology. The DRS-UV analysis determined a band gap value of 3.04 eV. The highest photocatalytic efficiency of AgNPs in degrading 200 ppm MO was achieved at pH 2, with 5 mg of AgNPs and 4 hours of irradiation, yielding a degradation percentage of 50.87%.

Keywords: Bioreduktor, Kitolod Leaves, Photodegradation, Methyl Orange, Silver Nanoparticles

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil saat ini berkembang pesat di berbagai negara, salah satunya Indonesia (Dianggoni dkk., 2017). Dalam industri tekstil, pewarna sintetis banyak dipilih karena harganya murah, jenis warna beragam, tahan lama, dan

mudah diperoleh di pasaran (Naimah dkk., 2014). Umumnya, air limbah tekstil di perairan memiliki konsentrasi 10 – 200 mg/L (Shah, 2014). Salah satu pewarna tekstil yang sering digunakan yaitu metil jingga (MJ). MJ merupakan salah satu zat warna sintesis dengan

warna menyala yang bersifat *non-biodegradable* (Sylvia dkk., 2022). Hal ini dikarenakan MJ memiliki gugus azo (-N=N-) yang berikatan dengan cincin benzen (Djawa dkk., 2018).

Ketidakmampuan MJ terdegradasi secara alami menyebabkan ekosistem perairan yang terkontaminasi dengan limbah tekstil tersebut menjadi terancam. Hal ini dikarenakan zat warna MJ dapat menghambat penyerapan cahaya matahari, sehingga mengganggu proses fotosintesis mikroalga. Dampaknya, kadar oksigen (O_2) di dalam air berkurang dan makhluk hidup air akan mati akibat kekurangan oksigen (Al-Mahi dan Dzul, 2017). Oleh karena itu, perlu metode untuk mengurangi konsentrasi zat warna MJ sebagai limbah industri pada perairan. Terdapat beberapa metode yang sering dilakukan untuk mengurangi konsentrasi MJ, antara lain adsorpsi (Iwuozor dkk., 2021), elektrokimia (Li dkk., 2013), dan fotodegradasi (Anwar dkk., 2019; Ismail dkk., 2019). Di antara beberapa metode tersebut, fotodegradasi dianggap sebagai salah satu metode yang efektif karena mampu menguraikan senyawa zat warna menjadi senyawa yang relatif lebih aman, seperti H_2O (air) dan CO_2 (karbondioksida).

Baru-baru ini, nanopartikel hasil biosintesis dapat digunakan sebagai fotokatalis dalam proses fotodegradasi MJ yang efisien dan berkelanjutan, karena ramah lingkungan, murah, prosesnya cepat, dan bahan bakunya melimpah di alam. Namun demikian, konsentrasi MJ yang dipakai masih sangat kecil (<50 ppm) (Emmanuel dkk., 2023). Nanopartikel perak merupakan fotokatalis yang banyak digunakan dan dapat dihasilkan dari proses sintesis yang menggunakan bioreduktor dan larutan $AgNO_3$. Proses sintesis tersebut dikenal dengan istilah *green synthesis*, suatu sintesis nanopartikel yang memanfaatkan tumbuhan dengan kandungan senyawa metabolit sekundernya.

Golongan senyawa metabolit sekunder dapat dijadikan sebagai bioreduktor untuk mereduksi ion Ag^+ menjadi nanopartikel perak Ag^0 (Kosimaningrum dkk., 2020). Hal ini disebabkan karena beberapa golongan senyawa tersebut memiliki potensial reduksi yang berada di bawah potensial redoks dari Ag^+ (0.80 V), seperti flavonoid sekitar 0.21 – 0.75 V (Chiorcea-Paquim, 2023). Selain itu, golongan metabolit sekunder fenolik, termasuk flavonoid dan *fenil propanoid* merupakan senyawa yang

dapat mengikat dan mereduksi ion logam menjadi nanopartikel. Hal tersebut disebabkan karena pada senyawa golongan fenolik memiliki banyak gugus hidroksil (-OH) yang dapat membentuk ikatan dengan ion logam, sehingga menyebabkan kemampuan mengkelat logam (Mahardani dan Leny, 2021). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor yang bersumber dari tumbuhan.

Kitolod (*Hippobroma longiflora* (L.) G.Don merupakan tumbuhan yang berpotensi dijadikan sebagai alternatif sumber bioreduktor pada pembuatan nanopartikel. Kitolod banyak ditemukan di tempat-tempat lembap. Selain itu, kitolod banyak mengandung senyawa-senyawa yang memiliki peranan sebagai bioreduktor, di antaranya *quercetin*, *cathechin*, *myricetin*, *caffeic acid*, dan *gallic acid* (Dewantoro dkk., 2022).

Pemanfaatan nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun kitolod sebagai sumber bioreduktor pada fotokatalisis dalam mendegradasi limbah tekstil MJ belum pernah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas fotokatalis nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun kitolod sebagai sumber bioreduktor dan aplikasinya pada fotodegradasi zat warna metil jingga.

2. METODOLOGI

Objek dalam penelitian ini berupa daun kitolod *Hippobroma longiflora* (L.) G.Don. yang diperoleh dari Kampung Cibuntu, Desa Sukamaju, Kecamatan Kadudampit, Kabupaten Sukabumi. Daun kitolod dideterminasi di Laboratorium Biologi Universitas Muhammadiyah Sukabumi.

2.1. Bahan

Bahan yang diperlukan antara lain akuades, metanol (CH_3OH), akuabides, metil jingga ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$), daun kitolod, asam klorida (HCl) 0.01 M, perak nitrat p.a. ($AgNO_3$), kertas saring *Whatman* nomor 41, natrium hidroksida (NaOH) 1%, dan 0.5 M.

2.2. Alat

Alat yang digunakan di antaranya neraca digital, set alat maserasi, grinder, pH meter, corong *buchner*, *vacuum rotary evaporator*, *mesh* nomor 100, pipet volumetrik 2 mL dan 25

mL, reaktor yang dilengkapi dengan dudukan lampu, lampu UV 11 watt, lampu *Visible* 10 watt, *magnetic stirrer*, *freeze dryer*, *centrifuge*, *sonicator bath*, Spektrofotometer UV-Vis, Spektrofotometer *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Diffuse Reflectance Spectroscopy UV-Vis* (DRS UV-Vis), *Liquid Chromatography-Mass Spectrometry* (LCMS/MS), dan peralatan gelas.

2.3. Prosedur

2.3.1. Ekstraksi Daun Kitolod

2.3.1.1. Preparasi Sampel

Sampel daun kitolod yang digunakan pada penelitian ini merupakan tumbuhan dari famili *Campanulaceae*, genus *Hippobroma* dengan nama ilmiah *Hippobroma longiflora* (L.) G.Don. Sampel dibersihkan menggunakan air yang mengalir, dikeringkan dengan dijemur di bawah sinar matahari dengan ditutup kain hitam, dan dihaluskan hingga berbentuk serbuk simplisia sampel ukuran 100 mesh.

2.3.1.2. Ekstraksi

Sebanyak 500 g simplisia sampel daun kitolod (DK) dimaserasi dengan 2 L metanol. Pada proses maserasi, simplisia sampel harus terendam dalam pelarut dalam maserator. Maserasi dilakukan selama 3 × 24 jam. Selanjutnya, ekstrak disaring menggunakan corong *Büchner*, lalu dipekatkan dengan *vacuum rotary evaporator* pada suhu 50°C. Setelah itu, ekstrak dipekatkan kembali menggunakan *water bath* pada suhu 50 °C dan dihasilkan ekstrak pasta daun kitolod.

2.3.2. Analisis LC-MS/MS Ekstrak Daun Kitolod

Ekstrak daun kitolod sebanyak 10 g dianalisis menggunakan LC-MS/MS dengan spesifikasi dan kondisi yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Instrument LC-MS/MS

Keterangan	Kondisi
Kolom	HSS T3
Fase Gerak	(A): Asam format 0.1% dalam asetonitril (B): Asam format 0.1% dalam akuabides
Laju Alir	0.6 mL/menit
Sistem Pompa	<i>Gradient</i>
MS Type	Tof MS ^E
Sumber Ionisasi	ESI (-) dan/atau ESI (+)
Perangkat Lunak	UNIFI

2.3.3. Sintesis Nanopartikel Perak

2.3.3.1. Pembuatan Ekstrak

Ditimbang 2 mg ekstrak pasta DK, kemudian ditambahkan 20 mL akuades (Farzeen dan Kumar, 2022).

2.3.3.2. Pembuatan Larutan AgNO₃ 1 Mm

Sebanyak 0.085 g serbuk AgNO₃ dimasukkan ke dalam labu takar 500 mL, lalu ditambahkan akuabides sampai batas tera.

2.3.3.3. Sintesis Nanopartikel Perak

Sebanyak 2 mL ekstrak ditambahkan secara bertahap ke dalam 20 mL larutan AgNO₃ dengan konsentrasi 1 mM. Lalu, pH campuran diatur menjadi 9 menggunakan NaOH 1%, kemudian campuran diaduk selama 30 menit dalam *sonicator bath* pada suhu 35 (±1) °C. Selanjutnya, larutan disinari menggunakan lampu UV 11 watt selama 1 jam. Perubahan warna dari kuning menjadi cokelat kehitaman menunjukkan bahwa ion Ag⁺ telah tereduksi menjadi logam perak (Ag⁰). Pembentukan nanopartikel perak juga dikonfirmasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang antara 400 dan 450 nm. Proses pemisahan dan pemurnian nanopartikel dilakukan melalui sentrifugasi pertama pada 2.000 rpm selama 10 menit. Supernatan yang diperoleh disentrifugasi kembali pada 5.500 rpm selama 30 menit, kemudian endapan (pellet) hasil sentrifugasi kedua disaring dan dikumpulkan, lalu dikeringkan menggunakan *freeze dryer* untuk analisis karakterisasi (Pilaquinga dkk., 2019).

2.3.4. Karakterisasi Nanopartikel Perak

Karakterisasi NPsAg meliputi analisis spektroskopi FTIR, XRD, SEM-EDS, dan DRS-UV.

2.3.5. Efektivitas Fotodegradasi MJ Menggunakan Nanopartikel Perak (Anwar dkk., 2019; Ismail dkk., 2019; Lestari dkk., 2019)

2.3.5.1. Preparasi MJ 200 ppm

Dipipet sebanyak 20 mL larutan MJ 5.000 ppm, kemudian ke dalam labu ukur 500 mL. Selanjutnya, akuades ditambahkan hingga batas tera. Dihasilkan larutan MJ 200 ppm.

2.3.5.2. Optimasi pH

Ke dalam 4 buah gelas kimia 100 mL dimasukkan MJ 200 ppm sebanyak 50 mL.

Kemudian pH masing-masing larutan diatur pada pH 2, 4, 6, 8 dengan menambahkan larutan HCl 0.01 M untuk pH asam dan NaOH 0.5 M untuk pH basa, lalu diukur dengan pH meter dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang MJ. Selanjutnya, ditambahkan fotokatalis/NPsAg sebanyak 6 mg, dan diradiasi selama 4 jam pada jarak 17 cm menggunakan lampu *Visible* 10 watt. Setelah itu, suspensi disaring dan larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum MJ. Setelah itu, dihitung nilai persentase degradasi dengan rumus (1):

$$\text{Degradasi}(\%) = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% \dots (1)$$

Di mana C_0 adalah konsentrasi awal dan C adalah konsentrasi setelah penyinaran.

2.3.5.3. Optimasi Jumlah Nanopartikel Perak

Diambil 4 gelas kimia 100 mL, masing-masing diisi dengan 200 ppm MJ sebanyak 50 mL, dan diatur pH masing-masing larutan pada pH optimum. Kemudian ditambahkan nanopartikel perak dengan variasi 3, 4, 5, dan 6 mg. Selanjutnya, diradiasi pada jarak 17 cm dengan lampu *Visible* 10 watt selama 4 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Suspensi disaring dan larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis dan nilai konsentrasi dari MJ dimasukkan ke dalam rumus persentase degradasi (%D) pada persamaan (1).

2.3.5.4. Optimasi Waktu Radiasi

Sebanyak 50 mL MJ 200 ppm ditambahkan ke dalam masing-masing 4 buah gelas kimia 100 mL, dan pH masing-masing larutan diatur pada pH optimum. Setelah itu, ditambahkan jumlah optimum NPsAg. Lalu, diradiasi pada jarak 17 cm menggunakan lampu *Visible* 10 watt selama 1, 2, 3, dan 4 jam.

Berdasarkan nilai energi potensial redoksnya, senyawa *catekin* seperti *catekin-3-O-gallate* memiliki potensi sebagai bioreduktor yang kuat. Namun demikian, kelimpahan senyawa tersebut dalam ekstrak daun kitolod cenderung rendah. Hal ini menyebabkan proses reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 kurang maksimal. Di sisi lain, senyawa *2''-O-Acetylrutin* memiliki kelimpahan yang besar dalam ekstrak daun kitolod. Namun, berdasarkan strukturnya,

Suspensi disaring dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum MJ. Nilai konsentrasi dari MJ disubstitusi ke dalam persamaan (1).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Ekstraksi

Ekstraksi daun kitolod dilakukan menggunakan metode maserasi. Metode ini dipilih karena merupakan metode yang paling sederhana dan dapat mencegah terjadinya kerusakan senyawa-senyawa yang bersifat termolabil. Pelarut metanol dipilih karena sifatnya merupakan pelarut universal yang memungkinkan untuk menarik senyawa lebih banyak (Asworo dkk., 2023).

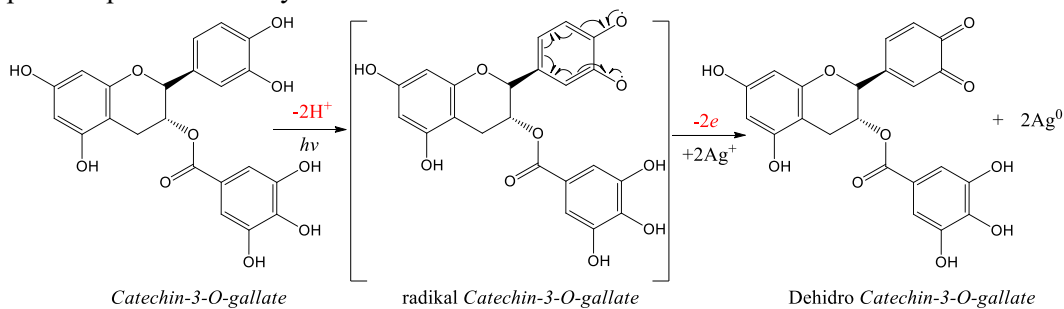
Proses evaporasi dilakukan pada suhu 50° atau di bawah titik didih metanol (64,7). Hal ini dilakukan karena proses evaporasi yang menggunakan sistem vakum akan menguapkan pelarut di bawah titik didih metanol untuk menjaga kerusakan pada senyawa yang diekstraksi. Ekstrak yang dihasilkan berupa pasta hijau kehitaman, dengan berat 57.7 g dan rendemen 11.54%. Pada penelitian (Susilowati, 2023; Rahmawati, 2023) Rendemen ekstrak metanol daun kitolod berada pada kisaran 10,039%–19,14%. Hal ini menunjukkan bahwa rendemen yang diperoleh cenderung konsisten dengan ekstraksi metanol lainnya.

3.2. Identifikasi Senyawa Flavonoid dan Fenol

Identifikasi komponen ekstrak kitolod dilakukan menggunakan instrumen LC-MS/MS. Diketahui bahwa terdapat 46 komponen pada ekstrak daun kitolod. Namun demikian, berdasarkan kerangka strukturnya, hanya terdapat 11 komponen yang memiliki gugus -OH (hidroksil) pada posisi *orto* yang diduga berpotensi sebagai bioreduktor dengan hasil identifikasi dari spektra massa yang tersaji pada Tabel 2.

senyawa tersebut yang mengikat glikosida memiliki kecenderungan yang kurang baik. Hal ini diduga karena adanya substituent -OH pada posisi tertentu yang mampu meningkatkan aktivitas bioreduktornya, yang digantikan dengan suatu gula yang dapat menurunkan kereaktifan zat tersebut. Kondisi ini juga menjadi faktor lain yang menyebabkan proses reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 tidak berlangsung secara optimal.

Kemungkinan mekanisme pembentukan nanopartikel perak oleh senyawa *catechin-3-O-gallate* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Nanopartikel Perak oleh Senyawa *Catechin-3-O-gallate* (Sari dkk, 2017).

Tabel 2. Kandungan Senyawa Ekstrak Daun Kitolod yang Memiliki Potensi sebagai Bioreduktor dari Jalur Biosintesis *Shikimate* dan Kombinasi *Shikimate-Acetate*

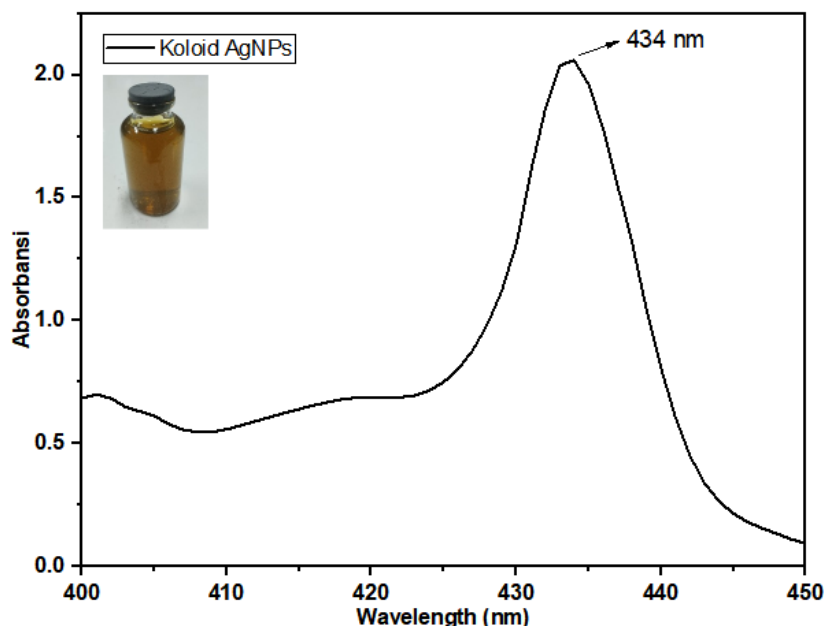
No	Nama Senyawa	Waktu Retensi (Menit)	Rumus Molekul	Mass error (ppm)	Massa (m/z)	Respon	Golongan Senyawa
1	2,4,5-Trihydroxybenzaldehyde	3.27	C ₇ H ₆ O ₄	-2.9	153.01881	12048	Fenolik
2	(2R,3R)-Taxfolin-7-O-α-L-rhamnopyranosyl-(1→6)-β-D-glucopyranoside	7.26	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₆	-0.7	611.16099	4770	Flavanol
3	Cyanidin 3,5-diglucoside	8.33	C ₂₇ H ₃₁ ClO ₁₆	-1.3	610.14920	2034	Garam favilium
4	Luteolin-7,4'-di-O-β-D-glucopyranoside	9.28	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	-0.2	609.14577	12751	Flavon
5	Sulfuretin	10.15	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	-1.2	269.04534	690	Auron
6	2''-O-Acetylrutin	10.66	C ₂₉ H ₃₂ O ₁₇	-1.0	651.15580	297959	Flavonol
7	Cyanidin 3-glucoside	10.94	C ₂₁ H ₂₁ ClO ₁₁	-2.7	474.19115	694	Garam favilium
8	Luteolin	12.77	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	0.1	285.04032	38650	Flavon
9	Hematine	14.09	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	-0.7	299.05549	1420	Auron
10	Catechin-3-O-gallate	14.32	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	-0.8	445.24356	457	Flavanol
11	Kukoamine A	16.81	C ₂₈ H ₄₂ N ₄ O ₆	-3.2	513.31038	9862	Fenolik

3.3. Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak pada penelitian ini dilakukan menggunakan *green synthesis*, yaitu menggunakan ekstrak daun kitolod sebagai bioreduktor dan larutan AgNO₃ sebagai prekursor Ag. Terbentuknya nanopartikel perak (NPsAg) ditandai dengan perubahan warna dari bening menjadi kuning hingga coklat kehitaman seiring bertambahnya waktu penyinaran. Hasil ini mengindikasikan telah terbentuknya NPsAg.

Perubahan warna tersebut terjadi karena senyawa flavonoid yang mengandung gugus

fungsi -OH akan mendonorkan elektron (reaksi reduksi) ke ion Ag⁺ untuk menghasilkan Ag⁰ (Wahyuni dkk., 2025). Senyawa yang terkandung dalam ekstrak kitolod berperan sebagai reduktor dalam sintesis nanopartikel perak, seperti fenolik dan flavonoid (Dewantoro dkk., 2022). Selain itu, munculnya puncak serapan pada panjang gelombang 400 – 450 nm pada pengukuran spektroskopi UV-Vis merupakan ciri khas nanopartikel perak (Solomon dkk., 2007).



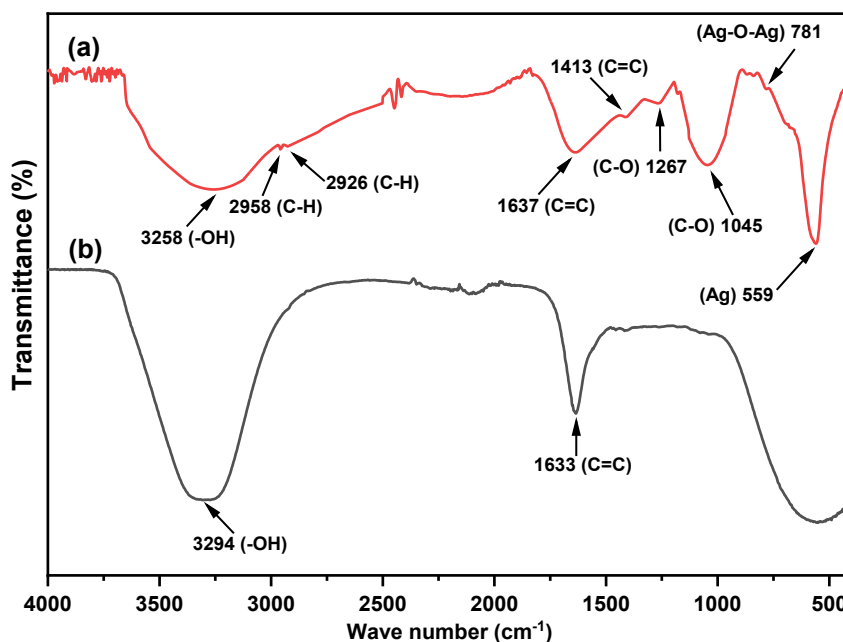
Gambar 2. Spektrum UV-Vis Kitolod NPsAg.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada hasil analisis spektroskopi UV-Vis terdapat serapan puncak pada panjang gelombang 434 nm. Panjang gelombang tersebut merupakan karakteristik absorpsi pada panjang gelombang yang khas dari nanopartikel perak. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Purnamasari dkk., 2021) yang menunjukkan bahwa serapan khas nanopartikel perak berada di sekitar 400 – 450 nm.

3.4. Karakterisasi Nanopartikel Perak

3.4.1. Spektroskopi FT-IR

Karakterisasi menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 . Hal tersebut dapat dilihat dari beberapa bilangan gelombang dari spektrum IR yang tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum IR (a) nanopartikel perak (b) ekstrak daun kitolod.

Pada Gambar 3 terlihat beberapa bilangan gelombang yang muncul. Hasil kajian dan

analisis FT-IR pada daun kitolod terdeteksi gugus fungsi seperti *stretching* -OH (H-bonded)

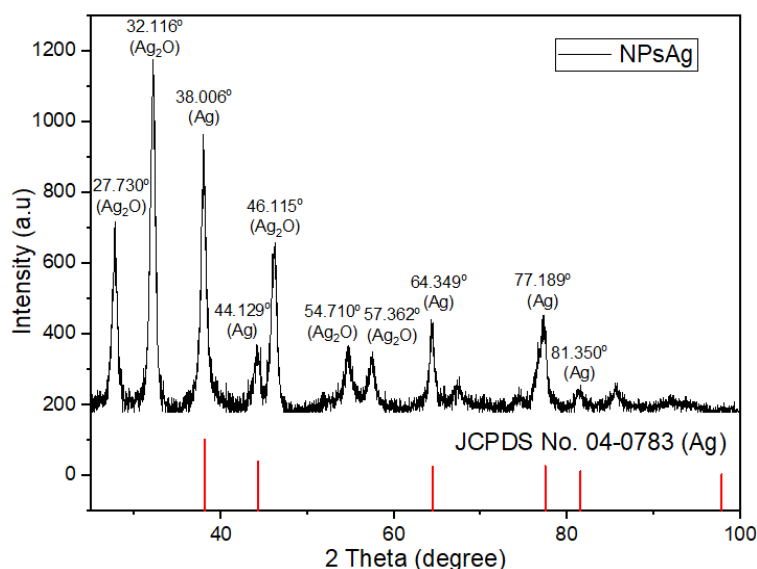
(3294.42 cm^{-1}), serta *stretching* C=C (cincin aromatik) (1633.71 cm^{-1}) yang menandakan keberadaan gugus hidroksil dan cincin aromatik dari kandungan senyawa ekstrak kitolod, seperti fenolik dan flavonoid (Pabia dkk., 2009).

Sementara itu, pada nanopartikel perak terdapat beberapa gugus fungsi ditunjukkan oleh adanya puncak -OH (H-bounded) (3257.77 cm^{-1}), *stretching* C=C (cincin aromatik) (1637.56 cm^{-1} dan 1413.82 cm^{-1}), *stretching* C-O (eter) pada puncak (1267.23 dan 1045.42 cm^{-1}), dan juga terdapat *stretching* C-H (alkana) (2958.80 dan 2926.01 cm^{-1}) yang menunjukkan adanya senyawa aktif seperti flavonoid yang berperan aktif dalam sintesis nanopartikel perak sebagai ligan *capping agent* (Kurian dkk., 2023). Terdapat pula *stretching* Ag_2O pada puncak

serapan 781.17 cm^{-1} (Elyamny dkk., 2021) dan *stretching* Ag pada puncak serapan 559.36 cm^{-1} . Selain itu, penurunan puncak serapan pada bilangan gelombang 3257.77 cm^{-1} pada spektrum nanopartikel perak diduga akibat adanya proses reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 (Abdallah dkk., 2025).

3.4.2. XRD

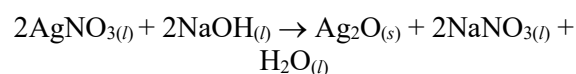
Data difraktogram nanopartikel perak hasil sintesis dibandingkan dengan data difraktogram nanopartikel perak standar dari database JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). Data difraktogram nanopartikel perak hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram XRD Nanopartikel Perak Ekstrak Daun Kitolod.

Hasil analisis nanopartikel perak menggunakan XRD memperlihatkan bahwa nanopartikel perak memiliki lima puncak difraksi yang *khas*, yaitu pada 2θ : 38.006 $^\circ$; 44.129 $^\circ$; 64.349 $^\circ$; 77.189 $^\circ$, dan 81.359 $^\circ$. Data ini sesuai dengan JCPDS No. 04-0738 perak dan sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Mehrotra dkk., 2024). Namun demikian, masih terdapat puncak yang menunjukkan adanya *impurities* pada NPsAg, *impurities* yang membentuk senyawa Ag_2O yang terbaca pada 2θ : 27.730 $^\circ$; 32.116 $^\circ$; 46.115 $^\circ$; 54.710 $^\circ$; dan 57.362 $^\circ$ (Dewi dkk., 2019).

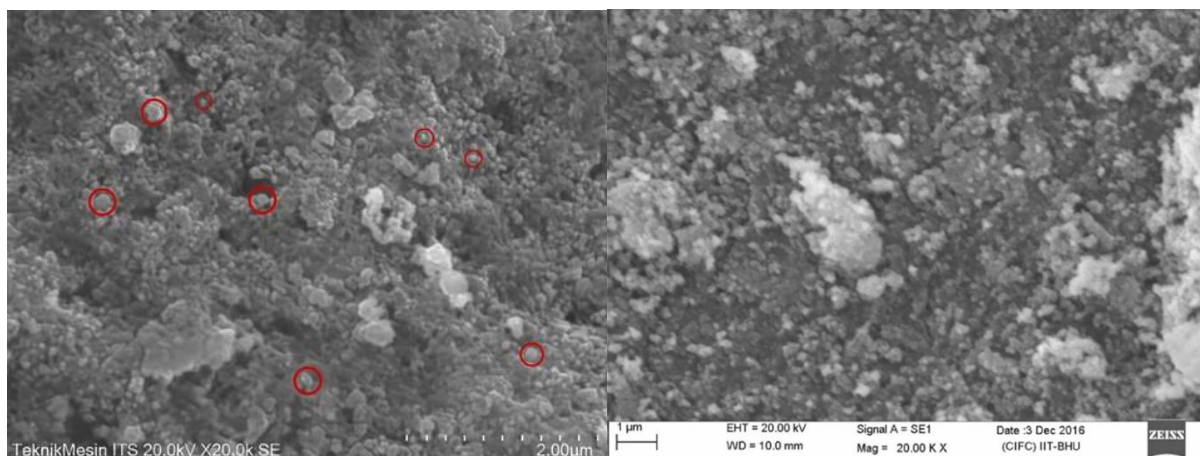
Reaksi samping pembentukan Ag_2O diawali dengan reaksi AgNO_3 dengan NaOH menurut reaksi berikut (Salasa dkk., 2016).



Terbentuknya Ag_2O disebabkan oleh proses reduksi yang tidak berlangsung optimal. Hal ini diakibatkan oleh kelimpahan komponen senyawa yang berperan sebagai agen pereduksi yang sedikit. Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan *Scherrer*, diperoleh rata-rata ukuran kristal 56.33 nm.

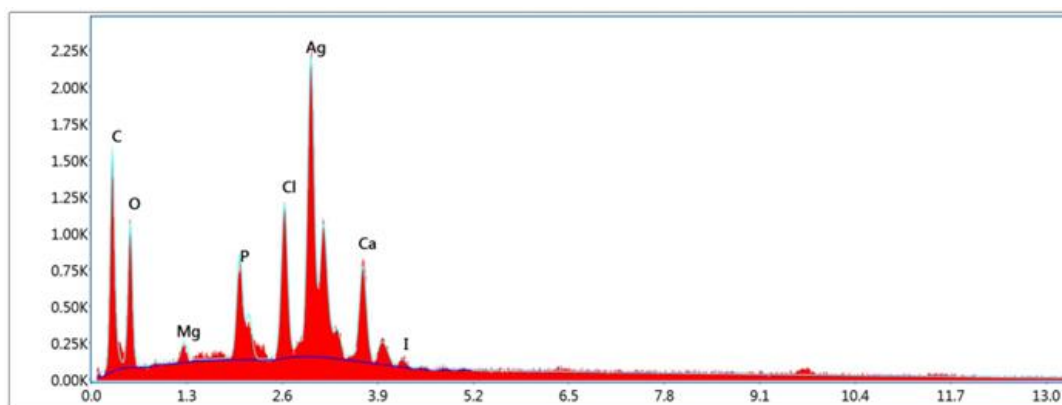
3.4.3. SEM-EDX

Hasil analisis SEM NPsAg hasil sintesis menunjukkan morfologi permukaan NpsAg yang masih mengandung Ag_2O memiliki bentuk morfologi bulat seperti tertera pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) SEM NPsAg hasil sintesis pada pembesaran 20.000x (b) SEM NPsAg (Rautela dkk., 2019).

Dilakukan jga penelitian EDX yang bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam NPsAg. Hasil spektrum EDX dapat dilihat pada Gambar 6.



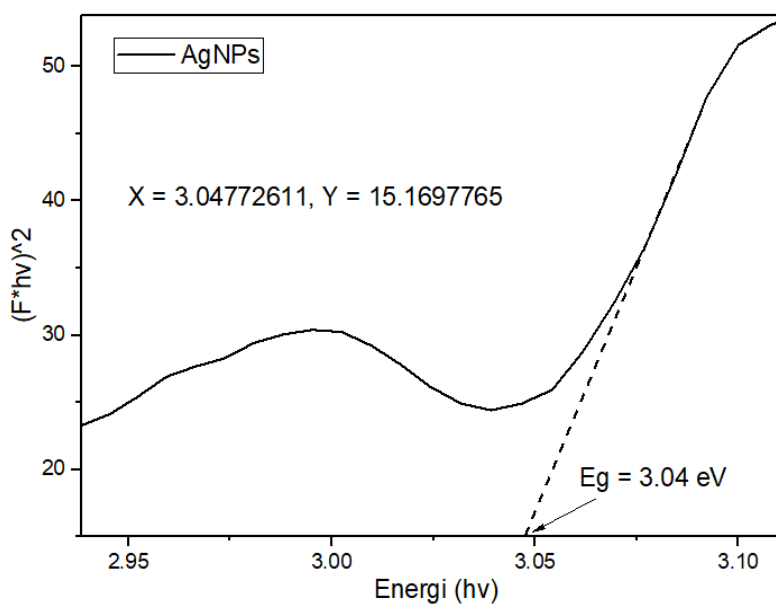
Gambar 6. Spektrum EDX NPsAg Hasil Sintesis.

Gambar 6 spektrum EDX menunjukkan adanya puncak serapan khas yang kuat teramati pada 3.0 keV, yang merupakan ciri khas serapan kristal Ag. Hal tersebut telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Raut dkk., 2014). NPsAg hasil sintesis juga masih mengandung unsur C yang diduga berasal dari ekstrak kitolod yang digunakan. Terdapat pula unsur O yang diduga bersumber dari Ag₂O yang terbentuk. Selain itu, terdeteksi unsur-unsur lain seperti kalsium (Ca), klor (Cl), fosfor (P), iodium (I), dan magnesium (Mg) yang

diduga berasal dari pelarut akuades yang digunakan, yang masih mengandung ion-ion mineral tersebut.

3.4.4. DRS UV Vis

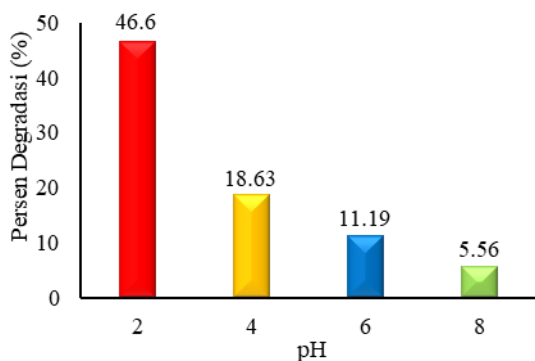
Semikonduktor merupakan suatu katalis yang memiliki nilai *band gap* berkisar 0 – 4 eV (Zelvina dan Khair, 2023). Pada perhitungan energi celah pita menggunakan metode *Kubelka-Munk* diperoleh energi band gap NPsAg sebesar 3.04 eV seperti tertera pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva band gap NPsAg.

3.5. Efektivitas Fotodegradasi MJ Menggunakan Nanopartikel Perak
3.5.1. Optimasi pH

Pengaruh pH terhadap persentase degradasi MJ dengan waktu radiasi 4 jam serta penambahan NPsAg 6 mg selama 4 jam tertera pada Gambar 8.

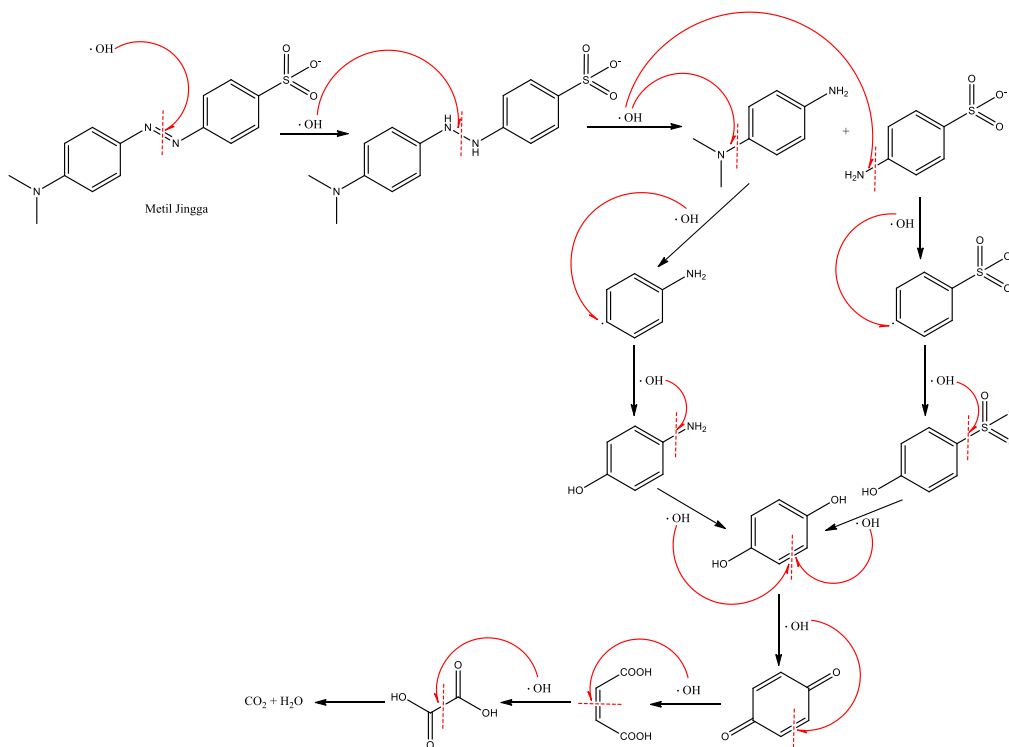


Gambar 8. Pengaruh pH larutan terhadap persentase degradasi MJ.

Gambar 8 memperlihatkan bahwa pada pH 2 diperoleh persentase degradasi tertinggi. Kondisi ini terjadi karena pada pH tersebut, permukaan nanopartikel perak bermuatan positif sehingga dapat menarik molekul MJ yang bermuatan negatif melalui gaya elektrostatis yang kuat. Akibatnya, interaksi MJ dengan permukaan nanopartikel perak berlangsung lebih efisien sehingga proses degradasi meningkat secara signifikan. Namun

demikian, pada pH 2 juga terlihat adanya penurunan persentase degradasi yang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya muatan positif pada permukaan nanopartikel hingga mendekati netral, sehingga gaya tarik elektrostatis terhadap MJ yang anionik melemah dan menurunkan efisiensi degradasi. Pada kondisi pH di atas 4, permukaan nanopartikel perak cenderung netral hingga bermuatan negatif, sementara MJ juga bermuatan negatif. Akibatnya, terjadi gaya tolak-menolak elektrostatis yang membuat interaksi antara MJ dan permukaan nanopartikel perak menjadi lebih sulit.

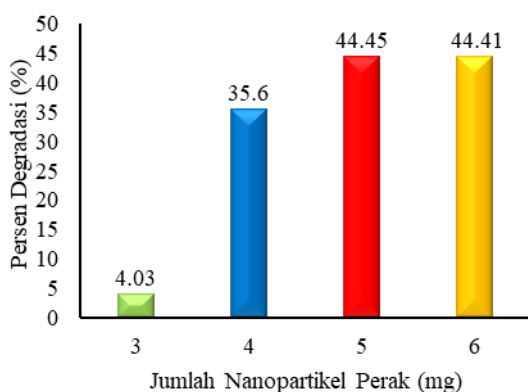
Hal ini menunjukkan bahwa zat warna anionik seperti MJ mengalami fotodegradasi paling optimal pada kondisi asam. Pada suasana asam, hole (h^+) bereaksi dengan H_2O/OH^- dan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$). Radikal tersebut kemudian berinteraksi dengan molekul zat warna anionik seperti MJ sehingga memicu pemecahan struktur zat warna. Dengan demikian, radikal hidroksil berperan penting dalam proses degradasi MJ (Lestari dkk., 2019). Hasil ini sejalan dengan temuan Kumar dkk., (2014) yang melaporkan bahwa pH optimum fotodegradasi MJ menggunakan NPsAg adalah pH 2, dengan persen degradasi sebesar 60% pada konsentrasi awal MJ 64 mg/L. Mekanisme perkiraan degradasi MJ dapat dijelaskan sesuai dengan mekanisme berikut sebagaimana tersaji pada Gambar 9:



Gambar 9. Alur fotodegradasi MJ dan OH• (Lee dkk., 2016).

3.5.2. Optimasi Jumlah Nanopartikel Perak

Pengaruh jumlah nanopartikel perak terhadap persentase degradasi MJ pada kondisi pH 2 dapat diamati pada Gambar 10.



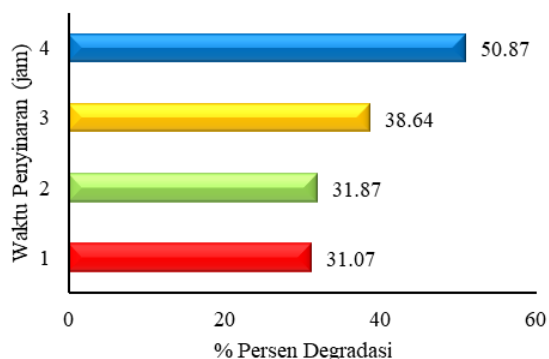
Gambar 10. Pengaruh jumlah AgNPs terhadap persentase degradasi MJ.

Gambar 10 menunjukkan bahwa pada penambahan 3 mg NPsAg, persentase degradasi masih sangat rendah, karena jumlah partikel yang tersedia terlalu sedikit sehingga hanya sedikit situs aktif yang dapat berinteraksi dengan molekul MJ. Ketika jumlah partikel ditingkatkan menjadi 4 mg, persentase degradasi meningkat tajam hingga 35.6%. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah partikel pada kondisi tersebut sudah cukup untuk

menyediakan situs aktif permukaan yang memadai, sehingga proses fotodegradasi berlangsung lebih efektif. Pada penambahan 5 mg NPsAg, persentase degradasi kembali meningkat. Namun, kenaikannya tidak sebesar pada penambahan sebelumnya. Hal tersebut terjadi karena jumlah partikel sudah mencukupi untuk mendegradasi hampir seluruh molekul MJ yang ada, sementara intensitas cahaya dan konsentrasi MJ dalam larutan tetap sama. Dengan demikian, partikel tambahan tidak semuanya dapat bekerja optimal. Sementara itu, pada penambahan NPsAg sebanyak 6 mg terjadi sedikit penurunan persentase degradasi. Hal ini disebabkan oleh terlalu banyak penambahan nanopartikel perak yang dapat menjadikan larutan jenuh sehingga sinar yang dipancarkan tidak dapat terserap secara maksimal oleh permukaan NPsAg dan menghalangi terjadinya proses fotodegradasi (Lestari dkk., 2019).

3.5.3. Optimasi Waktu Radiasi

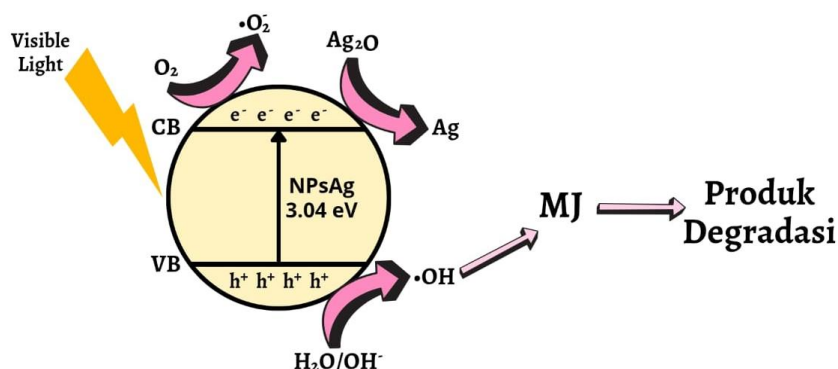
Pengaruh waktu radiasi terhadap persentase degradasi MJ pada kondisi pH 2 dan penambahan nanopartikel perak 5 mg dapat diamati pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengaruh Waktu Radiasi terhadap Persen Degradasi MJ.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa persentase degradasi yang dihasilkan masih rendah, yaitu kurang dari 60%. Hal ini dapat disebabkan oleh NPsAg yang masih mengandung Ag₂O yang dapat menghambat aktivitas fotokatalisis dari NPsAg. Kemungkinan mekanisme fotodegradasi menggunakan NPsAg yang masih mengandung Ag₂O dapat dilihat pada Gambar 12.

Senyawa Ag₂O dapat menghambat



Gambar 12. Mekanisme fotodegradasi menggunakan NPsAg yang mengandung Ag₂O.

Gambar 11 menunjukkan bahwa pada waktu penyinaran 1–2 jam terjadi sedikit peningkatan persentase degradasi. Hal ini dikarenakan energi foton yang diterima belum cukup untuk mendegradasi MJ dengan. Pada penyinaran 2–3 jam, terjadi kenaikan yang cukup signifikan karena energi foton yang diterima lebih banyak daripada sebelumnya sehingga mampu meningkatkan persentase degradasi MJ. Pada saat 3–4 jam penyinaran terdapat peningkatan persentase degradasi yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa energi foton yang diterima semakin banyak sehingga dapat memberikan peningkatan persentase degradasi MJ yang optimal. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa persentase degradasi meningkat seiring bertambahnya waktu. Peningkatan tersebut terjadi karena pengaruh radiasi sinar yang terus bertambah, sehingga foton yang mengenai nanopartikel perak akan semakin banyak. Akibatnya, pembentukan radikal hidroksida (OH•) semakin meningkat (Lestari dkk., 2019).

proses fotokatalisis NPsAg karena memiliki energi potensial yang relatif tinggi (1.5 V) (Putri, 2016) dibandingkan dengan •O₂⁻ (0.89 V) (Miriyala dkk., 2012). Kondisi ini membuat Ag₂O lebih mudah mengalami reduksi dengan menangkap elektron pada pita konduksi. Akibatnya, elektron yang seharusnya ditangkap oleh •O₂⁻ untuk menghasilkan radikal hidroksil (•OH) justru terperangkap oleh Ag₂O. Hal ini menurunkan jumlah radikal hidroksil yang terbentuk, sehingga efektivitas degradasi metil jingga (MJ) menurun.

4. Kesimpulan

Green synthesis NPsAg berhasil dilakukan dengan menggunakan bioreduktor ekstrak daun kitolod. Hasil FT-IR menunjukkan adanya peran senyawa fenolik dari ekstrak daun kitolod dalam mereduksi Ag⁺ menjadi Ag⁰. NPsAg hasil sintesis memiliki ukuran kristal rata-rata sebesar 56.33 nm dengan morfologi berbentuk bulat serta nilai *band gap* sebesar 3.04 eV. NPsAg hasil sintesis memiliki kemampuan mendegradasi MJ 200 ppm dengan kondisi optimum pada pH 2, jumlah optimum NPsAg

sebanyak 5 mg, dan lama penyinaran selama 4 jam dengan persen degradasi sebesar 50,87%.

DAFTAR PUSTAKA

- Dianggoni, I., Saputra, E., dan Pinem, J. A., (2017), Processing of Textile Dyes (Rhodamine B) with AOP (Advanced Oxidation Processes) Technology Using Ce-Carbon Sphere Catalyst and Peroxymonosulfate Oxidant, *Jom Fteknik*, No. 4,2. Pp. 4 – 5.
- Naimah, S., Silvie, A. A., Bumiarto, N. J., Novi, N. A., dan Agustina A., (2014), Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂ – Zeolit, *Jurnal Kimia Kemasan*, No. 36,2, pp. 225 – 36.
- Shah, K., (2014), Biodegradation of Azo Dye Compounds, *International Research Journal of Biochemistry and Biotechnology*, No.1,2, pp. 4 – 13.
- Sylvia, N., Syafriandi, D., Muhammad., dan Nasrul, Z.A., (2022), Kajian Kolom Adsorpsi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Adsorben dari Ampas Teh, *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, No. 11,2, pp. 122 – 35.
- Djawa, J. P. T., Bibiana, D. T., dan Hermania, E. W., (2018), Degradasi Zat Warna Azo Methyl Orange Menggunakan Besi Valensi Nol. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018*, No. 4,3, pp. 1 – 6.
- Al-Mahi dan Dzul H., (2017), Karakterisasi dan Adsorpsi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Zeolit Alam dengan Variasi Konsentrasi HCl, *Angewandte Chemie International Edition*, No. 6,11, pp. 951 – 952.
- Iwuozor, K. O., Joshua, O. I., Ebuka, C. E., Lawal, A. O., dan Chineye, A. I., (2021), Adsorption of Methyl Orange: A Review on Adsorbent Performance. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, No. 4,10, pp. 1 – 16.
- Li, S. H., Yue, Z., Jian, C., Wen, W. L., Han, Q. Y., dan Gang, L., (2013), Electrochemical Degradation of Methyl Orange on Pt–Bi/C nanostructured Electrode by a Square-wave Potential Method, *Electrochimica Acta*, 93, pp. 93 – 101.
- Anwar, D. I., Yuningsih, L. M., dan Ramadhani, C. S., (2019), Removal of Methylene Orange and Procion Blue with Integrated Adsorption-Photocatalytic Method, *Journal of Physics: Conf Series*, 1477, pp. 1 – 7.
- Ismail, M., Saima, G., M. I., Khan., Murad, A. K., Abdullah, M. A., dan Sher, B. K., (2019), *Medicago polymorpha* - Mediated Antibacterial Silver Nanoparticles in the Reduction of Methyl Orange, *Green Process Synth*, 8, pp. 118 – 127.
- Emmanuel., Stephen, S., Ademidun, A. A., Emmanuel, A. O., dan Christopher, O. O., (2023), A Pragmatic Review on Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye Pollutant Using Greenly Biofunctionalized Nanometallic Materials: A Focus on Aquatic Body. *Applied Organometallic Chemistry*, No. 37,7, pp. 1 – 27.
- Kosimaningrum, W. E., Alia, B. P., Afif, S. H., Wahidatun, A., Syahrul, R., dan Malik, A. R., (2020), Sintesis Nanopartikel Perak Melalui Reduksi Spontan Menggunakan Reduktor Alami Ekstrak Kulit Lemon serta Karakterisasinya sebagai Antifungi dan Antibakteri, *J. Integrasi Proses*, No. 9,2, pp. 34 – 43.
- Chiorcea-Paquim, A. M., (2023), Electrochemistry of Flavonoids: A Comprehensive Review, *International Journal of Molecular Sciences*, No. 24,21, pp. 1 – 35.
- Mahardani, O. T., dan Leny, Y., (2021), Efek Metode Pengolahan dan Penyimpanan Terhadap Kadar Senyawa Fenolik dan Aktivitas Antioksidan, *Journal of Chemistry*, No 10, pp. 64 – 78.
- Dewantoro, A. I., Putri, S. H., dan Mardawati, E., (2022), Analisis Kualitatif Kandungan Senyawa Polifenol pada Daun Herba Kitolod (*Hippobroma longiflora* (L.) G.Don) dan Potensi Pemanfaatannya sebagai Sumber Polifenol Alami, *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, No. 16,3, pp. 412 – 419.
- Farzeen, S., dan Kumar, A., (2022), Synthesis Of Silver Nanoparticles (AgNPs) Of Leaves Extract Of *Rhynchoglossum notonianum* Wall. For Enhancing Its Bioavailability And Antibacterial Activity, *Int. J. Health Sci*, No. 6,S2 pp. 6947 – 6961.

- Plaquina, F., Bianca, M., Danny, G., Jeroni, M., Neus, P., Alexis, D., dan Marco, N., (2019), Green synthesis of silver nanoparticles using *Solanum mammosum* L. (*Solanaceae*) fruit extract and their larvicidal activity against *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae), *PLoS One*, No. 14,10, pp. 1 – 13.
- Lestari, G. A. D., Iryanti, E. S., dan James, S., (2019), Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) Menggunakan Ekstrak Air Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) dan Aplikasinya pada Fotodegradasi Indigosol Blue, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, No. 22,5, pp. 200 – 205.
- Asworo, R. Y., dan Widwastuti., H., (2023), Pengaruh Ukuran Serbuk Simplisia dan Waktu Maserasi terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Sirsak, *J. Pharm. Educ*, No. 3,2, pp. 256 – 263.
- Susilowati, M., (2023), Aktivitas Antibakteri Ekstrak Metanol Daun Kitolod (*Isotoma longiflora* L) terhadap Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, [Skripsi], UIN Walisongo.
- Rahmawati, S. A., (2023), Pengaruh Suhu terhadap Kadar Flavonoid Total pada Daun Kitolod (*Isotoma longiflora* (L.) C. Presl) dengan Spektrofotometri UV-Vis, [Thesis], Universitas Muhammadiyah Klaten.
- Sari, P. I., M. Lutfi, F., dan Rina, E., (2017), Pembuatan Nanopartikel Perak (NPP) dengan Bioreduktor Ekstrak Buah *Muntingia calabura* L. untuk Analisis Logam Merkuri, *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, No. 1,1, pp. 20 – 26.
- Wahyuni, P. M. I., Suprihatin, E. I., dan Sibarani, J., (2025), Fotokatalisis Metilen Biru dengan Nanopartikel Perak (NPAg) yang Disintesis dengan Ekstrak Air Daun Kopi Robusta. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, No. 13,1, pp. 8 – 18.
- Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., Boritz, C., dan Mulfinger, L., (2007), Synthesis and Study of Silver Nanoparticles, *J. Chem. Educ*, No. 84,2, pp. 322 – 325.
- Purnamasari, G. A. P. P., Lestari, G. A. D., Cahyadi, K. D., Esati, N. K., dan Suprihatin, I. E., (2021), Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Air Daun Cemmam (*Spondias pinnata* (L.f) Kurz.) dan Aktivasnya Sebagai Antibakteri, *Cakra Kim. (Indonesia E-Journal Appl. Chem.)*, No. 9,2, pp. 75 – 80.
- Pavia, D. L., Gary, M. L., George, S. K., dan James, R. V., (2009), *Introduction to Spectroscopy*, Belmont USA: Brooks/cole Cengage Learning.
- Kurian, J. T., Balasubramanian, B., Arun, M., Manikantan, P., Amer, M. A., Kannan, R. R. R., Vijaya, A. A., Joseph, K. S., dan Jen T. C., (2023), One-Pot Synthesis of Silver Nanoparticles from *Garcinia gummi-gutta*: Characterisation, Antimicrobial, Antioxidant, Anti-Cancerous and Photocatalytic Applications, *Front. Biosci. - Landmark*, No. 28,8, pp. 1 – 14.
- Elyamny, S., Marwa, A. S., Marwa, M. N., dan Abd. E. B. K., (2021), One-Pot Fabrication of Ag@Ag₂O Core-Shell Nanostructures for Biosafe Antimicrobial and Antibiofilm Applications, *Scientific Report*, No. 11,1, pp. 1 – 12.
- Abdallah, R. A., El-Borady, O. M., El-Sayed, A. F., dan M. Fawzy., (2025), A comparative study of chemo- and phytosynthesized silver nanoparticles using *Ceratophyllum demersum* extract: characterization and biological activities, *Biomass Convers Biorefinery*, No. 15,12, pp. 19013 – 19029.
- Mehrotra, S., Goyal, V., Dimkpa, C. O., dan Chhokar, V., (2024), Green Synthesis and Characterization of Ginger-Derived Silver Nanoparticles and Evaluation of Their Antioxidant, Antibacterial, and Anticancer Activities, *Plants*, No. 13,9, pp. 1 – 13.
- Dewi, K. T. A., Kartini., Johan, S., dan Christina, A., (2019), Karakter Fisik dan Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Perak Hasil *Green Synthesis* Menggunakan Ekstrak Air Daun Sendok (*Plantago major* L.). *Pharmaceutical Sciences and Research*, No. 6,2, pp. 69 – 81.
- Salasa, D., Henry, A., dan Vanda, S. K., (2016), Sintesis Nanopartikel Perak (Ag) dengan Reduktor Natrium Borohidrida (NaBH₄) Menggunakan Matriks *Nata-de-coco*, *Chem. Prog*, No. 9,2, pp. 34 – 40.
- Rautela, A., Jyoti, R., dan Mira, D., (2019), Green Synthesis of Silver Nanoparticles

- from *Tectona grandis* Seeds Extract; Characterization and Mechanism of Antibacterial Action on Different Microorganisms, *Journal of Analytical Science and Technology*, No. 10,5, pp. 1 – 10.
- Raut, R. W., Vijay, D. M., dan Sahebrao, B. K., (2014), Photosensitized Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Withania somnifera* Leaf Powder and Silver Nitrate. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, No.132, pp. 45 – 55.
- Zelvina. I., dan Khair, M., (2023), Sintesis dan Penentuan Celah Pita ZnO/SiO₂ dari Prekursor Zinc Nitrate yang Dikalsinasi, *J. Chem. Educ. Sci*, No. 7,1, pp. 30 – 34.
- Widiatmono, B. R., Haji, A. T. S. dan Robbaniyah, I., (2020), Analisis Penurunan Konsentrasi Methyl Orange dengan Biosorben Kulit Pisang Cavendish (*Musa Acuminata* Cv. Cavendish), *J. Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, No. 6,2, pp. 29 – 35.
- Kumar B., Kumari, S., Luis, C., dan Alexis, D., (2014), Sachi Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Shell Biomass for Synthesis of Silver Nanocatalyst. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21, pp. 293 – 298.
- Lee, H., Young, K. P., Sun, J. K., Byung, H. K., dan Hyung, S. Y., (2016), Rapid Degradation of Methyl Orange Using Hybrid Advanced Oxidation Process and Its Synergistic Effect, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 35, pp. 205 – 210.
- Putri, P., (2016), *Redoks dan Elektrokimia*, Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Miriyala, S., Ivan, S., Artak, T., Daniela, S., Zeljko, V., Daret, S. C., dan Ines, B. H., (2012), Manganese Superoxide Dismutase MnSOD and Its Mimics, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1822, pp. 794 – 814.