



Biosynthesis of ZnO Nanoparticles from Aqueous Extract of *Moringa Oleifera* L.: Its Application as Antibacterial and Photocatalyst

Fastabiqul Khairati Rhamdiyah, Dina Kartika Maharani[✉]

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Gedung C5-C6 Kampus Ketintang, Ketintang, Surabaya, 60231, Indonesia

Info Artikel

Diterima Januari 2022

Disetujui Maret 2022

Dipublikasikan Agustus
2022

Keywords:

Nanopartikel ZnO
Biosintesis
Antibakteri
Fotokatalis

Abstrak

Nanopartikel ZnO berhasil disintesis dengan metode biosintesis menggunakan ekstrak air daun kelor (*Moringa oleifera* L.) sebagai agen pereduksi dan penstabil sekaligus *capping agent*. Tujuan penelitian ini adalah melakukan karakterisasi nanopartikel ZnO serta menyelidiki aplikasinya sebagai antibakteri dan fotokatalis. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan Spektroskopi Inframerah Transformasi (FT-IR) dan Difraksi Sinar-X (XRD). Nanopartikel ZnO hasil biosintesis memiliki fase heksagonal wurtzite dengan ukuran kristal rata-rata sebesar 16,97 nm dan level kristalinitas sebesar 78,49%. Aktivitas antibakteri dari nanopartikel ZnO dengan konsentrasi 3%, 6%, 9% menghasilkan rata-rata zona hambat pertumbuhan bakteri pada *S. aureus* adalah $19,6 \pm 0,16$; $21,8 \pm 0,33$; $24,3 \pm 0,14$ dan pada *E. coli* adalah $9,87 \pm 0,2$; $11,3 \pm 0,04$; $11,57 \pm 0,06$. Semakin besar konsentrasi nanopartikel ZnO, maka semakin besar diameter zona hambatnya. Hasil fotodegradasi metilen biru paling besar dengan variasi massa nanopartikel ZnO dan konsentrasi metilen biru adalah sebesar 95% dengan massa nanopartikel sebanyak 120 mg, konsentrasi metilen biru 10 ppm, dan lama penyinaran selama 150 menit.

Abstract

ZnO nanoparticles were successfully synthesized by the biosynthesis method using water extract of Moringa leaf (*Moringa oleifera* L.) as a reducing agent and stabilizer as well as a capping agent. This study aimed to characterize ZnO nanoparticles and their application as antibacterial and photocatalyst. Characterization was carried out using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy and X-Ray Diffraction (XRD). The biosynthesis ZnO nanoparticles have a hexagonal wurtzite phase with an average crystal size of 16.97 nm and a crystallinity level of 78.49%. Antibacterial activity of ZnO nanoparticles with concentrations of 3%, 6%, 9% resulted in an average inhibition zone of bacterial growth in *S. aureus* was 19.6 ± 0.16 ; 21.8 ± 0.33 ; 24.3 ± 0.14 and in *E. coli* it is 9.87 ± 0.2 ; 11.3 ± 0.04 ; 11.57 ± 0.06 . The greater the concentration of ZnO nanoparticles, the larger the diameter of the inhibition zone. The result of photodegradation of methylene blue is greatest with variations in the mass of ZnO nanoparticles and the concentration of methylene blue is 95% with a nanoparticle mass of 120 mg, methylene blue concentration of 10 ppm, and an irradiation time of 150 minutes.

Pendahuluan

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) berdampak pada lahirnya teknologi masa depan yaitu nanoteknologi. Nanopartikel berperan penting sebagai fondasi untuk berbagai aplikasi nanoteknologi (Ajitha *et al.*, 2015). Nanopartikel adalah material berskala nano dengan ukuran berkisar 1-100 nm (Fagier, 2021). Nanopartikel oksida logam menarik untuk diteliti karena menunjukkan sifat fisik seperti dimensi, distribusi ukuran yang seragam, morfologi, dan kristalinitas serta sifat kimia yang lebih baik dibandingkan dengan material berukuran besar atau *bulk material* (Saravanadevi *et al.*, 2020).

Diantara nanopartikel oksida logam lainnya, nanopartikel ZnO lebih disukai karena sifatnya yang tidak beracun, sehingga mampu memberikan mobilitas yang tinggi dan stabilitas termal yang baik (Preethi *et al.*, 2020). Nanopartikel ZnO adalah semikonduktor anorganik tipe-n yang memiliki fase heksagonal dan struktur wurtzite dengan *wide band gap* sebesar 3.37 eV (Reddy & Mandal, 2017). Karena energi ikat eksiton yang tinggi, ZnO memiliki emisi sinar ultraviolet (UV) yang kuat yaitu 60 MeV (Mydeen *et al.*, 2020). Kelebihan dari penggunaan ZnO adalah ketersediaannya yang sangat melimpah di alam sehingga harganya murah dan sintesisnya yang mudah (Yurestira *et al.*, 2021).

Sintesis nanopartikel ZnO yang dilakukan menggunakan metode fisika (*top-down*) dan metode kimia (*bottom-up*) memiliki kekurangan yaitu biaya dan peralatan yang mahal, dilakukan dengan temperatur yang tinggi, konsumsi energi yang besar, serta penggunaan bahan-bahan kimia beracun sebagai agen pereduksi dan penstabil seperti polieterimida (PEI), polietilena glikol (PEG), dan asam poliakrilat (PAA) yang berpotensi menjadi polutan bagi lingkungan (Alamdari *et al.*, 2020; Nasrollahzadeh *et al.*, 2019). Sehingga digunakan metode biosintesis yang ramah lingkungan, namun tetap dihasilkan nanopartikel ZnO yang berkarakteristik baik (Nurbayasari *et al.*, 2017).

Nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak tanaman beserta turunannya lebih stabil dibandingkan dengan menggunakan organisme lainnya (Rajakumar *et al.*, 2018). Beberapa ekstrak tanaman yang digunakan dalam biosintesis nanopartikel ZnO seperti ekstrak batang kingkilaban (Jayappa *et al.*, 2020), ekstrak daun dafnah (Chemingui *et al.*, 2019), dan ekstrak buah nanas (Ahmad *et al.*, 2019). Bagian-bagian tanaman meliputi getah, batang, biji, buah, bunga, daun, dan akarnya kaya akan senyawa fitokimia yang dapat mereduksi garam logam menjadi oksida logam dengan ukuran nano (Singh *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan karena kandungan protein dan metabolit sekunder dalam ekstrak tanaman berperan sebagai agen pereduksi dan stabilizer sekaligus *capping agent* dalam biosintesis nanopartikel ZnO (Chatterjee *et al.*, 2020; Ovais *et al.*, 2020). Mekanisme dari penstabilan dan pencegahan aglomerasi nanopartikel ZnO yaitu dengan pembuatan halangan sterik, pengendalian pertumbuhan partikel dengan mengurangi energi permukaan partikel untuk mencegah terjadinya agregasi, dan pembentukan senyawa koordinasi dengan ion logam Zn(II) yang stabil (Yunita *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini, digunakan ekstrak air daun kelor (*Moringa oleifera* L.) sebagai agen pereduksi dan stabilizer dalam biosintesis nanopartikel ZnO. Nanopartikel ZnO yang dihasilkan kemudian akan dikarakterisasi serta diuji aktivitas antibakteri dan fotokatalisnya terhadap zat warna metilen biru.

Alat dan Bahan

Alat

Neraca analitik, kaca arloji, gelas kimia 100 dan 200 mL, gelas ukur 10 dan 100 mL, labu ukur 100 mL, *hot plate magnetic stirrer*, spatula, pH meter, pipet tetes, oven, kompor listrik, cawan petri, jangka sorong, Whatman Filter Paper No. 1 dan No. 42, sentrifuge, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800), FT-IR (PerkinElmer Spectrum Two), dan XRD (X'pert PRO PANalytical).

Bahan

Daun kelor (*Moringa oleifera* L.), *zinc acetate dihydrate* ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$), NaOH, air suling dan metilen biru.

Metode

Persiapan Ekstrak Air Daun Kelor

Daun kelor dicuci menggunakan air mengalir diikuti air suling dan dipotong kecil-kecil, kemudian diambil sebanyak 20 gram dan dicampur dengan 100mL air suling dalam *beaker glass* 200mL. Campuran dipanaskan pada 90°C selama 60 menit dan dibiarkan dingin pada suhu kamar hingga dingin lalu disaring

dengan Whatman Filter Paper No.1 dan disimpan dalam pendingin pada suhu 4°C untuk digunakan lebih lanjut (Daphedar & Taranath, 2018).

Biosintesis Nanopartikel ZnO

Sebanyak 90 mL larutan seng asetat dihidrat ditambah 10 mL ekstrak air daun kelor diaduk kontinyu selama 10 menit pada suhu 60°C dan kemudian didinginkan pada suhu kamar. Setelah dingin, pH larutan dibuat 10 dengan penambahan larutan NaOH 0,1 M disertai pengadukan kontinyu selama 1 jam. Terjadinya perubahan warna larutan menjadi kuning pucat menandakan bahwa nanopartikel ZnO telah terbentuk (Santhoshkumar *et al.*, 2017). Larutan didiamkan semalaman supaya endapan dapat terbentuk. Endapan yang terbentuk dipisahkan dan dicuci menggunakan air suling untuk menghilangkan pengotor. Endapan yang diperoleh lalu dioven pada suhu 100°C.



Gambar 1. Biosintesis Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Air Daun Kelor

Karakterisasi Hasil Biosintesis

Dilakukan karakterisasi hasil biosintesis menggunakan spektroskopi FT-IR untuk identifikasi gugus fungsi dari nanopartikel ZnO dan spektrum dicatat pada bilangan gelombang 4.000-550 cm^{-1} dan *X-Ray Diffraction* (X'pert PRO PANalytical) untuk identifikasi ukuran kristal dan evaluasi level kristalinitas yang diukur pada sudut (2θ) antara 20°-80°.

Nanopartikel ZnO sebagai Fotokatalis

Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru

Larutan induk metilen biru 100 ppm dibuat dengan melarutkan 100mg serbuk metilen biru dalam 1000mL aquades.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Panjang gelombang maksimum metilen biru ditentukan dengan mengukur metilen biru konsentrasi 3 ppm dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 400-750 nm.

Kurva Kalibrasi Larutan Standar Metilen Biru

Metilen biru konsentrasi 1 hingga 5 ppm diukur pada absorbansi maksimum metilen biru yaitu 663,5 nm.

Aplikasi Nanopartikel ZnO dengan Variasi Massa

Aktivitas fotokatalis nanopartikel ZnO mengikuti prosedur Wulan *et al.* (2019). Variasi massa fotokatalis pada penelitian ini adalah 20mg, 40mg, 60mg, 80mg, 100mg, 120mg, dan 140mg. Proses fotodegradasi 30 mL larutan metilen biru 10 ppm dilakukan dalam reaktor tertutup dan disinari lampu UV dengan pengadukan kontinyu menggunakan *magnetic stirrer* agar tidak terjadi pengendapan. Setelah 150 menit, kemudian larutan disentrifus dan disaring menggunakan Whatman Filter Paper No. 42. Filtrat kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada absorbansi maksimum metilen biru yaitu 663,5 nm. Efisiensi degradasi (%) dari metilen biru dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Degradasi (\%)}: \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Dimana C_0 merupakan konsentrasi awal dan C adalah konsentrasi setelah penyinaran.

Aplikasi Nanopartikel ZnO dengan Variasi Konsentrasi Metilen Biru

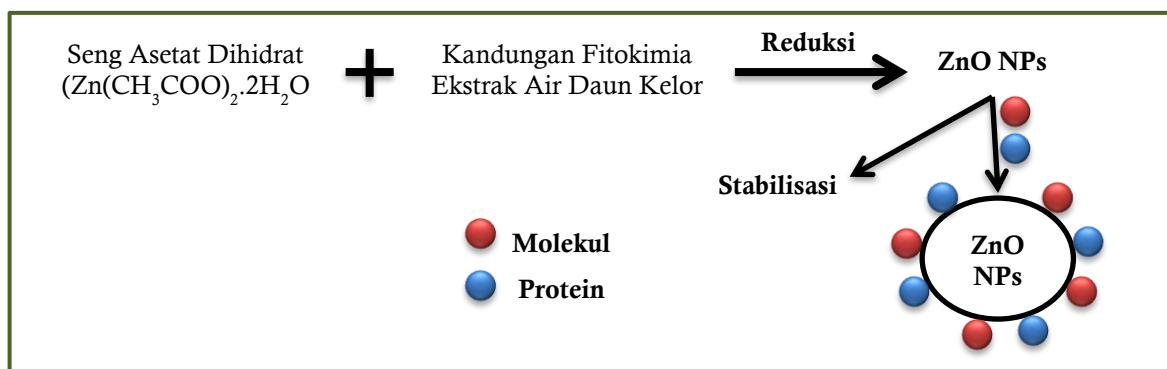
Digunakan konsentrasi metilen biru dengan variasi 10, 12, dan 15 ppm dengan massa nanopartikel ZnO sebanyak 120 mg dan lama penyinaran dengan sinar UV selama 150 menit.

Nanopartikel ZnO sebagai Antibakteri

Digunakan metode difusi agar pada uji aktivitas antibakteri dari nanopartikel ZnO terhadap bakteri *S.aureus* dan *E.coli*. Konsentrasi nanopartikel yang diujikan yaitu 0.3g/mL, 0.6g/mL, dan 0.9g/mL. Diletakkan kertas cakram yang sudah dicelupkan dalam aquades (sebagai kontrol negatif), tetrasiklin (0.9g/mL sebagai kontrol positif), dan nanopartikel ZnO pada permukaan cawan petri yang berisi nutrisi agar dan diinokulasi dengan suspensi bakteri uji. Kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C.

Hasil dan Pembahasan

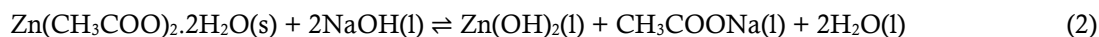
Dilakukan biosintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak air daun kelor dan larutan seng asetat dihidrat sebagai prekursor seperti yang disajikan pada Gambar 1. Dalam ekstrak air daun kelor terkandung senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid, glikosida, flavonoid, senyawa fenolik, triterpenoid, saponin, tanin, vitamin C, steroid, asam askorbat, karbohidrat, protein, dan asam amino (Okumu *et al.*, 2016; Rachmawati, 2019; Shawai & Singh, 2018). Senyawa metabolit sekunder dalam ekstrak air daun kelor berperan sebagai agen pereduksi yang akan mereduksi ion Zn^{2+} menjadi Zn^0 (Alamdari *et al.*, 2020). Protein dapat menjebak ion logam pada permukaannya dan mengubahnya menjadi atom-atom Zn^0 , selanjutnya atom-atom Zn^0 ini akan berkumpul dan kemudian membentuk nanopartikel ZnO (Marslin *et al.*, 2018). Sedangkan sebagai penstabil yaitu ketika senyawa metabolit sekunder bekerja dengan membungkus (*capping*) nanopartikel ZnO yang terbentuk agar tidak terjadi agregasi atau penggumpalan, sehingga nanopartikel yang dihasilkan stabil. Mekanisme reduksi pembentukan nanopartikel ZnO disajikan pada Gambar 2 (Vijayakumar *et al.*, 2018).



Gambar 2. Mekanisme Pembentukan Nanopartikel ZnO (Vijayakumar *et al.*, 2018)

Sintesis nanopartikel ZnO diawali dengan pembentukan dalam $Zn(OH)_2$ larutan basa pH 10 yang ditandai dengan dihasilkannya larutan kuning keruh yang transparan pada reaksi. Digunakan pH 10 karena antara pH 6 hingga 9, akan dihasilkan nanopartikel ZnO yang tidak stabil (Abdelhady, 2012). Ketika Zn^{2+} dan OH^- telah mencapai angka kritikal kelarutan (tahap hidrolisis pada reaksi 3), maka akan dihasilkan koloid yang ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kuning pucat. Kation seng kemudian akan bereaksi dengan anion hidroksida dan membentuk kompleks $Zn(OH)_4^{2-}$ yang stabil (tahap polimerisasi reaksi 4). Dengan adanya H_2O dan energi yang berasal dari pengadukan kontinu menggunakan *magnetic stirrer*, kompleks $Zn(OH)_4^{2-}$ dapat terdisosiasi membentuk ion Zn^{2+} dan OH^- yang selanjutnya akan membentuk nanopartikel ZnO (tahap transformasi reaksi 5) (Nurbayasari *et al.*, 2017). Endapan dikeringkan pada suhu 100°C dimana molekul hidrat akan dilepaskan ke lingkungan dalam bentuk uap air. Mekanisme reaksi pembentukan nanopartikel ZnO, yaitu:

Tahap Solvasi



Tahap Hidrolisis



Tahap Polimerisasi



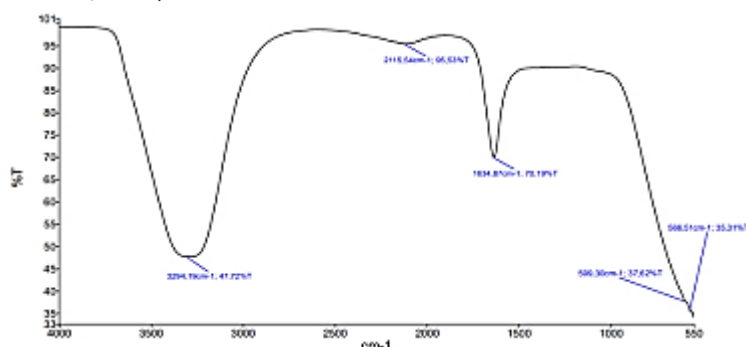
Tahap Transformasi



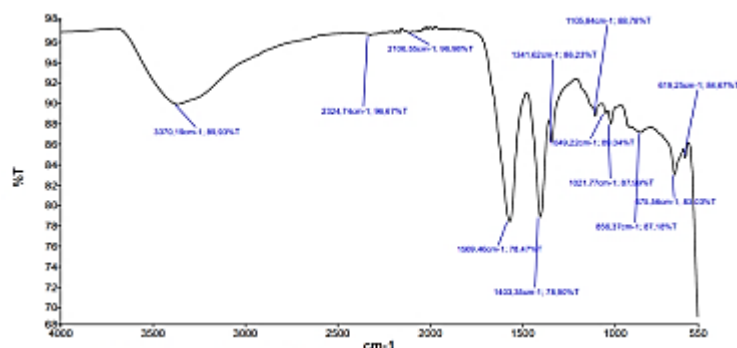
Hasil Karakterisasi

Spektroskopi FT-IR

Karakterisasi menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari ekstrak air daun kelor dan nanopartikel ZnO hasil biosintesis. Pada Gambar 3(a) disajikan spektrum ekstrak air daun kelor dimana dihasilkan Puncak pada 3294,19 cm⁻¹, 1634,87 cm⁻¹, dan 566,51 cm⁻¹ yang menunjukkan *stretching* gugus O-H, *stretching* C=C pada cincin aromatik, dan gugus S-O (Bello *et al.*, 2017). Sedangkan spektrum nanopartikel ZnO disajikan pada Gambar 3(b) dimana dihasilkan Puncak pada 3370,19 cm⁻¹ yang merupakan *stretching* O-H disebabkan penyerapan air oleh ZnO (Mydeen *et al.*, 2020). Puncak pada 1569,46 cm⁻¹ menunjukkan *stretching* C=C pada cincin aromatik dan C=O pada polifenol (Yedurkar *et al.*, 2016). Puncak pada 1403,35 cm⁻¹ menunjukkan *bending* C-H dari alkana (Daphedar & Taranath, 2018). Puncak pada 1105,84 cm⁻¹ adalah *stretching* gugus C-O dalam asam amino (Yedurkar *et al.*, 2016). Pada rentang puncak 856,37 hingga 619,25 cm⁻¹ mengindikasikan telah terbentuknya *stretching* nanopartikel ZnO (da Silva-Neto *et al.*, 2019). ZnO adalah salah satu grup oksida logam, dimana puncaknya dapat teridentifikasi pada rentang 500-900 cm⁻¹ (Shabaani *et al.*, 2020).



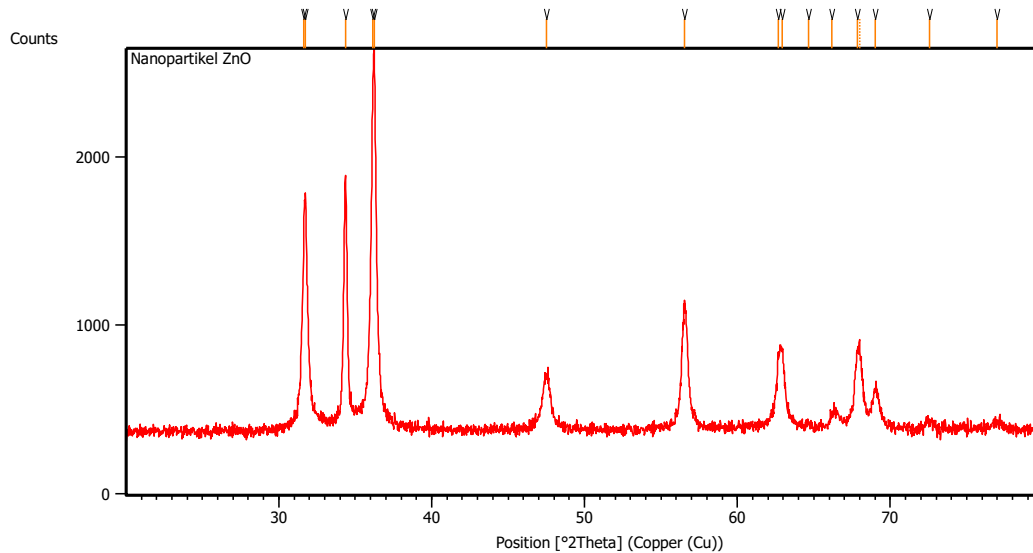
Gambar 3(a). Spektrum FT-IR Ekstrak Air Daun Kelor



Gambar 3(b). Spektrum FT-IR Nanopartikel ZnO

Difraksi Sinar-X (XRD)

Hasil pengukuran menggunakan XRD disajikan pada Gambar 4, dimana menunjukkan puncak-puncak difraksi yang khas dari nanopartikel ZnO.



Gambar 4. Pola Difraksi XRD Nanopartikel ZnO

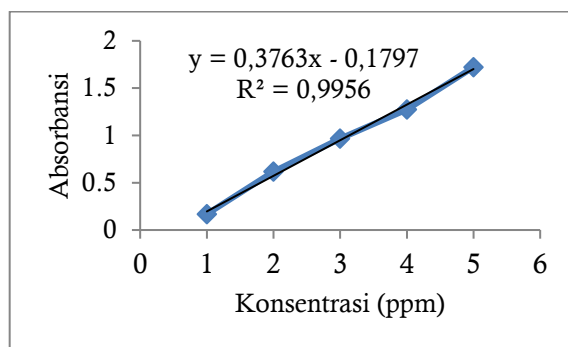
Analisis XRD menunjukkan perolehan puncak difraksi yang tajam dan sempit pada sudut hamburan (2θ) adalah $31,75^\circ$; $34,37^\circ$; $36,24^\circ$; $47,48^\circ$; $56,56^\circ$; $62,95^\circ$; $66,19^\circ$; $67,83^\circ$; $68,99^\circ$ yang mewakili fase heksagonal wurtzite dari ZnO dan mengonfirmasi terbentuknya nanopartikel ZnO dengan kristalinitas yang tinggi. Puncak difraksi yang dihasilkan hampir sama dengan puncak ZnO dari data standar JCPDS No. 36-1451 (Nguyen *et al.*, 2020). Tidak ada puncak difraksi lainnya yang mengacu pada adanya pengotor, menunjukkan bahwa nanopartikel yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi. Ukuran kristal dari nanopartikel ZnO hasil biosintesis dihitung dengan persamaan Debye Scherrer's::

$$D = \frac{k \times \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (6)$$

D adalah ukuran kristal (nm), k adalah konstanta yaitu 0,9, λ merupakan panjang gelombang radiasi sinar-X (0,154), β adalah FWHM, dan θ adalah Sudut Bragg. Dihasilkan ukuran kristal rata-rata adalah sebesar 16,97 nm dengan level kristalinitas sebesar 78,49%.

Nanopartikel ZnO sebagai Fotokatalis

Penentuan panjang gelombang maksimum metilen biru dibutuhkan sebab tiap larutan memiliki panjang gelombang berbeda. Kondisi ini adalah titik dimana suatu zat memberikan serapan paling tinggi. Pengukuran pada panjang gelombang yang sama akan meningkatkan kepekaan pengukuran sehingga hasil analisis akan semakin akurat dan kesalahan analisis pun semakin kecil. Diperoleh panjang gelombang maksimum dari *Metilen Biru* adalah 663,5 nm. Kurva standar metilen biru yang ditunjukkan pada **Gambar 5** dibuat dengan mengukur absorbansi metilen biru konsentrasi 1 hingga 5 ppm pada 663,5 nm.

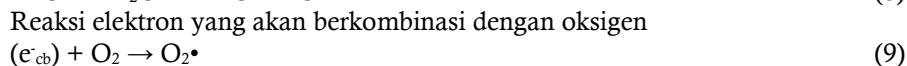
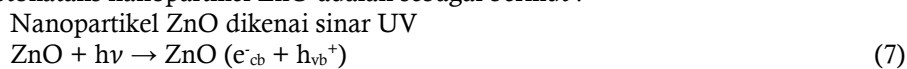


Gambar 5. Kurva Standar Metilen Biru

Dari Gambar 5, diketahui bahwa konsentrasi berbanding lurus dengan absorbansi. Diperoleh persamaan regresi linear $y = 0,3763x - 0,1797$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9956. Perolehan hasil dikatakan baik karena koefisien determinasi yang mendekati 1.

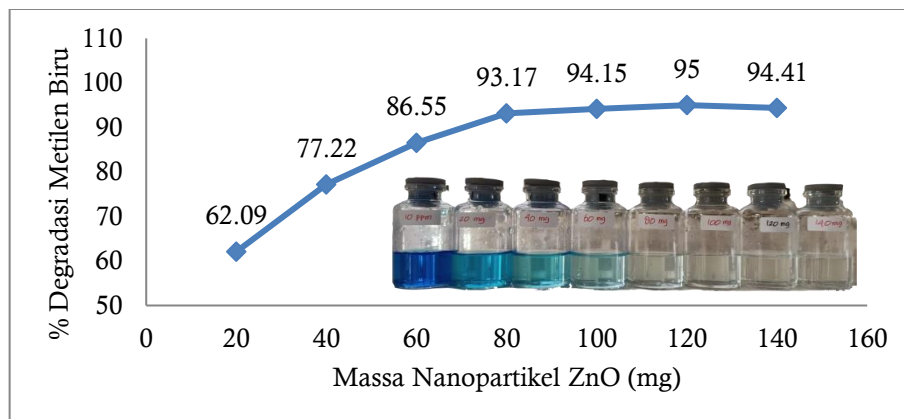
Aplikasi Nanopartikel ZnO dengan Variasi Massa

Hasil fotodegradasi metilen biru paling tinggi yaitu 95% dengan massa nanopartikel ZnO sebesar 120 mg dan waktu penyinaran UV selama 150 menit. Fotodegradasi adalah penguraian senyawa organik salah satunya metilen biru, menjadi senyawa yang tidak berbahaya dan lebih sederhana seperti air dan karbon dioksida menggunakan fotokatalis dan bantuan sinar UV. Reaksi fotodegradasi metilen biru menggunakan fotokatalis nanopartikel ZnO adalah sebagai berikut :



Keterangan:

- $h\nu$: Sinar ultra violet
- h_{vb}^+ : Hole positif pada pita valensi
- e_{cb}^- : Elektron negatif pada pita konduksi
- $O_2\cdot$: Radikal superoksida
- $OH\cdot$: Radikal hidroksil



Gambar 6. Hasil Fotodegradasi MB dengan Variasi Massa Fotokatalis

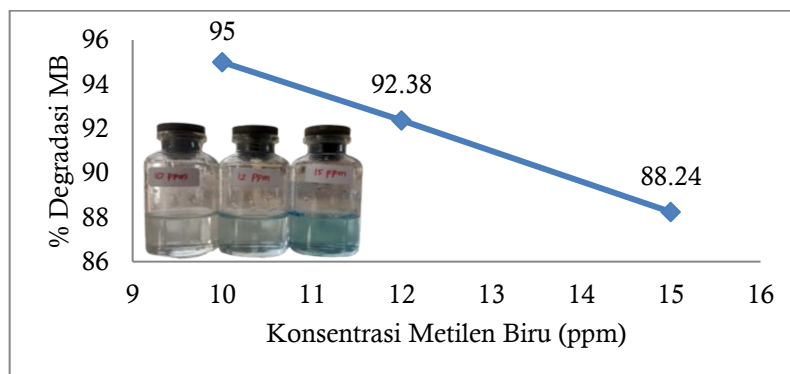
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, terjadi peningkatan aktivitas fotodegradasi metilen biru pada massa 20-120 mg dengan hasil yang tidak terlalu signifikan pada massa 80, 100, 120, dan 140 mg. Dari tujuh variasi massa nanopartikel ZnO yang digunakan, massa 120 mg adalah massa optimum dimana pada massa ini kinerja fotokatalis berjalan maksimal. Terjadinya peningkatan persen degradasi metilen biru seiring bertambahnya massa fotokatalis disebabkan karena semakin bertambahnya jumlah sisi aktif dari fotokatalis, dengan demikian semakin banyak energi foton yang diserap oleh fotokatalis dan meningkatkan pembentukan radikal hidroksil (OH•) yang akan bereaksi dengan metilen biru dalam larutan. Sehingga semakin banyak radikal hidroksil (OH•) yang dihasilkan, maka semakin banyak metilen biru dapat terdegradasi dalam larutan (Fraditasari *et al.*, 2015). Namun, pada massa 140 mg terjadi penurunan aktivitas fotodegradasi disebabkan telah tercapainya titik jenuh. Massa dari fotokatalis dapat mempengaruhi efisiensi degradasi metilen biru dalam larutan. Apabila massa fotokatalis yang digunakan terlalu banyak dan melewati titik jenuh, cenderung akan membentuk agregat yang akan menutupi sisi aktif pada permukaan fotokatalis (Nugroho & Fajriati, 2017). Selain itu, massa fotokatalis yang terlalu banyak juga menyebabkan larutan menjadi sangat keruh sehingga tidak dapat menyerap sinar UV dengan maksimal dan bahkan dapat menghamburkan sinar yang berakibat pada kurangnya penangkapan foton (Cahyorini, 2012). Sedangkan jika massa fotokatalis yang digunakan terlalu sedikit, maka nanopartikel ZnO tidak cukup untuk mengikat metilen biru dalam larutan secara optimal. Disajikan penelitian terdahulu tentang biosintesis nanopartikel ZnO dan aplikasinya sebagai fotokatalis pada Tabel 1.

Tabel 1. Biosintesis Nanopartikel ZnO dan Aplikasinya sebagai Fotokatalis

Fotokatalis	Ekstrak Daun	Polutan	Efisiensi Degradasi (%)	Waktu Degradasi (Menit)	Referensi
ZnO NPs	<i>Azadirachta indica</i>	Metilen Biru	82,1	180	(Bhuyan <i>et al.</i> , 2015)
ZnO NPs	<i>Vitex trifolia</i> L.	Metilen Biru	92,13	90	(Elumalai <i>et al.</i> , 2015)
ZnO NPs	<i>Eucalyptus globulus</i>	Metilen Biru	98,3	50	(Reddy & Mandal, 2017)
ZnO NPs	<i>Mussaenda frondosa</i>	Metilen Biru	30	100	(Jayappa <i>et al.</i> , 2020)
ZnO NPs	<i>Prosopis juliflora</i>	Metilen Biru	94	45	(Mydeen <i>et al.</i> , 2020)
ZnO NPs	<i>Syzygium cumini</i>	Metilen Biru	91,4	180	(Sadiq <i>et al.</i> , 2021)
ZnO NPs	<i>Moringa oleifera</i> L.	Metilen Biru	95	150	Penelitian Saat Ini

Aplikasi Nanopartikel ZnO dengan Variasi Konsentrasi Metilen Biru

Hasil fotodegradasi metilen biru paling tinggi yaitu 95% dengan massa nanopartikel ZnO sebesar 120 mg dan waktu penyinaran UV selama 150 menit. Peroleh data hasil fotodegradasi MB disajikan pada Gambar 7.

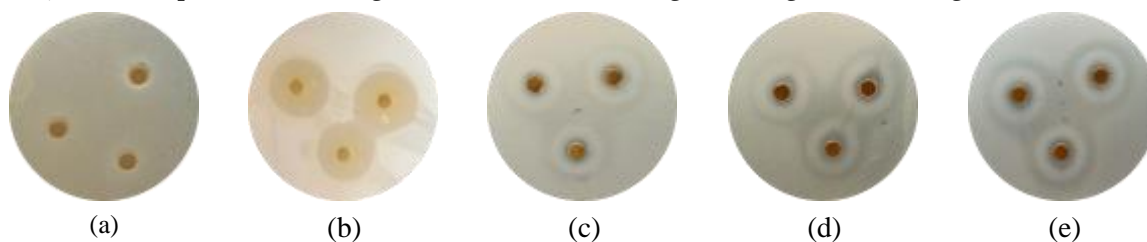


Gambar 7. Hasil Fotodegradasi MB dengan Variasi Konsentrasi Metilen Biru

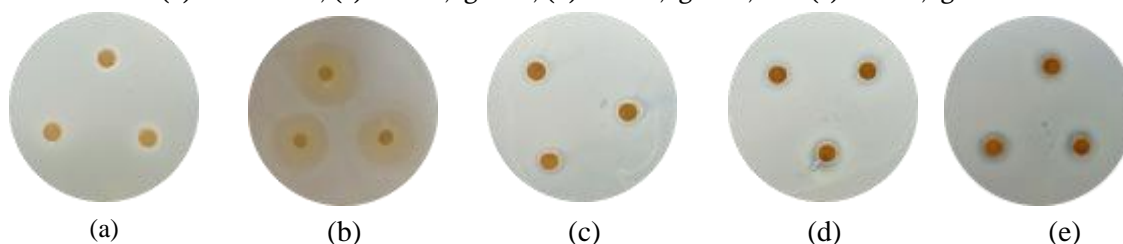
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, terjadi penurunan persen degradasi seiring dengan bertambahnya konsentrasi zat warna metilen biru. Hal ini disebabkan karena peningkatan konsentrasi metilen biru dalam larutan, menyebabkan panjang jalur foton yang melewati larutan dan sampai pada fotokatalis akan menurun. Jika energi foton yang diserap oleh fotokatalis sedikit, maka kemampuan elektron untuk bereksitasi semakin kecil dan semakin sedikit pula radikal hidroksil (OH•) yang dihasilkan. Sehingga berakibat pada turunnya laju degradasi metilen biru dalam larutan (Dini & Wardhani, 2014).

Aplikasi sebagai Antibakteri

Perolehan hasil aktivitas antibakteri terhadap bakteri patogen *Staphylococcus aureus* (Gram positif) dan *Escherichia coli* (Gram negatif) disajikan pada Gambar 8. Sedangkan pada Tabel 2 disajikan diameter zona hambat pertumbuhan bakteri yang dihasilkan oleh aquades (sekontrol negatif), tetrasiklin (0,9g/mL kontrol positif), dan nanopartikel ZnO dengan variasi konsentrasi 0,3g/mL, 0,6g/mL, dan 0,9g/mL.



Gambar 8(a). Uji Antibakteri *S.aureus* dengan Tiga Kali Pengulangan oleh Nanopartikel ZnO (a) Aquades, (b) Tetrasiklin, (c) ZnO 0,3g/mL, (d) ZnO 0,6g/mL, dan (e) ZnO 0,9g/mL



Gambar 8 b). Uji Antibakteri *E.coli* dengan Tiga Kali Pengulangan oleh Nanopartikel ZnO (a) Aquades, (b) Tetrasiklin, (c) ZnO 0,3g/mL, (d) ZnO 0,6g/mL, dan (e) ZnO 0,9g/mL

Tabel 2. Hasil Pengujian Antibakteri

Bakteri	Percobaan	Diameter Hambat (mm)				
		Aquades	Tetrasiklin (0,9g/mL)	Nanopartikel ZnO		
				0,3g/mL	0,6g/mL	0,9g/mL
<i>S.aureus</i>	1	-	22,2	19,6	22,7	24,7
	2	-	21,7	19,2	21,1	24,1
	3	-	25,1	20	21,6	24,1
	Rata-rata ± SD	-	23 ± 0,74	19,6 ± 0,16	21,8 ± 0,33	24,3 ± 0,14
<i>E.coli</i>	1	-	22,1	10,4	11,4	11,6
	2	-	23,8	9,8	11,2	11,4
	3	-	21,9	9,4	11,3	11,7
	Rata-rata ± SD	-	22,6 ± 0,43	9,87±0,2	11,3 ± 0,04	11,57 ± 0,06

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi nanopartikel ZnO yang digunakan, maka semakin besar diameter zona hambat yang dihasilkan dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Bakteri dilindungi oleh membran sel. Aktivitas antibakteri dari ZnO, disebabkan karena adanya pelepasan ion Zn²⁺ dan spesies oksigen reaktif (ROS) (Chemingui *et al.*, 2019). Spesies ROS

yang dihasilkan yaitu radikal hidroksil OH⁻ dan peroksida O₂²⁻ akan merusak DNA dan mendenaturasi protein dari sel. Nanopartikel ZnO akan larut dalam media berair dan melepas ion Zn²⁺. Mekanisme pelepasan ion Zn²⁺ yaitu sebagai berikut:



Ion Zn²⁺ akan berikatan dengan muatan negatif pada permukaan luar membran sel. Interaksi ini akan menyebabkan gangguan pada sel seperti terhambatnya aktivitas sel bakteri seperti transpor aktif, metabolisme bakteri, dan aktivitas enzim diikuti kebocoran isi sel yang berakibat pada kerusakan dan kematian sel bakteri akibat toksisitas dari ion Zn²⁺ (Demissie *et al.*, 2020).

Simpulan

Nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis menggunakan metode biosintesis dengan ekstrak air daun kelor sebagai agen pereduksi dan penstabil. Ukuran kristalin yang dihasilkan adalah 16,97 nm dengan level kristalinitas 78,49%. Nanopartikel ZnO hasil biosintesis menunjukkan aktivitas antibakteri patogen *S.aureus* (Gram positif) dan *E.coli* (Gram negatif) serta kemampuan fotodegradasi yang baik. Semakin besar konsentrasi nanopartikel ZnO, maka semakin besar diameter zona hambatnya. Hasil fotodegradasi metilen biru paling besar dengan variasi massa nanopartikel ZnO dan konsentrasi metilen biru adalah sebesar 95% dengan massa nanopartikel sebanyak 120 mg, konsentrasi metilen biru 10 ppm dan lama penyinaran selama 150 menit.

Daftar Referensi

- Abdelhady, M. M. 2012. Preparation and Characterization of Chitosan/Zinc Oxide Nanoparticles for Imparting Antimicrobial and UV Protection to Cotton Fabric. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/840591>
- Ahmad, R. A. R., Harun, Z., Othman, M. H. D., Basri, H., Yunos, M. Z., Ahmad, A., Mohd Akhair, S. H., Abd Rashid, A. Q., Azhar, F. H., Alias, S. S., & Ainuddin, A. R. 2019. Biosynthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Using Fruits Extracts of Ananas Comosus and Its Antibacterial Activity. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(2): 268–273. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n2.1217>
- Ajitha, B., Ashok Kumar Reddy, Y., & Sreedhara Reddy, P. 2015. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles using Lantana camara Leaf Extract. *Materials Science and Engineering C*, 49: 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.01.035>
- Alamdari, S., Ghamsari, M. S., Lee, C., Han, W., Park, H. H., Tafreshi, M. J., Afarideh, H., & Ara, M. H. M. 2020. Preparation and Characterization Of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of Sambucus ebulus. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(10): 1–19. <https://doi.org/10.3390/app10103620>
- Bello, O. S., Adegoke, K. A., & Akinyunni, O. O. 2017. Preparation and Characterization of A Novel Adsorbent from Moringa oleifera Leaf. *Applied Water Science*, 7(3): 1295–1305. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0345-4>
- Bhuyan, T., Mishra, K., Khanuja, M., Prasad, R., & Varma, A. 2015. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from Azadirachta indica for antibacterial and photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32: 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.12.053>
- Cahyorini, K. (2012). Pembentukan Kompleks Rutenium secara In Situ pada TiO₂ Terdoping Nitrogen. *Disertasi*. Yogyakarta: FMIPA UGM.
- Chatterjee, A., Kwatra, N., & Abraham, J. 2020. Chapter 8 Nanoparticles Fabrication by Plant Extracts. In *Phytonanotechnology*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822348-2.00008-5>
- Chemingui, H., Missaoui, T., Mzali, J. C., Yildiz, T., Konyar, M., Smiri, M., Saidi, N., Hafiane, A., & Yatmaz, H. C. 2019. Facile Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO NPs): Antibacterial and Photocatalytic Activities. *Material Research Express*, 1–33.
- da Silva-Neto, M. L., de Oliveira, M. C. A., Dominguez, C. T., Lins, R. E. M., Rakov, N., de Araújo, C. B., Menezes, L. de S., de Oliveira, H. P., & Gomes, A. S. L. 2019. UV random laser emission from flexible ZnO-Ag-enriched electrospun cellulose acetate fiber matrix. *Scientific Reports*, 9(1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48056-w>

- Daphedar, A., & Taranath, T. C. 2018. Green Synthesis of Zinc Nanoparticles using Leaf Extract of *Albizia saman* (Jacq.) Merr. and Their Effect on Root Meristems of *Drimia indica* (Roxb.) Jessop. *Caryologia*, 71(2): 93–102. <https://doi.org/10.1080/00087114.2018.1437980>
- Demissie, M. G., Sabir, F. K., Edossa, G. D., & Gonfa, B. A. 2020. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of *Lippia adoensis* (Koseret) and Evaluation of Its Antibacterial Activity. *Journal of Chemistry*, 2020: 1–9.
- Dini, E. W. P., & Wardhani, S. 2014. Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem Prog*, 7(1): 29–33.
- Elumalai, K., Velmurugan, S., Ravi, S., Kathiravan, V., & Raj, G. A. 2015. Bio-approach : Plant Mediated Synthesis of ZnO Nanoparticles and Their Catalytic Reduction of Methylene Blue and Antimicrobial Activity. *Advanced Powder Technology*, October: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2015.09.008>
- Fagier, M. A. 2021. Plant-Mediated Biosynthesis and Photocatalysis Activities of Zinc Oxide Nanoparticles: A Prospect towards Dyes Mineralization. *Journal of Nanotechnology*, 2021: 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/6629180>
- Fraditasari, R., Wardhani, S., & Khunur, M. M. 2015. Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO₂-N. *Kimia Student Journal*, 1(1): 606–612.
- Jayappa, M. D., Ramaiah, C. K., Kumar, M. A. P., Suresh, D., Prabhu, A., Devasya, R. P., & Sheikh, S. 2020. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from The Leaf, Stem and In Vitro Grown Callus of *Mussaenda frondosa* L.: Characterization and Their Applications. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 10(8): 3057–3074. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01382-2>
- Marslin, G., Siram, K., Maqbool, Q., Selvakesavan, R. K., Kruszka, D., Kachlicki, P., & Franklin, G. 2018. Secondary Metabolites in The Green Synthesis of Metallic Nanoparticles. *Materials*, 11(6): 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma11060940>
- Mydeen, S. S., Kumar, R. R., Kottaisamy, M., & Vasantha, V. S. 2020. Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Through Extract from *Prosopis juliflora* Plant Leaf: Antibacterial Activities and A New Approach by Rust-Induced Photocatalysis. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(5): 393–406. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.03.003>
- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., & Issaabadi, Z. 2019. Plant-Mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications. In *Interface Science and Technology* (1st ed., Vol. 28). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00006-7>
- Nguyen, N. T., Nguyen, N. T., & Nguyen, V. A. 2020. In Situ Synthesis and Characterization of ZnO/Chitosan Nanocomposite as an Adsorbent for Removal of Congo Red from Aqueous Solution. *Advances in Polymer Technology*, 1–8.
- Nugroho, R. T., & Fajriati, I. 2017. Efektivitas Fotodegradasi Zat Warna Alizarine Red-S Menggunakan Oksidator Hidrogen Peroksida (H₂O₂) dan Fotokatalis TiO₂. *Analit : Analytical and Environmental Chemistry*, 2(02): 26–37.
- Nurbayasari, R., Saridewi, N., & Shofwatunnisa. 2017. Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed *Caulerpa* sp. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1): 17–28. <https://doi.org/10.22146/jfs.24488>
- Okumu, M. O., Mucunu, M. J., Wakonyu, L. K., Waweru, G. D., Gitahi, K. S., & Okumu, O. F. 2016. Phytochemical Profile and Antioxidant Capacity of Leaves of *Moringa oleifera* (Lam) Extracted Using Different Solvent Systems. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry JPP*, 5(4): 302–308.
- Ovais, M., Khalil, A. T., Ayaz, M., & Ahmad, I. 2020. Metal Oxide Nanoparticles and Plants. In *Phytonanotechnology*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822348-2.00007-3>
- Preethi, S., Abarna, K., Nithyasri, M., Kishore, P., Deepika, K., Ranjithkumar, R., Bhuvaneshwari, V., & Bharathi, D. 2020. Synthesis and Characterization of Chitosan/Zinc Oxide Nanocomposite for Antibacterial Activity Onto Cotton Fabrics and Dye Degradation Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164: 2779–2787. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.047>
- Rachmawati, S. R. 2019. Characterization of (*Moringa oleifera* Lam.) Leaf Water Extracts by Chemical and Microbiology. *Jurnal Teknologi Dan Seni Kesehatan*, 10(2): 102–116.
- Rajakumar, G., Thiruvengadam, M., Mydhili, G., Gomathi, T., & Chung, I. M. 2018. Green Approach for Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from *Andrographis paniculata* Leaf Extract and Evaluation of

- Their Antioxidant, Anti-Diabetic, and Anti-Inflammatory Activities. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41(1): 21–30. <https://doi.org/10.1007/s00449-017-1840-9>
- Reddy, S. B., & Mandal, B. K. 2017. Facile Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Eucalyptus globulus and Their Photocatalytic and Antioxidant Activity. *Advanced Powder Technology*, 28(3): 785–797. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2016.11.026>
- Sadiq, H., Sher, F., Sehar, S., Lima, E. C., Zhang, S., Iqbal, H. M. N., Zafar, F., & Nuhanović, M. 2021. Green Synthesis of ZnO Nanoparticles from Syzygium Cumini Leaves Extract with Robust Photocatalysis Applications. *Journal of Molecular Liquids*, 335: 116567. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2021.116567>
- Santhoshkumar, J., Kumar, S. V., & Rajeshkumar, S. 2017. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Plant Leaf Extract Against Urinary Tract Infection Pathogen. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4): 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.refit.2017.05.001>
- Saravanadevi, K., Kavitha, M., Karpagavinayagam, P., Saminathan, K., & Vedhi, C. 2020. Biosynthesis of ZnO and Ag doped ZnO Nanoparticles from Vitis vinifera Leaf for Antibacterial, Photocatalytic Application. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.707>
- Shabaani, M., Rahaiee, S., Zare, M., & Jafari, S. M. 2020. Green Synthesis of ZnO Nanoparticles using Loquat seed Extract; Biological Functions and Photocatalytic Degradation Properties. *Lwt*, 134(April), 110133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110133>
- Shawai, R. S., & Singh, R. 2018. Phytochemical Screening, Anti-Oxidant and Antimicrobial Activity of Ethanolic Extracts of Medicinal Plants. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3): 617–630.
- Singh, P., Kim, Y. J., Zhang, D., & Yang, D. C. (2016). Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7): 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.02.006>
- Vijayakumar, S., Mahadevan, S., Arulmozhi, P., Sriram, S., & Praseetha, P. K. 2018. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles using Atalantia monophylla Leaf Extracts: Characterization and Antimicrobial Analysis. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 82(March): 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.03.017>
- Wulan, S., Abrar, & Fathonah, I. W. 2019. Green Synthesis Nanopartikel ZnO Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Metilen Biru. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2): 5092–5099.
- Yedurkar, S., Maurya, C., & Mahanwar, P. 2016. Biosynthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Ixora Coccinea Leaf Extract — A Green Approach. *Scientific Research Publishing*, 5: 1–14. <https://doi.org/10.4236/ojsta.2016.51001>
- Yunita, Nurlina, & Syahbanu, I. 2020. Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent. *Positron*, 10(2): 44. <https://doi.org/10.26418/positron.v10i2.42136>
- Yurestira, I., Aji, A. P., Desfri, M. F., Rini, A. S., & Rati, Y. 2021. Potential of ZnO/ZnS as Electron Transport Materials on Perovskite Solar Cells. *Journal of Aceh Physics Society*, 10(2): 41–47. <https://doi.org/10.24815/jacps.v10i2.18383>