



Alotrop

Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia

p-ISSN 2252-8075 e-ISSN 2615-2819

SINTESIS NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN MANGGA (*Mangifera sp.*) DAN STUDI APLIKASINYA SEBAGAI FOTODEGRADASI CONGO RED

Hasiah¹, Demi Dama Yanti^{1*}, Bambang Ari Wahjoedi²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera

²Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

*email: demi.damayanti@ki.itera.ac.id

ABSTRACT

[Synthesis of ZnO Nanoparticles using Mangifera sp. leaf extract and Their Photocatalytic Activity Against Congo Red] Zinc oxide (ZnO) is a widely studied semiconductor material due to its broad range of applications. ZnO is known for its stability and can be synthesized using various methods. One of the approaches employed in this study is the co-precipitation method with a green synthesis approach. The green synthesis principle applied in this research involves minimizing the use of synthetic chemicals by substituting them with natural materials. Mango leaves (*Mangifera sp.*), which are readily available in the environment, contain secondary metabolites which can act as the capping agents in synthesis ZnO nanoparticle. The role of the capping agent is to limit particle interactions, thereby reducing agglomeration. ZnO synthesis was carried out at a low temperature by mixing Zn^{2+} precursor, NaOH, and mangifera sp. leaf extract, followed by stirring. The heating process was conducted at 130°C for 4 hours. The synthesized material was characterized using X-ray diffraction (XRD), UV-DRS, and scanning electron microscopy (SEM). The characterization results confirmed that the ZnO sample exhibited a hexagonal wurtzite crystal structure, a nanoflower morphology, and a band gap energy of 3.26 eV. Congo red was degraded by 46,802% after a contact time of 120 minutes.

Keywords: ZnO; nanoparticles; photocatalyst; congo red; co-precipitation.

ABSTRAK

Seng oksida (ZnO) merupakan salah satu material semikonduktor yang telah banyak dikaji oleh peneliti karena aplikasinya yang luas. ZnO juga merupakan material yang stabil dan dapat disintesis dengan berbagai metode. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode presipitasi dengan pendekatan *green synthesis*. Prinsip *green synthesis* yang diterapkan pada penelitian ini adalah pengurangan dalam penggunaan bahan kimia sintetis dan mensubstitusinya dengan bahan alam. Daun mangga (*Mangifera sp.*) merupakan salah satu tumbuhan yang mudah ditemukan di sekitar. Daun mangga (*Mangifera sp.*) mengandung beberapa senyawa metabolit sekunder yang dapat diaplikasikan sebagai *capping agent* dalam sintesis nano partikel zink oksida.



Fungsi *capping agent* di sini adalah untuk membantasi interaksi antar partikel sehingga mengurangi terjadinya aglomerasi. Sintesis dilakukan pada suhu rendah dengan mencampurkan prekursor Zn^{2+} , NaOH, dan ekstrak daun mangga (*Mangifera sp.*) yang kemudian diaduk. Suhu pemanasan yang digunakan adalah 130°C dengan waktu pemanasan 4 jam. Karakterisasi material dilakukan menggunakan instrumentasi XRD, UV-DRS, dan SEM. Berdasarkan hasil karakterisasi diperoleh sampel ZnO dengan struktur kristal heksagonal *wurtzite*, morfologi *nanostar*, dan memiliki energi band gap 3,26 eV. Setelah diaplikasikan sebagai fotokatalis pada reaksi degradasi zat warna congo red, diketahui persen degradasi tertinggi yang diperoleh adalah 46,802% dengan waktu penyinaran selama 120 menit.

Kata kunci: ZnO; nanopartikel; fotokatalis; congo red; ko-presipitasi

PENDAHULUAN

Perkembangan nanoteknologi sangatlah cepat, karena banyak peneliti yang tertarik mengenai bidang penelitian ini. Peneliti seolah bersaing untuk memberikan penemuan dan inovasi baru mengenai nanoteknologi. Salah satu penelitian yang banyak diteliti pada bidang nanoteknologi yaitu metode pengembangan sintesis dan aplikasi nanopartikel. Nanopartikel merupakan partikel dengan ukuran 1 hingga 100 nm [1]. Material yang berukuran nano memiliki sifat yang berbeda dari aslinya. Sifat dari kinerja nano partikel bergantung pada ukuran partikel, bentuk dan morfologinya. Nanopartikel dengan luas permukaan yang besar dan energi permukaan yang tinggi cenderung mengalami agregasi [2].

Salah satu nanopartikel yang banyak diteliti yaitu seng oksida (ZnO) hal ini dikarenakan permintaan pasar untuk serbuk nanopartikel ZnO terus meningkat terutama permintaan oleh industri [3]. ZnO banyak digunakan dalam industri karena kegunaannya sebagai fotokatalis, dan anti-korosi. ZnO juga dapat digunakan untuk tabir surya sebagai bahan aditif tahan ultraviolet. Aplikasi lain dari serbuk nanopartikel ZnO yaitu elektrofotografi, *photoprinting*, kapasitor, lapisan pelindung, anti-mikroba, film tipis

konduktif di LCD, sel surya, dan dioda laser biru [4]. ZnO merupakan material semikonduktor yang memiliki *band gap* sebesar 3.37 eV dengan energi ikat eksitasi sebesar 60 MeV [5]. ZnO dapat disintesis dengan berbagai morfologi seperti nanopartikel [6], nanorods [7], dan kawat nano [8]. Partikel ZnO yang disintesis dapat menghasilkan partikel berukuran nano hingga mikro, sehingga dalam mensintesis ZnO harus dijaga kestabilan ukuran partikel agar tidak terjadi aglomerasi partikel. Hal ini dapat dilakukan dengan cara penambahan *capping agent* saat sintesis [9].

Peran *capping agent* selain untuk mencegah terjadinya aglomerasi partikel dan kestabilan ukuran partikel, juga berperan mengontrol pertumbuhan partikel dengan cara menurunkan energi permukaan pada partikel [10]. Sehingga, agregasi partikel dapat dihindarkan. *Capping agent* yang digunakan dapat diperoleh dari berbagai ekstrak tumbuhan yang memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder seperti saponin, tanin dan flavonoid. Penelitian sebelumnya yang berhasil mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak tumbuhan seperti buah tomat [11], lavender laut [12], daun rami [13], dan daun berenuk [14]. Pada penelitian kali ini ekstrak yang digunakan berasal dari daun mangga (*Mangifera sp.*) sebagai

capping agent untuk mensintesis, hal ini dikarenakan pada penelitian Sundeeep, dkk telah berhasil mensintesis nanopartikel Ag [15] dan Felicia, dkk telah berhasil mensintesis nanopartikel kobalt [16].

ZnO dapat disintesis melalui berbagai metode seperti hidrotermal [6], sol-gel [17], solvothermal [18], dan mekanokimia [19]. Namun, metode-metode tersebut memiliki kekurangan seperti menggunakan suhu tinggi, peralatan yang mahal, dan menggunakan bahan-bahan beracun yang berpotensi mencemari lingkungan. Sehingga dikembangkan metode alternatif untuk mensintesis nanopartikel yang ramah lingkungan dengan menggunakan metode presipitasi [20]. Metode presipitasi sering digunakan dalam mensintesis nanopartikel, hal ini dikarenakan dapat menghasilkan partikel dengan ukuran nano, biaya rendah, suhu reaksi rendah dan waktu yang dibutuhkan relatif cepat. Metode presipitasi terbukti efektif untuk mensintesis nanopartikel ZnO dari prekursoranya [21].

ZnO dapat diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi limbah zat warna tekstil [14]. Salah satu limbah zat warna tekstil yaitu *congo red*. Zat warna *congo red* dalam perairan dapat membahayakan spesies makhluk hidup didalamnya karena bersifat toksisitas yang tinggi. *Congo red* dalam tubuh dapat menyebabkan penyakit seperti gangguan fungsi ginjal, hati dan saraf [22]. Permasalahan pencemaran lingkungan tersebut dapat diatasi dengan berbagai metode, salah satunya metode fotodegradasi. Fotodegradasi merupakan suatu proses penguraian senyawa dengan bantuan katalis dan energi foton [23].

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan

pendekatan green synthesis dengan metode presipitasi. Adapun *capping agent* yang digunakan adalah ekstrak daun mangga (*Mangifera sp.*). nanopartikel ZnO yang dihasilkan kemudian diaplikasikan sebagai fotokatalis dalam reaksi degradasi zat warna congo red.

METODE PENELITIAN

Material

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah seng klorida (ZnCl_2) dari Merck, NaOH dari Merck, etanol, dan akuades. Semua bahan langsung digunakan tanpa melalui proses pemurnian lebih lanjut. Bahan lain yang juga digunakan pada penelitian ini adalah daun mangga (*Mangifera sp.*)

Ekstraksi Daun Mangga

Daun mangga diambil dari Jl. Senopati Raya, Sabah Balau, Kabupaten Lampung Selatan, Propinsi Lampung. Metode ekstraksi merupakan modifikasi pada beberapa bagian dari penelitian sebelumnya [24]. Daun mangga disiapkan, dicuci menggunakan akuades, dan dilap menggunakan tisu. Daun mangga yang sudah dibersihkan dipotong kecil-kecil, diambil sebanyak 10 gram, dimasukkan ke dalam gelas kimia 500 mL dan ditambahkan akuades 250 mL. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C selama 20 menit hingga diperoleh larutan berwarna kuning muda. Larutan disaring untuk mendapatkan ekstrak. Setelah didapatkan ekstrak, ekstrak disimpan untuk dijadikan sebagai *capping agent* dalam mensintesis nanopartikel ZnO.

Gambar 1 merupakan daun mangga yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Daun mangga (a), sampel daun mangga yang diambil (b), daun mangga yang sudah dihaluskan (c)

Sintesis Nanopartikel ZnO

Sintesis nanopartikel ZnO dilakukan dengan metode presipitasi, yang merupakan modifikasi dari metode pada penelitian terdahulu [25]. 80 mL ZnCl_2 0,1 M direaksikan dengan 10 mL ekstrak daun mangga, selanjutnya ditambahkan NaOH 0,5 M tetes demi tetes hingga pH mencapai 12. Campuran diaduk pada suhu 60°C selama 2 jam. Setelah dipanaskan, larutan dimasukkan ke dalam botol sentrifugasi 15 mL dan dilakukan sentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Setelah disentrifugasi endapan yang diperoleh disaring menggunakan kertas Whatman no. 42. Padatan yang dihasilkan kemudian dicuci dengan akuades dan etanol. Terdapat variasi waktu pengeringan dalam oven yaitu 3 jam dan 4 jam pemanasan dengan suhu 130°C .

Karakterisasi Nanopartikel ZnO

Struktur kristal dan ukuran kristalit ditentukan menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*). Energi *band gap* ZnO ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-DRS (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*). Morfologi permukaan dan ukuran nanopartikel ditentukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Aktivitas Fotodegradasi Nanopartikel ZnO

100 mL *congo red* 25 ppm dimasukkan ke dalam gelas kimia kemudian ditambahkan ZnO 25 mg. Lampu UV dinyalakan dan proses fotokatalisis dilakukan dengan variasi waktu penyinaran yaitu 0, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 sebanyak 10 mL menggunakan pipet volume. Kemudian larutan yang telah diradiasi diamati perubahan absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan mengatur panjang gelombang yaitu 499 nm sesuai dengan panjang gelombang *congo red*. Dilakukan juga proses fotodegradasi untuk sampel tanpa katalis sebagai pembanding.

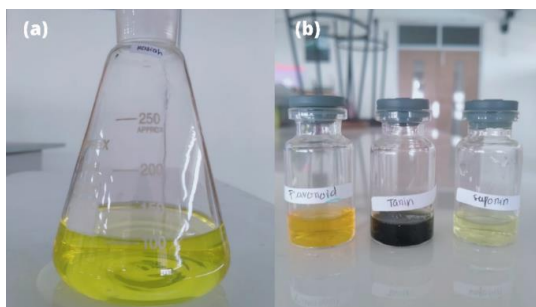
Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Maret 2023 hingga Maret 2024. Pelaksanaan penelitian berada di Laboratorium Kimia Material dan Lingkungan, Labtek III, Institut Teknologi Sumatera.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Nanopartikel ZnO menggunakan Ekstrak Daun Mangga

Pelarut yang digunakan pada penelitian ini yaitu akuades dengan pemanasan pada suhu 60°C . Ekstraksi dilakukan selama 20 menit dengan suhu larutan 60°C . Penggunaan suhu 60°C bertujuan untuk mencegah rusaknya struktur metabolit sekunder yang terkandung dalam daun mangga. Ekstrak daun mangga yang diperoleh pada penelitian ini berwarna kuning, hal ini menunjukkan adanya senyawa flavonoid yang dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil tersebut sejalan dengan uji fitokimia yang dilakukan oleh Anggraini, dkk tahun 2020 [26].



Gambar 2. Ekstrak daun mangga (a), hasil uji fitokimia (b)

Uji fitokimia dilakukan pada ekstrak daun mangga yang telah diperoleh untuk mengetahui kandungan metabolit sekunder. Uji fitokimia adalah metode untuk menemukan bioaktif yang belum terlihat melalui pemeriksaan atau tes yang dapat dengan cepat membedakan bahan alam yang mengandung metabolit sekunder tertentu [27]. Metabolit sekunder yang diuji yaitu flavonoid, tannin, dan saponin. Rangkuman hasil uji fitokimia dapat dilihat pada Tabel 1.

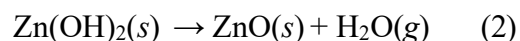
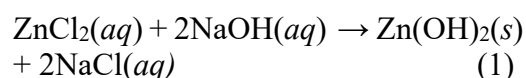
Tabel 1. Hasil Uji Fitokimia Sederhana

Metabolit sekunder	Pereaksi	Perubahan	Hasil
Flavonoid	HCl	Kuning	+
	pekat + Mg	menjadi orange	
Tannin	FeCl ₃ 3%	Hijau kehitaman	+
Saponin	Dikocok	Tidak ada busa	-

Hasil uji fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak daun mangga mengandung senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid dan tanin hasil ini ditandai adanya perubahan warna yang terjadi ketika penambahan pereaksi. Perubahan warna *orange* ketika ditambahkan pereaksi HCl pekat dan Mg, hal ini menandakan adanya

senyawa flavonoid [28]. Perubahan warna *orange* pada uji flavonoid dikarenakan terjadinya reduksi oleh HCl dan Mg pada inti benzopiron pada struktur flavonoid sehingga garam flavilium terbentuk [29]. Perubahan warna hijau kehitaman pada penambahan pereaksi FeCl₃ 3% menandakan adanya senyawa tanin. Penyebab perubahan warna hijau kehitaman pada uji tanin adalah adanya reaksi antara ion Fe³⁺ dan tanin yang menghasilkan senyawa kompleks berwarna [30]. Uji saponin didapatkan hasilnya negatif karena tidak terdapat busa yang muncul setelah pengadukan.

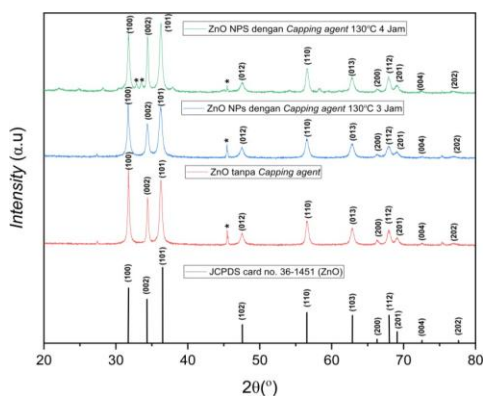
Adanya kandungan senyawa metabolit sekunder pada daun mangga yaitu flavonoid dan tannin, menjadikan ekstrak daun mangga memenuhi syarat untuk menjadi capping agent. Senyawa tersebut memiliki gugus aktif OH yang akan berinteraksi dengan prekursor Zn²⁺. Interaksi ini membuat Zn²⁺ seolah-olah diselimuti oleh gugus aktif dari metabolit sekunder yang akan membatasi interaksi antar Zn²⁺ [31]. Adapun reaksi pembentukan ZnO sebagai berikut :



Didapatkan kristal berwarna putih kekuningan pada ZnO NPs dengan penambahan *capping agent* dan berwarna putih pada ZnO NPs tanpa *capping agent*. Warna ZnO NPs yang dihasilkan mirip dengan penelitian sebelumnya yang melakukan sintesis ZnO NPs dengan penambahan *capping agent* dari ekstrak tumbuhan seperti daun minyak ekaliptus (*Eucalyptus globulus Labill*) [32], dan daun delima (*Punica Granatum*) [33].

Analisis XRD

Puncak-puncak difraksi yang didapatkan dari hasil karakterisasi XRD telah dicocokkan dengan data-base *Joint Commite on Powder Diffraction Standar* (JCPDS) No. 36-1451. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, material yang disintesis merupakan nanopartikel ZnO dengan struktur kristal heksagonal wurtzite.



Gambar 3. Pola difraktogram XRD dari ZnO

Pola difraktogram XRD dari nanopartikel ZnO yang disintesis tertampil pada **Gambar 3**. Terdapat 3 sampel yang dikarakterisasi, yaitu sampel ZnO tanpa capping agent, ZnO dengan capping agent yang dikeringkan pada suhu 130°C selama 3 jam, dan ZnO dengan capping agent yang dikeringkan pada suhu 130°C selama 4 jam. Berdasarkan pola difraktogram tersebut, diperoleh puncak-puncak difraksi pada sudut 2θ yaitu, 31,76 (100); 34,40 (002); 36,24 (101); 47,56 (012); 56,60 (110); 62,83 (103); 66,32 (200); 67,93 (112); dan 69,08 (004).

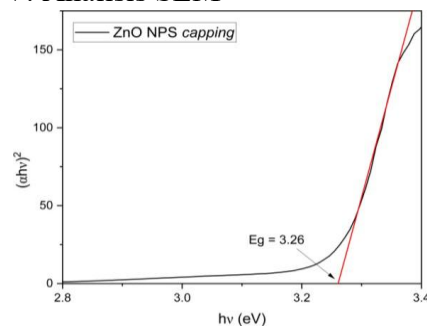
Terdapat 3 puncak difraksi pengotor yang terdeteksi pada difraktogram yaitu pada 32,87; 33,55; dan 45,48. Setelah disesuaikan dengan JCPDS, pengotor yang muncul adalah $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Hal yang terjadi juga pada penelitian yang dilaporkan oleh Faheem, dkk [34]. $\text{Zn}(\text{OH})_2$ merupakan fase metastabil

pada suhu rendah dan dapat bertransformasi membentuk ZnO dengan laju yang rendah [35]. Adanya $\text{Zn}(\text{OH})_2$ dikarenakan kurangnya waktu pemanasan, sehingga masih ada fase $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang belum sepenuhnya membentuk ZnO. Tidak ada fase lain yang terdeteksi selain ZnO dan $\text{Zn}(\text{OH})_2$, maka diharapkan material dapat berfungsi sebagai fotokatalis.

Analisis UV-DRS

Tujuan dari karakterisasi UV-Vis DRS adalah untuk mengetahui besarnya energi *band gap* (celah pita) ZnO. Besarnya celah pita akan mempengaruhi bagaimana material ZnO NPs bekerja saat mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, hal ini berkaitan dengan ZnO NPs sebagai semikonduktor [3].

Hasil karakterisasi UV-DRS dilakukan perhitungan dan dibuat plot hubungan antara $(\alpha h\nu)^2$ (pada sumbu y) dan plot $h\nu$ (pada sumbu x) yang selanjutnya disebut sebagai Tauc plot. Berdasarkan Tauc plot pada **Gambar 4**, diketahui bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan daun mangga memiliki energi *band gap* sebesar 3.26 eV. Analisis SEM

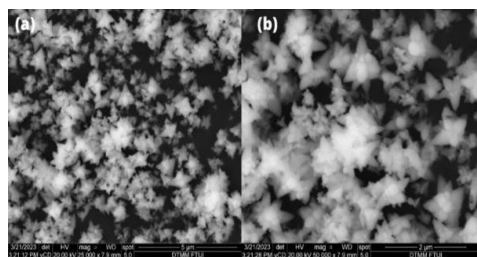


Gambar 4. Tauc plot nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan daun mangga dan pemanasan 130oC selama 4 jam

Berdasarkan energi celah pita yang diperoleh, ZnO NPs merupakan material semikonduktor dengan nilai 3,26 eV. Hasil energi celah pita yang diperoleh hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Yunita dengan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak daun suji yaitu sebesar 3,29 eV [3]. Celah pita yang tergolong lebih kecil dibandingkan ZnO yang disintesis tanpa *capping* yaitu sebesar 3,30 pada penelitian yang dilakukan oleh Yan Feng dan kawan-kawan[36].

Analisis SEM

Karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan nanopartikel ZnO. Karakterisasi SEM dilakukan hanya pada ZnO dengan *capping agent* pada pemanasan 130°C selama 4 jam. Hasil pencitraan SEM dapat dilihat pada **Gambar 5**. nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun mangga pada pemanasan 130°C selama 4 jam terbentuk morfologi seperti bintang atau disebut dengan nanostar [37]. Pada hasil SEM tersebut masih terdapat agregat yang terbentuk, agregat tersebut karena adanya gaya Van der Waals yang mendorong partikel untuk beragregasi dan menghasilkan partikel berukuran lebih besar dalam proses aglomerasi [38].

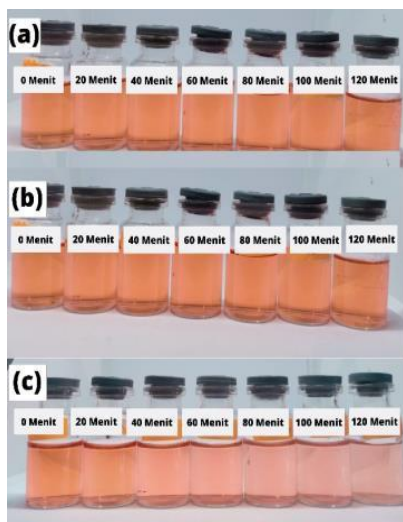


Gambar 5. Citra SEM nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan daun mangga dengan perbesaran 25.000X (a) dan 50.000X (b)

Berdasarkan hasil SEM yang diperoleh didapatkan ukuran nanopartikel sebesar 56,12 nm. Ukuran nanopartikel diperoleh dengan menggunakan *software image J* dan origin lab dengan mengambil sebanyak 100 sampel dan diolah menggunakan metode Gaussian. Hasil yang diperoleh sejalan dengan beberapa penelitian yang melakukan sintesis ZnO menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai *capping agent* belimbing wuluh yang memiliki ukuran partikel 59,5 nm [39].

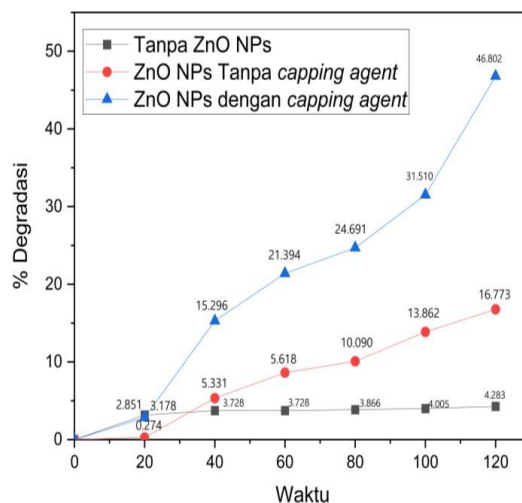
Aktivitas Fotokatalis Terhadap Zat Warna Congo Red

Nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan daun mangga dengan pemanasan pada suhu 130°C selama 4 jam kemudian diuji aktivitas fotokatalitiknya pada reaksi degradasi *congo red*. Konsentrasi *congo red* yang digunakan yaitu 25 ppm dengan massa ZnO NPs 25 mg. Dilakukan variasi waktu penyinaran menggunakan lampu UV. Variasi waktu penyinaran pada saat fotodegradasi yang digunakan yaitu 0, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Pengujian dilakukan untuk 3 sampel yang berbeda yaitu tanpa katalis, menggunakan katalis ZnO tanpa *capping agent*, dan menggunakan katalis ZnO dengan *capping agent* daun mangga.



Gambar 6. Perubahan warna larutan *congo red* setelah disinari lampu UV, tanpa katalis (a), diberi katalis ZnO tanpa *capping agent* (b), diberi ZnO dengan *capping agent* daun mangga (c).

Gambar 6 merupakan perubahan warna larutan *congo red* dari waktu ke waktu setelah disinari dengan lampu UV. Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa larutan *congo red* yang diberi fotokatalis ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun mangga memiliki warna yang lebih pudar dibandingkan *congo red* tanpa katalis dan diberi katalis tanpa *capping agent*. Warna yang semakin memudar menunjukkan bahwa semakin banyak molekul *congo red* yang terdegradasi, sehingga konsentrasinya di dalam larutan semakin menurun [14]. Perubahan warna ini mendukung hasil karakterisasi spektrofotometer Uv-Vis dalam menentukan persentase zat warna *congo red* yang terdegradasi. Persentase tersebut dialurkan terhadap waktu penyinaran yang tertampil pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva persen degradasi *congo red* terhadap waktu penyinaran

Persen degradasi tertinggi yang diperoleh adalah 46,802% dengan waktu penyinaran 120 menit. Berdasarkan hasil ini, disimpulkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun mangga memiliki aktivitas fotokatalitik sedang terhadap reaksi degradasi zat warna *congo red*.

SIMPULAN

Nanopartikel ZnO berhasil disintesis menggunakan ekstrak daun mangga sebagai *capping agent* melalui metode presipitasi. Nanopartikel ZnO yang dihasilkan memiliki struktur kristal wurtzite dengan fasa heksagonal. Berdasarkan analisis XRD, ditemukan pengotor berupa $\text{Zn}(\text{OH})_2$ di dalam material. Hadirnya $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ini diperkirakan karena kristalisasi $\text{Zn}(\text{OH})_2$ menjadi ZnO belum berlangsung sempurna. Nanopartikel ZnO yang dihasilkan memiliki energi celah pita 3,26 eV dengan morfologi permukaan berupa nanostar. Kemampuan nanopartikel ZnO sebagai fotokatalis dalam reaksi degradasi zat warna *congo red* berada dalam kategori sedang

dengan persen degradasi 46,802% setelah 120 menit penyinaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. G. Jamkhande, N. W. Ghule, A. H. Bamer, and M. G. Kalaskar, "Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications," *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, vol. 53, p. 101174, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.jddst.2019.101174.
- [2] S. Shrestha, B. Wang, and P. Dutta, "Nanoparticle processing: Understanding and controlling aggregation," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 279, p. 102162, May 2020, doi: 10.1016/j.cis.2020.102162.
- [3] Y. Yunita, N. Nurlina, and I. Syahbanu, "Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent," *POSITRON*, vol. 10, no. 2, p. 44, Dec. 2020, doi: 10.26418/positron.v10i2.42136.
- [4] J. N. Hasnidawani, H. N. Azlina, H. Norita, N. N. Bonnia, S. Ratim, and E. S. Ali, "Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method," *Procedia Chem.*, vol. 19, pp. 211–216, 2016, doi: 10.1016/j.proche.2016.03.095.
- [5] N. Babayevska *et al.*, "ZnO size and shape effect on antibacterial activity and cytotoxicity profile," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 8148, May 2022, doi: 10.1038/s41598-022-12134-3.
- [6] B. Bulcha *et al.*, "Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Hydrothermal Methods and Spectroscopic Investigation of Ultraviolet Radiation Protective Properties," *J. Nanomater.*, vol. 2021, pp. 1–10, Sep. 2021, doi: 10.1155/2021/8617290.
- [7] I. K. R. Laila, N. Mufti, S. Maryam, A. Fuad, A. Taufiq, and Sunaryono, "Synthesis and Characterization of ZnO Nanorods by Hydrothermal Methods and Its Application on Perovskite Solar Cells," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1093, p. 012012, Sep. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1093/1/012012.
- [8] B.-J. Lee, S.-I. Jo, S.-G. Heo, W.-Y. Lee, and G.-H. Jeong, "Structure-controllable synthesis of ZnO nanowires using water vapor in an atmospheric-pressure microwave plasma system," *Curr. Appl. Phys.*, vol. 28, pp. 52–58, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.cap.2021.05.004.
- [9] D. T. Handago, E. A. Zereffa, and B. A. Gonfa, "Effects of Azadirachta Indica Leaf Extract, Capping Agents, on the Synthesis of Pure And Cu Doped ZnO-Nanoparticles: A Green Approach and Microbial Activity," *Open Chem.*, vol. 17, no. 1, pp. 246–253, Apr. 2019, doi: 10.1515/chem-2019-0018.
- [10] T. B. Rawal *et al.*, "Role of Capping Agents in the Synthesis of Salicylate-Capped Zinc Oxide Nanoparticles," *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 3, no. 10, pp. 9951–9960, Oct. 2020, doi: 10.1021/acsanm.0c01972.
- [11] D. D. Yanti, G. Angelina, A. Ashari, A. A. J. Agung, and A. Ayuwindanda, "The Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles Using Extract Tomato (*Solanum lycopersicum*) As Capping Agent and Its Antioxidant Activity,"

- Stannum J. Sains Dan Terap. Kim.*, vol. 6, no. 1, pp. 10–20, May 2024, doi: 10.33019/jstk.v6i1.4394.
- [12] B. Naiel, M. Fawzy, M. W. A. Halmy, and A. E. D. Mahmoud, “Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Sea Lavender (*Limonium pruinatum* L. Chaz.) extract: characterization, evaluation of anti-skin cancer, antimicrobial and antioxidant potentials,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 20370, Nov. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-24805-2.
- [13] T. C. Kpega, J. D. Habila, I. E. Okon*, and P. A. Ekwumemgbo, “Green Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles using *Corchorus olitorius* Leaf Extract,” *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 358–367, Oct. 2023, doi: 10.13170/aijst.12.3.34013.
- [14] D. D. Yanti, S. Aprilia, B. Ariwahjoedi, M. A. Serunting, and H. P. C. A. Cane, “Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Mediated by *Crescentia cujete* L Leaves Extract and The Photocatalytic Activities Towards Methylene Blue,” *J. Kim. Sains Dan Apl.*, vol. 26, no. 12, pp. 457–465, Jan. 2024, doi: 10.14710/jksa.26.12.457-465.
- [15] D. Sundeep, T. Vijaya Kumar, P. S. S. Rao, R. V. S. S. N. Ravikumar, and A. Gopala Krishna, “Green synthesis and characterization of Ag nanoparticles from *Mangifera indica* leaves for dental restoration and antibacterial applications,” *Prog. Biomater.*, vol. 6, no. 1–2, pp. 57–66, May 2017, doi: 10.1007/s40204-017-0067-9.
- [16] F. U. Okwunodulu, H. O. Chukwumeka-Okorie, and F. C. Okorie, “Biological Synthesis of Cobalt Nanoparticles from *Mangifera indica* Leaf Extract and Application by Detection of Manganese (II) Ions Present in Industrial Wastewater,” *Chem. Sci. Int. J.*, pp. 1–8, Jun. 2019, doi: 10.9734/CSJI/2019/v27i130106.
- [17] K. Vignesh, A. S. Nair, C. Udhayakeerthana, and T. Kalaivani, “Synthesis and characterization ZnO nanoparticles using sol-gel method and their antibacterial study,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1219, no. 1, p. 012019, Jan. 2022, doi: 10.1088/1757-899X/1219/1/012019.
- [18] Electro-Materials Research Laboratory, Centre for Nanoscience and Technology, Pondicherry University, Puducherry – 605014, India *et al.*, “A Facile Polyvinylpyrrolidone Assisted Solvothermal Synthesis of Zinc Oxide Nanowires and Nanoparticles and Their Influence on the Photovoltaic Performance of Dye Sensitized Solar Cell,” *ES Energy Environ.*, 2019, doi: 10.30919/eseec8c280.
- [19] G. Otis, M. Ejgenberg, and Y. Mastai, “Solvent-Free Mechanochemical Synthesis of ZnO Nanoparticles by High-Energy Ball Milling of ϵ -Zn(OH)₂ Crystals,” *Nanomaterials*, vol. 11, no. 1, p. 238, Jan. 2021, doi: 10.3390/nano11010238.
- [20] M.-A. Gatou *et al.*, “Optimization of ZnO Nanoparticles’ Synthesis via Precipitation Method Applying Taguchi Robust Design,” *Catalysts*, vol. 13, no. 10, p. 1367, Oct. 2023, doi: 10.3390/catal13101367.

- [21] B.-J. Lee, S.-I. Jo, S.-G. Heo, W.-Y. Lee, and G.-H. Jeong, "Structure-controllable synthesis of ZnO nanowires using water vapor in an atmospheric-pressure microwave plasma system," *Curr. Appl. Phys.*, vol. 28, pp. 52–58, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.cap.2021.05.004.
- [22] N. Mulyaningtias and A. Syafiq, "Perbandingan Adsorpsi Zat Warna Congo Red Menggunakan ZSM-5 dan ZnO Nanopartikel".
- [23] A. Asri, "Pabrikasi dan Uji Kinerja Bulir Propilena Berfotokatalis Semikonduktor TiO₂ pada Fotodegradasi Air Gambut," vol. 10, no. 1, 2022.
- [24] G. A. Rather, A. Nanda, E. Raj, N. Mathivanan, and B. K. Nayak, "Green synthesis of ZnO nanoparticles using the leaf extract of *Lavandula angustifolia* and evaluation of their antibacterial activity against human pathogens," *Int. J. Health Sci.*, pp. 13478–13485, Jun. 2022, doi: 10.53730/ijhs.v6nS2.8539.
- [25] K. G. Akpomie, S. Ghosh, M. Gryzenhout, and J. Conradie, "One-pot synthesis of zinc oxide nanoparticles via chemical precipitation for bromophenol blue adsorption and the antifungal activity against filamentous fungi," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 8305, Apr. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-87819-2.
- [26] V. J. Anggraeni, S. Yulianti, and R. S. Panjaitan, "Article Review: Phytochemistry And Antibacterial Activities," vol. 5, no. 2, 2020.
- [27] D. E. Saragih and E. V. Arsita, "Kandungan fitokimia *Zanthoxylum acanthopodium* dan potensinya sebagai tanaman obat di wilayah Toba Samosir dan Tapanuli Utara, Sumatera Utara," 2019.
- [28] N. F. Rahman, N. Nursamsiar, M. Megawati, H. Handayani, and C. A. M. Soares, "Total Phenolic and Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Kembang Bulan Leaves (*Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray)," *Indones. J. Pharm. Sci. Technol.*, vol. 1, p. 57, Jan. 2022, doi: 10.24198/ijpst.v1i1.36900.
- [29] J. Tandi, B. Melinda, A. Purwantari, and A. Widodo, "Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Metabolit Sekunder Ekstrak Etanol Buah Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis: Qualitative and Quantitative Analysis of Secondary Metabolites in Ethanol Extract of Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) Fruit with UV-Vis Spectrophotometry Method," *KOVALEN J. Ris. Kim.*, vol. 6, no. 1, pp. 74–80, Apr. 2020, doi: 10.22487/kovalen.2020.v6.i1.15044.
- [30] N. Nurhasanah, F. Fadilah, and A. Bahtiar, "Prediction Of Active Compounds Of *Muntingia Calabura* As Potential Treat-Ment For Chronic Obstructive Pulmonary Diseases By Network Pharmacology Integrated With Molecular Docking," *Int. J. Appl. Pharm.*, pp. 274–279, Jan. 2023, doi: 10.22159/ijap.2023v15i1.46281.
- [31] M. M. Chikkanna, S. E. Neelagund, and K. K. Rajashekarappa, "Green synthesis of Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) and their biological activity," *SN Appl. Sci.*,

- vol. 1, no. 1, p. 117, Jan. 2019, doi: 10.1007/s42452-018-0095-7.
- [32] A. A. Barzinjy and H. H. Azeez, "Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Eucalyptus globulus Labill. leaf extract and zinc nitrate hexahydrate salt," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 5, p. 991, May 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2813-1.
- [33] K. Singh, J. Singh, and M. Rawat, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Punica Granatum leaf extract and its application towards photocatalytic degradation of Coomassie brilliant blue R-250 dye," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 6, p. 624, Jun. 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0610-5.
- [34] M. Faheem, H. M. Siddiqi, A. Habib, M. Shahid, and A. Afzal, "ZnO/Zn(OH)₂ nanoparticles and self-cleaning coatings for the photocatalytic degradation of organic pollutants," *Front. Environ. Sci.*, vol. 10, p. 965925, Aug. 2022, doi: 10.3389/fenvs.2022.965925.
- [35] A. Setiawan, "Sintesis Dan Karakterisasi ZnO Sebagai Coating Antikorosi ZnO/Al(OH)₃ Pada Material Baja Karbon," *TEKNIK*, vol. 39, no. 1, p. 55, Aug. 2018, doi: 10.14710/teknik.v39i1.15659.
- [36] Y. Feng, N. Feng, Y. Wei, and G. Zhang, "An in situ gelatin-assisted hydrothermal synthesis of ZnO–reduced graphene oxide composites with enhanced photocatalytic performance under ultraviolet and visible light," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 16, p. 7933, 2014, doi: 10.1039/c3ra46417b.
- [37] J. Wojnarowicz, T. Chudoba, and W. Lojkowski, "A Review of Microwave Synthesis of Zinc Oxide Nanomaterials: Reactants, Process Parameters and Morphologies," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 6, p. 1086, May 2020, doi: 10.3390/nano10061086.
- [38] G. A. D. Lestari, P. M. D. Ratnasari, and J. Sibarani, "Aplikasi Antibakteri Nanopartikel Perak (NP_{Ag}) Hasil Biosintesis dengan Ekstrak Air Daun Kemangi: Application of Antibacterial from Silver Nanoparticles (AgNPs) Biosynthesis with Basil Leaf Extract," *KOVALEN J. Ris. Kim.*, vol. 8, no. 1, pp. 17–24, Apr. 2022, doi: 10.22487/kovalen.2022.v8.i1.15771.
- [39] E. Rahayu, V. Wonoputri, and T. W. Samadhi, "Plant extract-assisted biosynthesis of zinc oxide nanoparticles and their antibacterial application," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 823, no. 1, p. 012036, Apr. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/823/1/012036.