MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i2.9232

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZnO/Co DENGAN ADITIF DIETHANOLAMINE (DEA) DAN UJI AKTIVITAS KATALITIKNYA PADA ZAT WARNA CONGO RED

Synthesis and Characterization of ZnO/Co with Diethanolamine (DEA) Additive and Evaluation of Its Catalytic Activity for Congo Red Dye

Mutiara Oktaviani, Hary Sanjaya, Trisna Kumala Sari, Riga
Universitas Negeri Padang
hary.s@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jan 22, 2026	Feb 14, 2026	Feb 26, 2026	Mar 3, 2026

Abstract

Congo red is an azo dye widely used in the textile industry; however, its wastewater poses serious environmental problems because it is toxic to aquatic organisms, potentially carcinogenic, causes turbidity, and is difficult to degrade naturally. This study aimed to synthesize cobalt-doped ZnO nanoparticles with the addition of diethanolamine (DEA) as an additive to reduce the ZnO bandgap energy and to evaluate their photocatalytic activity in degrading Congo red dye. The material was synthesized using a sol–gel method with Co doping concentrations of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%, and DEA additions of 1 mL, 2 mL, and 3 mL, respectively. The optical properties were characterized using UV-DRS spectroscopy in the wavelength range of 185–1100 nm, and the bandgap energy was calculated using the Kubelka–Munk equation. Photocatalytic activity tests on Congo red were carried out under visible light (sunlight) and UV irradiation, with monitoring using UV–Vis spectrophotometry at a maximum wavelength of 498 nm. The results showed that the addition of 20% Co

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

doping reduced the ZnO bandgap energy from 3.20 eV to 1.76 eV, and the combination of 20% Co doping with 2 mL DEA produced an optimum bandgap of 1.68 eV. Photocatalytic tests indicated that ZnO/Co 20% with 2 mL DEA exhibited the highest activity, with Congo red degradation percentages of 98.63% under visible light and 98.57% under UV light within 120 minutes of irradiation. These findings demonstrate that cobalt-doped ZnO nanoparticles with DEA as an additive can enhance the photocatalytic activity of ZnO and have potential application as a photocatalyst-based solution for the treatment of textile dye wastewater.

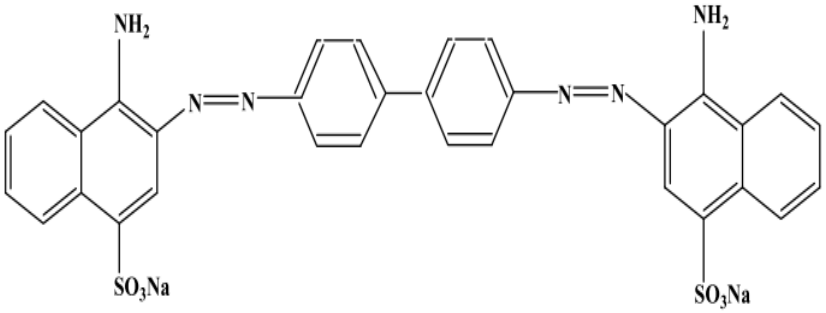
Keywords: Cobalt Doping; ZnO; Diethanolamine (DEA); Photocatalysis; Congo Red

Abstrak: *Congo red* merupakan zat warna azo yang banyak digunakan dalam industri tekstil, namun limbahnya menimbulkan permasalahan serius karena bersifat toksik bagi organisme perairan, berpotensi karsinogenik, menyebabkan kekeruhan, dan sulit terdegradasi secara alami. Penelitian ini bertujuan mensintesis nanopartikel *ZnO* terdoping kobalt dengan penambahan zat aditif *diethanolamine* (DEA) untuk menurunkan energi celah pita (*bandgap*) *ZnO* serta mengevaluasi aktivitas fotokatalitiknya dalam mendegradasi zat warna *Congo red*. Sintesis material dilakukan menggunakan metode sol–gel dengan variasi konsentrasi doping Co sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, serta penambahan DEA masing-masing 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Sifat optik dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-DRS pada rentang panjang gelombang 185–1100 nm, dan energi celah pita dihitung dengan persamaan Kubelka–Munk. Uji aktivitas fotokatalitik terhadap *Congo red* dilakukan di bawah cahaya tampak (sinar matahari) dan sinar UV, dengan pemantauan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 498 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan doping Co 20% menurunkan energi *bandgap ZnO* dari 3,20 eV menjadi 1,76 eV, dan kombinasi doping Co 20% dengan 2 mL DEA menghasilkan *bandgap* optimum sebesar 1,68 eV. Uji fotokatalitik memperlihatkan bahwa *ZnO/Co* 20% dengan 2 mL DEA memiliki aktivitas paling tinggi, dengan persentase degradasi *Congo red* mencapai 98,63% pada cahaya tampak dan 98,57% pada sinar UV dalam waktu iradiasi 120 menit. Temuan ini menunjukkan bahwa nanopartikel *ZnO* terdoping kobalt dengan penambahan aditif DEA mampu meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalitik *ZnO* dan berpotensi diaplikasikan sebagai solusi pengolahan limbah zat warna tekstil berbasis fotokatalis.

Kata Kunci: Doping Kobalt; *ZnO*; *Diethanolamine* (DEA); Fotokatalitik; *Congo Red*

PENDAHULUAN

Congo red dengan nama lain natrium benzidindiazo-bis-1 naftilamin-4-sulfonat, merupakan salah satu pewarna anionik jenis diazo yang resisten terhadap degradasi alami. Hal ini disebabkan oleh adanya dua ikatan azo (-N=N-) dalam struktur molekul aromatiknya (Lei et al., 2017).



Gambar 1 Struktur Congo Red

Congo Red umumnya banyak dimanfaatkan dalam industri tekstil karena tahan lama, murah, mudah didapatkan dan mudah digunakan. Limbah dari zat warna *congo red* yang dihasilkan oleh industri tekstil mengandung senyawa organik rantai panjang yang relatif sukar diolah secara biologis. Sehingga keberadaan *congo red* diperairan dapat mengganggu spesies makhluk hidup, oleh karena itu diperlukan upaya untuk mengurangi kandungan limbah ini sebelum dialirkan (Bentonit-alginat, 2024). Salah satu upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah metode fotodegradasi menggunakan katalis melalui energi foton (hv) yang dipancarkan oleh sinar ultraviolet untuk memaksimalkan proses degradasi (Sari, 2020).

Semikonduktor Seng Oksida (ZnO) merupakan semikonduktor tipe-n yang mempunyai nilai band gap sebesar 3,2 – 3,5 eV (Irsyad & Sanjaya, 2025). ZnO memiliki energi ikatan sekitar 60 meV pada suhu kamar, dengan struktur kristal yang stabil berbentuk wurtzite (Raganata et al., 2020). Meskipun demikian, ZnO memiliki kekurangan salah satunya ukuran partikelnya yang sangat kecil sehingga mudah teraglomerasi dalam air, dalam mengatasi kekurangan tersebut dilakukanlah proses pendopingan. Kobalt adalah doping yang menjanjikan untuk ZnO dikarenakan jari-jari ioniknya yang serupa, keadaan elektroniknya yang melimpah, dan keadaan divalen. Selain itu, sampel ZnO yang didoping kobalt menunjukkan sifat optik dan magnetic yang luar biasa termasuk untuk konsentrasi kecil substitusi kobalt dalam struktur ZnO (Kaphle et al., 2019). Co_3O_4 adalah bentuk kobalt oksida yang stabil secara termodinamika pada suhu ruangan dan tekanan parsial oksigen, berstruktur nano dan nanokompositnya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektrokimia salah satunya sebagai detektor kontaminan dalam air (Hayuningrum et al., 2023).

Terdapat berbagai metode yang telah digunakan dalam proses pendopingan nanopartikel ZnO diantara lain metode presipitasi, sol-gel, solvotermal, mikroemulsi, serta pirosol (Samanta et al., 2018). Diantara metode tersebut metode yang banyak dipilih adalah metode sol-gel dikarenakan metode sol-gel mampu menghasilkan partikel berukuran nano dan mempunyai aktifitas fotokatalis yang tinggi, metode ini banyak digunakan untuk memperbaiki material oksida logam (Oktavia Amrani et al., 2019). Untuk mengoptimalkan kualitas dan efektivitas fotokatalitiknya maka digunakanlah penambahan aditif salah satu aditif yang umum digunkan adalah DEA. DEA yang ditambahkan ke dalam larutan juga bertujuan untuk meningkatkan homogenitas serta menjaga kestabilan material (Ningsih et al., 2021).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini bertujuan akan dilakukan sintesis semikonduktor ZnO murni dan ZnO doping Cobalt dengan penambahan zat aditif DEA menggunakan metode Sol-gel untuk melihat perbedaan nilai energi celah pita yang dihasilkan dan degradasi *Congo red*. Energi celah pita dapat diketahui dengan menggunakan Spektrofotometer UV-*Diffuse Reflactane* (UV DRS) dan degradasi Congo red menggunakan Spektrofotometer UV-VIS.

METODE

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan yaitu gelas kimia, gelas ukur, cawan penguap, kaca arloji, pipet takar, desikator, lumping dan alu, magnetic stirrer, stirrer bar, furnace, dan Spektrofotometer UV-*Diffuse Reflactane* (UV DRS), Spektrofotometer UV-VIS, dan Lampu UV.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Seng nitrat heksahidrat ($Zn(NO_3)_2.6H_2O$), Kobalt nitrat heksahidrat ($Co(NO_3)_2.6H_2O$), methanol (CH3OH) (p.a), aquades, Diethanolamine (DEA) (p.a), Congo red.

Sintesis Material ZnO

Prekusor $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ dengan konsentrasi 0,5 M dilarutkan dalam 50 mL pelarut methanol yang ditutup dengan *plastic wrap*, dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Kemudian dilakukan sonikasi pada larutan selama 30 menit pada 45 W sehingga didapatkan larutan yang homogen (sol) dan didiamkan selama 1 x 24 jam untuk menstabilkan

sol. Selanjutnya, sampel dikeringkan dalam oven pada temperature 85°C selama ± 1 jam. Gel yang diperoleh dikalsinasi dengan furnace pada temperature 500°C selama ± 3 jam untuk memperoleh ZnO. Kemudian setelah dingin sampel digerus menggunakan lumpang dan alu sehingga sampel dapat dikarakterisasi.

Sintesis Material ZnO/Co

$Zn(NO_3)_2.6H_2O$ dilarutkan dengan konsentrasi 0,5 M dan $Co(NO_3)_2.6H_2O$ dilarutkan dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dalam 50 mL pelarut methanol yang ditutup dengan *plastic wrap*, dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Kemudian dilakukan sonikasi pada larutan selama 30 menit pada 45 W sehingga didapatkan larutan yang homogen (sol) dan didiamkan selama 1 x 24 jam untuk menstabilkan sol. Selanjutnya, sampel dikeringkan dalam oven pada temperature 85°C selama ± 1 jam. Gel yang diperoleh dikalsinasi dengan furnace pada temperature 500°C selama ± 3 jam untuk memperoleh ZnO-Co. Kemudian setelah dingin sampel digerus menggunakan lumpang dan alu sehingga sampel dapat dikarakterisasi.

Sintesis Material ZnO/Co dengan variasi aditif DEA

$Zn(NO_3)_2.6H_2O$ dan $Co(NO_3)_2.6H_2O$ dengan konsentrasi optimum (20%) yang telah ditentukan dilarutkan dalam 50 mL pelarut methanol. Kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Setelah itu DEA ditambahkan dengan variasi volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL yang di *magnetic stirrer* lagi selama 60 menit. Selanjutnya dilakukan sonikasi pada larutan selama 30 menit pada 45 W sehingga didapatkan larutan yang homogen (sol) dan didiamkan selama 1 x 24 jam untuk menstabilkan sol. Kemudian, sampel dikeringkan dalam oven pada temperature 85°C selama ± 1 jam. Gel yang diperoleh dikalsinasi dengan furnace pada temperature 500°C selama ± 3 jam untuk memperoleh ZnO-Co. Kemudian setelah dingin sampel digerus menggunakan lumpang dan alu sehingga sampel dapat dikarakterisasi

Uji Aktivitas Fotokatalitik

Dilarutkan 0,1 gram *Congo red* dalam 100 ml aquades dalam labu ukur 100 ml, kemudian dipipet sebanyak 10 ml larutan induk *Congo red* dan dilarutkan dalam labu ukur 1000 ml. Kemudian 0,1 gram fotokatalis ditambahkan ke 100 ml larutan *Congo red*. Sebelum disinari ultraviolet, larutan diaduk dalam ruangan gelap selama 30 menit untuk mencapai keseimbangan adsorpsi dan desorpsi. Selanjutnya, waktu iridiasi fotolisis diatur menjadi 30, 60, 90 dan 120 menit. 5 ml larutan diambil pada setiap interval dan kemudian disentrifugasi

selama 10 menit untuk memisahkan pengotor dengan larutan supernatannya. Untuk mengukur absorban larutan supernatan digunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 498 nm.

HASIL

Penelitian ini menggunakan pengukuran spektrofotometer UV-DRS dengan panjang gelombang 185-1100 nm. Pada sintesis ZnO/Co dilakukan beberapa variasi konsentrasi doping Co untuk menentukan nilai bandgap optimum dari ZnO yang sudah disintesis. Variasi konsentrasi doping Co yang digunakan pada penelitian ini yaitu 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Nilai bandgap pada ZnO/Co dihitung dengan menggunakan persamaan Kubelka-munk (F(R)) dimana:

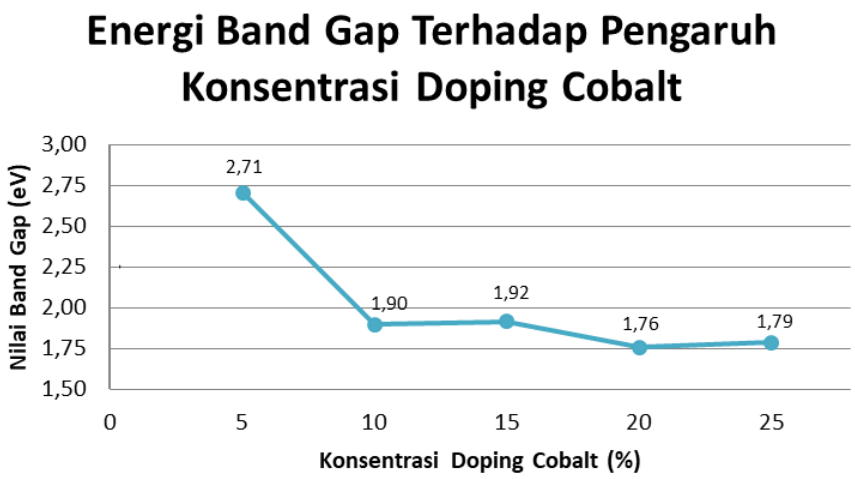
$$Eg = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi celah pita didapatkan dari grafik hubungan antara *hv* (eV) dengan $(F(R')hv)^{1/2}$. Eg merupakan bandgap (eV), h merupakan konstanta planck ($6{,}626 \times 10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya diudara ($2{,}998 \times 10^{8}$ m/s) dan λ merupakan panjang gelombang (nm) (Sanjaya et al., 2017).

Table 1. Energi *Bandgap* ZnO murni dengan ZnO/Co

Konsentrasi Doping Co	Bandgap Value (Eg)
ZnO Murni	3,20 eV
ZnO doping Co 5%	2,71 eV
ZnO doping Co 10%	1,90 eV
ZnO doping Co 15%	1,92 eV
ZnO doping Co 20%	1,76 eV
ZnO doping Co 25%	1,79 eV

Berikut adalah hasil grafik energy bandgap terhadap pengaruh pengaruh konsentrasi doping Cobalt



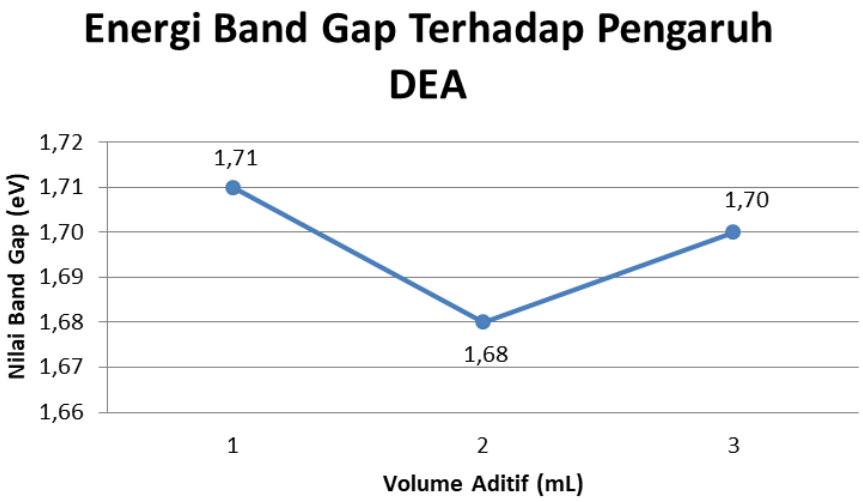
Gambar 2 Grafik Energi Band Gap Terhadap Pengaruh Doping Cobalt

Data menunjukkan adanya penurunan nilai bandgap antara ZnO murni dengan ZnO yang didoping Coblat. Dimana nilai bandgap pada konsentrasi 20% merupakan bandgap yang paling kecil (optimum) yaitu 1,76 eV yang berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa ZnO/Co mengalami penurunan nilai bandgap dibandingkan ZnO murni. Seacara teoritis, semikonduktor Seng Oksida (ZnO) merupakan semikonduktor tipe-n yang mempunyai nilai band gap sebesar 3,2 – 3,5 eV, dimana nilai bandgap tersebut cukup tinggi sehingga diperlukan paduan material yang dapat menurunkan nilai bandgap tersebut (Nur et al., 2019). Nilai ZnO murni yang diperoleh sebesar 3,20 eV pada penelitian ini masih berada dalam rentang nilai yang sudah dilaporkan sebelumnya. Pada ZnO yang didoping cobalt nilai yang diperoleh pada penelitian ini sebesar 1,76 eV pada pendopingan 20% menunjukkan bahwa doping cobalt mampu mengoptimalkan sifat optik ZnO dengan semakin kecilnya atau semakin sempitnya energy celah pita dari ZnO.

Pada penelitian ini juga dilakukan sintesis ZnO/Co yang ditambahkan dengan zat aditif *Diethanolamine* (DEA) untuk memperoleh bandgap optimum dimana pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan DEA dengan variasi volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Pengukuran spektrofotometer UV-DRS dilakukan pada panjang gelombang 185-1100 nm.

Table 2. Energi *Bandgap* Terhadap Variasi Penambahan Aditif DEA

Volume Aditif DEA	Bandgap Value (Eg)
1 mL DEA	1,71 eV
2 mL DEA	1,68 eV
3 mL DEA	1,70 eV



Gambar 3 Grafik Energi Band Gap Terhadap Pengaruh DEA

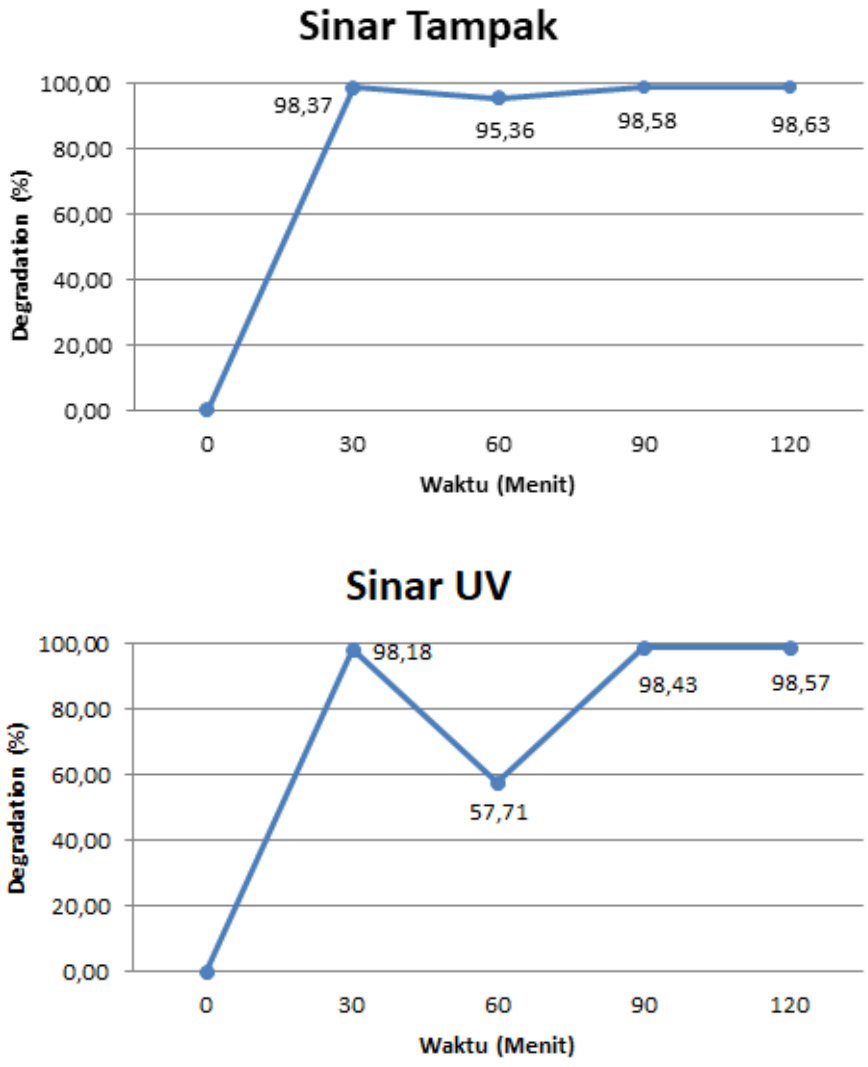
Berdasarkan pada data dapat dilihat bahwa penambahan zat aditif DEA sebanyak 2 mL memiliki nilai energi bandgap paling kecil yaitu 1,68 eV. Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan sebelumnya bahwa energi celah pita SnO2 turun dari 3,48 eV menjadi 2,25 eV setelah penambahan DEA sebanyak 1,5 mL yang menunjukkan bahwa DEA dapat menurunkan energi bandgap pada material (Dwicahyani et al., 2025). Berdasarkan data dari tabel 2 penurunan energi bandgap terdoping cobalt pada ZnO terjadi akibat meningkatnya integrasi ion Co^{2+} ke dalam kisi kristal ZnO serta terbentuknya tingkat energi baru di dalam celah pita. DEA berperan sebagai agen komplekser yang menstabilkan ion Zn^{2+} dan Co^{2+} selama proses sintesis sehingga distribusi dopan menjadi lebih homogen dan mengurangi pembentukan fase sekunder. Zat aditif juga mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis karena zat aditif mampu membuat partikel dengan ukuran yang kecil sehingga luas permukaan yang besar.

Hasil Aktivitas Fotokatalis

Uji aktivitas fotokatalitik pada penelitian ini dilakukan pada nanopartikel ZnO yang didoping Co dengan penambahan aditif DEA pada zat warna *congo red* dengan meletakkannya dibawah sinar ultraviolet dan sinar matahari. *Congo red* panjang gelombang maksimum dan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Dimana panjang gelombang maksimum *congo red* 10 ppm (larutan induk) yang telah diukur dengan spektrofotometer UV-Vis adalah 498 nm, dengan nilai absorbannya

0.534. Hal ini sesuai dengan referensi yang menyatakan *congo red* memiliki panjang gelombang maksimum pada 498 nm (Supriyanto et al., 2021).

Pada penelitian ini, degradasi *congo red* dilakukan dengan ZnO/Co 20% dengan penambahan 2 mL DEA. Proses ini bertujuan untuk membandingkan nilai degradasi serta mengetahui keefektifan katalis yang digunakan untuk mendegradasi zat warna *congo red*. Pada penelitian ini menggunakan variasi waktu degradasi mulai dari 30, 60, 90 dan 120 menit.



Gambar 4 (a) Persen Degradasi *Congo red* dengan ZnO/Co 20% + 2 mL DEA pada sinar matahari (b) Persen Degradasi *Congo red* dengan ZnO/Co 20% + 2 mL DEA pada sinar UV

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa doping cobalt dan penambahan zat aditif Diethanolamine (DEA) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap turunnya nilai energi band gap dari ZnO. Nilai bandgap ZnO murni sebesar 3,20 eV yang turun menjadi 1,76 eV pada konsentrasi doping Co 20% merupakan bandgap optimum, begitu juga pada hasil ZnO/Co yang ditambahkan dengan DEA memperoleh nilai bandgap optimum pada penambahan 2 ml DEA dengan bandgap 1,68 eV. Hal ini sesuai, dimana nilai bandgap dari nanopartikel ZnO yang didoping dengan logam nilainya menjadi lebih kecil dibandingkan tanpa doping (Ningsih et al., 2020).

Penurunan nilai bandgap terjadi karena mengecilnya celah pita tersebut. Pemberian doping menyebabkan terbentuknya suatu celah tambahan yang memberikan pengaruh pada penurunan lebar celah pita untuk terjadinya eksitasi electron. Terdapatnya pita tambahan baru tersebut menyebakan adanya eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Lebar celah pita yang semakin kecil menyebabkan energi foton yang dibutuhkan untuk mengeksitasi electron juga menurun (Silviyanti, 2012). Dengan mengecilnya lebar celah pita tersebut menyebabkan celah pita dari sampel material fotokatalis pada penelitian ini juga mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena ion cobalt dapat berperan sebagai penyerap untuk mengumpulkan fotoelektron yang ZnO hasilkan dari pita konduksinya (Kumar et al., 2015).

Penambahan *diethanolamine* (DEA) pada sintesis ZnO/Co memberikan pengaruh yang lebih signifikan terhadap penurunan energi celah pita dibandingkan hanya pemberian dopan Co saja karena DEA berperan sebagai agen pengompleks dan pengontrol pertumbuhan kristal dalam proses sol–gel. DEA mampu mengikat ion Zn^{2+} dan Co^{2+} sehingga proses substitusi Co ke dalam kisi Zinc Oxide berlangsung lebih homogen dan stabil. Kondisi ini meminimalkan terbentuknya fasa sekunder serta meningkatkan kemungkinan terbentuknya level energi baru di dalam celah pita akibat interaksi antara orbital d dari Co dan pita konduksi ZnO, sehingga aktivitas fotokatalitik ZnO/Co dengan penambahan DEA menjadi lebih tinggi dibandingkan sampel yang hanya mengalami doping tanpa aditif. Penambahan zat aditif menyempitkan celah pita, yang menyebabkan ukuran partikel mengecil. Akibatnya, luas permukaan material meningkat. Reaktivitas material dapat ditingkatkan dengan meningkatkan luas permukaannya (Filiandini & Sanjaya, 2025).

Aktivitas Fotokatalis ZnO/Co dengan penambahan aditif DEA

Pada penelitian ini, uji aktivitas fotokatalitik dilakukan pada nanopartikel ZnO yang didoping Cobalt dengan konsentrasi optimum (20%) dengan penambahan aditif DEA 2 ml, dimana berdasarkan gambar 4 (a) persen degradasi Congo red dengan ZnO/Co 20% + 2 mL DEA pada penyinaran menggunakan sinar matahari didapatkan nilai optimum dari degradasi congo red sebesar 98,63% dengan waktu degradasi 120 menit. Sedangakan pada gambar 4 (b) persen degradasi Congo red dengan ZnO/Co 20% + 2 mL DEA pada penyinaran menggunakan sinar UV didapatkan nilai optimum dari degradasi Congo red sebesar 98,57% dengan waktu degradasi selama 120 menit. Optimasi waktu radiasi degradasi congo red sama-sama menunjukkan bahwa waktu optimum degradasi zat warna congo red terjadi pada waktu 120 menit. Hal ini dikarenakan persentase degradasi zat warna paling tinggi terdapat pada waktu tersebut. Persentase degradasi menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses fotolisis maka persen degradasi semakin tinggi yang disebabkan radikal hidroksil yang dihasilkan pada proses tersebut (Safni et al., 2015).

Nilai persen degradasi yang tinggi menandakan bahwa telah terjadinya kontak antara molekul yang terjadi antara zat warna dengan katalis sehingga mengakibatkan molekul zat warna terdegradasi oleh radikal hidroksil yang dihasilkan dari proses fotolisis. Pada proses fotolisis terjadi reaksi antara molekul air dan radiasi sinar UV (Amri et al., 2021). Pada gambar 4 (b) pada waktu degradasi 60 menit terjadi penurunan persentase degradasi nilainya sebesar 57,71%. Hal ini disebabkan karena adanya senyawa intermediet dari Congo red yang ikut terukur pada pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Senyawa intermediet yang terbentuk pada senyawa tersebut kurang stabil sehingga menyebabkan penurunan persen degrdasi akibatnya puncak serapan berdekatan dengan puncak serapan congo red (Safni et al., 2015). Meningkatnya nilai absorban disebabkan oleh berlebihnya •OH yang dhasilkannya sehingga terjadi reaksi dengan H_2O_2 sehingga menyebabkan terbentuknya radikal hidroperoksi (•OOH) yang tidak stabil akibatnya persen degradasi dari congo red menurun, dimana H_2O_2 adalah faktor yang menurunkan persen degradasi.

Peningkatan degradasi pada sinar matahari mencapai hingga 98,63% sedangkan pada sinar UV hanya 98,57% selama 120 menit, hal tersebut menunjukkan bahwa energi foton dari sinar matahari mampu menyebabkan fotokatalis menghasilkan radikalradikal •OH lebih banyak dibandingkan energi foton dari sinar UV serta adanya dopan Co dalam ZnO meningkatkan aktivitas fotokatalitik di daerah sinar tampak. Hal ini juga disebabkan semakin

lama penyinaran warna larutan menjadi pudar, sehingga untuk mencapai fotokatalis menjadi lebih mudah. Sinar matahari memiliki intensitas dan panjang gelombang antara (310-2300 nm) yang lebih besar daripada panjang gelombang sinar UV (200-380 nm). Selain itu, sinar matahari merupakan gabungan antara ± 45% sinar tampak dan ± 5% sinar UV sehingga sinar matahari memiliki energi yang relatif besar dan mampu memberikan banyak energi foton pada fotokatalis (Lestari et al., 2015).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sintesis nanopartikel dengan penambahan doping dan zat aditif DEA dapat menurunkan energi celah pita, serta mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya dalam mendegradasi zat warna. Energi celah pita ZnO dapat diturunkan dari 3,20 eV menjadi 1,76 eV dengan penambahan doping Co 20%, pada penambahan doping 20% dengan aditif DEA sebanyak 2 mL dapat menurunkan bandgap ZnO menjadi 1,68 eV yang menunjukkan aktivitas fotokatalitik optimum dengan persentase degradasi *Congo red* sebesar 98,63% pada cahaya tampak (sinar matahari) dan pada cahaya UV sebesar 98,57% pada waktu 120 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang didoping kobalt dengan penambahan aditif DEA dapat meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalitik dari ZnO sehingga memiliki potensi upaya atau solusi dalam pengolahan limbah zat warna tekstil.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi struktur dan morfologi dari Zinc Oxide yang didoping Co secara lebih komprehensif melalui analisis XRD, SEM, dan TEM guna mengkaji lebih dalam mengenai tingkat kristalinitas, distribusi ukuran partikel, serta homogenitas penyebaran dopan di dalam kisi Kristal, untuk mengkaji pengaruh aktivitas fotokatalitik secara lebih luas, disarankan melakukan perbandingan penggunaan aditif lain seperti *monoethanolamine* (MEA). Selain itu, variasi waktu radiasi yang lebih panjang dari 120 menit juga perlu dilakukan untuk mengamati kecenderungan kestabilan performa degradasi serta kemungkinan terjadinya penurunan persentase degradasi dari zat warna congo red. Dengan demikian, pengembangan material ZnO dengan doping kobalt dapat diarahkan menuju aplikasi yang lebih efektif dalam pengolahan limbah zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, H., Sanjaya, H., Nasra, E., & Khair, M. (2021). Degradasi Fenol Menggunakan Metode Fotosonolisis dengan Bantuan Katalis ZnO. *Ekasakti Educational Journal, 1*(1), 46–52. https://ejurnal-unespadang.ac.id/index.php/EEJ/article/view/178

Amrani, D. O., Manurung, P., & Karo Karo, P. (2019). Pengaruh Laju Penginjeksian Doping Sulfur terhadap Aktivitas Fotokatalis Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, 7*(2), 223–230. https://jtaf.fmipa.unila.ac.id/index.php/jtaf/article/view/224

Bentonit-alginat, T. (2024). Degradasi Zat Warna Congo Red Menggunakan Komposit TiO2, 9(2), 65–71. https://indochembull.com/index.php/fulerene/article/view/705

Dwicahyani, A., Sanjaya, H., & Patriela, M. (2025). Pengaruh Penggunaan Doping Vanadium dan Zat Aditif Diethanolamine (DEA) terhadap Energi Celah Pita SnO2. *Journal of Research and Education Chemistry (JREC), 7*(1), 59–65. https://doi.org/10.25299/jrec.2025.vol7(1).21002

Filiandini, N., & Sanjaya, H. (2025). Pengaruh Penambahan Zat Aditif DEA (Diethanolamine) dan Jumlah Pelapisan Spin-Coating terhadap Nilai Band Gap Lapisan Tipis $CuSnO_3$. *Jurnal Pendidikan Tambusai, 9*(1), 3925–3935. https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/26512

Hayuningrum, D., Nafi, M., Harijadi, H., & Fitria, N. (2023). Sintesis Kobalt Oksida Nanopartikel dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya, 3*(7), 321–329. https://journal3.um.ac.id/index.php/mipa/article/download/3773/3133/9855

Irsyad, A., & Sanjaya, H. (2025). Pengaruh Variasi Konsentrasi Doping CuO dan Aditif Monoethanolamine (MEA) pada Sintesis Nanopartikel ZnO dan Uji Aktivitas Fotokatalitiknya. *Journal of Research and Education Chemistry (JREC), 7*(1), 66–74. https://doi.org/10.25299/jrec.2025.vol7(1).21195

Kaphle, A., Reed, T., Apblett, A., & Hari, P. (2019). Doping efficiency in cobalt-doped ZnO nanostructured materials. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 1–13. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2019/7034620

Kumar, S., Song, T. K., Gautam, S., Chae, K. H., Kim, S. S., & Jang, K. W. (2015). Structural, magnetic and electronic structure properties of Co-doped ZnO nanoparticles. *Materials Research Bulletin, 66*, 76–82. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025540815000963

Lei, C., Pi, M., Jiang, C., Cheng, B., & Yu, J. (2017). Synthesis of hierarchical porous zinc oxide (ZnO) microspheres with highly efficient adsorption of Congo red. *Journal of Colloid and Interface Science, 490*, 242–251. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979716309262

Lestari, Y. D., Wardhani, S., & Khunur, M. M. (2015). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO2-N/Zeolit dengan Sinar Matahari. *Jurnal Universitas Brawijaya, 1*(1), 592–598.

Ningsih, S. K. W., Bahrizal, Nasra, E., & Rahayu, Y. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Co2+ Doped ZnO dengan Menggunakan Metode Sol-Gel. *Indonesian Journal of Chemical Science, 9*(1), 2–8. https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs/article/view/37135

Ningsih, S. K. W., Sanjaya, H., Bahrizal, Nasra, E., & Yurnas, S. (2021). Synthesis of Cu2+ doped ZnO by the combination of sol-gel-sonochemical methods with duck egg albumen as additive for photocatalytic degradation of methyl orange. *Indonesian Journal of Chemistry, 21*(3), 564–574. https://doi.org/10.22146/ijc.57077

Nur, A., Kusumaningrum, A. Y., Prananda, D. B., & Kinasih, T. A. (2019). Komposit ZnO-CuO Hasil Sintesis dengan Metode Elektrokimia sebagai Katalis Fotodegradasi Methyl Orange. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering, 3*(2), 39–44. https://doi.org/10.20961/equilibrium.v3i2.42624

Raganata, T. C., Aritonang, H., & Suryanto, E. (2020). Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress, 12*(2), 54–58. https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/chemprog/article/view/27923

Safni, Loekman, U., Febrianti, F., Maizatisna, & Sakai, T. (2015). Degradasi Zat Warna Sudan I Secara Sonolisis dan Fotosonolisis dengan Penambahan TiO2-Anatase. *Jurnal Riset Kimia, 1*(2), 163–164. https://jrk.fmipa.unand.ac.id/index.php/jrk/article/view/67

Samanta, A., Goswami, M. N., & Mahapatra, P. K. (2018). Optical properties and enhanced photocatalytic activity of Mg-doped ZnO nanoparticles. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures, 104*, 254–260. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386947718308014

Sanjaya, H., Rida, P., & Ningsih, S. K. W. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG dengan Metode Fotosonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA, 18*(2), 21–29. https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/45

Sari, D. N. (2020). *Fotodegradasi Zat Warna Titan Kuning dan Fenol Merah Menggunakan Katalis Cu/ZnO dan Ag/TiO2* [Tesis, Universitas Hasanuddin].

Silviyanti, I. K. E. (2012). Pengolahan Zat Warna Tekstil Jingga Metil Menggunakan Bentonit Terpilar TiO2. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*.

Supriyanto, R., Dio, R. G. R., Bahri, S., & Kiswandono, A. A. (2021). Fotodegradasi Pewarna Tekstil Congo Red Menggunakan Katalis ZnO/Zeolit Y Secara Spektrofotometri UV-Vis. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry, 6*(2), 104–113. https://analit.fmipa.unila.ac.id/index.php/analit/article/view/42