

Pengaruh Dopping Mn Pada Semikonduktor AZO Terhadap Laju Fotodegradasi Pewarna Tekstil Congo Red Menggunakan Radiasi UV A

Aprilion Krisandi^{1*}, Heru Harsono¹, Nurfina Yudasari²

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145

² Pusat Riset Fotonik, Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie Jl. Raya Puspiptek 60, Setu, Tangerang Selatan, Banten, 15314

Received: 11 March 2024

Revised: 07 June 2024

Accepted: 30 August 2024

Corresponding Author:

Aprilion Krisandi

aprilionkris@student.ub.ac.id

© 2024 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v8i2.25497>

Abstract: Pengujian fotodegradasi pewarna tekstil Congo Red telah berhasil dilakukan menggunakan agen AZO dan AZOMn. Material tersebut disintesis terlebih dahulu disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan formulasi $Zn_{0,95-x}Al_{0,05}Mn_x$ dengan nilai x sebesar 0 dan 0,01. Material hasil modifikasi tersebut diuji menggunakan spektrometer reflektan (DRS) untuk mendapatkan nilai reaktansi yang digunakan dalam proses perhitungan nilai energi gap dengan bantuan persamaan Kulbelka Munk. AZO dengan konsentrasi Al 5% wt dan Mn 0% wt memiliki energi gap sebesar 3,290 eV dan AZOMn dengan konsentrasi Al 5% wt dan Mn 0,1% wt memiliki energi gap 3,279 eV. Aktivitas fotokatalis AZO dan AZOMn telah diuji menggunakan sumber radiasi sinar UV A dengan puncak serapan Congo Red 480 nm selama 2 jam. Dari hasil karakterisasi, kedua agen fotokatalis ini mampu mendegradasi limbah pewarna tekstil Congo Red dengan persentase AZO dan AZOMn beturut - turut 97,9% dan 67,6%. Laju fotodegradasi juga menampilkan pola yang sama yaitu material AZO memiliki kelajuan fotodegradasi sebesar 0,03504/menit sedangkan material AZOMn memiliki kelajuan fotodegradasi sebesar 0,00759/menit. Nilai ini menunjukkan bahwa AZO memiliki kemampuan fotodegradasi lebih baik dibandingkan dengan AZOMn dalam limbah pewarna tekstil Congo Red.

Keywords: Fotodegradasi; AZO; AZOMn; Congo Red

Pendahuluan

Industri tekstil mengalami perkembangan yang sangat signifikan di hampir semua negara. Hal ini didasarkan pada kebutuhan tekstil yang semakin meningkat setiap tahun. Pertumbuhan industri ini berdampak positif bagi laju pertumbuhan ekonomi masyarakat yang bekerja di industri tekstil. Namun besarnya dampak positif ini juga masih menyisakan masalah bagi lingkungan. Industri tekstil pasti menghasilkan limbah pewarna (Ghorbali et al., 2023; Lellis, Fávaro-Polonio, Pamphile, & Polonio, 2019) Pada dasarnya limbah pewarna harus diolah menurut standar yang telah diterapkan oleh pemerintah. Namun masih banyak juga limbah pewarna tekstil yang tidak diolah

sesuai standar dan dibuang di aliran sungai. Hal ini mengakibatkan munculnya polusi limbah pewarna tekstil, jika tidak ditangani maka semakin lama akan semakin berdampak bagi lingkungan sekitar. Salah satu limbah pewarna tekstil yang masih digunakan hingga saat ini adalah Congo Red. (Adam, Pozina, Willander, & Nur, 2018; Bin Mobarak et al., 2023; Boudiaf et al., 2021) Pewarna organik ini adalah jenis pewarna tekstil yang digunakan langsung pada tekstil. Congo Red juga dikategorikan sebagai senyawa residu dan sangat beracun. Lamanya waktu paruh Congo Red di dalam tanah maupun air menyebabkan senyawa ini dikenal dan dicurigai sebagai karsinogen. Manusia dapat mengalami bahaya serius dari sifat toksiknya seperti

How to Cite:

Krisandi, A., Harsono, H., & Yudasari, N. (2024). Pengaruh Dopping Mn Pada Semikonduktor AZO Terhadap Laju Fotodegradasi Pewarna Tekstil Congo Red Menggunakan Radiasi UV A. *Kappa Journal*, 8(2), 255-261. <https://doi.org/10.29408/kpj.v8i2.25497>

kerusakan ginjal, gangguan sistem saraf dan gangguan reproduksi. Keberadaan pigmen ini di ekosistem air menyebabkan terhalangnya radiasi matahari, hal ini mengurangi efisiensi fotosintesis tanaman air sehingga terganggunya keseimbangan ekosistem air. (Ardila-Leal, Poutou-Piñales, Pedroza-Rodríguez, & Quevedo-Hidalgo, 2021; Lanjwani, Tuzen, Khuhawar, & Saleh, 2024) Berbagai metode sudah dilakukan untuk mendegradasi pewarna tekstil jenis ini seperti metode adsorpsi, filtrasi, koagulasi dan enzimatis. Namun metode - metode ini tidak cukup efektif seperti yang dilaporkan oleh para peneliti sebelumnya. (Anugrahwidya, Yudasari, & Tahir, 2020; Yudasari et al., 2021; Yudasari, Hardiansyah, Herhani, S uliyanti, & Djuhana, n.d.)

Salah satu metode baru yang ditawarkan adalah fotodegradasi menggunakan bahan semikonduktor. Degradasi fotokatalis dikenalkan sebagai salah satu metode pengolahan limbah air yang efektif dan efisien. Material ini dikembangkan secara masif karena prosesnya yang sederhana, lebih murah dan tidak menghasilkan residu. (Adam et al., 2018; Blažeka et al., 2020; Salgado, Cardeal, & Valentini, 2019) Kelebihan semikonduktor untuk agen fotodegradasi ini terjadi karena kehadiran ikatan phi pada cincin aromatik memungkinkan terjadinya reaksi fotokatalitik. (W. Chen et al., 2020) Hal ini didasarkan pada ketersediaan lingkungan bahan semikonduktor yang kaya elektron. Disamping itu Spesies oksigen reaktif dan hole yang dihasilkan selama proses radiasi memungkinkan pemutusan rantai penyusun pewarna Congo Red. Hal ini didukung karena adanya gugus hidroksil (-OH) yang dihasilkan selama proses fotodegradasi. Salah satu semikonduktor yang dikembangkan adalah Zinc Oxide (ZnO), material ini memiliki energi gap 3,37 eV pada spektrum Ultra Violet (UV), energi binding yang besar sekitar 60 MeV pada temperatur ruang dan secara alami memiliki konduktivitas elektrik dengan tipe-n. (Anugrahwidya et al., 2020; Fatima, 2022; Özgür & Morkoç, 2006; (Springer Series in Materials Science 156) Qian Sun, Jung Han (Auth.), Stephen Pearton (Eds.) - GaN and ZnO-Based Materials and Devices-Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2012), n.d.) Salah satu modifikasi semikonduktor yang digunakan sebagai fotokatalis adalah ZnO yang diberikan doping menggunakan Aluminium (AZO). Penambahan doping Al sebesar 5% wt pada material semikonduktor ZnO dapat menurunkan nilai energi gapnya dari 3,37 eV menjadi 3,30 eV. (Abdulrahman, Abdulqodus, & Almessiere, 2023; Henni, Merrouche, Telli, & Karar, 2016; Sekaran, Dhandapani, Alagesan, & Balaji, 2022) Hal ini memperbesar kesempatan material AZO dapat digunakan sebagai agen fotodegradasi limbah pewarna tekstil Congo Red.

Setelah merujuk pada penelitian sebelumnya, Penggunaan AZO sebagai agen fotodegradasi telah banyak dilakukan untuk berbagai jenis pewarna tekstil seperti Rhodamine, Methylne Blue, Methail yellow dan Congo Red. Proses ini dilaporkan efektif dalam mendegradasi ikatan kimia zat pewarna tekstil. Memaksimalkan proses fotodegradasi adalah tantangan yang sedang dikerjakan oleh banyak peneliti fotokatalis, salah satu hal yang sedang dalam pengembangan adalah pemberian co-doping menggunakan logam - logam transisi. Co-doping AZO dengan logam transisi dapat meminimalkan rekombinasi elektron hole secara efektif dan diharapkan mampu membawa menuju fotokatalis menggunakan cahaya tampak. (Chey, 2015; Ciechan & Bogusławski, 2021; Nawaz & Dissertation, 2016) Beberapa peneliti telah melaporkan co-doping AZO dengan salah satu logam transisi seperti Ni, AZO Co-doping Ni dilaporkan mampu menurunkan rekombinasi muatan selama proses fotokatalis yang menyebabkan kemampuan degradasinya meningkat. (Amari et al., 2022) Unsur Mn juga salah satu logam transisi yang menarik untuk dijadikan kandidat co-doping, Menurut Aya, 2023 ZnO di doping tunggal dengan Mn dapat mendegradasi limbah cefotaxime dengan efektif, Hal ini terjadi karena ion Mn^{2+} yang bertindak pada permukaan semikonduktor karena memiliki ukuran yang lebih besar, sehingga mencegah pembawa muatan untuk rekombinasi elektron hole. Saat diuji fotokatalitik menggunakan radiasi sinar UV, ZnO doping Mn ini mampu mendegradasi cefotaxime sebesar 99% selama 2 jam. (Al-Gariaa, Elasala, Ismail, Khalil, & El-Sewify, 2023)

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka penelitian ini ingin berfokus menggabungkan kemampuan AZO untuk menurunkan energi gap dan co-doping Mn (AZOMn) untuk memperbesar kemampuan fotodegradasi limbah pewarna tekstil Congo Red yang belum dilakukan sebelumnya. Metode sintesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kopresipitasi sederhana dengan parameter mengacu pada jurnal - jurnal pendukung. (J. P. Chen et al., 1996; Hou & Ge, 2017; Roguai & Djelloul, 2021; Rosyidah, 1114; Tanaka, Utaka, Kikuchi, Sasaki, & Eguchi, 2003) Komposisi material ditetapkan menurut persamaan berikut $Zn_{0,95-x}Al_{0,05}Mn_x$ dengan nilai x 0 dan 0,01.

Metode Penelitian

Bahan

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan antara lain Seng asetat dihidrat $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (Merck, 99,9%), Aluminium klorid $AlCl_3$ (Analisis grade 99%), dan Mangan asetat $Mn(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$ (Merck, 99,9%), Pengendap NaOH pelarut DI Water dan ethanol.

Sintesis material AZO dan AZOMn

Semua bahan disiapkan dengan berpedoman pada perbandingan konsentrasi $Zn_{0,95-x}Al_{0,05}Mn_x$ dengan $x = 0$ dan $0,01$. Sampel dengan doping tunggal Al disebut sebagai AZO dan sampel dengan doping ganda disebut sebagai AZOMn. Masing-masing sampel yang memiliki konsentrasi 1M dilarutkan dalam 200 mL deionized water dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu ruang selama 30 menit. Setelah proses pengadukan kedua sampel didiamkan selama 30 menit. Setelah itu larutan sampel kembali diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan konstan sambil dilakukan proses titrasi menggunakan larutan NaOH 1M. Proses titrasi ini dilakukan dalam kondisi suhu ruang dan terus dilakukan sehingga mencapai kondisi larutan dengan pH 10. Proses titrasi sambil pengadukan ini berlangsung selama 90 menit. Setelah larutan sudah mencapai pH 10, proses titrasi dan pengadukan dihentikan. Gelas beaker ditutup dengan menggunakan aluminium foil dan sampel diendapkan semalaman tetap dalam kondisi ruang.

Hasil endapan disaring menggunakan kertas whatmann ukuran 42 untuk memisahkan endapan dan cairan. Proses ini dilakukan bersamaan dengan penyucian sampel menggunakan DI water dan Ethanol dengan perbandingan 3:1. Setelah itu sampel dipindahkan menuju *cruicibel* dan di keringkan menggunakan oven dengan suhu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 12 Jam. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan air dan ethanol yang ada pada sampel. Suhu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ dipilih agar ion Al dan Mn tidak berdifusi sebelum dilakukan kalsinasi. Setelah itu sampel dihaluskan menggunakan mortar dan dikalsinasi menggunakan *high temperature furnace* pada suhu $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 Jam.

Karakterisasi Optik

Sifat optik reflektansi dari AZO dan AZOMn diperoleh dengan melakukan karakterisasi menggunakan *Diffuse reflectance spectroscopy* (DRS). Pengujian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan data awal yang digunakan untuk menghitung nilai energi gap menggunakan persamaan Kubelka-Munk berikut ini

$$(F(R)hv)^{\gamma} = A(hv - E_g) \quad (1)$$

Dengan $F(R)$ adalah fungsi Kubelka-Munk yang merupakan perbandingan koefisien absorpsi dan koefisien hamburan, sedangkan γ adalah nilai $\frac{1}{2}$ untuk indirect band gap dan 2 untuk direct band gap. Energi gap dapat diperoleh dengan melakukan penggambaran grafik $(F(R)hv)^2$ fungsi dari hv .

Pengujian Fotodegradasi Congo Red

Uji degradasi limbah pewarna Congo red dilakukan dengan konsentrasi larutan baku sebesar 10 ppm. Sumber radiasi adalah lampu UV A yang memiliki

puncak panjang gelombang 480 nm. Masing – masing sampel uji adalah 5 mg AZO dan AZOMn yang dilarutkan dalam cairan pewarna tekstil Congo Red 20mL. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi. Kondisi pertama disebut sebagai (Pre) adalah kondisi larutan murni Congo Red, AZO+Congo Red dan AZOMn+Congo Red yang dikarakterisasi menggunakan spektrometer UV-Vis untuk mendapatkan spektra awal sebelum dilakukan radiasi.

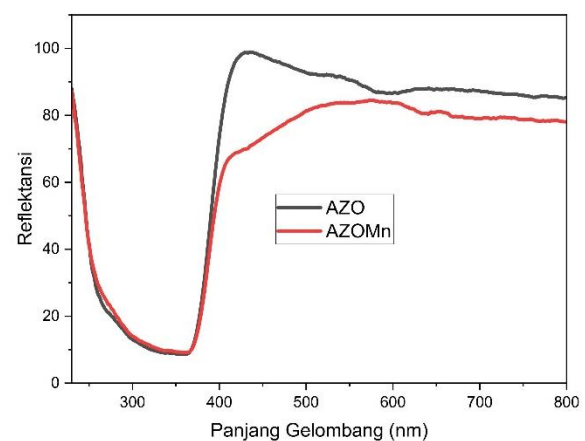
Kondisi yang kedua adalah masing – masing sampel diaduk menggunakan pengaduk magnet dalam kondisi tanpa radiasi sinar UV, proses pengadukan ini dilakukan selama 30 menit. Setelah itu masing – masing larutan diambil sebagian dan dimasukkan kedalam *cuvet* untuk dikarakterisasi menggunakan spektrometer UV-Vis. Data hasil pengamatan ini diberi nama (30 m Dark).

Kondisi yang ketiga adalah kondisi saat masing-masing larutan mulai diberikan radiasi sinar UV A sambil diaduk menggunakan pengaduk magnet di dalam box fotokatalis. Pemberian sinar UV akan dihentikan setiap 15 menit sekali untuk mengamati perubahan spektra larutan melalui pengujian UV-Vis. Kondisi ini berlangsung selama 120 menit. Hasil spektra dari pengujian ketiga ini diberi label (45 m UV hingga 150 m UV).

Hasil dan Pembahasan

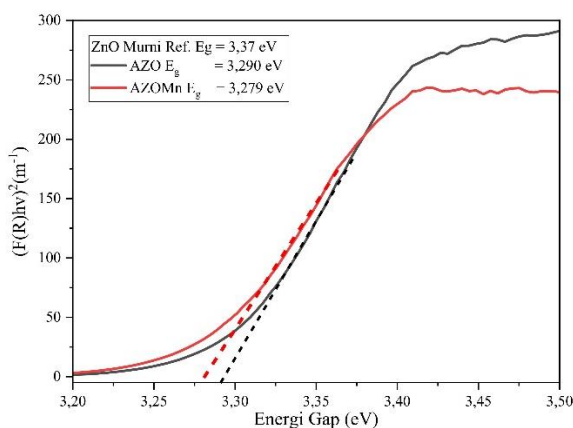
Sifat Optik

Sifat optik diamati menggunakan spektroskopi reflektansi DRS Ocean Optic dengan rentang panjang gelombang radiasi yang digunakan 200 – 800 nm. Pengujian reflektansi bahan dilakukan untuk menghitung nilai energi gap dari bahan yang didoping menggunakan Al dan Mn menggunakan persamaan 1. Titik ekstrapolasi dari bagian linier yang bertemu dengan titik absissa akan diberikan sebagai nilai energi gap dari sebuah material.



Gambar 1. Spektra reflektansi AZO dan AZOMn

Gambar 1 menunjukkan spektra reflektansi dari sampel AZO dan AZOMn pada rentang panjang gelombang 300 sampai 800 nm. Spektroskopi DRS digunakan untuk mempelajari pola reflektansi dari material yang bersifat padat dengan ketebalan tertentu. Hal ini membantu ilmuwan dalam melakukan pendekatan penentuan nilai energi gap dari material hasil modifikasi khususnya efek dari penambahan Mn pada material AZO. Gambar 2 menunjukkan nilai energi gap dari masing - masing smapel yang telah dikarakterisasi. Ketergantungan linier antara nilai $(F(R)hv)^2$ terhadap hv menunjukkan bahwa AZO dan AZOMn adalah sebuah semikonduktor dengan direct band gap.



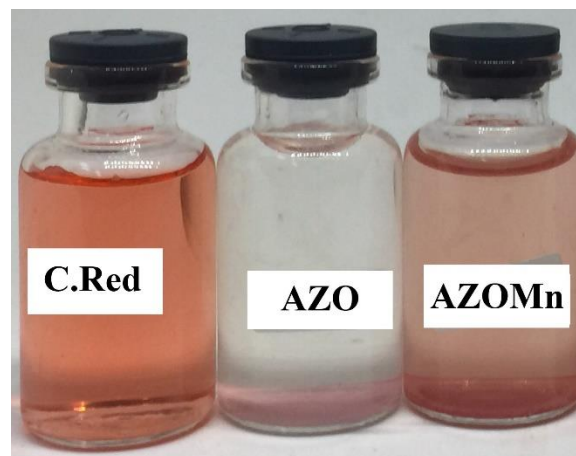
Gambar 2 Nilai energi gap AZO dan AZOMn

Perubahan nilai energi gap yang telah dihitung dan perbandingan dengan energi gap referensi ditunjukkan secara langsung pada Gambar 2. Semua nilai energi gap dari material yang telah di doping menggunakan Al dan Mn lebih rendah dari nilai energi gap ZnO murni. Penurunan nilai energi gap ini kemungkinan terjadi karena penggabungan ion Al dan Mn pada kisi Zn yang membuat pola rekombinasi baru. Seperti yang dijelaskan oleh Gaurav Saxena, penurunan nilai energi gap seiring dengan penambahan doping Al dan Mn dapat diilustrasikan sebagai bentuk interaksi p-d spin exchange diantara localized d electron hasil substitusi ion Al^{3+} dan Mn^{2+} . Sampel AZOMn menghasilkan penurunan energi gap yang signifikan. Hal ini terjadi karena p-d *assimilation* yang kuat antara O dan Mn. Jadi penambahan co-doping Al dan Mn akan memerkcil nilai energi gap, hal ini sejalan dengan tujuan awal dilakukannya penelitian yaitu menurunkan energi gap material sebagai kandidat untuk fotokatalis

Aktivitas Fotodegradasi AZO dan AZOMn

Fotodegradasi limbah pewarna tekstil Congo Red dilakukan menggunakan AZO dan AZOMn dibawah radiasi Ultraviolet A selama 120 menit dengan selang waktu karakterisasi setiap 15 menit. Gambar 3

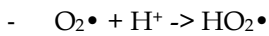
menunjukkan perubahan fisik dari larutan congo red tanpa agen degradasi, Agen AZO dan Agen AZOMn. Secara visual terlihat bahwa AZO dapat menurunkan intensitas warna secara signifikan dibandingkan dengan AZOMn. Hal ini dikonfirmasi dari **Error! Reference source not found.** dan Gambar 5 yang memperlihatkan penurunan nilai absorbansi pada larutan pewarna Congo Red. Puncak serapan limbah pewarna Congo red berada pada sekitar panjang gelombang 498 nm. Proses fotodegradasi dilakukan setiap 15 menit menggunakan sinar UV A dan diulangi hingga 120 menit pengamatan. Jika dilihat intensitas serapan Congo Red menurun seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran, baik dalam agen AZO maupun AZOMn. Hal ini bermakna bahwa AZO dan AZOMn berhasil mendegradasi limbah pewarna tekstil Congo Red dengan bantuan radiasi sinar UV A. Spektra Pre dan 30 m dark perlu diamati untuk melihat aktivitas nonfotokatalis dari AZO dan AZOMn. Spektra yang dihasilkan teramati memiliki pola yang berbeda di AZO dan AZOMn. Pada agen fotodegradasi AZO penurunan intensitas serapan terjadi cukup signifikan. Hal ini kemungkinan terjadi karena besarnya adsorpsi pada permukaan AZO. Pada AZOMn penurunan intensitas yang terjadi tidak cukup signifikan. Hal ini mungkin terjadi karena adanya ion Mn^{2+} yang sudah menyisip pada kristal utama ZnO bersamaan dengan ion Al^{3+} , sehingga adsorpsi yang terjadi tidak terlalu besar seperti pada AZO yang hanya ada ion Al^{3+} .



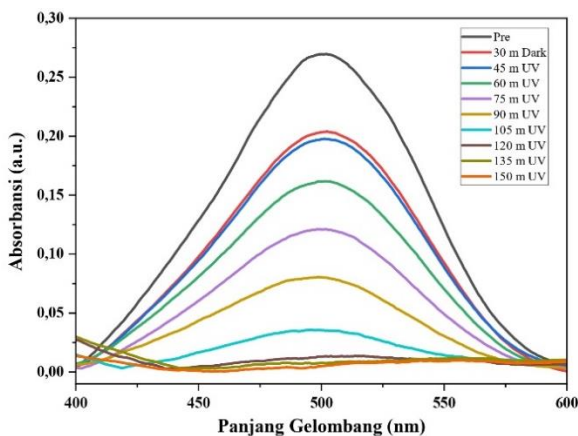
Gambar 3. Perubahan fisik akibat penambahan AZO dan AZOMn

Mekanisme fotokatalis dari Congo Red diberikan pada urutan berikut ini

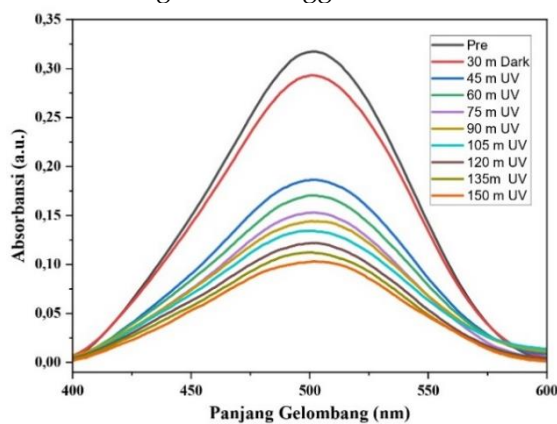
- $AZO/AZOMn + hv \rightarrow AZO/AZOMn (e^-_{pita\ konduksi} + h^+_{pita\ valensi})$
- $h^+_{pita\ valensi} + H_2O \rightarrow OH$
- $Molekul\ organik\ Congo\ Red + h^+_{pita\ valensi} \rightarrow Produk\ oksidasi$
- $e^-_{pita\ konduksi} + O_2 \rightarrow O_2^\bullet$



Setelah larutan diradiasi menggunakan sinar UV A elektron (e^-) pada AZO dan AZOMn akan bereksitasi dari keadaan dasar atau pita valensi menuju pita konduksi, peristiwa ini meninggalkan lubang di pita valensi yang kemudian bereaksi dengan molekul air sehingga menghasilkan produk berupa hidroksil radikal. Kemudian elektron yang berada di pita konduksi memproduksi radikal superoksida yang efektif menurunkan rekombinasi muatan. Hidroksil radikal ini memineralisasi pewarna Congo Red karena kuatnya sifat oksidasinya. Substitusi ion Al^{3+} dan Mn^{2+} dapat meningkatkan mobilitas elektron yang secara teori dapat mempercepat aktivitas fotokatalis. Elektron dari ion Al^{3+} dan Mn^{2+} yang banyak ini membangkitkan produksi superoksida radikal. Salah satu spesies lainnya adalah *Reactive Oxygen Species* (ROS), Saat dye berinteraksi dengan ROS maka molekul pewarna ini akan diserap oleh permukaannya dan molekul akan terdegradasi secara mudah menjadi larutan yang bersifat tidak beracun.



Gambar 4. Spektra Congo Red setelah dilakukan fotodegradasi menggunakan AZO



Gambar 5. Spektra Congo Red setelah dilakukan fotodegradasi menggunakan AZOMn

Persentase fotodegradasi Congo Red oleh agen AZO dan AZOMn semikonduktor dihitung

menggunakan data absorbansi yang diambil dari karakterisasi UV-Vis menggunakan persamaan 2 berikut ini

$$\%Degradasi = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (2)$$

$$\ln \frac{C_o}{C_t} = k_{app} t \quad (3)$$

C_o adalah absorbansi awal sebelum dilakukan radiasi UV A dan C_t adalah absorbansi pada waktu radiasi terakhir. Laju fotodegradasi dapat dihitung menggunakan persamaan 3. Dengan K_{app} adalah laju fotodegradasi dengan satuan (min^{-1}) yang diperoleh dari nilai slope $\ln C_o/C_t$ fungsi dari waktu radiasi (t).

Tabel 1. Hasil perhitungan persentase fotodegradasi dan laju fotodegradasi

No	Agen Fotodegradasi	% Degradasi	K_{app} (min^{-1})
1	AZO	97,9	0,03504
2	AZOMn	67,6	0,00759

Setelah dilakukan perhitungan persentase degradasi menggunakan persamaan 2 dan laju kinetik fotodegradasi menggunakan persamaan 3, maka diperoleh nilai yang disajikan dalam Tabel 1. Material AZO diketahui mampu mendegradasi 97,9% limbah pewarna tekstil Congo Red menggunakan radiasi sinar UV A dalam waktu 120 menit. Hal ini dibuktikan dari Gambar 4 yang menggambarkan puncak serapan Congo Red menurun secara drastis. Nilai ini lebih rendah dari penelitian yang dilakukan oleh Gnanamozhi 2023 yang menggunakan doping 5% Al dalam material ZnO sehingga mampu mendegradasi 99,5% Limbah Pewarna tekstil Methylene Blue selama 120 menit menggunakan radiasi sinar UV A. Pada Gambar 5 ditunjukkan kemampuan degradasi AZOMn pada larutan pewarna tekstil Congo Red. Nilai absorbansi Congo Red menurun seiring dengan bertambahnya waktu radiasi. Kemampuan fotodegradasi dari menit pertama penyinaran hingga 120 menit tercatat sebesar 67,6%. Nilai ini lebih kecil dari kemampuan material AZO. Peristiwa ini bertentangan dengan hipotesa awal bahwa penurunan energi gap diharapkan mampu memperbesar kemampuan fotodegradasi. Laju radiasi yang dinyakan dengan k_{app} menunjukkan hal yang juga dengan persentase degradasi. Material AZO tercatat mampu melakukan degradasi dengan laju 0,03504 setiap menit sedangkan material AZOMn hanya mampu melakukan degradasi sebesar 0,00759 setiap menit. Hal ini berarti material AZO memiliki kemampuan fotodegradasi Congo Red lebih baik daripada material AZOMn..

Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa material semikonduktor AZO dan AZOMn telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi sederhana dengan parameter; konsentrasi larutan 1M, pH larutan 10, suhu pengeringan dan kalsinasi berurut - turut 90 °C dan 800 °C. Karakterisasi optik yang dilakukan adalah uji reflektansi untuk mengetahui nilai energi gap kedua material setelah dimodifikasi. Menggunakan persamaan Kulbecka Munk diperoleh energi gap AZO dan AZOMn berturut-turut 3,290 eV dan 3,279 eV. Pengujian aktivitas fotokatalis melalui mekanisme fotodegradasi limbah pewarna tekstil Congo Red dilakukan pada kedua modifikasi material tersebut. Pengujian dilakukan dengan menambahkan 5mL agen AZO dan AZOMn kedalam 20 mL larutan Congo Red. Dengan bantuan spektroskopi UV-Vis diperoleh persentase degradasi untuk AZO sebesar 97,9% dan AZOMn 67,6%. Hal ini bermakna AZO lebih mampu mendegradasi Congo Red daripada AZOMn. Hal ini dikonfirmasi dengan nilai laju fotodegradasi sebesar 0,03504/menit untuk AZO dan 0,00759/menit untuk AZOMn

Ucapan Terimakasih

Kami menyampaikan terimakasih kepada Manajemen Talenta BRIN melalui program BARISTA yang telah membantu memfasilitasi pengujian DRS, Fotokatalis dan spektroskopi UV-Vis.

Daftar Pustaka

- Abdulrahman, A. F., Abdulqodus, A. N., & Almessiere, M. A. (2023). Biosynthesis of Al-doped ZnO nanoparticles with different Al doping ratio for methylene orange dye degradation activity. *Ceramics International*, 49(22), 34920–34936. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.08.165>
- Adam, R. E., Pozina, G., Willander, M., & Nur, O. (2018). Synthesis of ZnO nanoparticles by co-precipitation method for solar driven photodegradation of Congo red dye at different pH. *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, 32, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2018.08.005>
- Al-Gariaa, A. M., Elasala, G. S., Ismail, E. H., Khalil, M. M. H., & El-Sewify, I. M. (2023). Photodegradation of antibacterial cefotaxime using Mn doped ZnO nanosphere. *Inorganic Chemistry Communications*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111434>
- Amari, R., Benrezgua, E., Deghfel, B., Abdelhalim, Z., Kamil Yaakob, M., Jeffrey Basirun, W., ... Azmin Mohamad, A. (2022). Ni doping effect on the electronic, structural and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by Co-precipitation route. *Optical Materials*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112398>
- Anugrahwidya, R., Yudasari, N., & Tahir, D. (2020). Optical and structural investigation of synthesis ZnO/Ag Nanoparticles prepared by laser ablation in liquid. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.104712>
- Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodríguez, A. M., & Quevedo-Hidalgo, B. E. (2021, June 2). A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. *Molecules*, Vol. 26. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>
- Bin Mobarak, M., Pinky, N. S., Chowdhury, F., Hossain, M. S., Mahmud, M., Quddus, M. S., ... Ahmed, S. (2023). Environmental remediation by hydroxyapatite: Solid state synthesis utilizing waste chicken eggshell and adsorption experiment with Congo red dye. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27(5). <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101690>
- Blažeka, D., Car, J., Klobučar, N., Jurov, A., Zavašnik, J., Jagodar, A., ... Krstulović, N. (2020). Photodegradation of methylene blue and rhodamine b using laser-synthesized zno nanoparticles. *Materials*, 13(19), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma13194357>
- Boudiaf, S., Nasrallah, N., Mellal, M., Belhamdi, B., Belabed, C., Djilali, M. A., & Trari, M. (2021). Kinetic studies of Congo Red Photodegradation on the hetero-system CoAl₂O₄/ZnO with a stirred reactor under solar light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105572>
- Chen, J. P., Sorensen, C. M., Klabunde, K. J., Hadjipanayis, G. C., Devlin, E., & Kostikas, A. (1996). Size-dependent magnetic properties of MnFe₂O₄ fine particles synthesized by coprecipitation.
- Chen, W., Yao, C., Gan, J., Jiang, K., Hu, Z., Lin, J., ... Wu, J. (2020). ZnO colloids and ZnO nanoparticles synthesized by pulsed laser ablation of zinc powders in water. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.104918>
- Chey, C. Oeurn. (2015). *Synthesis of ZnO and Transition Metals Doped ZnO Nanostructures, their Characterization and Sensing Applications*. Linköping University Electronic Press.

- Ciechan, A., & Boguslawski, P. (2021). Theory of the sp-d coupling of transition metal impurities with free carriers in ZnO. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83258-1>
- Fatima, H. (2022). *Western Australian School of Mines: Minerals, Energy and Chemical Engineering Synthesis and characterization of ZnO-based/derived nanoparticles as promising photocatalysts*.
- Ghorbali, R., Essalah, G., Ghouidi, A., Guermazi, H., Guermazi, S., El Hdiy, A., ... Leroy, G. (2023). The effect of (In, Cu) doping and co-doping on physical properties and organic pollutant photodegradation efficiency of ZnO nanoparticles for wastewater remediation. *Ceramics International*, 49(21), 33828–33841. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.08.076>
- Henni, A., Merrouche, A., Telli, L., & Karar, A. (2016). Studies on the structural, morphological, optical and electrical properties of Al-doped ZnO nanorods prepared by electrochemical deposition. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 763, 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.12.037>
- Hou, M., & Ge, J. (2017). Armoring Enzymes by Metal–Organic Frameworks by the Coprecipitation Method. In *Methods in Enzymology* (Vol. 590, pp. 59–75). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2016.12.002>
- Lanjwani, M. F., Tuzen, M., Khuhawar, M. Y., & Saleh, T. A. (2024, January 1). Trends in photocatalytic degradation of organic dye pollutants using nanoparticles: A review. *Inorganic Chemistry Communications*, Vol. 159. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111613>
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Nawaz, M. A., & Dissertation, P. (2016). *Effect of Transition Metals Doping on the Properties of ZnO Thin Films*.
- Özgür, Ü., & Morkoç, H. (2006). *Optical Properties of ZnO and Related Alloys*.
- Roguai, S., & Djelloul, A. (2021). Structural, microstructural and photocatalytic degradation of methylene blue of zinc oxide and Fe-doped ZnO nanoparticles prepared by simple coprecipitation method. *Solid State Communications*, 334–335. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114362>
- Rosyidah, N. (1114). *Synthesis Of Zn 1-X Al X O Using Coprecipitation Method And Characterization Of Electrical Properties*.
- Salgado, B. C. B., Cardeal, R. A., & Valentini, A. (2019). Photocatalysis and Photodegradation of Pollutants. In *Nanomaterials Applications for Environmental Matrices: Water, Soil and Air* (pp. 449–488). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814829-7.00015-X>
- Sekaran, C., Dhandapani, B., Alagesan, T., & Balaji, G. (2022). Enhanced photocatalytic degradation kinetics of azo-dyes by novel Ni²⁺ and Ag²⁺ doped ZnO nanocatalysts. *Applied Surface Science Advances*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2022.100333>
- (Springer Series in Materials Science 156) Qian Sun, Jung Han (auth.), Stephen Pearton (eds.) - *GaN and ZnO-based Materials and Devices-Springer-Verlag Berlin Heidelberg* (2012). (n.d.).
- Tanaka, Y., Utaka, T., Kikuchi, R., Sasaki, K., & Eguchi, K. (2003). CO removal from reformed fuel over Cu/ZnO/Al₂O₃ catalysts prepared by impregnation and coprecipitation methods. In *Applied Catalysis A: General* (Vol. 238).
- Yudasari, N., Anugrahwidya, R., Tahir, D., Suliyanti, M. M., Herbani, Y., Imawan, C., ... Djuhana, D. (2021). Enhanced photocatalytic degradation of rhodamine 6G (R6G) using ZnO–Ag nanoparticles synthesized by pulsed laser ablation in liquid (PLAL). *Journal of Alloys and Compounds*, 886. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161291>
- Yudasari, N., Hardiansyah, A., Herbani, Y., Suliyanti, M. M., & Djuhana, D. (n.d.). *Single-step laser ablation synthesis of ZnO–Ag nanocomposites for broad-spectrum dye photodegradation and antibacterial photoinactivation*. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=4352158>