

Sintesis dan Aktivitas Fotokatalitik Co/TiO₂ dalam Degradasi Zat Warna *Malachite Green*

Andi Nuraeni¹, Nurul Fatima Azzahra*², Desy Nurhasanah Sari³

¹ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sibatokkong Mambo

² Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

³ Program Studi Kimia, Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa

Email korespondensi*: nurulfatimaazzahra@gmail.com

Abstrak

Malachite Green merupakan zat warna sintetik yang banyak digunakan dalam industri tekstil dan berpotensi mencemari lingkungan perairan karena bersifat toksik serta sukar terdegradasi secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja fotokatalis Co/TiO₂ dalam mendegradasi zat warna *Malachite Green* di bawah iradiasi sinar ultraviolet. Proses fotodegradasi dilakukan menggunakan larutan *Malachite Green* konsentrasi 50 ppm dengan variasi waktu kontak, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 617 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalis Co/TiO₂ memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan TiO₂ murni. Persentase degradasi optimum *Malachite Green* menggunakan Co/TiO₂ mencapai 81,19% pada waktu iradiasi 90 menit, sedangkan TiO₂ hanya mampu mendegradasi sebesar 45,58% pada 120 menit. Peningkatan aktivitas ini menunjukkan bahwa penambahan logam Co mampu meningkatkan pemisahan pasangan elektron-hole dan mempercepat pembentukan radikal oksidatif selama proses fotodegradasi. Dengan demikian fotokatalis Co/TiO₂ berpotensi dikembangkan sebagai material yang efektif untuk pengolahan limbah zat warna dalam air.

Kata kunci: Co/TiO₂, fotodegradasi, malachite green, sinar UV

Abstract

Malachite Green is a synthetic dye widely used in the textile industry and has the potential to contaminate aquatic environments due to its toxic properties and poor natural degradability. This study aimed to evaluate the performance of a Co/TiO₂ photocatalyst in degrading *Malachite Green* dye under ultraviolet irradiation. The photodegradation process was carried out using a 50 ppm *Malachite Green* solution with various contact times, followed by analysis using a UV-Vis spectrophotometer at a maximum wavelength of 617 nm. The results showed that the Co/TiO₂ photocatalyst exhibited higher photocatalytic activity than pure TiO₂. The optimum degradation percentage of *Malachite Green* using Co/TiO₂ reached 81.19% after 90 minutes of irradiation, whereas pure TiO₂ only achieved 45.58% after 120 minutes. This enhanced activity indicates that cobalt incorporation was able to improve electron-hole pair separation and accelerate the formation of oxidative radicals during the photodegradation process. Therefore, the Co/TiO₂ photocatalyst has considerable potential to be developed as an effective material for the treatment of dye-containing wastewater.

Keywords: Co/TiO₂, photodegradation, malachite green, UV irradiation

PENDAHULUAN

Penggunaan pewarna sintetik dalam berbagai industri terutama tekstil telah meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Pewarna ini sering kali sulit terdegradasi secara alami sehingga menyebabkan masalah lingkungan

yang serius jika dibuang langsung ke perairan tanpa pengolahan yang memadai. Salah satu zat pewarna yang sering digunakan adalah Melachite Green karena kemampuannya menghasilkan warna hijau yang cerah dan tahan lama pada berbagai jenis kain (Bhernama, 2017; Modwi et al., 2017). Namun di balik keunggulannya, penggunaan zat warna ini menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan perairan. Limbah industri tekstil yang mengandung Melacit Green seringkali dibuang ke sungai dan danau tanpa pengolahan yang memadai. Zat warna ini tidak mudah terurai secara alami dan dapat menyebabkan pencemaran air. Keberadaan Melacit Green dalam perairan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, meracuni organisme akuatik, dan pada akhirnya masuk ke rantai makanan manusia (Modwi et al., 2017). Selain itu, paparan jangka panjang terhadap zat ini diketahui memiliki potensi karsinogenik (Kholidah et al., 2021; Olumide D. Olukanni et al., 2021; Yanto Rahman & Sulistyowati, 2023). Oleh karena itu, diperlukan metode pengelolaan limbah untuk mengurangi risiko pencemaran ini.

Adsorpsi, ozonasi, dan fotodegradasi adalah beberapa metode pengolahan limbah yang telah diselidiki (Fachria et al., 2020; Ramadhani et al., 2019). Di antara metode tersebut, fotodegradasi dinilai sebagai metode yang sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan (Sari, 2022). Fotodegradasi adalah proses penguraian senyawa organik menjadi CO_2 dan H_2O dengan bantuan energi foton dari sinar Ultraviolet (UV) dan bahan katalis (Sari & Ansyarif, 2023). Bobot katalis, waktu kontak, dan konsentrasi dapat mempengaruhi fotodegradasi (Belekbir et al., 2023). Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan fotokatalisis (Arutanti et al., 2009). Fotokatalisis merupakan proses oksidasi yang melibatkan semikonduktor sebagai katalis yang dapat menghasilkan radikal bebas ketika terpapar sinar ultraviolet (UV) (Arutanti et al., 2009; Yanto Rahman & Sulistyowati, 2023).

Titanium dioksida (TiO_2) adalah salah satu material semikonduktor yang paling umum digunakan dalam proses fotokatalisis karena sifatnya yang stabil, tidak beracun, dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Kholidah et al., 2021). Namun, efisiensi TiO_2 dalam aplikasi fotokatalisis seringkali terbatas oleh *band gap* sebesar 3,2 eV, yang membatasi absorpsi sinar matahari hanya pada spektrum UV. Oleh karena itu, berbagai modifikasi TiO_2 telah dilakukan untuk meningkatkan kinerjanya, salah satunya adalah dengan doping logam transisi seperti Cobalt (Co) (Putri et al., 2020). Doping dengan logam transisi diharapkan dapat memperpanjang respons TiO_2 ke wilayah yang lebih luas dari spektrum cahaya tampak, meningkatkan pemisahan muatan, dan mengurangi rekombinasi elektron-hole, sehingga meningkatkan efisiensi degradasi fotokatalitik (Kang et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja fotokatalis Co/ TiO_2 dalam degradasi zat warna Malachite Green. Dengan memanfaatkan teknologi fotokatalisis yang dimodifikasi, diharapkan dapat diperoleh solusi yang lebih efektif dan efisien dalam menangani pencemaran zat warna di lingkungan.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu titanium(IV) isopropoxide (TTIP), cobalt(II) nitrate hexahydrate, etilen glikol, asam asetat glasial, aquadest,

dan pewarna *Malachite Green*.

a. Sintesis Katalis

Pembuatan Prekursor Titanium (IV) Isopropoxide (TTIP) dilakukan menggunakan metode sol-gel. Prekursor TTIP dilarutkan menggunakan etilen glikol sampai homogen. Setelah itu ditambahkan asam asetat glasial untuk membantu hidrolisis sambil diaduk. Setelah homogen, campuran dididihkan selama 6 jam untuk memungkinkan reaksi hidrolisis terjadi. Pembuatan prekursor cobalt (II) nitrate dilakukan dengan dilarutkan cobalt (II) nitrate hexahydrate dalam etilen glikol sampai homogen. Prekursor titanium dan strontium dicampur kemudian dipanaskan diatas pengaduk magnetik hingga membentuk larutan gel. Gel kemudian dikeringkan selama 12 jam dalam suhu ruang. Setelah gel terbentuk dikeringkan dalam oven hingga berubah menjadi padat. proses terakhir yaitu kalsinasi untuk mengubah bahan padat yang terbentuk menjadi struktur katalitik yang diinginkan (Gita Bhernama et al., 2015; Manga et al., 2018; Sarwono & Tursiloadi, 2015).

b. Fotodegradasi zat warna *Malachite Green* menggunakan Katalis Co/TiO₂

Fotodegradasi zat warna *Malachite Green* dilakukan diruang tertutup menggunakan lampu UV 15 watt. Pengaruh waktu kontak dan konsentrasi zat warna pada fotodegradasi *Malachite Green* menggunakan katalis Co/TiO₂ diselidiki (Sari, 2022).

c. Penentuan Waktu Kontak Optimal

Katalis Co/TiO₂ ditimbang sebanyak 0,25 gr dan dimasukkan ke dalam 50 mL larutan *Malachite Green* konsentrasi 50 ppm, kemudian campuran diletakkan di bawah lampu UV 15 watt dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, dan 210 menit dan dilakukan secara triplo. Campuran disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 42 dan diukur serapannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum ($\lambda_{\text{max}} = 617 \text{ nm}$) (Nurhasanah Sari et al., 2023; Sari, 2022; Sari & Ansyarif, 2023).

Nilai absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung persentase degradasi zat warna berdasarkan persamaan:

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

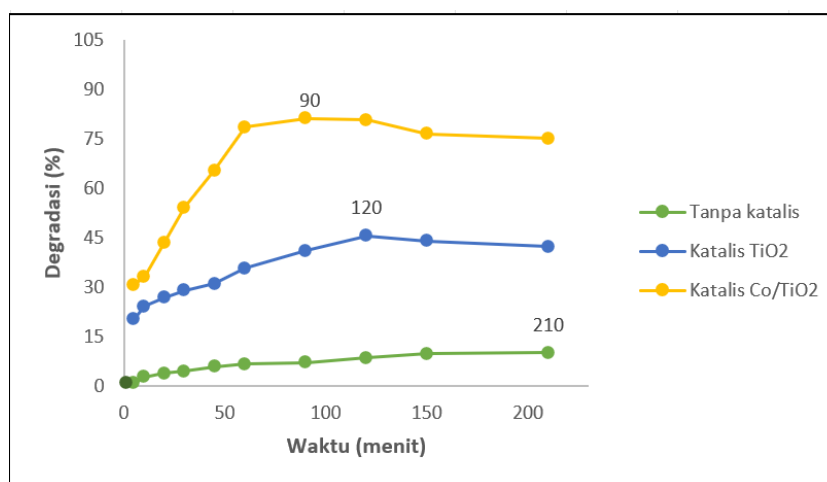
dengan C_0 adalah konsentrasi awal larutan *Malachite Green* dan C_e adalah konsentrasi larutan setelah proses fotodegradasi pada waktu tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas fotokatalitik fotokatalis Co/TiO₂ dalam mendegradasi zat warna *Malachite Green* dievaluasi berdasarkan pengaruh waktu iradiasi sinar ultraviolet terhadap persentase degradasi larutan. Proses fotodegradasi berlangsung melalui interaksi antara energi foton dengan material semikonduktor sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole pada permukaan katalis (Hikmah & Wahyuni, 2023). Pasangan muatan tersebut selanjutnya bereaksi dengan molekul

air dan oksigen terlarut membentuk radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan radikal superoksida ($\text{O}_2^{\bullet-}$) yang berperan sebagai oksidator kuat untuk memutus ikatan kromofor zat warna (Bhernama, 2017; Danyliuk et al., 2022).

Pengaruh waktu iradiasi terhadap fotodegradasi *Malachite Green* menggunakan TiO_2 murni dan Co/TiO_2 ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil pengamatan, persentase degradasi mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu penyinaran. Pada tahap awal iradiasi, peningkatan degradasi berlangsung relatif cepat karena jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi pada permukaan katalis masih tinggi dan situs aktif katalis masih tersedia secara maksimal. Seiring bertambahnya waktu kontak, radikal oksidatif yang terbentuk semakin banyak sehingga proses pemutusan ikatan senyawa organik berlangsung lebih cepat.



Gambar 1. Pengaruh Waktu Degradasi TiO_2 , Co/TiO_2 , dalam mendegradasi *Malachite Green*

Fotokatalis Co/TiO_2 menunjukkan aktivitas degradasi yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 murni pada seluruh rentang waktu pengamatan. Persentase degradasi optimum menggunakan Co/TiO_2 mencapai 81,19% pada waktu iradiasi 90 menit, sedangkan TiO_2 murni hanya mampu mencapai 45,58% pada waktu 120 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi TiO_2 dengan logam kobalt memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan aktivitas fotokatalitik. Selain menghasilkan persentase degradasi yang lebih besar, Co/TiO_2 juga mampu mempercepat waktu optimum degradasi sehingga proses pengolahan menjadi lebih efisien.

Peningkatan aktivitas fotokatalitik Co/TiO_2 dipengaruhi oleh peran logam kobalt sebagai dopan yang mampu membentuk tingkat energi baru pada struktur TiO_2 . Kehadiran kobalt dapat menurunkan laju rekombinasi pasangan elektron-hole sehingga elektron tereksitasi memiliki waktu lebih lama untuk bereaksi menghasilkan radikal aktif. Kondisi ini menyebabkan jumlah oksidatif yang terbentuk menjadi lebih besar dibandingkan TiO_2 murni. Selain itu, kobalt juga berkontribusi dalam meningkatkan luas permukaan aktif dan memperbaiki transfer muatan antarfasa, sehingga interaksi antara katalis dan molekul *Malachite Green* berlangsung lebih efektif.

Mekanisme degradasi yang terjadi diawali dengan absorpsi foton oleh TiO_2 yang menghasilkan elektron pada pita konduksi dan hole pada pita valensi. Elektron bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk radikal superoksida, sedangkan hole bereaksi dengan molekul air membentuk radikal hidroksil. Kedua radikal ini kemudian menyerang gugus kromofor dan struktur aromatik *Malachite Green*, menyebabkan pemutusan ikatan kimia secara bertahap hingga terbentuk senyawa antara yang lebih sederhana dan pada akhirnya teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O . Kehadiran cobalt pada sistem Co/TiO_2 mempercepat aliran transfer elektron tersebut sehingga laju pembentukan radikal meningkat.

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa doping logam transisi pada TiO_2 mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik terhadap degradasi senyawa organik (Shofiyullah et al., 2020; Kholidah et al., 2021; Riyani et al., 2012). Peningkatan efisiensi tersebut disebabkan oleh bertambahnya pusat aktif katalitik dan meningkatnya kemampuan penyerapan energi cahaya. Dengan demikian, penggunaan Co/TiO_2 dalam penelitian ini terbukti memberikan kontribusi positif terhadap efektivitas fotodegradasi zat warna *Malachite Green* dan menunjukkan prospek yang baik untuk diaplikasikan pada pengolahan limbah cair industri tekstil.

KESIMPULAN

Fotokatalis Co/TiO_2 berhasil disintesis melalui metode *sol-gel* dan menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan TiO_2 murni dalam mendegradasi zat warna *Malachite Green* di bawah iradiasi sinar ultraviolet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase degradasi optimum menggunakan Co/TiO_2 mencapai 81,19% pada waktu iradiasi 90 menit, sedangkan TiO_2 murni hanya mencapai 45,58% pada 120 menit. Peningkatan kinerja ini menunjukkan bahwa penambahan logam cobalt mampu meningkatkan pemisahan pasangan elektron-hole dan mempercepat pembentukan radikal oksidatif yang berperan dalam proses degradasi. Dengan demikian, fotokatalis Co/TiO_2 berpotensi dikembangkan sebagai material yang efektif dan berkelanjutan untuk aplikasi pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna sintetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arutanti, O., Abdullah, M., Khairurrijal, & Mahfudz, H. (2009). Penjernihan Air Dari Pencemar Organik Dengan Proses Fotokatalis Pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO_2). *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 53–55.
- Belekbir, S., El Azzouzi, M., Rodríguez-Lorenzo, L., El Hamidi, A., Santaballa, J. A., & Canle, M. (2023). Cobalt Impregnation On Titania Photocatalysts Enhances Vis Phenol Photodegradation. *Materials*, 16(11), 4134. <https://doi.org/10.3390/Ma16114134>
- Bhernama, B. G. (2017). Degradasi Zat Warna Malachite Green Secara Ozonolisis Dengan Penambahan Katalis TiO_2 Anatase Dan Zno. *Elkawnie*, 3(1). <https://doi.org/10.22373/Ekw.V3i1.535>
- Danyliuk, N., Tatarchuk, T., Mironyuk, I., Kotsyubynsky, V., & Mandzyuk, V. (2022). Performance Of Commercial Titanium Dioxide Samples In Terms Of Dye Photodegradation Assessed Using Smartphone-Based Measurements. *Physics And Chemistry Of Solid State*, 23(3), 582–589. <https://doi.org/10.15330/Pcss.23.3.582-589>

- Fachria, R., Ramdan, H., & Aryantha, I. (2020). Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Sukaregang Garut Dengan Adsorben Karbon Aktif Dan Ijuk. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal Of Environmental Sustainability Management)*, 379–388. <https://doi.org/10.36813/jplb.3.3.379-388>
- Gita Bhername, B., Zat Warna Metanil Yellow Secara Fotolisis Dan Penyinaran Matahari Dengan Penambahan Katalis Tio₂, D., & Dan Sno, -Anatase. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Fotolisis Dan Penyinaran Matahari Dengan Penambahan Katalis Tio₂-Anatase Dan Sno₂. In *Elkawnie: Journal Of Islamic Science And Technology* (Vol. 1, Number 1). www.jurnal.ar-raniry.com/index.php/Elkawnie
- Hikmah, M., & Wahyuni, N. (2023). Sintesis Fotokatalis Tio₂ Untuk Degradasi Zat Warna Sintetis Metilen Biru Dengan Bantuan Sinar Tampak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(3), 878. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i3.70903>
- Kang, X., Berberidou, C., Galeckas, A., Bazioti, C., Sagstuen, E., Norby, T., Poullos, I., & Chatzidakis, A. (2021). Visible Light Driven Photocatalytic Decolorization And Disinfection Of Water Employing Reduced Tio₂ Nanopowders. *Catalysts*, 11(2), 228. <https://doi.org/10.3390/catal11020228>
- Kholidah, K., Wahyuni, E. T., & Sugiharto, E. (2021). Fotodegradasi Terkatalisis Tio₂-H₂O₂ Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Mie Soun. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(2), 164–174. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.225>
- Manga, J., Utomo, W. B., & Ruso, S. (2018). Sintesis Katalis Padat So₄²⁻/Tio₂ Dengan Metode Impregnasi Dan Aplikasinya Pada Metanolisis Minyak Jelantah. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (Snp2m)*, 178–182.
- Modwi, A., Abbo, M. A., Hassan, E. A., Al-Duaij, O. K., & Houas, A. (2017). Adsorption Kinetics And Photocatalytic Degradation Of Malachite Green (Mg) Via Cu/Zno Nanocomposites. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 5, 5954–5960.
- Nurhasanah Sari, D., Azmalaeni Rifkah Ansyarif, Dan, & Al Makassar Gowa, Y. (2023). *Pengaruh Waktu Degradasi Terhadap Fotodegradasi Zat Warna Fenol Red Menggunakan Katalis Tio₂-Ag*.
- Olumide D. Olukanni, Aliu Adenopo, Ayodeji O. Awotula, & Akinniyi A. Osuntoki. (2021). Biodegradation Of Malachite Green By Extracellular Laccase Producing *Bacillus Thuringiensis* Run1. *Journal Of Basic & Applied Sciences*, 9, 543–549. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2013.09.70>
- Putri, K., Annisa, A., Husain, S., & Rodiansono, R. (2020). One-Pot Synthesis Of Carbon-Doped Tio₂ With Bimetallic Ni-Ag Co-Catalysts In Photodegradation Of Methylene Blue Under Uv And Visible Irradiation. *Bulletin Of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(1), 35–42. <https://doi.org/10.9767/brec.15.1.4811.35-42>
- Ramadhani, P., Zein, R., Chaidir, Z., Zilfa, & Hevira, L. (2019). Pemanfaatan Limbah Padat Pertanian Dan Perikanan Sebagai Biosorben Untuk Penyerap Berbagai Zat Warna: Suatu Tinjauan. *Jurnal Zarah*, 7(2), 46–56. <https://doi.org/10.31629/zarah.v7i2.1396>
- Sari, D. N. (2022). *Fotodegradasi Zat Warna Titan Kuning Dan Fenol Merah Menggunakan Katalis Cu/Zno Dan Ag/Tio₂* [Tesis]. Unhas.
- Sari, D. N., & Ansyarif, A. R. (2023). Pengaruh Waktu Degradasi Terhadap Fotodegradasi Zat Warna Fenol Red Menggunakan Katalis Tio₂-Ag. *Jurnal Riset Multidisiplin*, 1(3), 100–104. <https://doi.org/10.61316/jrma.v1i3.14>
- Sarwono, R., & Tursiloadi, S. (2015). Jurnal Sains Materi Indonesia Morfologi Dan Aktivitas Katalis Logam Cu Dengan Penyangga Mono- Dan Bimetalik Oksida Cara Kerja Impregnasi Ko-Presipitasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(2), 76–82.
- Shofiyullah, M., Udaibah, W., & Fitriani, I. N. (2020). Studi Density Functional Theory (Dft) Pengaruh Co-Doping Zn Dan N Pada Tio₂ Anatas. *Walisono Journal Of Chemistry*, 3(2), 92. <https://doi.org/10.21580/wjc.v3i2.6593>



Journal homepage : <https://jurnal.usy.ac.id/index.php/aurum>

Aurum Journal of Chemical Science

Penerbit : Program Studi Kimia, Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa



Yanto Rahman, D., & Sulistyowati, R. (2023). *Environmental Science Journal (Esjo): Jurnal Ilmu Lingkungan Aplikasi Fotokatalis Tio₂ Dan Alternatifnya Untuk Degradasi Pewarna Sintetis Dalam Limbah Cair* (Vol. 1, Number 2). [Http://Journal.Univpgri-Palembang.Ac.Id/Index.Php/Esjo](http://Journal.Univpgri-Palembang.Ac.Id/Index.Php/Esjo)