



NOMOR:
156/C/C3/KPT/2026

Evaluasi efektivitas fotokatalis zno/biochar terhadap degradasi antibiotik tetrasiklin menggunakan spektrofotometri uv-vis

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

Abstract

Background: Tetracycline contamination in aquatic environments has become a serious issue due to its persistence and resistance to conventional degradation methods. Photocatalysis using ZnO/Biochar composite is an Advanced Oxidation Process (AOP) capable of degrading complex organic compounds through reactive radical formation.

Purpose: To evaluate the effectiveness of ZnO/Biochar photocatalyst in degrading tetracycline based on catalyst dosage and irradiation time under UV-Vis light.

Method: This experimental laboratory study used UV-Vis spectrophotometry at a maximum wavelength of 378 nm.

Results: The 0.5 g dosage showed the highest degradation efficiency of 84% at 120 minutes. Increasing catalyst dosage up to 0.5 g improved degradation, while 1 g reduced efficiency due to increased turbidity. Degradation increased with irradiation time. The reaction followed pseudo-first-order kinetics with a rate constant of 0.0142 min⁻¹.

Conclusion: ZnO/Biochar effectively degrades tetracycline under UV-Vis irradiation, with optimal performance at 0.5 g catalyst dosage following pseudo-first-order kinetics.

Keywords: Photocatalysis; Tetracycline; UV-Vis; ZnO/Biochar.

Pendahuluan: Pencemaran antibiotik tetrasiklin di perairan menjadi permasalahan lingkungan karena sifatnya yang persisten dan sulit terdegradasi secara konvensional. Fotokatalisis menggunakan komposit ZnO/Biochar merupakan metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) yang efektif dalam mendegradasi senyawa organik melalui pembentukan radikal reaktif.

Tujuan: Mengetahui efektivitas fotokatalis ZnO/Biochar dalam mendegradasi tetrasiklin berdasarkan variasi dosis katalis dan waktu iradiasi menggunakan lampu UV-Vis.

Metode: Penelitian eksperimental laboratorium menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 378 nm.

Hasil: Dosis 0,5 g menunjukkan degradasi tertinggi sebesar 84% pada menit ke-120. Peningkatan dosis hingga 0,5 g meningkatkan efisiensi, sedangkan pada 1 g terjadi penurunan akibat kekeruhan larutan. Degradasi meningkat seiring waktu iradiasi. Kinetika reaksi mengikuti orde satu sesuai dengan konstanta laju 0,0142 menit⁻¹.

Simpulan: ZnO/Biochar efektif mendegradasi tetrasiklin dengan kondisi optimum pada dosis 0,5 g dan penyinaran UV-Vis, serta mengikuti kinetika orde satu.

Kata Kunci : Fotokatalisis; Tetrasiklin; UV-Vis; ZnO/Biochar.

PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan antibiotik secara global dalam dua dekade terakhir tidak hanya menimbulkan permasalahan kesehatan, tetapi juga berdampak serius terhadap lingkungan. *World Health Organization* (WHO)

melaporkan bahwa konsumsi antibiotik meningkat sekitar 35% sejak tahun 2000, terutama di negara berkembang yang masih memiliki keterbatasan dalam pengolahan air limbah (*World Health Organization, 2023*). *United Nations*

Environment Programme (UNEP) juga melaporkan bahwa lebih dari 50% senyawa farmasi masih terdeteksi di perairan dengan konsentrasi 1–500 µg/L meskipun telah melalui proses pengolahan konvensional (United Nations Environment Programme, 2024). Keberadaan residu antibiotik ini berkontribusi terhadap meningkatnya resistensi antimikroba (AMR).

Tetrasiklin merupakan salah satu antibiotik yang paling sering ditemukan di lingkungan dan memiliki tingkat persistensi yang tinggi. Struktur molekulnya yang kompleks menyebabkan senyawa ini sulit terdegradasi secara alami melalui proses biologis maupun fisikokimia (Zhang, Liu, Chen, & Wang, 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tetrasiklin dapat bertahan hingga 60 hari di perairan alami, sementara metode pengolahan konvensional hanya mampu menghilangkan sekitar 30–40% senyawa tersebut dan berpotensi menghasilkan produk antara yang bersifat toksik (Hosny, Fawzy, & Eltaweil, 2022).

Keterbatasan tersebut dikembangkan teknologi *Advanced Oxidation Processes* (AOPs), salah satunya metode fotokatalisis berbasis semikonduktor. Metode ini memanfaatkan energi cahaya untuk menghasilkan spesies oksidatif reaktif seperti radikal hidroksil dan superoksida yang mampu mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi produk yang lebih sederhana dan aman (Zhang et al., 2023). *Zinc oxide* (ZnO) merupakan salah satu fotokatalis yang banyak digunakan karena memiliki energi celah pita sekitar 3,2 eV, stabil secara kimia, dan relatif ekonomis (Adesina, Alfred, Seitz, Brennenstuhl, Rawel, Wessig, & Taubert, 2024). ZnO murni memiliki keterbatasan berupa tingginya laju rekombinasi pasangan elektron-hole yang dapat menurunkan efisiensi fotokatalitik.

Meningkatkan kinerja ZnO adalah dengan mengombinasikannya dengan material berbasis karbon seperti biochar. Biochar merupakan material berpori dengan luas permukaan tinggi yang mampu meningkatkan adsorpsi awal polutan serta memperbaiki transfer muatan, sehingga

dapat meningkatkan efisiensi fotodegradasi (Hosny et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa komposit ZnO/Biochar mampu meningkatkan efisiensi degradasi tetrasiklin secara signifikan kajian mengenai pengaruh kondisi operasional seperti dosis katalis dan waktu iradiasi masih terbatas (Tuama, Alzubaidi, Jameel, Abass, Mayzan, & Salman, 2024).

Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas fotokatalis ZnO/Biochar dalam mendegradasi antibiotik tetrasiklin dengan variasi dosis katalis (0; 0,1; 0,5; dan 1 g) serta waktu iradiasi (0–120 menit) menggunakan penyinaran UV-Vis. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis kinetika reaksi menggunakan model orde pertama semu untuk memperoleh pemahaman kuantitatif terhadap proses fotodegradasi yang terjadi.

METODE

Sampel berupa larutan model limbah tetrasiklin yang diperlakukan dengan fotokatalis ZnO/Biochar (fotokatalis yang digunakan merupakan fotokatalis yang sudah disintesis oleh peneliti terdahulu) pada variasi dosis 0; 0,1; 0,5; dan 1 g dalam sistem batch menggunakan penyinaran UV-Vis selama 120 menit.

Larutan model tetrasiklin disiapkan, kemudian ditentukan panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Proses fotodegradasi dilakukan dengan menambahkan fotokatalis ZnO/Biochar ke dalam larutan pada variasi dosis 0; 0,1; 0,5; dan 1 g, kemudian disinari menggunakan lampu UV-Vis dalam sistem batch.

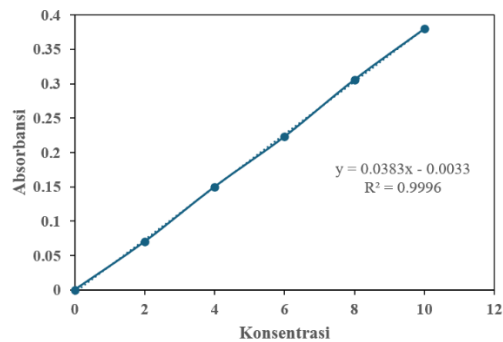
Sampel diambil pada interval waktu 0, 30, 60, 90, dan 120 menit, lalu dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk memperoleh spektrum serapan. Data yang diperoleh berupa perubahan intensitas puncak serapan tetrasiklin pada panjang gelombang maksimum.

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

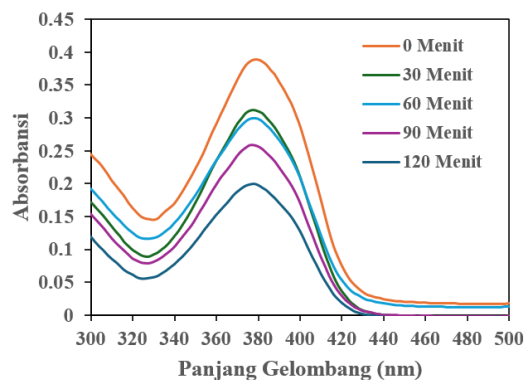
¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

HASIL**Gambar 1. Grafik Kalibrasi Standar Tetrasiklin**

Gambar 1 menunjukkan hasil pengukuran dengan persamaan regresi linear $y = 0,0383x - 0,0033$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9996$. Nilai R^2 yang sangat tinggi menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi bersifat sangat linear serta memiliki korelasi yang kuat, sehingga metode analisis yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam menentukan konsentrasi tetrasiklin dalam sampel penelitian.

**Gambar 2. Grafik Hasil Fotodegradasi Model Limbah Tetrasiklin 0 g**

Gambar 2 menunjukkan spektrum UV-Vis tetrasiklin pada rentang 300–500 nm tanpa penambahan katalis (0 gram). Puncak absorbansi maksimum berada pada panjang gelombang 378 nm sebagai λ_{maks} tetrasiklin. Nilai absorbansi pada panjang gelombang tersebut menurun secara bertahap seiring bertambahnya waktu (0-120 menit) dengan perubahan yang relatif kecil. Kondisi tanpa katalis menggambarkan proses degradasi tetrasiklin berlangsung lambat.

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

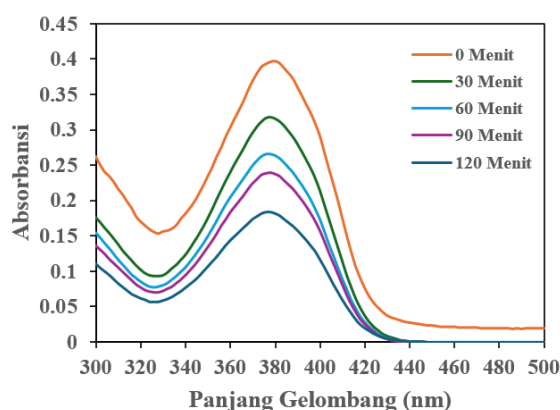
¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

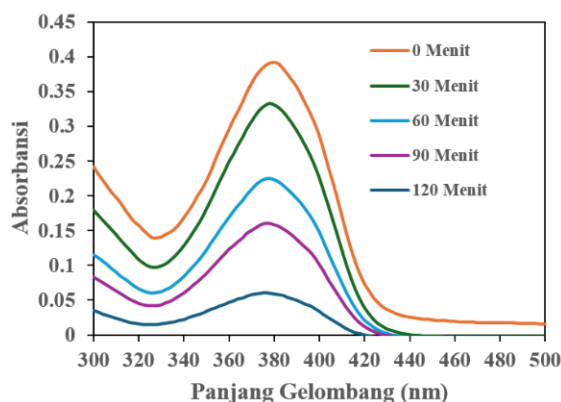
DOI: <https://doi.org/10.56922/pti.v6i1.3046>

Evaluasi efektivitas fotokatalis zno/biochar terhadap degradasi antibiotik tetrasiklin menggunakan spektrofotometri uv-vis



Gambar 3. Grafik Hasil Fotodegradasi Model Limbah Tetrasiklin 0.1 g

Gambar 3. menunjukkan spektrum UV-Vis tetrasiklin pada rentang 300–500 nm tanpa penambahan katalis (0 gram). Puncak absorbansi maksimum berada pada panjang gelombang 378 nm sebagai λmaks tetrasiklin. Nilai absorbansi pada panjang gelombang tersebut menurun secara bertahap seiring bertambahnya waktu (0–120 menit) dengan perubahan yang relatif kecil. Kondisi tanpa katalis menggambarkan proses degradasi tetrasiklin berlangsung lambat.



Gambar 4. Grafik Hasil Fotodegradasi Model Limbah Tetrasiklin 0.5 g

Gambar 4. menunjukkan spektrum UV-Vis tetrasiklin pada rentang 300–500 nm dengan penambahan katalis sebesar 0,5 g. Puncak absorbansi maksimum berada pada panjang gelombang 378 nm sebagai λmaks tetrasiklin. Nilai absorbansi pada panjang gelombang tersebut menurun sangat signifikan seiring bertambahnya waktu (0–120 menit). Penurunan yang lebih besar dibandingkan variasi sebelumnya menunjukkan peningkatan efektivitas degradasi tetrasiklin dengan penambahan katalis 0,5 g.

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

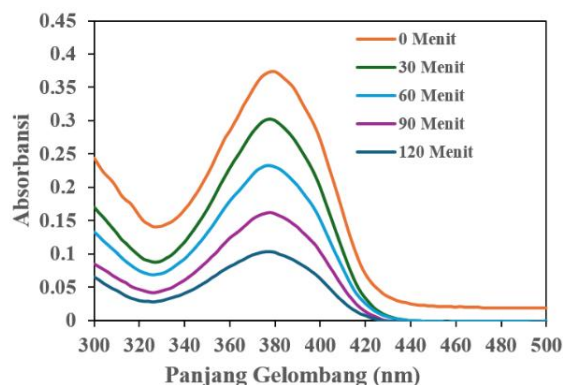
¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

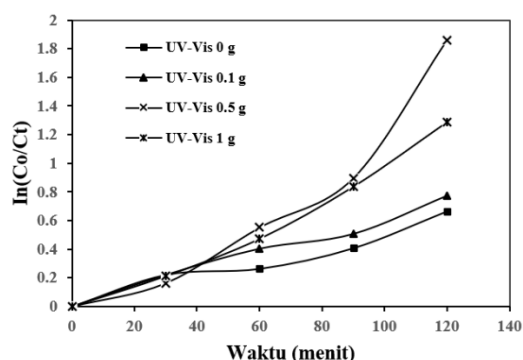
DOI: <https://doi.org/10.56922/pti.v6i1.3046>

Evaluasi efektivitas fotokatalis zno/biochar terhadap degradasi antibiotik tetrasiklin menggunakan spektrofotometri uv-vis



Gambar 5. Grafik Hasil Fotodegradasi Model Limbah Tetrasiklin 1 g

Gambar 5. menunjukkan spektrum UV-Vis tetrasiklin pada rentang 300–500 nm dengan penambahan katalis sebesar 1 g. Puncak absorbansi maksimum berada pada panjang gelombang 378 nm sebagai λmaks tetrasiklin. Nilai absorbansi pada panjang gelombang tersebut menurun secara bertahap seiring bertambahnya waktu (0–120 menit). Penurunan ini terlihat lebih kecil dibandingkan pada penggunaan katalis 0,5 g menunjukkan bahwa peningkatan massa katalis hingga 1 g kurang efektif dibanding 0.5 g



Gambar 6. Grafik Kinetika Reaksi Fotokatalis

Gambar 6 menunjukkan hubungan $\ln(C_0/C_t)$ terhadap waktu (menit) pada variasi massa katalis 0; 0,1; 0,5; dan 1 g. Nilai $\ln(C_0/C_t)$ meningkat seiring bertambahnya waktu pada seluruh variasi, yang menunjukkan proses degradasi tetrasiklin berlangsung selama reaksi. Peningkatan paling tinggi terlihat pada penggunaan katalis 0,5 g, sehingga menunjukkan laju degradasi paling optimal. Penggunaan 1 g menghasilkan nilai yang lebih rendah dibandingkan 0,5 g, yang menunjukkan efektivitas menurun pada massa katalis yang lebih besar. Variasi 0 g dan 0,1 g menunjukkan kenaikan yang lebih kecil, sehingga laju degradasi berlangsung lebih lambat.

PEMBAHASAN

Kurva kalibrasi larutan standar tetrasiklin menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi (Gambar 1) dengan persamaan regresi $y = 0,0383x - 0,0033$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9996$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa metode spektrofotometri UV-Vis memiliki tingkat linearitas yang sangat baik serta mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dan presisi dalam menentukan konsentrasi tetrasiklin dalam larutan menunjukkan bahwa metode yang digunakan telah valid dan layak digunakan untuk analisis lebih lanjut dalam penelitian (Zahid, Khan, Sun, Muhammad, Sabahat, Shah, & Iqbal, 2025).

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/pti.v6i1.3046>

Larutan tetrasiklin menunjukkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 378 nm. Panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) ini dipilih karena merupakan titik di mana senyawa tetrasiklin menyerap cahaya secara optimum, sehingga memberikan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan konsentrasi. Panjang gelombang ini, perubahan kecil dalam konsentrasi akan menghasilkan perubahan nilai absorbansi yang lebih signifikan dibandingkan panjang gelombang lainnya (Taher, Maharani, Muhtar, Munandar, Sidiq, & Rianjanu 2025). Nilai λ_{maks} yang diperoleh juga sesuai dengan karakteristik serapan tetrasiklin pada daerah ultraviolet yang berkaitan dengan transisi elektronik pada sistem cincin aromatik terkonjugasi dalam struktur molekulnya. Panjang gelombang 378 nm digunakan sebagai dasar pengukuran untuk seluruh sampel pada berbagai perlakuan dalam penelitian ini (Zhang et al., 2023).

Perubahan spektrum serapan tetrasiklin pada berbagai variasi dosis katalis ZnO/Biochar ditunjukkan pada Gambar 2-5 merepresentasikan masing-masing perlakuan tanpa katalis (0 g) serta dengan penambahan katalis sebesar 0,1 g, 0,5 g, dan 1 g. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai absorbansi mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu iradiasi (Mahmoudi, Farzadkia, Kalantary, Sobhi, Yeganeh, & Esrafil, 2024). Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya jumlah molekul tetrasiklin dalam larutan akibat berlangsungnya proses fotodegradasi (Li, Wang, Yang, Zhu, Chen, Li, & Ratnaweera, 2022).

Proses fotodegradasi tersebut dipengaruhi oleh aktivitas fotokatalis ZnO/Biochar yang mampu menghasilkan pasangan elektron-hole saat terpapar radiasi UV-Vis. Elektron yang tereksitasi ke pita konduksi dan hole yang tertinggal pada pita valensi akan berinteraksi dengan molekul air dan oksigen terlarut, sehingga menghasilkan spesies oksidatif reaktif seperti radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dan radikal superoksida ($\text{O}_2^{\cdot-}$) (Luo, & Su, 2026). Spesies reaktif ini memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi dan berperan penting dalam mendegradasi senyawa organik kompleks seperti tetrasiklin menjadi senyawa yang lebih sederhana (Iyyappan, Gaddala, Gnanasekaran, Gopinath, Yuvaraj, & Kumar, 2024).

Perbandingan antar loding dosis katalis menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis dari 0,1 g hingga 0,5 g menghasilkan penurunan absorbansi yang lebih signifikan dibandingkan dengan perlakuan tanpa katalis (0 g) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis mampu

menyediakan lebih banyak situs aktif yang berperan dalam proses fotokatalitik meningkatkan interaksi antara katalis dan molekul tetrasiklin (Bekhit, Zaki, Hassouna, & Elkad, 2024). Dosis yang lebih tinggi yaitu 1 g, peningkatan efektivitas tidak lebih tinggi dibandingkan dosis 0,5 g. Kondisi diduga disebabkan oleh meningkatnya kekeruhan larutan yang dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam sistem serta kemungkinan terjadinya aglomerasi partikel katalis, sehingga menurunkan efektivitas proses fotokatalitik (Munien, Govender, & Daramola, 2025).

Penurunan absorbansi yang terjadi secara bertahap pada interval waktu 0–120 menit menunjukkan bahwa proses fotodegradasi berlangsung secara kontinu selama penyinaran (Huang, Hao, Li, Zhu, Chen, & Tao, 2022). Semakin lama waktu iradiasi, semakin besar energi cahaya yang diserap oleh katalis, sehingga meningkatkan jumlah spesies oksidatif reaktif yang terbentuk dan mempercepat proses degradasi (Mohtaram, Sabbaghi, Rasouli, & Rasouli, 2024).

Peran biochar dalam komposit ZnO/Biochar juga memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan kinerja fotokatalitik. Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi dan sifat adsorptif yang baik, sehingga mampu meningkatkan kontak antara molekul tetrasiklin dengan permukaan katalis. Biochar juga berperan sebagai media transfer elektron yang dapat menghambat rekombinasi pasangan elektron-hole, sehingga meningkatkan efisiensi proses fotodegradasi (Hosny et al., 2022).

Analisis kinetika reaksi ditunjukkan pada Gambar 6, di mana hubungan $\ln(C_0/C_t)$ terhadap waktu menunjukkan kecenderungan linier. Hal ini mengindikasikan bahwa proses fotodegradasi mengikuti kinetika reaksi orde pertama semu (*pseudo-first-order*) sesuai dengan model *Langmuir-Hinshelwood*. Nilai $\ln(C_0/C_t)$ yang lebih tinggi pada dosis 0,5 g menunjukkan bahwa laju reaksi fotodegradasi pada kondisi ini lebih cepat dibandingkan dengan dosis lainnya, termasuk 0 g, 0,1 g, dan 1 g. Dosis 0,5 g dapat dianggap sebagai kondisi optimum dalam meningkatkan laju reaksi fotodegradasi tetrasiklin pada sistem yang diamati (Kumari, Sonia, Suman, Ranga, Chahal, Devi, & Parmar, 2023).

SIMPULAN

Fotokatalis ZnO/Biochar efektif dalam mendegradasi tetrasiklin yang ditunjukkan oleh penurunan konsentrasi seiring bertambahnya waktu iradiasi UV-Vis. Loding katalis berpengaruh signifikan terhadap efektivitas degradasi, di

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

mana dosis 0,5 g memberikan hasil paling optimal dibandingkan dosis lainnya. Efektivitas fotokatalis dipengaruhi oleh kombinasi loding katalis dan waktu iradiasi, dengan kondisi optimum pada 0,5 g dan waktu iradiasi yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Adesina, M. O., Alfred, M. O., Seitz, H., Brennenstuhl, K., Rawel, H. M., Wessig, P., ... & Taubert, A. (2024). Orange peel biochar/clay/titania composites: low cost, high performance, and easy-to-reuse photocatalysts for the degradation of tetracycline in water. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 10(6), 1432-1450.
- Bekhit, S. M., Zaki, S. A., Hassouna, M. S. E. D., & Elkady, M. (2024). Combined effect of adsorption and photocatalytic degradation using magnesium oxide nano-flowers for tetracycline removal. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 34(10), 5006-5019.
- Hosny, M., Fawzy, M., & Eltaweil, A. S. (2022). Green synthesis of bimetallic Ag/ZnO@ Biohar nanocomposite for photocatalytic degradation of tetracycline, antibacterial and antioxidant activities. *Scientific Reports*, 12(1), 7316.
- Huang, J., Li, C., Hao, H., Li, L., Zhu, B., Chen, X., & Tao, H. (2022). Photocatalytic degradation of tetracycline antibiotic over a flower-like S-doped BiOBr: Performance, mechanism insight and toxicity assessment. *Frontiers in Nanotechnology*, 4, 1023489.
- Iyyappan, J., Gaddala, B., Gnanasekaran, R., Gopinath, M., Yuvaraj, D., & Kumar, V. (2024). Critical review on wastewater treatment using photo catalytic advanced oxidation process: Role of photocatalytic materials, reactor design and kinetics. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100599.
- Kumari, H., Sonia, Suman, Ranga, R., Chahal, S., Devi, S., & Parmar, R. (2023). A review on photocatalysis used for wastewater treatment: dye degradation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(6), 349.
- Li, F., Wang, X., Yang, M., Zhu, M., Chen, W., Li, Q., & Ratnaweera, H. (2022). Detection limits of antibiotics in wastewater by real-time UV-VIS spectrometry at different optical path length. *Processes*, 10(12), 2614.
- Luo, Y., & Su, R. (2026). Removal of Tetracycline via Ultraviolet-Activated Peroxyacetic Acid: Performance and Mechanism. *Toxics*, 14(2), 184.
- Mahmoudi, K., Farzadkia, M., Kalantary, R. R., Sobhi, H. R., Yeganeh, M., & Esrafil, A. (2024). Efficient removal of oxytetracycline antibiotic from aqueous media using UV/g-C₃N₄/Fe₃O₄ photocatalytic process. *Heliyon*, 10(9).
- Mohtaram, M. S., Sabbaghi, S., Rasouli, J., & Rasouli, K. (2024). Photocatalytic degradation of tetracycline using a novel WO₃-ZnO/AC under visible light irradiation: optimization of effective factors by RSM-CCD. *Environmental Pollution*, 347, 123746.
- Munien, C., Govender, P. P., & Daramola, M. O. (2025). Challenges and prospects of TiO₂-based photocatalysis for wastewater treatment. *Catalysts*.
- Taher, T., Maharani, P., Muhtar, S. A., Munandar, A., Sidiq, A. N., & Rianjanu, A. (2025). High surface area ortho-Nb₂O₅ as bifunctional adsorbent and photocatalyst for efficient removal of tetracycline antibiotics from wastewater. *Science and Technology Indonesia*, 10(3), 916-923.
- Tuama, A. N., Alzubaidi, L. H., Jameel, M. H., Abass, K. H., bin Mayzan, M. Z. H., & Salman, Z. N. (2024). Impact of electron-hole recombination mechanism on the photocatalytic performance of ZnO in water treatment: A review. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 110(3), 792-806.
- United Nations Environment Programme. (2024). Global wastewater report 2024.UNEP.
- World Health Organization. (2023). *Tracking antimicrobial resistance in the environment*. World Health Organization. Diakses dari: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/pti.v6i1.3046>

Evaluasi efektivitas fotokatalis zno/biochar terhadap degradasi antibiotik tetrasiklin menggunakan spektrofotometri uv-vis

Zahid, M., Khan, Z. U. H., Sun, J., Muhammad, N., Sabahat, S., Shah, N. S., & Iqbal, J. (2025). Biochar-derived photocatalysts for pharmaceutical waste removal, a sustainable approach to water purification. *Applied Surface Science Advances*, 26, 100721.

Zhang, Y., Liu, H., Chen, Q., & Wang, J. (2023). Ag/ZnO–Fe₃O₄/biochar magnetic nanocomposite for visible-light-driven degradation of tetracycline and antibacterial applications. *Chemosphere*, 317, 137954.

Saddam Husein^{1*}, Fatma Aris Setiawan¹, Radho Alkausar²

¹Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Farmasi Universitas Malahayati

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Korespondensi Penulis : Saddam Husein *Email : saddam.husein@malahayati.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56922/pti.v6i1.3046>