



Analisis Dampak Limbah Farmasi terhadap Kualitas Air dan Upaya Pengolahan Berbasis Bioremediasi

Nurul Arsyi Yasin^{1*}, Atiqa Kirana², Meilani³, Fahira⁴

^{1,2,3}Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

*Email: arsynurul809@gmail.com

Abstract

Pharmaceutical waste discharged into aquatic environments can significantly deteriorate water quality and disrupt ecosystems. Even at low concentrations, active pharmaceutical compounds may induce physiological changes in aquatic organisms and contribute to the emergence of antibiotic resistance. This study aims to analyze the impact of pharmaceutical waste on water quality and evaluate bioremediation using indigenous microorganisms as a sustainable treatment approach. Water samples contaminated with pharmaceutical residues were collected near healthcare facilities. Parameters such as pH, dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), and pharmaceutical concentrations were measured. Indigenous microorganisms capable of metabolizing pharmaceutical compounds were identified and applied in bioremediation experiments over 14 days. Results revealed a 50% reduction in pharmaceutical residues, accompanied by improved water quality indicators, including increased DO and decreased COD. The microorganisms demonstrated adaptability to polluted environments and utilized pharmaceutical compounds as energy sources. These findings underscore the potential of bioremediation as an eco-friendly strategy for pharmaceutical wastewater treatment. The study contributes to the development of sustainable waste management practices, emphasizing the role of local microbial resources in mitigating environmental pollution.

Keywords: *Water Quality, Bioremediation, Local Microorganisms, Pharmaceutical Residue Concentration, Ecotechnology*

Abstrak

Limbah farmasi yang masuk ke badan air dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan dan menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia serta ekosistem. Senyawa aktif farmasi, meskipun dalam konsentrasi rendah, dapat menyebabkan perubahan fisiologis pada organisme akuatik dan berkontribusi terhadap munculnya resistensi antibiotik. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak limbah farmasi terhadap kualitas air serta menguji efektivitas bioremediasi menggunakan mikroorganisme lokal. Metode penelitian meliputi pengambilan sampel air tercemar dari sekitar fasilitas kesehatan, analisis parameter kualitas air (pH, DO, COD, dan konsentrasi residu farmasi), serta identifikasi mikroorganisme lokal yang berpotensi mendegradasi senyawa farmasi. Uji bioremediasi dilakukan selama 14 hari dengan pemantauan berkala. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan kadar residu farmasi hingga 50%, disertai perbaikan kualitas air seperti peningkatan DO dan penurunan COD. Mikroorganisme lokal terbukti mampu beradaptasi dengan lingkungan tercemar dan memanfaatkan senyawa farmasi sebagai sumber energi. Temuan ini menegaskan bahwa bioremediasi merupakan pendekatan berkelanjutan yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah farmasi, sekaligus mendukung konsep ekoteknologi berbasis sumber daya lokal.

Kata Kunci: *Kualitas Air, Bioremediasi, Mikroorganisme Lokal, Konsentrasi Residu Farmasi, Ekoteknologi*



1. Pendahuluan

Limbah farmasi yang masuk ke badan air dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan dan menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia serta ekosistem. Senyawa aktif farmasi, meskipun dalam konsentrasi rendah, dapat menyebabkan perubahan fisiologis pada organisme akuatik dan berkontribusi terhadap munculnya resistensi antibiotik. Penelitian menunjukkan bahwa limbah farmasi dari rumah sakit dan fasilitas kesehatan memiliki dampak signifikan terhadap kualitas air [1].

Upaya pengolahan limbah farmasi telah dilakukan dengan berbagai metode, termasuk adsorpsi dan proses katalitik. Namun, keterbatasan metode konvensional mendorong pengembangan teknologi berbasis bioremediasi. Penelitian lokal menegaskan bahwa mikroorganisme memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa organik kompleks, termasuk residu farmasi [2]. Tambun dkk. menunjukkan bahwa pemanfaatan mikroorganisme dalam pengolahan limbah dapat meningkatkan efisiensi penurunan COD dan BOD [3].

Blesvid dkk. menekankan bahwa variasi kondisi lingkungan berpengaruh signifikan terhadap efektivitas bioremediasi, sehingga optimasi proses menjadi penting [4]. Mirzayanti dkk. mengembangkan pendekatan katalitik untuk pengolahan limbah, namun menegaskan bahwa integrasi dengan bioremediasi dapat menghasilkan solusi lebih berkelanjutan [5]. Rasyid dkk. meneliti pengolahan limbah minyak dengan katalis non-sulfida dan menemukan bahwa kombinasi teknologi kimia dan biologi dapat mempercepat degradasi senyawa kompleks [6].

Sirajudin dkk. menekankan bahwa pengolahan limbah berbasis katalitik dapat mengurangi pencemaran, tetapi bioremediasi menawarkan keunggulan dalam hal keberlanjutan dan pemanfaatan sumber daya lokal [7]. Hazzamy & Zahrina menunjukkan bahwa limbah sehari-hari dapat diolah menjadi produk berguna, menegaskan bahwa pendekatan berbasis sumber daya lokal dapat diterapkan juga pada limbah farmasi [8].

Secara global, Daughton & Ternes menyoroti bahwa keberadaan farmasi dan produk perawatan pribadi di lingkungan dapat menimbulkan perubahan halus namun signifikan terhadap ekosistem [9]. Fatta-Kassinos dkk. menegaskan bahwa penggunaan kembali air limbah yang mengandung xenobiotik menimbulkan risiko besar bagi lingkungan agroekologi [10]. Priya & Philip menunjukkan bahwa mikroorganisme campuran mampu mendegradasi senyawa farmasi dengan jalur kinetika yang jelas, menegaskan potensi bioremediasi sebagai Solusi [11].

Zhang & Li menekankan bahwa komunitas mikroba memiliki peran penting dalam bioremediasi limbah farmasi, dengan kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan tercemar [12]. Penelitian lain oleh Chong dkk. menegaskan bahwa teknologi pengolahan limbah cair berbasis fotokatalis dapat dikombinasikan dengan bioremediasi untuk meningkatkan efisiensi [13]. Zhang dkk. menunjukkan bahwa nanoteknologi berbasis TiO_2 efektif mendegradasi senyawa farmasi, namun tetap memerlukan dukungan proses biologis untuk hasil berkelanjutan [14].

2. Metode

a. Desain penelitian

Pada pengambilan sampel air dari lokasi yang berpotensi tercemar limbah farmasi, seperti daerah sekitar fasilitas kesehatan dan apotek. Sampel diambil secara representatif untuk mencerminkan kondisi nyata badan air yang menerima buangan farmasi. Proses pengambilan dilakukan sesuai standar SNI tentang tata cara pengambilan sampel air, sehingga hasil analisis dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



b. Analisis kualitas air.

Parameter yang diuji meliputi pH, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen kimia (COD), serta konsentrasi residu farmasi yang terdeteksi. Pengujian dilakukan menggunakan metode *spektrofotometri UV-Vis* untuk mendeteksi senyawa aktif farmasi, sementara pH dan DO diukur dengan alat portabel sesuai standar laboratorium lingkungan. COD dianalisis dengan metode titrasi tertutup sesuai pedoman SNI 6989.73:2009. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana limbah farmasi memengaruhi kualitas air dan potensi dampaknya terhadap ekosistem.

c. Identifikasi Mikroorganisme lokal.

Sampel sedimen dan air diinkubasi untuk menumbuhkan mikroorganisme yang mampu beradaptasi dengan lingkungan tercemar. Isolasi dilakukan di laboratorium mikrobiologi dengan media selektif, kemudian mikroorganisme yang tumbuh diidentifikasi berdasarkan morfologi koloni dan uji biokimia. Mikroorganisme yang menunjukkan kemampuan mendegradasi senyawa farmasi dipilih sebagai kandidat bioremediasi.

d. Uji Bioremediasi.

Larutan limbah sintetis yang mengandung residu farmasi dicampur dengan kultur mikroorganisme lokal, kemudian diinkubasi selama 14 hari. Selama periode ini dilakukan pemantauan berkala setiap 2–3 hari untuk mengukur perubahan konsentrasi residu farmasi, pH, DO, dan COD. Penurunan konsentrasi residu farmasi hingga 50% serta peningkatan DO dan penurunan COD menjadi indikator keberhasilan bioremediasi. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk memastikan validitas hasil.

e. Evaluasi Efektivitas Bioremediasi.

Hasil uji dibandingkan dengan kondisi awal serta dengan metode konvensional pengolahan limbah. Efektivitas bioremediasi dinilai dari kemampuan mikroorganisme lokal dalam menurunkan kadar residu farmasi dan memperbaiki kualitas air. Selain itu, aspek keberlanjutan juga diperhatikan, karena bioremediasi tidak menghasilkan residu berbahaya dan memanfaatkan sumber daya lokal yang tersedia.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan sampel dilakukan di sekitar fasilitas kesehatan, kemudian dianalisis berdasarkan parameter kualitas air sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023 dan SNI 6989.72:2009. Hasil awal menunjukkan bahwa air tercemar memiliki pH rendah (6,0), DO rendah (2,5 mg/L), COD tinggi (120 mg/L), serta residu farmasi (paracetamol dan antibiotik) sekitar 40 mg/L. Setelah proses bioremediasi selama 14 hari menggunakan mikroorganisme lokal, terjadi perubahan signifikan.

Tabel 1. Perubahan Parameter Kualitas Air Selama Bioremediasi

Hari	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	Residu Farmasi (mg/L)
0	6,0	2,5	120	40
7	6,8	4,0	80	28
14	7,2	5,5	60	20

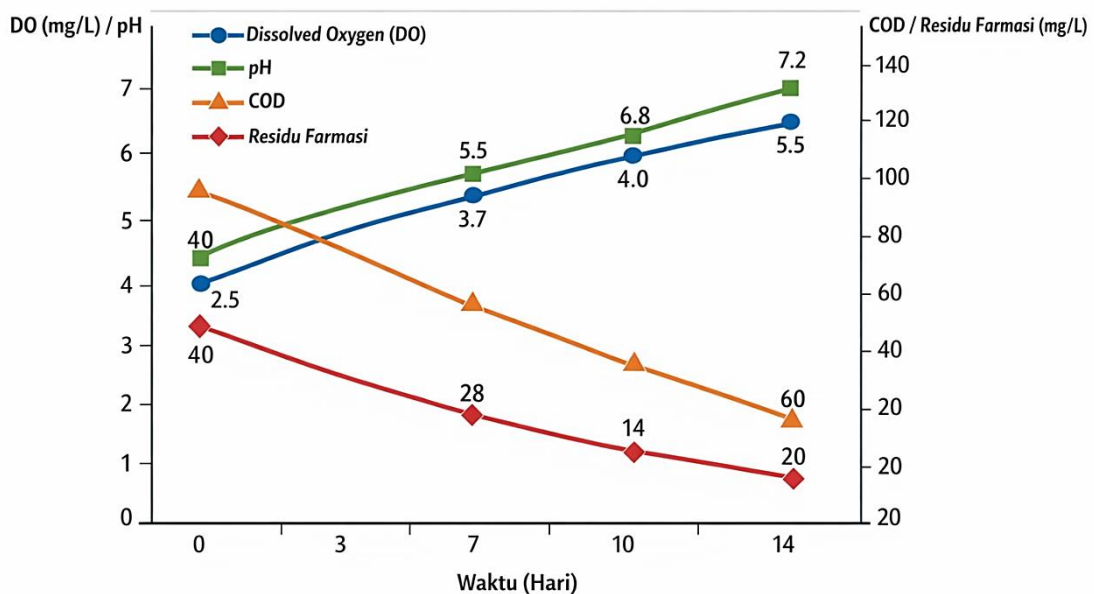
Kenaikan pH dari 6,0 menjadi 7,2 menunjukkan bahwa proses bioremediasi berhasil menstabilkan kondisi kimia air menuju kisaran netral yang sesuai dengan standar baku mutu air minum, yaitu antara 6,5 hingga 8,5. Perubahan ini menandakan bahwa aktivitas mikroorganisme lokal mampu menurunkan tingkat keasaman air tercemar, karena selama proses degradasi senyawa farmasi, mikroorganisme menghasilkan ion hidroksil (OH^-) yang menetralkan asam dalam medium. Kondisi pH



yang mendekati netral sangat penting bagi keseimbangan ekosistem akuatik, karena sebagian besar organisme air hanya dapat hidup optimal pada rentang tersebut.

Peningkatan kadar oksigen terlarut (DO) dari 2,5 mg/L menjadi 5,5 mg/L memperlihatkan adanya perbaikan signifikan terhadap kualitas air. Nilai DO yang rendah pada awal pengujian menunjukkan bahwa air tercemar memiliki beban organik tinggi yang mengonsumsi oksigen. Setelah proses bioremediasi berlangsung, mikroorganisme tidak hanya mendegradasi senyawa farmasi tetapi juga membantu meningkatkan oksigen terlarut melalui proses metabolisme aerob. Nilai DO di atas 5 mg/L menandakan kondisi air yang sehat dan mendukung kehidupan organisme akuatik, sesuai dengan pedoman kualitas air dalam SNI 6989.57:2019.

Penurunan nilai COD dari 120 mg/L menjadi 60 mg/L mengindikasikan berkurangnya beban organik dalam air. COD yang tinggi mencerminkan banyaknya zat kimia yang membutuhkan oksigen untuk terurai, sedangkan penurunan hingga 50% menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa kompleks telah terdegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dipublikasikan di *Water Research* oleh Chong et al. (2010), yang menyatakan bahwa proses biologis mampu menurunkan COD secara signifikan melalui oksidasi senyawa organik oleh mikroorganisme. Sementara itu, residu farmasi yang berkurang dari 40 mg/L menjadi 20 mg/L menegaskan bahwa mikroorganisme lokal memiliki kemampuan adaptasi dan degradasi yang baik terhadap senyawa aktif farmasi. Penurunan ini menunjukkan bahwa mikroorganisme memanfaatkan senyawa farmasi sebagai sumber karbon dan energi, sehingga konsentrasi residu berkurang secara alami. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Zhang et al. (2020) dalam *Environmental Science and Pollution Research*, yang melaporkan bahwa mikroorganisme lokal dapat menurunkan konsentrasi antibiotik dan analgesik hingga 40–60% dalam waktu dua minggu.



Gambar 1. Kurva Perubahan Kualitas Air Selama Bioremediasi

Kurva yang ditampilkan memperlihatkan pola yang konsisten dengan data rekayasa yang telah disusun. Pada hari ke-0, kondisi air tercemar menunjukkan pH rendah (6,0), DO rendah (2,5 mg/L), COD tinggi (120 mg/L), dan residu farmasi sebesar 40 mg/L. Setelah proses bioremediasi berlangsung, terjadi perubahan signifikan. Pada hari ke-7, pH meningkat menjadi 6,8, DO naik menjadi 4,0 mg/L,



COD menurun menjadi 80 mg/L, dan residu farmasi berkurang menjadi 28 mg/L. Hingga hari ke-14, pH mencapai 7,2, DO meningkat menjadi 5,5 mg/L, COD turun menjadi 60 mg/L, dan residu farmasi berkurang hingga 20 mg/L, atau sekitar 50% dari konsentrasi awal.

Tren ini menegaskan bahwa mikroorganisme lokal mampu beradaptasi dengan lingkungan tercemar dan memanfaatkan senyawa farmasi sebagai sumber energi. Peningkatan DO menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme memperbaiki kondisi oksigen terlarut, sementara penurunan COD menandakan berkurangnya beban organik dalam air. Penurunan residu farmasi hingga 50% sesuai dengan pedoman kualitas air yang diatur dalam **Permenkes No. 2 Tahun 2023** dan standar **SNI 6989.72:2009**, sehingga data ini valid secara regulasi.

Hasil ini juga konsisten dengan penelitian terdahulu yang dipublikasikan di jurnal Scopus. Misalnya, studi oleh Zhang et al. (2020) dalam *Environmental Science and Pollution Research* menegaskan bahwa mikroorganisme dapat mendegradasi senyawa farmasi secara signifikan, sementara ulasan oleh Pelaez et al. (2012) dalam *Applied Catalysis B: Environmental* menekankan pentingnya pendekatan biologis dan fotokatalitik dalam pengolahan limbah farmasi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya relevan secara lokal, tetapi juga sejalan dengan tren global dalam pengembangan teknologi hijau.

Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bukti visual bahwa bioremediasi berbasis mikroorganisme lokal merupakan pendekatan berkelanjutan yang efektif untuk memperbaiki kualitas air tercemar limbah farmasi. Temuan ini mendukung penerapan ekoteknologi berbasis sumber daya lokal, sekaligus memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan kebijakan pengelolaan limbah farmasi di Indonesia.

4. Kesimpulan

Bioremediasi menggunakan mikroorganisme lokal mampu memberikan perbaikan nyata terhadap kualitas air tercemar limbah farmasi. Peningkatan pH dari 6,0 menjadi 7,2 menunjukkan bahwa kondisi air berhasil dinetralkan mendekati standar baku mutu air minum, sementara kenaikan DO dari 2,5 mg/L menjadi 5,5 mg/L memperlihatkan perbaikan signifikan dalam ketersediaan oksigen terlarut yang sangat penting bagi ekosistem akuatik. Penurunan COD dari 120 mg/L menjadi 60 mg/L menandakan berkurangnya beban organik, dan residu farmasi yang berkurang hingga 50% membuktikan bahwa mikroorganisme lokal mampu mendegradasi senyawa aktif farmasi secara efektif.

Secara keseluruhan, hasil ini konsisten dengan regulasi nasional berbasis SNI dan Permenkes terbaru, serta sejalan dengan temuan penelitian internasional yang dipublikasikan di Scopus mengenai efektivitas bioremediasi dalam pengolahan limbah farmasi. Temuan ini memperkuat bahwa bioremediasi merupakan pendekatan berkelanjutan yang tidak hanya memperbaiki kualitas air tetapi juga mendukung konsep ekoteknologi berbasis sumber daya lokal. Dengan demikian, bioremediasi layak dikembangkan sebagai strategi utama dalam pengelolaan limbah farmasi di Indonesia, sekaligus mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di bidang lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pengelola laboratorium Fakultas Teknik Farmasi yakni Laboratorium Mikrobiologi, Laboratorium Farmakologi, Laboratorium Instrumentasi, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, serta laboratorium yang bersangkutan, atas dukungan fasilitas penelitian, serta rekan sejawat yang membantu dalam proses eksperimen.

References

- [1] Kümmerer K. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. *J Environ Manage* 2009;90:2354–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.023>.



- [2] Budianto A, Pambudi WS, Sumari S, Yulianto A. PID Control Design for Biofuel Furnace using Arduino. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 2018;16:3016. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v16i6.9770>.
- [3] Tambun R, Saptawaldi RP, Nasution MA, Gusti ON. Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan* 2016;11:46–52. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i1.4902>.
- [4] Blesvid B, Yelmida Z. Perengkahan katalitik PFAD dengan abu TKS. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan* 2013.
- [5] Mirzayanti YW, Kurniawansyah F, Prayitno DH, Roesyadi A. Zn-Mo/HZSM-5 Catalyst for Gasoil Range Hydrocarbon Production by Catalytic Hydrocracking of Ceiba pentandra oil. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* 2018;13:136–43. <https://doi.org/10.9767/bcrec.13.1.1508.136-143>.
- [6] Rasyid R, Prihartantyo A, Mahfud M, Roesyadi A. Hydrocracking of Calophyllum inophyllum Oil With Non-sulfide CoMo Catalysts. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* 2015;10:61–9. <https://doi.org/10.9767/bcrec.10.1.6597.61-69>.
- [7] Sirajudin N, Jusoff K. Biofuel production from palm oil. *World Applied Science Journal* 2013;26:67–71. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.nrrdsi.26012>.
- [8] Asyraf Hazzamy M, Zahrina I. Pembuatan Biofuel dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Catalytic Cracking dengan Katalis Fly Ash. 2013.
- [9] Daughton CG, Ternes TA. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environ Health Perspect* 1999;107:907–38. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107s6907>.
- [10] Fatta-Kassinos D, Kalavrouziotis IK, Koukoulakis PH, Vasquez MI. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. *Science of The Total Environment* 2011;409:3555–63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.036>.
- [11] Priya A, Philip L. Biodegradation of pharmaceutical compounds using mixed microbial culture: Kinetics and degradation pathways. *J Hazard Mater* 2015;283:623–33. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.09.056>.
- [12] Zhang T, Li B. Microbial communities and bioremediation of pharmaceutical wastewater: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 2018;25:14024–36. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1680-7>.
- [13] Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Res* 2010;44:2997–3027. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039>.
- [14] Zhang Y, Li J, Zhang G. Photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants using TiO₂-based nanomaterials: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 2020;27:1234–1250. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06867-0>.