



Potensi Bioremediasi Mikroplastik Menggunakan Bakteri di Pengelolaan Air Limbah

The Potential of Microplastic Bioremediation Using Bacteria in Wastewater Treatment Systems

Mahesa Dhiyaa Alkhairan^{1*}, Alifah Mustari¹, Siti Nurbaeti¹

¹ Departemen Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung

*Corresponding author: Jalan Soekarno-Hatta No. 752 Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat, 40614, Indonesia.

E-mail addresses: mahesadhiyaaalkhairan@gmail.com

2025 BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

Abstract

The issue of microplastic pollution is increasing due to the widespread use of plastics in daily life. Microplastics, which are less than 5 millimeters in size, are divided into two types: primary and secondary microplastics. Their presence in wastewater is one of the sources of pollution that can harm aquatic ecosystems and humans. Conventional wastewater treatment has limitations in effectively removing microplastics, thus requiring more efficient and environmentally friendly alternative approaches. One promising solution is bioremediation using bacteria, where certain bacteria can degrade microplastics into simpler compounds. Some types of bacteria effective in microplastic degradation include *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, and *Streptomyces thermoviolaceus*. This study aims to explore the potential of bacteria in microplastic remediation in wastewater treatment plants (WWTPs). A systematic literature search was conducted using PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar with keywords related to microplastic and bacterial remediation, of 1,297 articles identified, 20 were selected to examine the potential, application, and role of bacteria in microplastic removal from wastewater systems. Research shows that bacteria can degrade microplastics with varying efficiency, depending on the type of bacteria and microplastics used. Integrating bioremediation with conventional wastewater treatment systems, such as activated sludge reactors, can improve the effectiveness of microplastic removal. However, further research is needed to ensure successful implementation on a larger scale. Considering ecological and economic aspects, microplastic bioremediation could become a long-term solution for reducing plastic pollution.

Article info

Article history:

Received : 05 February 2025

Revised : 15 April 2025

Accepted : 20 August 2025

Available online : 22 August 2025

Keywords:

Bacteria

Bioremediation

Microplastics

1. PENDAHULUAN

Plastik telah menjadi bagian penting dalam kehidupan modern karena sifatnya yang ringan, kuat, dan ekonomis. Namun, penggunaannya yang luas menyebabkan permasalahan lingkungan yang serius, terutama karena munculnya mikroplastik. Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kecil, biasanya kurang dari 5 milimeter, yang berasal dari berbagai produk plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan industri [1][2]. Berdasarkan asalnya, mikroplastik terbagi menjadi dua jenis utama: mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer diproduksi dalam ukuran kecil sejak awal, seperti butiran dalam produk kosmetik (microbeads), pelet plastik industri, atau serat sintetis dari pakaian. Sementara itu, mikroplastik sekunder terbentuk akibat proses degradasi plastik berukuran besar menjadi partikel yang lebih kecil [3]. Umumnya, mikroplastik tersusun dari bahan seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), polistirena (PS), dan polivinil klorida (PVC), yang memiliki sifat tahan lama dan sulit terurai secara alami [1].

Mikroplastik telah ditemukan di berbagai ekosistem, termasuk dalam air limbah, yang menjadi salah satu jalur utama pencemarannya ke lingkungan. Keberadaan mikroplastik dalam air limbah berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap organisme akuatik dan manusia, karena partikel ini dapat mencemari rantai makanan dan menjadi polutan berbahaya. Sayangnya, metode pengolahan air limbah konvensional masih memiliki keterbatasan dalam menghilangkan mikroplastik secara efektif [2]. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah bioremediasi menggunakan bakteri. Teknik ini memanfaatkan bakteri tertentu yang mampu memecah mikroplastik menjadi senyawa yang lebih sederhana atau tidak berbahaya melalui proses biologis. Berbagai penelitian telah mengidentifikasi beberapa jenis bakteri yang berpotensi mendegradasi mikroplastik, seperti bakteri dari genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Rhodococcus* [1]. Dibandingkan dengan metode fisik atau kimia, bioremediasi dianggap lebih ramah lingkungan dan ekonomis [4].

Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi bakteri dalam mengatasi pencemaran mikroplastik di instalasi pengolahan air limbah. Dengan memahami bagaimana bakteri dapat mendegradasi mikroplastik, diharapkan dapat dikembangkan metode pengolahan air limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan. Selain itu, kajian ini juga diharapkan dapat memberikan manfaat praktis dalam mengurangi pencemaran mikroplastik serta meningkatkan kualitas lingkungan.

2. METODE

Metode penulisan tinjauan pustaka ini menggunakan penelusuran literatur berbasis online dengan sumber Pubmed, Scienccdirect dan Google Scholar. Penelusuran literatur menggunakan search engine: Mikroplastik remediasi ; bacterial remediation ; mikroplastik remediasi di sistem pengolahan air limbah. Dari search engine tersebut didapatkan referensi berjumlah 1,297 dari jumlah referensi tersebut digunakan 20 referensi untuk menjawab tujuan dari penelitian. Batasan dalam penulisan tinjauan pustaka ini meliputi potensi bakteri dalam remediasi mikroplastik di air limbah, pemanfaatan bakteri untuk remediasi mikroplastik, dan peran bakteri dalam mengurangi mikroplastik pada sistem pengolahan air limbah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

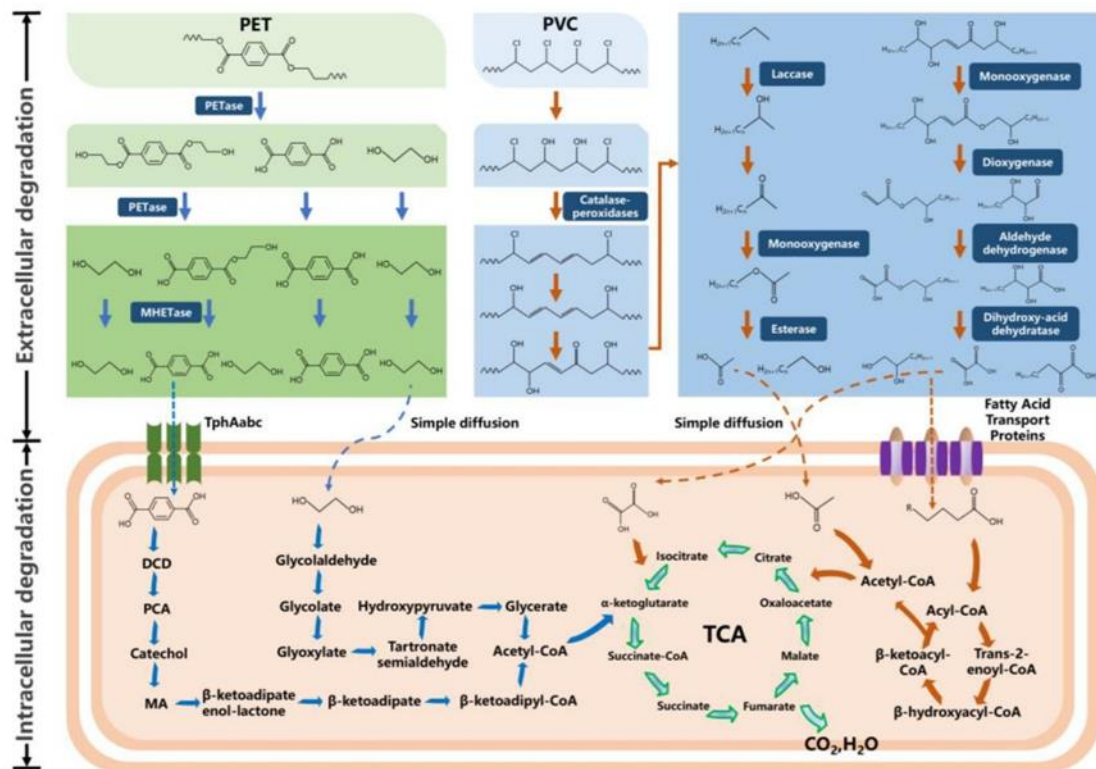
Bioremediasi memiliki potensi besar dalam mengurangi mikroplastik di instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Sistem konvensional seperti Membrane Bioreactor (MBR) dan membran dinamis mampu menghilangkan hingga 99% mikroplastik. Namun, jutaan partikel mikroplastik tetap dilepaskan melalui efluen dan lumpur. Alternatif ramah lingkungan, seperti penggunaan bakteri, jamur, atau tanaman, memberikan solusi untuk mengatasi keterbatasan sistem konvensional. Sebagai contoh, tumbuhan akuatik seperti *Zostera marina* dapat menjebak mikroplastik melalui adhesi di permukaan lendirnya, sementara makrofauna seperti *Arenicola marina* mampu menahan mikroplastik tanpa dampak metabolik yang signifikan [2]. Namun, efisiensi bioremediasi bervariasi tergantung pada jenis mikroorganisme, struktur polimer, dan keterbatasan enzim spesifik.

Tabel 1. Efisiensi Degradasi Mikroplastik oleh Bakteri

Bakteri	Jenis Mikroplastik	Efisiensi Degradasi	Kondisi Optimal	Produk Degradasi (Referensi)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Polietilen (PE)	1,15%	Media garam mineral pada pH 7, suhu 37°C	Tidak dilaporkan [5][6]
<i>Bacillus subtilis</i>	Polietilen (PE)	3,75%	Media garam mineral, 37°C	Tidak dilaporkan [5]
<i>Acinetobacter iwoffii</i>	Polietilen densitas rendah (LDPE)	0,76%	Media garam mineral, 37°C	Tidak dilaporkan [5]
<i>Streptomyces thermoviolaceus</i>	Polikaprolakton (PCL)	100%	Media kultur kaya nutrisi, waktu inkubasi lebih panjang dibanding PE atau PET	CO ₂ , air [7]
<i>Brevibacillus borstelensis</i>	Polietilen densitas rendah (LDPE)	20,3%	Media sintetik, 28°C, waktu inkubasi lebih pendek dibanding <i>Streptomyces</i> sp.	Alkana, asam karboksilat [8]
<i>Rhodococcus ruber</i>	Polistirena (PS)	Tidak dilaporkan	Kondisi aerobik, pH netral, waktu inkubasi 3-6 bulan	Monomer styren [9]

Tabel 1 menunjukkan efisiensi degradasi mikroplastik oleh beberapa jenis bakteri, termasuk kondisi optimal degradasi dan produk yang dihasilkan. Bakteri *Streptomyces thermoviolaceus* memiliki efisiensi tertinggi (100%) dalam mendegradasi polikaprolakton (PCL), menghasilkan karbon dioksida dan air. Efisiensi ini dapat dicapai dalam media kultur kaya nutrisi dengan waktu inkubasi yang lebih lama dibandingkan dengan polimer lain seperti PE dan PET. Sebaliknya, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Acinetobacter iwoffii* menunjukkan efisiensi degradasi yang sangat rendah terhadap polietilen (PE) dan polietilen densitas rendah (LDPE), masing-masing hanya 1,15% dan 0,76%. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri ini kurang efektif dalam mendegradasi jenis mikroplastik tersebut, meskipun kondisi optimal seperti pH 7 dan suhu 37°C telah diterapkan [3][10]. Bakteri lain seperti *Brevibacillus borstelensis* menunjukkan kemampuan mendegradasi LDPE hingga 20,3%, menghasilkan produk degradasi berupa alkana dan asam karboksilat, yang dapat dimanfaatkan oleh organisme lain sebagai sumber energi [9]. Adapun *Rhodococcus ruber* mampu mendegradasi polistirena (PS) dalam kondisi aerobik dengan pH netral, meskipun waktu inkubasi yang dibutuhkan cukup lama, yaitu 3-6 bulan [2]. Efisiensi degradasi mikroplastik bervariasi tergantung pada jenis bakteri, jenis mikroplastik, dan kondisi lingkungan. *Streptomyces thermoviolaceus* merupakan bakteri dengan potensi paling besar untuk diterapkan dalam bioremediasi mikroplastik, terutama pada jenis polikaprolakton. Pengembangan konsorsium bakteri juga perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan efisiensi degradasi pada berbagai jenis mikroplastik secara simultan [1][3].

Mekanisme degradasi mikroplastik oleh bakteri melibatkan beberapa tahapan, dimulai dari penempelan bakteri pada mikroplastik yang membentuk biofilm di permukaannya. Biofilm ini mendukung aktivitas bakteri dalam menghasilkan enzim ekstraseluler yang memecah struktur polimer melalui hidrolisis, menghasilkan oligomer dan monomer yang lebih kecil. Produk degradasi ini selanjutnya dimetabolisme oleh mikroorganisme. Efisiensi degradasi mikroplastik sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH (optimal antara 6-8), suhu (30-37°C), dan ketersediaan nutrisi. Penggunaan konsorsium mikroorganisme yang menggabungkan beberapa spesies dengan kemampuan spesifik, seperti *Pseudomonas* sp. untuk PE dan *Streptomyces thermoviolaceus* untuk PCL, terbukti lebih efektif dibandingkan kultur tunggal dalam mendegradasi berbagai jenis mikroplastik secara simultan [2][10].



Gambar 1. Jalur degradasi mikroplastik jenis PET dan PVC yang di mediasi bakteri [11]

Untuk meningkatkan efektivitas bioremediasi mikroplastik di instalasi pengolahan air limbah (IPAL), integrasi metode bioremediasi dengan sistem pengolahan air limbah konvensional perlu dipertimbangkan. Pendekatan ini dapat mencakup penambahan mikroorganisme pendegradasi mikroplastik ke dalam proses pengolahan biologis yang sudah ada, seperti dalam reaktor lumpur aktif atau kolam stabilisasi. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rusman dan Hidayati menunjukkan bahwa penerapan mikroorganisme tertentu mampu menurunkan konsentrasi mikroplastik secara signifikan melalui proses degradasi biologis. Hal ini membuktikan bahwa integrasi bioremediasi dengan sistem pengolahan limbah konvensional berpotensi meningkatkan efisiensi penghilangan mikroplastik serta memperkuat keberlanjutan teknologi IPAL[12]. Selain itu, pengembangan teknologi bioaugmentasi, yaitu penambahan mikroba spesifik yang telah diisolasi dan dioptimalkan untuk mendegradasi mikroplastik, dapat meningkatkan efisiensi pengolahan. Namun, implementasi metode ini memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan kompatibilitas dengan proses pengolahan yang ada, serta untuk mengatasi tantangan seperti kontrol populasi mikroba dan pemantauan produk degradasi yang dihasilkan [13][14][15].

Selain itu, penting untuk mempertimbangkan aspek ekologis dan ekonomi dalam penerapan bioremediasi mikroplastik di IPAL. Penggunaan mikroorganisme lokal yang sudah beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat dapat mengurangi risiko dampak negatif terhadap ekosistem dan menekan biaya operasional [16][17]. Studi kasus di IPAL Bojongsoang, Kota Bandung, menunjukkan bahwa keberadaan IPAL dapat menyisihkan mikroplastik secara efektif dengan efisiensi penyisihan sebesar 89,97%. Namun, efluen IPAL masih mengandung mikroplastik dengan konsentrasi rata-rata 1,49 partikel/liter, yang menunjukkan perlunya peningkatan metode pengolahan untuk mencapai hasil yang lebih baik [18]. Dengan demikian, integrasi metode bioremediasi dengan sistem pengolahan air limbah konvensional, serta pertimbangan aspek ekologis dan ekonomi, dapat meningkatkan efektivitas pengurangan mikroplastik di IPAL [19]. Pendekatan ini memerlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk memastikan keberhasilan implementasinya dalam skala besar [20][21].

4. KESIMPULAN

Bioremediasi menggunakan bakteri adalah pendekatan yang menjanjikan untuk mengurangi mikroplastik di instalasi pengolahan air limbah. Bakteri seperti *Streptomyces*

thermoviolaceus, *Pseudomonas sp.*, dan *Acinetobacter iwoffii* mampu mendegradasi berbagai jenis mikroplastik dengan efisiensi yang berbeda. *Streptomyces thermoviolaceus* terbukti sangat efisien dalam mendegradasi polikaprolakton (PCL) dengan degradasi hingga 100%, sementara *Pseudomonas sp.* efektif dalam mendegradasi polietilen (PE), dan *Brevibacillus borstelensis* juga menunjukkan kemampuan degradasi yang baik terhadap PE. Proses degradasi melibatkan pembentukan biofilm dan aksi enzim spesifik untuk memecah mikroplastik menjadi senyawa sederhana yang dapat dimetabolisme. Meskipun terdapat tantangan seperti efisiensi degradasi yang bervariasi dan biaya awal yang tinggi, keuntungan jangka panjang berupa pengurangan pencemaran mikroplastik dan peningkatan kualitas lingkungan membuat metode ini bernilai untuk diterapkan. Pengembangan di masa depan, seperti integrasi teknologi membran enzimatik dan bioaugmentasi otomatis, dapat meningkatkan keberlanjutan dan efektivitas bioremediasi di IPAL.

5. DAFTAR REFERENSI

- [1] N. Irawan, D. Sarah, Edelwis Pranita, T. W. Hilfi, dan Y. R. Silmi, "The role of bacteria in microplastic bioremediation and implications for marine ecosystems," *BIO Web Conf.* , vol. 135, p. 05009, 2024.
- [2] P. Masiá, D.S. Sanchez, A. Ardura, A. Laca, "Bioremediation as a promising strategy for microplastics removal in wastewater treatment plants," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 156, pp. 1-20, 2020. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111252.
- [3] N. A. Rindiani dan R. D. Agustiani, "Studi literatur: Identifikasi mikroplastik dan bakteri pendegradasi mikroplastik di perairan Indonesia," *J. Biosains Medika*, vol. 2, no. 1, pp. 47-55, 2024.
- [4] K. H. D. Tang dan H. Tony, "The application of bioremediation in wastewater treatment plants for microplastics removal: A practical perspective," *Bioprocess Biosyst. Eng.*, vol. 45, no. 11, pp. 1865-1878, 2022.
- [5] L. Maroof, Khan, I., Yoo, H.S., Kim, S., Park, H.T., Ahmad, B., Azam, S. "Identification and characterization of low-density polyethylene-degrading bacteria isolated from soils of waste disposal sites," *Environ. Eng. Res.*, vol. 26, pp. 109-119, 2021. <https://www.eeer.org/upload/eeer-2020-167.pdf>
- [6] S. Skariyachan, N. Taskeen, A. P. Kishore, B. V. Krishna, dan G. Naidu, "Novel consortia of *Enterobacter* and *Pseudomonas* formulated from cow dung exhibited enhanced biodegradation of polyethylene and polypropylene," *J. Environ. Manag.*, vol. 284, p. 112030, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112030>
- [7] H. S. Auta, C. U. Emenike, B. Jayanthi, dan S. H. Fauziah, "Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus sp.* And *Rhodococcus sp.* Isolated from mangrove sediment," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 127, pp. 15-21, 2018.
- [8] T.-K. Chua, M. Tseng, dan M.-K. Yang, "Degradation of Poly(ϵ -caprolactone) by thermophilic *Streptomyces thermoviolaceus* subsp. *Thermoviolaceus* 76T-2," *AMB Express*, vol. 3, p. 8, 2013. Doi: 10.1186/2191-0855-3-8.
- [9] C. N. Muhonja, H. Makonde, G. Magoma, dan M. Imbuga, "Biodegradability of polyethylene by bacteria and fungi from Dandora dumpsite, Nairobi-Kenya," *PloS ONE*, vol. 13, no. E0198446, 2018. Doi: 10.1371/journal.pone.0198446.
- [10] M. F. Fachrul, A. Rinanti, T. Tazkiaturrizki, A. Agustria, dan D. A. Naswadi, "Degradasi mikroplastik pada ekosistem perairan oleh bakteri kultur campuran *Clostridium sp.* Dan *Thiobacillus sp.*," *J. Penelit. Dan Karya Ilm. Lembaga Penelit. Univ. Trisakti*, vol. 6, no. 2, pp. 304-316, 2021. Doi: 10.25105/pdk.v6i2.9935.
- [11] W. Gao, M. Xu, W. Q. Zhao, X. Yang, F. Xin, W. L. Dong, H. Jia, and X. Y. Wu, "Degradasi Mikroba (Mikro)plastik: Mekanisme, Peningkatan, dan Arah Masa Depan," *Fermentation*, vol. 10, no. 9, p. 441, Aug. 2024, doi: 10.3390/fermentation10090441.
- [12] A. Rusman dan N. V. Hidayati, "Pemanfaatan mikroorganisme untuk biodegradasi mikroplastik," *Maiyah*, vol. 1, no. 1, p. 66, 2022. Doi: 10.20884/1.maiyah.2022.1.1.6655.
- [13] A. N. Shofi dan F. D. Anindita, "Efektivitas degradasi plastik oleh *Aspergillus terreus*," *Pros. Sem. Nas. Multi Disiplin Ilmu UNAYA*, vol. Lm 1021, pp. 127-133, 2022.
- [14] M. Anggiani, "Potensi mikroorganisme sebagai agen bioremediasi mikroplastik di laut," *Oseana*, vol. 45, no. 2, pp. 40-49, 2020.
- [15] B. Singh dan N. Sharma, "Mechanistic implications of plastic degradation," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 93, no. 3, pp. 561-584, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008.
- [16] M. Suharsono, M. Ikhtiar, dan A. Baharuddin, "Analisis spasial risk assessment dan identifikasi

- mikroplastik serta keberadaan *Pseudomonas* sebagai bioremediasi di perairan Kota Makassar,” *J. Aafiyah Health Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 69-83, 2021.
- [17] H. Hiwari, N. P. Purba, Y. N. Ihsan, L. P. S. Yuliadi, dan P. G. Mulyani, "Condition of microplastic garbage in sea surface water at around Kupang and Rote, East Nusa Tenggara Province," *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, vol. 5, no. 2, pp. 165-171, 2019. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050204>
- [18] N. Setiadewi, C. Henny, D. Rohaningsih, A. Waluyo, dan P. Soewondo, "Kelimpahan mikroplastik pada air limbah domestik dan penyisihannya di IPAL Bojongsoang, Kota Bandung," *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 2, pp. 401-407, 2024.
- [19] M. R. Pikoli, F. A. Rahmah, A. F. Sari, P. Astuti, dan N. A. Solihat, "Memancing mikroba dari sampah: Isolasi mikroorganisme pendegradasi mikroplastik dari tempat pembuangan akhir (TPA) sampah," 2020. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/55913>
- [20] A. N. Yunisha, "Potensi bakteri dari aliran Sungai Progo Yogyakarta sebagai agen bioremediasi mikroplastik," 2022. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/40593>
- [21] K. Anjana, M. Hinduja, K. Sujitha, dan G. Dharani, "Review on plastic wastes in marine environment-biodegradation and biotechnological solutions," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 150, p. 110733, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110733>