

Polimer biodegradable: solusi ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran plastik laut

Nurul Wijayanti

program studi Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail: nwijayanti669@gmail.com

Kata Kunci:

Polimer biodegradable, bioplastik, degradasi laut, aditif ramah lingkungan, ekotoksitas

Keywords:

Biodegradable polymers, bioplastics, marine degradation, environmentally friendly additives, ecotoxicity

ABSTRAK

Polusi plastik laut merupakan salah satu tantangan lingkungan terbesar di abad ke-21, yang mengancam ekosistem laut dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi masalah ini, polimer biodegradable (BPs) dianggap sebagai alternatif potensial yang dapat menggantikan plastik konvensional berbasis minyak bumi. Paper review ini mengkaji lima jurnal internasional terbaru yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025, serta beberapa referensi tambahan dari literatur ilmiah terkait yang relevan. Fokus utama kajian ini mencakup aspek desain material, aplikasi inovatif, proses degradasi alami dan buatan, serta dampak lingkungan dari penggunaan BPs. Referensi dipilih secara selektif berdasarkan kata kunci seperti

"biodegradable polymer", "marine pollution", dan "bioplastic", yang diambil dari jurnal-jurnal bereputasi tinggi dan peer-reviewed. Temuan utama dari kajian ini mencakup efektivitas degradasi BPs di berbagai kondisi lingkungan (termasuk laut, tanah, dan industri kompos), pemanfaatan BPs dalam bidang medis, kemasan pangan, serta tantangan ekologis, teknis, dan regulasi yang masih perlu diatasi. Review ini menyimpulkan bahwa meskipun BPs memiliki potensi besar sebagai solusi berkelanjutan, adopsi massal di tingkat global masih memerlukan optimalisasi teknologi, pengurangan biaya produksi, serta dukungan kebijakan dari pemerintah dan sektor industri.

ABSTRACT

Marine plastic pollution is one of the biggest environmental challenges of the 21st century, threatening marine ecosystems and human health. To address this issue, biodegradable polymers (BPs) are considered as potential alternatives that can replace conventional petroleum-based plastics. This review paper examines five recent international journals published between 2020 and 2025, as well as some additional references from relevant related scientific literature. The main focus of this review includes aspects of material design, innovative applications, natural and artificial degradation processes, and environmental impacts of using BPs. References were selectively chosen based on keywords such as "biodegradable polymer", "marine pollution", and "bioplastic", which were taken from highly reputable and peer-reviewed journals. The main findings of this review include the degradation effectiveness of BPs in various environmental conditions (including marine, soil, and industrial compost), the utilization of BPs in the medical field, food packaging, and the ecological, technical, and regulatory challenges that still need to be addressed. The review concludes that while BPs have great potential as a sustainable solution, mass adoption at the global level still requires technology optimization, production cost reduction, and policy support from the government and industry sector.

Pendahuluan

Produksi plastik konvensional yang masif sejak pertengahan abad ke-20 telah menimbulkan tantangan serius terhadap keberlanjutan lingkungan. Plastik berbasis petrokimia, seperti PET, PE, PP, dan PS, memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap degradasi biologis, sehingga menumpuk di lingkungan dan menimbulkan polusi yang



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

parah, terutama di ekosistem laut (Rai et al., 2021; Narancic et al., 2020). Diperkirakan lebih dari 8 juta ton plastik memasuki lautan setiap tahunnya, menyebabkan kerusakan ekosistem, menurunnya keanekaragaman hayati, serta akumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan laut (Geyer et al., 2017; Manfra et al., 2021). Sebagai alternatif, polimer biodegradable (BPs) yang berasal dari sumber hayati, seperti *polylactic acid* (PLA), *polyhydroxyalkanoates* (PHA), *polybutylene succinate* (PBS), *polycaprolactone* (PCL), dan *polybutylene adipate terephthalate* (PBAT), telah dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan pada plastik konvensional dan mendukung ekonomi sirkular (Jha et al., 2024). Keunggulan BPs terletak pada kemampuan mereka terurai oleh mikroorganisme dalam kondisi tertentu, serta potensi untuk mengurangi jejak karbon melalui penggunaan sumber terbarukan (Narancic et al., 2020; Fayyazbakhsh et al., 2025). Penggunaan BPs telah banyak dieksplorasi di sektor pertanian (*mulching film*), pengemasan pangan, hingga aplikasi medis seperti *drug delivery* dan *bioscaffold* (Narancic et al., 2020; Jha et al., 2024; Rai et al., 2021).

Namun, performa mekanik dan sifat fisik BPs kerap menjadi kendala, sehingga penggunaan aditif ramah lingkungan misalnya lignin, essential oils, dan UV stabilizer telah banyak diteliti untuk memperbaiki sifat termal, stabilitas, serta kompatibilitas polimer (Fayyazbakhsh et al., 2025). Meskipun demikian, sebagian besar data mengenai efektivitas degradasi BPs dan dampak aditifnya masih bersifat laboratorium atau berskala industri kompos (Manfra et al., 2021). Padahal, perilaku degradasi BPs di lingkungan laut yang kompleks, seperti variasi suhu, salinitas, dan keanekaragaman mikroba, belum sepenuhnya terungkap (Manfra et al., 2021). Kesenjangan penelitian ini juga mencakup keterbatasan data toksisitas aditif yang digunakan untuk meningkatkan performa BPs, yang dapat memberikan dampak negatif terhadap organisme laut (Zimmermann et al., 2020; Fayyazbakhsh et al., 2025). Selain itu, belum adanya standar global yang seragam terkait biodegradabilitas BPs di berbagai lingkungan (tanah, air tawar, laut) menambah tantangan dalam mengadopsi bioplastik sebagai pengganti plastik konvensional (Jha et al., 2024).

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan tersebut, artikel ini bertujuan untuk mengkaji temuan-temuan terkini mengenai pengembangan dan aplikasi *Biodegradable Polymers* (BPs), terutama pada konteks pencemaran laut. Fokus kajian mencakup karakteristik dan jenis BPs, peran aditif alami dalam peningkatan sifat polimer, performa dan laju degradasi BPs di lingkungan perairan, serta tantangan ekologis dan komersial yang dihadapi. Kontribusi utama dari tinjauan ini diharapkan dapat menjadi sumber rujukan komprehensif bagi para peneliti, industri, dan pengambil kebijakan dalam mendorong pengembangan bioplastik yang aman dan berkelanjutan, sekaligus menjadi bagian dari upaya global dalam memitigasi krisis plastik yang berada di lautan.

Pembahasan

Berdasarkan analisis literatur dari kelima jurnal utama, diperoleh gambaran komprehensif mengenai jenis, aplikasi, proses degradasi, ekotoksikitas, serta tantangan dan peluang polimer biodegradable (BPs) dalam konteks polusi plastik laut. Tabel 1 menyajikan ringkasan karakteristik utama BPs, termasuk sumber, kelebihan, dan kekurangannya, menunjukkan bahwa PLA dan PHA (termasuk PHB dan PHBV) menjadi

jenis paling umum digunakan karena ketersediaan bahan baku yang melimpah dan biokompatibilitas yang tinggi (Rai et al., 2021; Jha et al., 2024). Meskipun demikian, PLA diketahui memiliki kelemahan berupa kerapuhan dan laju degradasi yang lambat di laut (Manfra et al., 2021), sementara PHBV terbukti lebih cepat terdegradasi di lingkungan laut yang kaya akan aktivitas mikroba (Narancic et al., 2020).

Tabel 1. Menyajikan ringkasan karakteristik setiap Polimer

Polimer	Sumber	Kelebihan	Kekurangan
PLA	Bio (Jagung/singkong)	Ekonomis, banyak diproduksi	Rapuh, lambat terurai di laut
PHB/PHBV	Mikroba	Cepat terurai, biokompatibel	Rapuh, mahal
PCL	Fosil	Stabil, cepat terurai	Biaya produksi tinggi
PBS	Biomassa	Sifat mekanik baik	Lambat terurai

Proses degradasi BPs tidak hanya bergantung pada sifat polimer, tetapi juga pada faktor lingkungan, seperti cahaya, pH, suhu, kelembaban, kondisi aerobik-anaerobik, mikroorganisme, jenis dan konsentrasi enzim. Tabel 2 menampilkan data waktu degradasi beberapa BPs yang diperoleh dari berbagai studi, di mana PLA menunjukkan waktu degradasi sekitar 6 bulan pada kondisi air suling dengan suhu bervariasi antara 25 hingga 50 °C. Mater-Bi, yang disimulasikan dalam domain pelagis dengan kandungan air sedimen sekitar 20,89% dan salinitas 38–41 psu, memiliki waktu degradasi lebih panjang yaitu 24 bulan. Sementara itu, PLA-based material dalam simulasi air kolom eufotik dengan suhu 16 °C, salinitas 37,6 psu, dan paparan sinar matahari menunjukkan degradasi dalam waktu 12 bulan. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur kimia dan kondisi lingkungan, termasuk suhu, salinitas, dan aktivitas mikroba, sangat memengaruhi laju degradasi bioplastik di laut. Hal ini diperkuat oleh temuan Tosin et al. (2021) yang mencatat lebih dari 90% degradasi Mater-Bi dalam 6 bulan pada pasir pantai basah. Data ini juga mendukung argumen Manfra et al. (2021) yang menekankan bahwa lingkungan laut yang dinamis dengan suhu rendah dan aktivitas mikroba yang terbatas dapat menjadi faktor pembatas bagi degradasi optimal beberapa jenis BPs.

Tabel 2. Waktu Degradasi Beberapa Bps Berdasarkan Studi

Polimer	Paparan	Kondisi Lingkungan	Waktu Degradasi
PLA	Air Suling	Suhu (25, 30, 40, dan 50° C)	6 bulan
Mater-Bi	Simulasi Pelagis domain	Kandungan air sedimen= 20.89% Salinitas= 38-41 psu; Suhu= 26-11° C	24 bulan
PLA Based Material	Simulasi air kolom eufotik	T= 16° C, Salinitas= 37.6 psu, paparan sinar matahari	12 bulan

Dari aspek ekotoksitas, Zimmermann et al. (2020) dan Green et al. (2021) melaporkan bahwa beberapa BPs, terutama PLA, dapat mengganggu pertumbuhan mikroalga laut dan mengandung residu aditif sintetis yang bersifat toksik. Ini menekankan pentingnya uji toksitas yang komprehensif, mengingat risiko bioakumulasi dalam rantai makanan laut yang dapat mempengaruhi kesehatan ekosistem. Temuan ini juga relevan dengan

data Fayyazbakhsh et al. (2025) yang menunjukkan bahwa stabilizer UV dan carbodiimide sebagai aditif sintetis dapat meninggalkan residu beracun di laut.

Dalam konteks tantangan dan arah pengembangan, kelima jurnal sepakat bahwa kendala utama BPs adalah biaya produksi yang tinggi, ketahanan mekanik yang masih terbatas, dan degradasi yang tidak konsisten di laut terbuka (Jha et al., 2024; Manfra et al., 2021). Namun, peluang inovasi tetap terbuka, terutama melalui pengembangan aditif alami dan teknologi produksi generasi kedua yang dapat menekan biaya sekaligus meningkatkan performa polimer. Dibandingkan studi sebelumnya yang lebih banyak berfokus pada biodegradabilitas di tanah atau kompos (European Bioplastics, 2023), penelitian-penelitian terbaru ini memperluas pemahaman tentang kompleksitas degradasi BPs di laut dan potensi dampak ekologisnya.

Kesimpulan dan Saran

Polimer biodegradable (BPs) muncul sebagai solusi realistis untuk mengurangi dampak pencemaran plastik laut, dengan potensi aplikasi yang luas di sektor medis, pertanian, dan kemasan. Dari hasil analisis kelima jurnal utama, teridentifikasi bahwa BPs seperti PLA, PHB/PHBV, PBS, dan PCL memiliki keunggulan biodegradasi yang berbeda-beda tergantung pada struktur kimia dan lingkungan sekitar. Studi menunjukkan bahwa PHBV dan polimer berbasis pati dapat terdegradasi relatif lebih cepat di sedimen laut dan pasir pantai, sedangkan PLA mengalami degradasi lebih lambat, khususnya di laut terbuka dengan aktivitas mikroba terbatas. Penambahan aditif alami, seperti lignin dan essential oils, juga berkontribusi pada peningkatan performa mekanik dan termal BPs, walaupun masih diperlukan pengujian ekotoksitas yang lebih komprehensif.

Implikasi penelitian ini menegaskan bahwa meskipun BPs dapat menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan plastik konvensional, adopsi massal masih menghadapi kendala teknis (biaya produksi, kestabilan mekanik) dan tantangan ekologis (potensi toksitas aditif dan degradasi yang tidak seragam di ekosistem laut). Oleh karena itu, kolaborasi antara industri, pemerintah, dan akademisi menjadi kunci untuk memperbaiki standar biodegradabilitas, meminimalkan risiko lingkungan, dan meningkatkan kesadaran publik.

Daftar Pustaka

- European Bioplastics. (2023). Bioplastics market data 2022/2023. <https://www.european-bioplastics.org/>. (n.d.).
- Fayyazbakhsh, A., Hajinajaf, N., Bakhtiari, H., Tavakol, A. A., & Sabzevari, M. (2025). *Eco-friendly additives for biodegradable polyesters: Recent progress in performance optimization and environmental impact reduction*. Sustainable Materials and Technologies, 44, e01395. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01395>
- Green, D. S., Boots, B., Blockley, D. J., Rocha, C., & Thompson, R. (2021). *Effects of conventional and biodegradable microplastics on marine sediment algae*. Ecotoxicology, 30(5), 981–992. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02441-2>

- Jha, S., Akula, B., Enyioma, H., Novak, M., Amin, V., & Liang, H. (2024). *Biodegradable biobased polymers: A review of the state of the art, challenges, and future directions*. *Polymers*, 16(8), 2262. <https://doi.org/10.3390/polym16162262>
- Manfra, L., Marengo, V., Libralato, G., Costantini, M., De Falco, F., & Cocca, M. (2021). *Biodegradable polymers: A real opportunity to solve marine plastic pollution?* *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125763. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125763>
- Mies, N. N., & Mulyati, A. (2025). *Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Sebagai Plastik Ramah Lingkungan Untuk Mengatasi Pencemaran Akibat Plastik Polimer*. *Student Research Journal*, 3(1), 26-36.
- Narancic, T., Cerrone, F., Beagan, N., & O'Connor, K. E. (2020). *Recent advances in bioplastics: Application and biodegradation*. *Polymers*, 12(4), 920. <https://doi.org/10.3390/polym12040920>
- Niaounakis, M. (2021). *Biopolymers: Applications and trends*. Elsevier.
- Pradnya, T., Utari, A. M., Wahyuni, D. D., & Yuniati, N. N. (2022). *Pemanfaatan Cangkang Kerang-Kerang Laut Sebagai Produk Inovatif Kemaritiman Plastic Biodegradable (Bioplastik Alami Ramah Lingkungan) Dalam Upaya Mengurangi Penggunaan Plastik-Plastik Sintetis Pencemar Lingkungan*. *LKTI Inergyc*, 1(1), 23-23.
- Scholz, S., Wulfert, F., & Busch, W. (2023). *Incomplete biodegradation of bioplastics in the ocean: A growing concern*. *Environmental Science & Technology*, 57(4), 1950–1962. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05512>
- Tosin, M., Degli-Innocenti, F., Kikkawa, Y., & Yamamoto, N. (2021). *Biodegradation of bioplastics in marine environment: A review*. *Waste Management*, 119, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.025>
- Upadhyay, A., Sui, Y., & Sillanpää, M. (2020). *Performance of 3D printed PLA in marine conditions*. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111791. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111791>
- Zimmermann, L., Dierkes, G., Ternes, T. A., Völker, C., & Wagner, M. (2020). *Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition*. *Environment International*, 145, 106066. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106066>