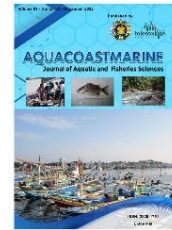



AQUACOASTMARINE

Journal of Aquatic and Fisheries Sciences

 Journal homepage: <https://talenta.usu.ac.id/aquacoastmarine>


Tinjauan Literatur: Identifikasi Mikroplastik Pada Ikan Laut Tropis

Literature Review: Identification of Microplastics In Tropical Marine Fish

 Ferry Cahya Raharja^{1*}, Ani Suryanti^{1,2}, Muhammad Zainudin², Lilik Kartika Sari²
¹Program Studi Magister Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr Soeparno, Komplek GOR Soesilo Soedarman, Karangwangkal, Karang Bawang, Grendeng, Kec. Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122

²Prodi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr Soeparno, Komplek GOR Soesilo Soedarman, Karangwangkal, Karang Bawang, Grendeng, Kec. Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122

 *Corresponding Author: ferry.cahya@unsoed.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 November 2025

Revised 22 December 2025

Accepted 30 December 2025

Available online 30 December 2025

E-ISSN: 2829-1751

How to cite:

Raharja, F.C., Suryanti, A., Zainudin, M., Sari, L.K. (2025). Tinjauan Literatur: Identifikasi Mikroplastik Pada Ikan Laut Tropis. QUACOASTMARINE: J.Aquat.Fish.Sci, 4(2), 84-96.

ABSTRAK

Mikroplastik adalah plastik berukuran kecil yang memiliki ukuran tidak lebih dari 5 mm yang muncul akibat fragmentasi dari ukuran plastik yang lebih besar. Keberadaannya di lingkungan laut kini menjadi perhatian global karena berpotensi mengancam keberlanjutan keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem. Pada organisme ikan, paparan mikroplastik dapat menimbulkan berbagai gangguan, mulai dari perubahan fisiologis, penurunan laju pertumbuhan, hingga kerusakan pada sistem pencernaan. Mikroplastik memberikan dampak besar terhadap rantai makanan laut dengan memengaruhi organisme di berbagai tingkat trofik, dimulai dari plankton sebagai dasar jaring makanan hingga predator puncak seperti mamalia laut. Akumulasi mikroplastik di dalam tubuh organisme laut dapat menurunkan kemampuan mereka untuk bertahan hidup dan bereproduksi, sehingga memicu ketidakstabilan populasi dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Untuk merespons masalah ini, dibutuhkan pendekatan terpadu yang mencakup inovasi teknologi, penguatan sistem pengelolaan limbah, dan peningkatan edukasi kepada masyarakat. Selain itu, penerapan regulasi yang efektif serta pelaksanaan program konservasi dan perlindungan menjadi langkah penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem laut. Regulasi dan kegiatan konservasi dan perlindungan juga menjadi upaya solutif untuk keberlanjutan ekosistem laut.

Kata kunci: Biodiversitas, bioakumulasi, ekosistem, ikan, pencemaran

ABSTRACT

Microplastics are small plastic particles that measure no more than 5 mm, formed through the fragmentation of larger plastic materials. Their presence in marine environments has become a global concern due to their potential to threaten biodiversity and ecosystem stability. In fish organisms, exposure to microplastics can cause various disturbances, including physiological changes, reduced growth rates, and damage to the digestive system. Microplastics have a significant impact on marine food webs, affecting organisms across various trophic levels, starting from plankton at the base of the food chain to apex predators such as marine mammals. The accumulation of microplastics in marine organisms can reduce their ability to survive and reproduce, leading to population instability and disrupting ecosystem balance. To address this issue, an integrated approach is needed, involving technological innovation, strengthening waste management systems, and improving public education. Additionally, implementing effective regulations and conservation and protection programs is crucial for ensuring the sustainability of marine ecosystems. Regulatory measures and conservation efforts are also essential for the long-term sustainability of marine ecosystems.

Keyword: Biodiversity, bioaccumulation, ecosystem, fish, pollution



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

[10.32734/jafs.v4i2.23531](https://doi.org/10.32734/jafs.v4i2.23531)

1. Pendahuluan

Mikroplastik adalah plastik berukuran kecil yang memiliki ukuran tidak lebih dari 5 mm yang terbentuk ketika material plastik yang lebih besar mengalami fragmentasi akibat paparan sinar matahari, aktivitas gelombang, dan berbagai proses degradasi di lingkungan (Zhang et al., 2024). Pada ekosistem perairan, mikroplastik dapat terbentuk dari sumber yang berbeda-beda, antara lain limbah domestik seperti serat mikro dari cucian pakaian, limbah industri, serta aktivitas manusia seperti pariwisata dan perikanan (Rossatto et al., 2023). Mikroplastik telah ditemukan secara luas di berbagai ekosistem perairan, mulai dari area pesisir, permukaan laut, hingga dasar laut, bahkan mencapai perairan samudra terbuka (Obbard et al., 2014). Peningkatan konsentrasi mikroplastik di lingkungan terutama dipicu oleh tingginya produksi plastik sintetis, laju pertumbuhan penduduk, dan lemahnya sistem pengelolaan sampah yang belum mampu menahan aliran limbah plastik ke perairan. Mikroplastik bersifat persisten dan mengalami degradasi sangat lambat, sehingga tersebar secara luas baik di air maupun tanah (Bhardwaj et al., 2024). Karena mikroplastik tersebar luas dan memberikan dampak nyata pada biota laut serta aliran energi dalam rantai makanan, keberadaannya kini menjadi penilaian terkait kondisi dan tingkat kesehatan ekosistem laut.

Kontaminasi mikroplastik di lingkungan laut merupakan permasalahan serius yang mengancam keberlanjutan ekosistem serta kesehatan manusia. Akumulasi mikroplastik yang tinggi di perairan laut dapat menyebabkan berbagai dampak negatif, antara lain menempel pada tubuh organisme laut, mengurangi mobilitas, menyebabkan stres fisiologis, bahkan kematian (Pourehbrahimi & Pirooz, 2023). Mikroplastik juga berdampak pada organisme bentik karena dapat terakumulasi di sedimen, mengganggu habitat alami dan proses ekologis dasar (Pamungkas et al., 2022). Organisme laut yang tanpa sengaja menelan mikroplastik dapat mengalami berbagai gangguan, mulai dari hambatan pertumbuhan dan reproduksi hingga perubahan pola makan, kerusakan sistem pencernaan, serta penurunan fungsi kekebalan tubuh. Selain dampak fisiknya, mikroplastik juga dapat bertindak sebagai pembawa polutan lain yang dapat berasosiasi seperti logam berat dan senyawa organik bersifat toksik, yang kemudian terakumulasi dalam tubuh organisme dan berpindah antar tingkat trofik hingga mencapai manusia (Acacer et al., 2024; Schmaltz et al., 2020). Melihat risiko jangka panjang tersebut, diperlukan upaya penanganan yang serius melalui strategi mitigasi dan antisipasi yang lebih efektif untuk menekan dampak kontaminasi mikroplastik di lingkungan laut.

Penelitian mengenai akumulasi mikroplastik melalui organisme, air, dan sedimen di perairan Indonesia telah dilakukan oleh berbagai peneliti sebagai upaya menjaga keamanan pangan serta kelestarian ekosistem laut. Sebagai ilustrasi, Fadhilah et al. (2023) melakukan penelitian di daerah Mempawah, Kalimantan Barat tepatnya di Pulau Temajo. Penelitian lain oleh Ritonga et al. (2025) mengkaji densitas dan diversitas mikroplastik pada perairan dan endapan sedimen di Laguna, Kabupaten Pekalongan. Sementara itu, Agnes et al. (2024) menganalisis jumlah dan jenis mikroplastik pada endapan sedimen dan air di Teluk Jimbaran, Bali. Berbagai temuan tersebut menunjukkan pentingnya kajian mengenai mikroplastik, mengingat ancamannya tidak hanya memengaruhi ekosistem dan biota laut, tetapi juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia melalui transfer dalam rantai makanan. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, makalah ini bertujuan mengulas dampak mikroplastik pada biota laut tropis sebagai dasar untuk memperkuat upaya mitigasi dan perlindungan ekosistem secara berkelanjutan.

2. Metode

Artikel ini disusun menggunakan metode deskriptif melalui telaah pustaka yang mengacu pada berbagai sumber, baik buku maupun publikasi digital seperti Google Scholar, Jurnal Aquatik, dan ScienceDirect. Literatur yang dikumpulkan difokuskan pada keberadaan mikroplastik dan dampaknya terhadap ekosistem perairan. Ulasan ini juga menyoroti beberapa studi kasus keberadaan mikroplastik di jaringan ikan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sumber Mikroplastik

Secara umum, jika dikaitkan dari sumbernya mikroplastik dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu primer dan sekunder. Sumber primer merujuk pada partikel mikroplastik yang memang diproduksi langsung dalam ukuran kecil (<5 mm) untuk kebutuhan industri atau komersial, seperti pelet plastik, microbeads pada produk perawatan pribadi, glitter, dan partikel polimer sintetis seperti PVC, PET, PMMA, serta akrilik (Ahmad et al., 2025). Sedangkan pada mikroplastik sekunder berasal dari pecahan makroplastik yang lebih besar, baik berukuran mikro <5 mm, akibat paparan sinar matahari, suhu tinggi, angin, maupun abrasi mekanis (Reddy et al., 2022). Proses fragmentasi ini terjadi pada berbagai produk plastik, termasuk pakaian berbahan sintetis, jaring ikan, ban kendaraan, dan mainan plastik, serta dari aktivitas manusia seperti pencucian pakaian, pembakaran sampah, dan kerusakan jalan. Instalasi pengolahan air limbah, tempat pembuangan akhir, lindi TPA, dan limbah makanan turut menjadi penyumbang penting mikroplastik sekunder

(Tang et al., 2022; Pourebrahimi & Pirooz, 2023). Beragam jalur masuk ini membuat mikroplastik tersebar luas, sulit dikendalikan, dan berpotensi memasuki rantai makanan melalui transfer trofik.

Sekitar 80% pencemaran plastik laut berasal dari aktivitas manusia di daratan dan di laut, terutama akibat pengelolaan sampah yang buruk, limbah dari instalasi pengolahan air limbah, limpasan dari jalan, daerah pertanian, serta tempat pembuangan sampah terbuka maupun sanitasi (Acacer et al., 2024). Plastik seperti kantong, botol, kemasan makanan, dan produk sehari-hari lainnya dapat terurai menjadi mikroplastik dan masuk ke laut melalui aliran sungai, curah hujan, angin, dan peristiwa cuaca ekstrem (Emmerik et al., 2022). Selain itu, mikroplastik juga dihasilkan dari kegiatan rumah tangga seperti pencucian pakaian sintetis dan penggunaan produk perawatan pribadi, yang tidak sepenuhnya tersaring dalam proses pengolahan air limbah. Di sektor pertanian, penggunaan mulsa plastik dan lumpur hasil pengolahan air limbah sebagai pupuk turut memperparah polusi mikroplastik yang akhirnya terbawa ke laut melalui limpasan permukaan (Coyle et al., 2020). Sementara itu, sekitar 20% Mikroplastik laut berasal dari aktivitas laut seperti perikanan, akuakultur, pelayaran, dan industri lepas pantai, termasuk pelepasan jaring, tali, serta limbah kapal akibat keausan alat tangkap, degradasi cat, dan jatuhnya muatan (Osman et al., 2023). Dengan berbagai jalur masuk ini, mikroplastik menjadi ancaman serius bagi ekosistem laut secara global. Salah satu cara utama mikroplastik masuk ke laut adalah melalui limpasan permukaan dari daerah pertanian, perkotaan, dan pedesaan (Acacer et al., 2024).

Sumber mikroplastik di perairan laut dapat berbeda antar wilayah, tergantung pada aktivitas manusia yang dominan di kawasan tersebut. Hasmara et al. (2024) melaporkan bahwa mikroplastik di Muara Sembilang, Kalimantan Timur, banyak berasal dari aktivitas perikanan, terutama akibat kerusakan jaring dan tali yang digunakan nelayan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Nainggolan et al. (2022) di perairan Karangjahe, Rembang, Jawa Tengah, yang mengidentifikasi alat tangkap yang aus sebagai sumber utama mikroplastik. Distribusi mikroplastik di perairan juga dipengaruhi oleh aktivitas perikanan dan elemen lingkungan seperti arus laut dan pasang surut. Salsabila et al. (2023) melakukan penelitian di Perairan Pulau Tengah Karimunjawa dan menemukan bahwa sampah plastik dari tempat wisata dan permukiman, serta arus yang membawa limbah dari daerah lain, memainkan peran yang signifikan. Sementara itu, Suryani et al. (2024) mencatat bahwa mikroplastik di pesisir Pantai Monpera, Balikpapan, sebagian besar berasal dari aktivitas masyarakat di daerah pesisir, di mana arus laut berubah-ubah, memungkinkan sampah berpindah dari dan menuju pantai, yang berdampak pada tingkat kelimpahan mikroplastik di daerah tersebut.

3.2 Bentuk Ukuran dan Warna Mikroplastik

Identifikasi bentuk, ukuran, dan warna mikroplastik merupakan langkah penting untuk menelusuri sumber kontaminasi, karena masing-masing karakteristik dapat memberikan petunjuk spesifik mengenai asalnya (Cverenkárová et al., 2021). Mikroplastik biasanya ditemukan di lingkungan laut dalam berbagai bentuk, seperti fragmen, serat, film, pelet, granul, dan busa. Fragmen biasanya berasal dari pecahan plastik yang lebih tebal, sedangkan film biasanya berasal dari plastik tipis seperti kantong belanja (Ashrafy et al., 2023). Serat sendiri memiliki dua sumber utama: pelepasan tekstil sintetis saat pencucian yang kemudian terbawa oleh efluen instalasi pengolahan air limbah, serta degradasi alat tangkap ikan yang mengalami abrasi dan keausan di laut. Serat dan fragmen adalah jenis yang paling umum di kolom air, sedimen, dan pantai. Namun, beberapa lokasi juga melaporkan dominasi pelet, yang berkaitan dengan jenis aktivitas manusia di wilayah tersebut (Arat et al., 2024). Distribusi bentuk mikroplastik turut dipengaruhi kondisi lingkungan, misalnya dasar laut berbatu yang mempercepat keausan alat penangkapan ikan (Syversen & Lilleng, 2022). Selain itu, mikroplastik juga dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi polimernya. Beberapa contoh komposisi polimer yang dapat ditemukan di laut termasuk polietilena (PE), polipropilena (PP), polietilena tereftalat (PET), polimetil metakrilat (PMMA), dan polistirena (PS) (Wu et al., 2025).

Ukuran mikroplastik (MP) menjadi faktor penting dalam menentukan karakteristik serta besarnya dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan laut. Mikroplastik biasanya berukuran kurang dari 5 mm dan dapat dipecahkan menjadi partikel yang lebih kecil. Nanoplastik, di antaranya, memiliki luas permukaan yang lebih besar dan dapat mengadsorpsi polutan seperti pestisida, logam berat, dan obat-obatan (Kochanek et al., 2025; Osman et al., 2023; Arat et al., 2024). Partikel yang lebih kecil ini menimbulkan risiko lebih besar ketika tertelan oleh organisme laut, karena selain ukurannya yang mudah masuk ke tubuh, partikel tersebut juga membawa polutan berbahaya yang menempel pada permukaannya. Afdal et al. (2019) mengelompokkan ukuran mikroplastik ke dalam empat kategori, yaitu <0,5 mm; 0,5–1 mm; 1,1–2,5 mm; dan 2,6–5 mm. Sementara itu, Baini et al. (2018) menggunakan klasifikasi serupa, yakni <0,5 mm; 0,5–1 mm; 1–2,5 mm; dan 2,5–5 mm.

Selain ukuran, warna mikroplastik juga menjadi indikator penting untuk memahami karakteristik dan potensi dampaknya di lingkungan laut. Warna dapat memberikan informasi mengenai asal material maupun

lama paparan di perairan (Hidalgo-Ruz et al., 2012). MP yang berwarna cerah dan memiliki bentuk lebih tajam umumnya menunjukkan bahwa partikel tersebut baru memasuki lingkungan laut, sedangkan warna yang kusam dan sudut yang lebih tumpul mengindikasikan paparan yang lebih lama. Biru dan hitam adalah warna yang paling umum dan banyak ditemukan di peralatan penangkapan ikan dan tekstil. Selain itu, mikroplastik berwarna transparan dari pecahan botol plastik, serta warna putih, merah, kuning, dan hijau juga umum dijumpai di berbagai lokasi (Ugwu et al., 2021; Arat et al., 2024). Sebagai contoh pada penelitian Afdal et al. (2019) menemukan sekitar 12 jenis warna MP yang dikelompokkan berdasarkan lokasi pengambilan sampel yaitu warna biru, abu-abu, coklat, hijau, hitam, jingga, kuning, merah, pigmentasi, putih, transparan, ungu. Lebih lanjut dijelaskan bahwa mikroplastik berwarna terang lebih mudah dikenali dan tertelan oleh organisme laut, sehingga meningkatkan risiko bioakumulasi bahan berbahaya.

Banyak penelitian telah melaporkan berbagai bentuk, warna, dan ukuran mikroplastik di perairan laut Indonesia. Salsabila et al. (2022) menemukan bahwa fiber, fragmen, film, dan pelet membentuk mayoritas mikroplastik di perairan Karimunjawa. Mereka memiliki berbagai warna, termasuk hijau, hitam, biru, kuning, transparan. Penelitian Herawati et al. (2024) menunjukkan temuan serupa di Laut Flores, di mana mikroplastik yang teridentifikasi meliputi filamen, pelet, fragmen, dan film. Warna mikroplastik di permukaan laut umumnya bervariasi dari biru, coklat, hitam, merah, kuning, abu-abu, hijau, hingga transparan, sedangkan di dasar laut lebih banyak didominasi warna biru, coklat, hitam, merah, dan kuning. Ukurannya pun bervariasi, mulai dari 4,70 hingga 3.799,25 μm di permukaan, dan 67,20 hingga 2.176,87 μm di dasar laut. Studi lain oleh Indriyastari et al. (2024) menemukan mikroplastik di perairan Surabaya dan Tulungagung dalam bentuk fiber, film, dan fragmen, dengan warna coklat, transparan, merah, biru, hitam, dan hijau, serta ukuran berkisar antara 30 hingga 1.450 μm . Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa distribusi karakteristik mikroplastik sangat bergantung pada kondisi lokal dan sumber pencemar di masing-masing wilayah.

Tabel 1. Jenis, Sifat dan Penggunaan

Jenis Plastik	Karakteristik	Kegunaan
PETE (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Merupakan plastik yang kuat, jernih, ringan, dan tahan terhadap pelarut ketika melunak pada suhu sekitar 80 derajat Celcius.	Plastik ini banyak digunakan dalam botol air minum, minyak goreng, jus, saus sambal, obat, dan kosmetik.
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Sangat keras hingga semi-fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan air, dan buram. HDPE mudah dibentuk dan melunak pada 75 °C.	Banyak digunakan untuk ember, tas belanja, botol susu, es krim, botol jus, dan kemasan deterjen.
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Meskipun sulit untuk didaur ulang, ia kuat dan melunak pada suhu sekitar 80 ° C.	Banyak digunakan untuk pipa, pipa dan perlengkapannya, konduktor listrik, kantong darah, sol sepatu, terpal, botol, pelapis dinding, dan wadah kosmetik.
PP (<i>Polypropylene</i>)	memiliki sifat keras tetapi tembus cahaya, tahan terhadap pelarut, dan melunak pada suhu sekitar 140 ° C	PP banyak dipakai untuk piring microwave, kotak makan siang, pita pengemas, hingga furnitur,
PS (<i>Polystrene</i>)	bersifat buram, mirip kaca tetapi tekstur tidak terlalu keras, dan melunak pada suhu sekitar 95 derajat Celcius	mainan kecil, kotak CD, peralatan makan, kemasan pelindung, dan material isolasi makanan dan bangunan.

Sumber : (Giaganini et al., 2023)

3.3 Dampak Mirkoplastik Terhadap Ekologi

Penelitian yang dilakukan oleh (Muhtadi et al., 2025) terkait cemaran mikroplastik di estuari sungai Belawan, Sumatera Utara dipengaruhi siklus pasang surut dan fase bulan. Konsentrasi mikroplastik rata-rata $0,071 \pm 0,041$ partikel per meter kubik, yang terbilang rendah dibandingkan pencemaran global. Mikroplastik dominan berupa serat dengan ukuran $<1000 \mu\text{m}$, dan konsentrasinya lebih tinggi di dekat pantai, terutama saat pasang tinggi dan bulan purnama. Faktor fisik seperti pasang surut, fase bulan, arus air, angin, dan transportasi sungai memengaruhi distribusi mikroplastik. Temuan ini menunjukkan bahwa pencemaran mikroplastik dipengaruhi oleh faktor alami dan manusia. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran dan memahami dampak faktor alam terhadap distribusi mikroplastik.

Partikel mikroplastik ($<5 \text{ mm}$) terbukti masuk ke organisme plankton baik sengaja maupun tidak, karena ukuran dan karakteristiknya yang mirip dengan makanan alami. Sebagai contoh, kajian menunjukkan bahwa

plankton terpapar mikroplastik dapat mengalami penurunan asupan makanan dan reproduksi yang terganggu. Akibatnya, yang berada di tingkat trofik dasar ini mengalami gangguan fungsi, yang kemudian bisa memengaruhi rantai makanan keseluruhan (Harini et al., 2025). Karena ukuran mikroplastik yang berukuran kecil organisme seperti plankton dan zooplankton yang memiliki sifat filter feeder berpotensi mengonsumsi mikroplastik (Nainggolan et al., 2022). Hal tersebut juga merupakan awal dari terjadinya bioakumulasi karena akan berdamak pada organisme di tingkat trofik di atasnya melalui proses rantai makanan. Interaksi antara mikroplastik dan organisme pada tingkat trofik rendah memiliki potensi untuk menyebar ke seluruh rantai makanan akuatik melalui proses digesti, lalu terakumulasi secara biologis (bioakumulasi) di berbagai tingkat trofik. Salah satu mekanisme awalnya adalah ketika mikroplastik di laut membentuk lapisan biofilm (biofouling) yang terdiri atas mikroalga, bakteri, dan invertebrata kecil. Lapisan ini dapat menyamarkan partikel plastik dan membuatnya menyerupai sumber makanan alami, sehingga organisme penyaring seperti zooplankton. Akibatnya, tingkat konsumsi mikroplastik oleh organisme laut meningkat karena partikel tersebut tampak seperti makanan alam (Nava & Leoni, 2021).

Keberadaan mikroplastik di lingkungan perairan menimbulkan kekhawatiran serius karena berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem dan stabilitas jaring makanan. Partikel mikroplastik yang tersebar di kolom air, sedimen, maupun menempel pada permukaan biota dapat mengubah proses ekologis penting, seperti siklus nutrisi, fotosintesis, dan transfer energi antar tingkat trofik mikroplastik dengan organisme akuatik (Li et al., 2018). Adsorpsi Bahan Kimia logam berat dan POPs. Persistent Organic Pollutants (POPs) merupakan kelompok senyawa organik yang sangat stabil secara kimia dan sulit terurai di lingkungan, baik melalui proses biologis maupun kimiawi. Mikroplastik dapat berinteraksi dengan berbagai senyawa kimia di perairan, menjadikannya vektor atau pembawa berbagai jenis polutan. Logam berat dan senyawa organik persisten (POPs) termasuk dalam kategori ini. Interaksi ini terjadi melalui proses adsorpsi, di mana polutan menempel pada permukaan partikel mikroplastik (Mei et al., 2020).

3.4 Dampak Mikroplastik Terhadap Ikan Laut Tropis

Berbagai spesies ikan mengalami kontaminasi mikroplastik di berbagai tempat di perairan. Menurut Wang et al. (2020), analisis jenis polimer menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah cara untuk mengetahui keberadaan mikroplastik dalam tubuh ikan. Yona et al. (2020) menemukan mikroplastik berbahan fiber pada insang dan saluran pencernaan ikan *Lutjanus kasmira*, *Blepharodon undulatus*, *Lutjanus gibbus*, dan *Sargocentron caudimaculatum* di perairan pulau-pulau kecil Papua, Indonesia. Mikroplastik yang terdeteksi pada spesies tersebut umumnya berukuran lebih dari 1000 µm, dengan kisaran konsentrasi antara 1,60 hingga 28,30 partikel per gram berat kering. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Widayastuti et al. (2023), yang menemukan mikroplastik berbentuk fragmen dan film pada ikan *Naso thynnoides*, *Auxis rochei*, dan *Caesio teres* yang dijual di Pasar Ikan Bintaro, Lombok, NTB. PA (polyamide) adalah polimer yang ditemukan pada sampel tersebut, seperti yang ditunjukkan oleh analisis FTIR. Pegado et al. (2021) juga mencatat keberadaan mikroplastik jenis fiber pada 82% sampel perut ikan pari *Hypanus guttatus* di wilayah pesisir Amazon, Brasil. Berbagai temuan ini menegaskan bahwa mikroplastik merupakan polutan yang umum ditemukan pada ikan laut dan berpotensi menimbulkan dampak lebih luas terhadap biota akuatik lainnya. Beberapa jenis ikan yang dijual di pasar Filipina seperti, *Decaptrus spp.*, *Chanos chanos*, *Sardinella*, *Rastrelliger faughni*, dan *Rastrelliger brachysoma*, mengandung mikroplastik dalam sistem pencernaannya, dengan jenis mikroplastik yang terdeteksi berupa serat, film, dan fragmen. Polimer yang ditemukan termasuk HDPE (*High-Density Polyethylene*), Selulosa Propionat, dan EPDM, yang umumnya berasal dari produk kemasan dan tekstil (Benaires et al., 2025).

Penelitian yang dilakukan oleh (Erlangga et al., 2022) mengeksplorasi keberadaan mikroplastik pada insang dan saluran pencernaan ikan kembung *Rastrelliger spp.* yang diperoleh dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Belawan. Mikroplastik yang ditemukan terdiri dari serat (fiber) dan film, dengan serat sebagai jenis yang paling dominan. Pada bagian insang, teridentifikasi sebanyak 84 partikel mikroplastik berupa serat, yang umumnya berwarna hitam, merah, dan biru. Di sisi lain, pada saluran pencernaan, ditemukan 74 partikel mikroplastik, mayoritasnya adalah serat, namun juga terdapat beberapa partikel film dengan warna abu-abu transparan dan hitam. Ikan-ikan tersebut berasal dari TPI Belawan, sebuah kawasan yang memiliki tingkat pencemaran mikroplastik yang tinggi akibat aktivitas industri dan pemukiman. Selain pada ikan *Rastrelliger spp.*, ditemukan juga mikroplastik di ikan *Oreochromis niloticus*, *Oxyleotris marmorata*, dan *Osteochilus hasseltii* yang didapatkan di Danau Maninjau, Sumatera Barat (Deswati et al., 2025). Mikroplastik yang terdeteksi dalam sampel ikan terdiri dari serat (fiber) dan fragmen (fragment), dengan serat lebih dominan. Fragmen memiliki ukuran yang bervariasi, sementara serat cenderung berukuran ≤ 101 µm. Dari tiga jenis ikan tersebut teridentifikasi tiga jenis polimer, yaitu Polyamide (PA), Polyethylene (PE), dan Polyester (PET).

Polyamide ditemukan pada ikan *O. marmorata*, Polyethylene pada ikan *O. niloticus* dan *O. haselti*, serta Polyester pada ikan *O. niloticus*.

Tabel 2. Jenis Ikan yang terkontaminasi Mikroplastik

No	Organisme	Jaringan	Bentuk Mikroplastik	Jenis Polimer	Referensi
1	<i>Lutjanus kasmira</i>	Insang dan Pencernaan	Fiber	PP (Polypropylene)	(Yona et al., 2020)
2	<i>Blepephaeus undulatus</i>	Insang dan Pencernaan	Fiber	PP (Polypropylene)	
3	<i>Lutjanus gibbus</i>	Insang dan Pencernaan	Fiber	PP (Polypropylene)	
4	<i>Sargocentron caudimaculatum</i>	Insang dan Pencernaan	Fiber	PP (Polypropylene)	
5	<i>Naso thynnoides</i>	Kulit dan daging	Film dan fragmen	PA (polyamide)	(Widyastuti et al., 2023)
6	<i>Auxis rochei</i>	Kulit dan daging	Film dan fragmen	PA (polyamide)	
7	<i>Caesio teres</i>	Kulit dan daging	Film dan fragmen	PA (polyamide)	
8	<i>Decaptrus spp.</i>	Pencernaan	Fiber, film, fragmen	HDPE (High density polyethylene), Selulosa Propionat, EDPM (ethylene-propylene diene monomer)	(Benaires et al., 2025)
9	<i>Chanos chanos</i>	Pencernaan	Fiber, film, fragmen		
10	<i>Sardinella spp.</i>	Pencernaan	Fiber, film, fragmen		
11	<i>Rastrelliger faughni</i>	Pencernaan	Fiber, film, fragmen		
12	<i>Rastrelliger brachysoma</i>	Pencernaan	Fiber, film, fragmen	Tidak Disebutkan	(Erlangga et al., 2022)
13	<i>Rastrelliger sp.</i>	Insang dan Pencernaan	Fiber dan film		(Soegianto et al., 2025)
14	<i>Perna viridis</i>	Daging	Fiber dan fragmen	Tidak Disebutkan	(Deswati et al., 2025)
15	<i>Oreochromis niloticus</i>	Daging	Fiber, fragmen, film	PE (polyethylene), PET (polyester)	
16	<i>Oxyleotris marmorata</i>	Daging	Pellet, fiber, fragmen, film	PA (polyamide)	(Deswati et al., 2025)
17	<i>Osteochilus hasseltii</i>	Daging	Fiber, fragmen, film	PE (polyethylene)	

Selain pada ikan, penelitian yang dilakukan oleh (Soegianto et al., 2025) yang mengamati keberadaan mikroplastik pada kerang hijau *Perna viridis* yang dijual di pasar ikan tradisional sepanjang pesisir Jawa Timur, Indonesia. Mikroplastik yang ditemukan terdiri dari serat (fiber) dan fragmen, dengan warna yang dominan adalah hitam dan merah, serta ukuran mikroplastik yang terdeteksi berkisar antara <100 µm dan 100- <500 µm. Sampel kerang hijau ini diperoleh dari lima pasar ikan tradisional, yakni Banyuwangi, Gresik, Kalanganyar, Sidoarjo, dan Muncar Banyuwangi, yang merupakan daerah pesisir yang terpengaruh oleh berbagai aktivitas manusia, seperti industri, pemukiman, dan pertanian.

Kesehatan dan kelangsungan hidup ikan dapat terancam oleh kontaminasi mikroplastik dalam tubuhnya. Mikroplastik yang tertelan akan pecah di saluran pencernaan dan terurai menjadi ukuran yang lebih kecil. Ini memungkinkan mikroplastik untuk masuk ke dalam jaringan ikan (Dawson et al., 2018; Weis, 2020). Selain itu, penyumbatan dan luka internal akibat akumulasi mikroplastik dalam sistem pencernaan dapat menyebabkan kelaparan dan malnutrisi (Baalkhuyur et al., 2018). Dampaknya tidak berhenti pada ikan saja, karena mikroplastik yang berpindah melalui rantai makanan berpotensi mencapai manusia sebagai konsumen akhir, sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan yang lebih luas (Miller et al., 2020).

Selain dampak terhadap ikan, mikroplastik juga dapat mempengaruhi aktivitas metabolisme dan kelangsungan hidup mikroba, fitoplankton, zooplankton, hingga fauna laut lainnya. Ukurannya yang kecil membuat partikel ini mudah tertelan oleh organisme laut, menyebabkan gangguan pencernaan, penurunan penyerapan nutrisi, kelaparan, dan penurunan tingkat kelangsungan hidup, terutama pada plankton (Benson et al., 2022). Berbagai organisme laut seperti mikroalga, zooplankton, ikan, krustasea, moluska, organisme bentik, hingga terumbu karang mengalami gangguan fisiologis akibat paparan mikroplastik, termasuk

penurunan pertumbuhan, reproduksi, stres oksidatif, dan perubahan perilaku (Chatterjee & Sharma, 2019). Fitoplankton dan mikroalga menunjukkan penurunan aktivitas fotosintesis yang mengganggu keseimbangan rantai makanan akuatik, sementara ikan dan krustasea dapat mengalami akumulasi mikroplastik di jaringan tubuh serta penyumbatan saluran pencernaan. Mikroplastik juga menempel pada tumbuhan laut seperti lamun, yang kemudian ditransfer ke herbivora bentik dan terus bergerak naik dalam jaring makanan melalui proses transfer trofik dan biomagnifikasi (Devi *et al.*, 2022).

3.5 Upaya Pengendalian Mikroplastik di Perairan Laut

Upaya pengendalian mikroplastik di perairan laut dapat dilakukan melalui berbagai strategi yang mencakup pendekatan fisika, kimia, dan bioremediasi, yang semakin berkembang untuk membersihkan area perairan yang terkontaminasi. Upaya mitigasi perlu dilakukan secara komprehensif, mulai dari tahap hulu hingga hilir. Pembatasan plastik sekali pakai, peningkatan sistem pengelolaan limbah, dan pengembangan teknologi yang dapat mendeteksi, menyaring, dan meremediasi mikroplastik di lingkungan adalah beberapa contoh dari upaya ini (Mahmud *et al.*, 2022).

Beberapa negara telah menerapkan kebijakan nasional untuk menangani masalah pencemaran mikroplastik. Uni Eropa mulai mengambil langkah untuk mengatur terkait pencemaran mikroplastik. ECHA (*European Chemicals Agency*) Badan Kimia Eropa telah ditugaskan untuk menyusun kebijakan pembatasan penggunaan plastik oksidatif serta partikel mikroplastik yang sengaja ditambahkan dalam produk. Pada tahun 2023, Official Journal of the European Union resmi menerbitkan kebijakan yang melarang penambahan mikroplastik. Selanjutnya, panduan teknis yang lebih rinci terkait implementasi kebijakan tersebut direncanakan akan dirilis pada akhir tahun 2024 (Catone *et al.*, 2024). Pemerintah Malaysia telah memberlakukan peraturan yang lebih ketat tentang pengelolaan limbah plastik, termasuk melarang penggunaan kantong plastik di beberapa negara bagian. Efek kebijakan ini telah ditunjukkan dengan penurunan besar dalam penggunaan kantong plastik serta penurunan jumlah mikroplastik yang masuk ke ekosistem laut (Goh *et al.*, 2025).

Tujuan dari ASEAN *Action Plan on Marine Litter* adalah untuk mengurangi pencemaran plastik laut di Asia Tenggara. Ini dilakukan melalui kerangka kerja bersama seperti Declaration of Bangkok on Combating Marine Debris dan ASEAN Framework of Action on Marine Debris, yang ditetapkan pada tahun 2019 (Hermawan & Astuti, 2021). ASEAN Regional Action Plan for Combating Marine Debris 2021–2025 kemudian memperkuat upaya ini. Rencana ini memberikan panduan strategis bagi negara-negara anggota untuk mengelola sampah laut secara lebih terkoordinasi, dan juga memberikan panduan strategis bagi negara-negara anggota untuk bekerja sama untuk mengelola sampah plastik. Namun, karena bersifat *soft law* dan tidak memiliki kekuatan hukum mengikat, implementasinya masih bervariasi antarnegara. Selain itu, hingga kini belum terdapat regulasi khusus yang mengatur mikroplastik di tingkat regional, sehingga isu tersebut belum tertangani secara menyeluruh (Alindayu *et al.*, 2023).

Ditinjau dalam konteks bioremediasi, berbagai mikroorganisme seperti bakteri, jamur, alga, dan enzim tertentu dimanfaatkan untuk mendegradasi mikroplastik. Teknologi berbasis mikroorganisme ini telah diterapkan dalam beberapa penelitian, antara lain melalui pendekatan biofilm, biologi sintesis, dan teknik berbasis organosilan (Ali *et al.*, 2024). Pada remediasi berbasis biofilm, mikroorganisme membentuk lapisan biofilm pada permukaan mikroplastik, yang kemudian mendorong degradasi biologis menjadi senyawa tidak berbahaya seperti CO₂ dan H₂O. Meskipun tingkat degradasinya masih terbatas, penelitian terus diarahkan untuk mengoptimalkan kondisi lingkungan, seperti pH, suhu, dan ketersediaan nutrisi, agar proses ini lebih efisien (Harrison *et al.*, 2011; Sutkar *et al.*, 2023). Pendekatan biologi sintesis dan organosilan memiliki potensi besar untuk meningkatkan kemampuan mikroba dalam mendegradasi polimer serta menciptakan metode aglomerasi dan fiksasi kimia yang efektif untuk menghilangkan partikel mikroplastik dari air (Zhou *et al.*, 2022). Selain itu, inovasi bioteknologi juga memanfaatkan bakteri seperti *Bacillus*, *Exiguobacterium*, dan *Ideonella sakaiensis* yang terbukti mampu mendegradasi plastik jenis PE, PS, dan PET secara alami, menunjukkan prospek menjanjikan bagi pengembangan teknologi bioremediasi mikroplastik di perairan (Wu *et al.*, 2017).

Berdasarkan pendekatan teknologi yaitu dapat dilakukan menggunakan bantuan teknologi modern. Teknologi utama yang cukup sering digunakan dalam pengendalian pencemaran mikroplastik adalah bioreaktor membran (MBR), nanomaterial, serta alat pembersih pantai seperti Teknologi Nurdle dan Hoola One. Bioreaktor membran (MBR) bekerja dengan menggabungkan proses biologis dan filtrasi fisik untuk menghilangkan lebih dari 90% mikroplastik dari air limbah, meski masih menghadapi kendala biaya dan potensi penyumbatan (Tiwari *et al.*, 2020). Teknologi berbasis nanomaterial memanfaatkan mekanisme adsorpsi magnetik dan fotokatalisis untuk menangkap dan mendegradasi mikroplastik secara efisien menggunakan energi rendah, termasuk energi matahari. Di sisi lain, Teknologi Nurdle dan Hoola One

dirancang untuk pembersihan fisik mikroplastik di pesisir. Mesin Nurdle menyedot campuran pasir dan sampah untuk memisahkan plastik, sedangkan Trommel Nurdle menyaring serpihan plastik kecil secara manual. Hoola One memiliki tiga perangkat HO Mikro, HO Wrack, dan HO Backpack yang bekerja dengan pemisahan daya apung, pengayakan, dan penyedotan plastik di permukaan pantai. Meski efektif secara lokal, teknologi ini masih terbatas untuk skala besar (Fiore et al., 2022). Selain itu, perbaikan efisiensi instalasi pengolahan air limbah (WWTP) adalah langkah penting dalam menahan partikel mikroplastik sebelum mencapai laut. Di sisi lain, perubahan sederhana, seperti menambahkan filter tambahan pada mesin cuci, dapat membantu menahan partikel mikroplastik dari limbah rumah tangga (Wu et al., 2017).

Upaya melalui kebijakan dan kolaborasi multisektor dapat dilakukan melalui: 1) pemerintah memiliki peran sentral melalui penerapan kebijakan nasional yang tegas, seperti pelarangan penggunaan plastik sekali pakai di wilayah pesisir dan perairan, penerapan regulasi pemilahan sampah sejak dari sumber, serta pemberian insentif fiskal bagi industri yang menerapkan praktik daur ulang atau beralih ke bahan ramah lingkungan, misalnya penggunaan sedotan bambu, kemasan kertas, dan plastik biodegradable seperti PLA dan PHA (Amanu et al., 2024). 2) Selain itu, edukasi publik sangat penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat umum tentang bahaya mikroplastik dan pentingnya perilaku ramah lingkungan, terutama di kalangan masyarakat pesisir dan kelompok rentan (Shofiyah et al., 2025). Selain itu, upaya konservasi juga perlu diperkuat melalui pendekatan pendidikan dan penelitian ilmiah. Hal ini mencakup perlunya riset yang lebih sistematis mengenai sumber, distribusi, dan dampak mikroplastik terhadap ekosistem laut untuk menyediakan dasar kebijakan yang benar-benar berlandaskan sains. Dengan mengintegrasikan kebijakan yang kuat, inovasi teknologi, penelitian berkelanjutan, serta partisipasi aktif masyarakat, pengendalian mikroplastik diharapkan dapat berjalan lebih efektif sehingga lingkungan perairan dapat terjaga tetap bersih, sehat, dan berkelanjutan bagi generasi mendatang (Kushwaha et al., 2024).

Hingga saat ini, belum ada standar baku mutu yang jelas untuk mengukur cemaran mikroplastik (MP) pada air, sedimen/substrat, dan biota perairan. Keberadaan standar ini sangat penting untuk memastikan konsistensi dan akurasi dalam penilaian tingkat pencemaran mikroplastik di berbagai ekosistem perairan. Dengan adanya standar baku, kita dapat menentukan batas aman bagi biota perairan dan manusia yang mengonsumsi hasil perikanan, serta meningkatkan efektivitas pemantauan dan pengendalian pencemaran mikroplastik di lingkungan perairan. Seperti yang disarankan oleh GESAMP (2019), adanya standar ini akan memungkinkan pemantauan dan regulasi yang lebih efektif terhadap pencemaran mikroplastik di perairan. Selain itu, Jabeen et al. (2017) menekankan bahwa tanpa standar baku yang jelas, pencemaran mikroplastik dalam biota perairan akan sulit untuk dikendalikan dan dipahami secara menyeluruh, yang berpotensi meningkatkan risiko terhadap kesehatan ekosistem dan manusia.

4. Kesimpulan

Mikroplastik memberikan dampak serius terhadap ikan laut tropis, mulai dari gangguan fisiologis hingga perubahan perilaku. Partikel ini dapat terdistribusi ke dalam darah dan jaringan daging, menyebabkan luka internal, penyumbatan saluran pencernaan, malnutrisi, penurunan pertumbuhan, gangguan metabolisme, serta menurunnya tingkat kelangsungan hidup. Selain itu, mikroplastik berpotensi mengalami translokasi ke jaringan tubuh lain dan memicu kerusakan lebih lanjut. Dari perspektif ekologis, akumulasi mikroplastik dalam tubuh organisme turut mengganggu struktur rantai makanan melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi, yang pada akhirnya juga dapat membahayakan manusia sebagai konsumen puncak. Untuk mengatasi dampak tersebut, diperlukan upaya konservasi yang terpadu dari hulu hingga hilir, meliputi penguatan kebijakan, pemanfaatan inovasi teknologi, peningkatan riset berkelanjutan, serta edukasi dan kesadaran masyarakat agar akumulasi mikroplastik dapat ditekan dan keberlanjutan ekosistem laut tetap terjaga bagi generasi mendatang.

Daftar Pustaka

- Acarer Arat, S. (2024). An overview of microplastic in marine waters: Sources, abundance, characteristics and negative effects on various marine organisms. *Desalination and Water Treatment*, 317(January), 100138. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100138>
- Afdal, M., Werorilangi, S., Faizal, A., & Tahir, A. (2019). Studies on microplastics morphology characteristics in the coastal water of Makassar City, South Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*. 4(4): 1028- 1033. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab.4421>
- Agnes, I., Hendrawan, I. G., Karang, I. W. G. A. (2024) Karakteristik dan Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen dan Air di Teluk Jimbaran, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. 7(2): 70-75. <https://doi.org/10.24843/JMRT.2024.v07.i02.p01>

- Ahmad, O. A., Jamal, M. T., Almalki, H. S., Alzahrani, A. H., Alatawi, A. S., & Haque, M. F. (2025). Microplastic pollution in the marine environment: Sources, impacts, and degradation. *Journal of advanced veterinary and animal research*, 12(1), 260–279. <https://doi.org/10.5455/javar.2025.1893>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., & Sun, J. (2024). A critical review of microplastics in aquatic ecosystems: Degradation mechanisms and removing strategies. *Environmental Science and Ecotechnology*, 21, 100427. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2024.100427>
- Alindayu, R. C., Licnahan, L. O. C., Luzadas, R. L., Ignacio, P. S. P., & Onda, D. F. L. (2023). Moving towards open data, public access, and information sharing to combat marine plastics pollution in the Philippines and the Southeast Asian region. *Ocean and Coastal Management*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106771>
- Alindayu, R. C., Licnahan, L. O. C., Luzadas, R. L., Ignacio, P. S. P., & Onda, D. F. L. (2023). Moving towards open data, public access, and information sharing to combat marine plastics pollution in the Philippines and the Southeast Asian region. *Ocean and Coastal Management*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106771>
- Amanu, A. A., Zahrani, A. P., Ristaatin, F. A., Ardillah, A. R., & Radianto, D. O. (2024). Pengaruh Limbah Mikroplastik Terhadap Organisme dan Upaya Penanganannya. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 2(2), 12-24. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v2i2.293>
- Ashrafy, A., Liza, A. A., Islam, M. N., Billah, M. M., Arafat, S. T., Rahman, M. M., & Rahman, S. M. (2023). Microplastics pollution: a brief review of its source and abundance in different aquatic ecosystems. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100215>
- Aulia, A., Azizah, R., Sulistyorini, L., & Rizaldi, M. A. (2023). Literature review: Dampak mikroplastik terhadap lingkungan pesisir, biota laut dan potensi risiko kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 328-341. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.328-341>
- Baini, M., Fossi, MC., Galli, M., Caliani, I., Campani, T., Finoia, MG., Panti, C. (2018). Abundance and characterization of microplastics in the coastal waters of Tuscany (Italy): The application of the MSFD monitoring protocol in the Mediterranean Sea. *Mar. Poll. Bull.* 133: 543-552. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.016>
- Benaires, K. D., Yap-Dejeto, L. G., & Parilla, R. B. (2025). Microplastics in commercially sold fish in a coastal city of the Philippine Islands, Western Pacific. *Regional Studies in Marine Science*, 82, 104025. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2025.104025>
- Benson, N. U., Agboola, O. D., Fred-Ahmadu, O. H., De-la-Torre, G. E., Oluwalana, A., & Williams, A. B. (2022). Micro (nano) plastics prevalence, food web interactions, and toxicity assessment in aquatic organisms: a review. *Frontiers in marine science*, 9, 851281. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.851281>
- Bhardwaj, L. K., Rath, P., Yadav, P., & Gupta, U. (2024). Microplastic contamination, an emerging threat to the freshwater environment: a systematic review. *Environmental Systems Research*, 13(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40068-024-00338-7>
- Browne, M.A. (2015). Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_9
- Catone, T., Alivernini, S., Attias, L., & Orrù, M. A. (2024). The European legislation on the restriction on intentionally added microplastics. Commentary. *Annali Dell'Istituto Superiore Di Sanita*, 60(4), 243–246. https://doi.org/10.4415/ANN_24_04_01
- Chatterjee, S., & Sharma, S. (2019). Microplastics in our oceans and marine health. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, (Special Issue 19), 54-61. <http://journals.openedition.org/factsreports/5257>
- Cordova, M. R. (2017). Plastic Pollution in the Ocean. *Oseana*, 42(3), 21-30. <https://doi.org/10.14203/oseana.2017.vol.42no.3.82>
- Coyle, R., Hardiman, G., & O'Driscoll, K. (2020). Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes, uptake and exchange in ecosystems. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100010>
- Critchell, K. & M.O. Hoogenboom. 2018. Effects of microplastic exposure on the body condition and behavior of planktivorous reef fish (*Acanthochromis polyacanthus*). *PLoS One*, 13(3): 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193308>
- Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackuľák, T., Žemlička, L., & Bírošová, L. (2021). Microplastics in the food chain. *Life*, 11(12), 1349. <https://doi.org/10.3390/life11121349>

- Dawson, A.L., S. Kawaguchi, C.K. King, K.A. Townsend, R. King, W.M. Huston, & S.M.B. Nash. 2018. Turning microplastics into nanoplastics through digestive fragmentation by Antarctic krill. *Nat.Comm.*, 9(1): 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03465-9>.
- Deswati, D., Rizka, A. F., Putra, Z. A., Fitri, W. E., Suparno, S., & Pardi, H. (2025). Preliminary assessment of microplastic contamination in fish species from Lake Maninjau, West Sumatra, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 89, 104346. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2025.104346>
- Devi, N. K., Raju, P., Santhanam, P., & Perumal, P. (2022). Impacts of microplastics on marine organisms: present perspectives and the way forward. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 48(3), 205-209. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.03.001>
- Dewi, A. P., Eryati, R., & Nurfadilah, N. (2025). Pengaruh Jumlah Mikroplastik Terhadap Berat Ikan Pari yang Didaratkan di TPI Klandasan Balikpapan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 28(2), 331-339.
- Dewi, I. S., Budiarsa, A. A., & Ritonga, I. R. (2015). Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara. *Depik*, 4(3), 121-131. <https://doi.org/10.13170/depik.4.3.2888>.
- Emmerik, V. T., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschläger, K., & Schreyers, L. (2022). Rivers as plastic reservoirs. *Frontiers in Water*, 3, 786936. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786936>
- Erlangga, E., Ezraneti, R., Ayuzar, E., Adhar, S., Salamah, S., & Lubis, H. B. (2022). Identifikasi Keberadaan Mikroplastik Pada Insang dan Saluran Pencernaan Ikan Kembung (*Rastrelliger* sp) di TPI Belawan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 15(3), 206–215. <https://doi.org/10.21107/jk.v15i3.11746>
- Fadhilah, W., Sofiana, M. S. J., Safitri, I., & Kushadiwijayanto, A. A. (2023). Abundance of microplastics in the waters of Temajo Island, Mempawah, West Kalimantan. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 6(3), 134-44. <https://doi.org/10.26418/lkuntan.v6i3.64222>
- Fiore, M., Fraterrigo Garofalo, S., Migliavacca, A., Mansutti, A., Fino, D., & Tommasi, T. (2022). Tackling marine microplastics pollution: an overview of existing solutions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 276. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05715-5>
- GESAMP (2019). Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in the Ocean. GESAMP Reports and Studies, No. 99. Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, Nairobi, Kenya.
- Giaganini, G., Cifelli, M., Biagini, D., Ghimenti, S., Corti, A., Castelvetro, V., Domenici, V., & Lomonaco, T. (2023). Multi-Analytical Approach to Characterize the Degradation of Different Types of Microplastics: Identification and Quantification of Released Organic Compounds. *Molecules*, 28(3). <https://doi.org/10.3390/molecules28031382>
- Goh, K. C., Kurniawan, T. A., Sarpin, N., Masrom, M. A. N., Othman, M. H. D., Anouzla, A., Aziz, F., Ali, I., Casila, J. C., Khan, M. I., Zhang, D., Mahmoud, M., & Onn, C. W. (2025). Combating microplastic pollution in Malaysia's marine ecosystems using technological solutions, policy instruments, and public participation: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100542>
- Harini, R., Sandhya, K., Sunil, C. K., & Natarajan, V. (2025). Seaweed as a sink for microplastic contamination: Uptake, identifications and food safety implications. *Environmental Research*, 278, 121631. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2025.121631>
- Harrison, J. P., Sapp, M., Schratzberger, M., & Osborn, A. M. (2011). Interactions between microorganisms and marine microplastics: a call for research. *Marine Technology Society Journal*, 45(2), 12-20. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.45.2.2>
- Hasmara, G. Y. P., Rafii, A., Ghitarina. (2024). Jenis Dan Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Laut Di Muara Sembilang Kecamatan Samboja Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Tropical Aquatic Sciences*, 3(2), 214-219. <https://doi.org/10.30872/tas.v3i2.1516>
- Herawati, T., Damayanti, W., Yuda, G. A., Ihsan, Y. N., Pasaribu, B., Harsono, G., ... & Purba, N. P. (2024). Assessment of microplastic characterization and distribution from surface water and the seabed in the Flores Sea, Indonesia. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1440587. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1440587>
- Hermawan, S., & Astuti, W. (2021). Analysing several ASEAN countries' policy for combating marine plastic litter. *Environmental Law Review*, 23(1), 9–22. <https://doi.org/10.1177/1461452921991731>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Indriyasari, K. N., Rahmatin, N. M., Marchellina, A., Mukholladun, W., & Soegianto, A. (2024). Abundance and Characteristics of Microplastics in Coastal Sediment and Seawater Collected from Surabaya and

- Tulungagung. *The Journal of Experimental Life Science*, 14(3), 139-145. <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2024.014.03.06>
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
- Kochanek, A., Graż, K., Potok, H., Gronba-Chyła, A., Kwaśny, J., Wiewiórska, I., Ciula, J., Basta, E., & Łapiński, J. (2025). Micro- and Nanoplastics in the Environment: Current State of Research, Sources of Origin, Health Risks, and Regulations-A Comprehensive Review. *Toxics*, 13(7), 564. <https://doi.org/10.3390/toxics13070564>
- Kushwaha, M., Shankar, S., Goel, D., Singh, S., Rahul, J., Rachna, K., & Singh, J. (2024). Microplastics pollution in the marine environment: A review of sources, impacts and mitigation. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117109. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117109>
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. In *Water Research* (Vol. 137, pp. 362–374). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Mahmud, A., Wasif, M. M., Roy, H., Mehnaz, F., Ahmed, T., Pervez, M. N., Naddeo, V., & Islam, M. S. (2022). Aquatic Microplastic Pollution Control Strategies: Sustainable Degradation Techniques, Resource Recovery, and Recommendations for Bangladesh. *Water*, 14(23), 3968. <https://doi.org/10.3390/w14233968>
- Mei, W., Chen, G., Bao, J., Song, M., Li, Y., & Luo, C. (2020). Interactions between microplastics and organic compounds in aquatic environments: A mini review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 736). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139472>
- Miller, M.E., M. Hamann, & F.J. Kroon. 2020. Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: a review and meta-analysis of current data. *PLoS One*, 15(10): 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240792>
- Muhtadi, A., Leidonald, R., Rahmawati, A., Merdangga, T. D. T., Nurhamiyah, Y., & Cordova, M. R. (2025). Spatial and temporal distribution of microplastics in the Belawan Estuary, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 51(2), 163–171. <https://doi.org/10.1016/J.EJAR.2025.03.004>
- Nainggolan, D. H., Indarjo, A., & Suryono, C. A. (2022). Mikroplastik yang Ditemukan di Perairan Karangahe, Rembang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 11(3), 374-382. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.35021>
- Nava, V., & Leoni, B. (2021). A critical review of interactions between microplastics, microalgae and aquatic ecosystem function. In *Water Research* (Vol. 188). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116476>
- Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y. Q., Khitun, A. A., Baker, I., & Thompson, R. C. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2(6), 315-320. <https://doi.org/10.1002/2014EF000240>
- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., ... & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2129-2169. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
- Pamungkas, N. A. G., Hartati, R., Redjeki, S., Riniatsih, I., Suprijanto, J., Supriyo, E., & Widianingsih, W. (2022). Karakteristik mikroplastik pada sedimen dan air laut di Muara Sungai Wulan Demak. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3), 421-431. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.14923v>
- Pegado, T., Brabo, L., Schmid, K., Sarti, F., Gava, T.T., Nunes, J., Chelazzi, D., Cincinelli, A., & Giarrizzo, T. (2021). Ingestion of microplastics by *Hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). *Marine Pollution Bulletin*, 162(June), 111799. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111799.
- Pourebahimi, S., & Pirooz, M. (2023). Microplastic pollution in the marine environment: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100327>
- Reddy, A. S., & Nair, A. T. (2022). The fate of microplastics in wastewater treatment plants: An overview of source and remediation technologies. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102815. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102815>
- Ritonga, M. D. K., Ismanto, A., & Rifai, A. (2025). Analisis Kelimpahan Dan Sebaran Mikroplastik Pada Perairan Dan Sedimen Di Laguna, Kabupaten Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(2), 172-180. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i2.26690>

- Rossatto, A., Arlindo, M. Z. F., de Moraes, M. S., de Souza, T. D., & Ogradowski, C. S. (2023). Microplastics in aquatic systems: A review of occurrence, monitoring and potential environmental risks. *Environmental Advances*, 13, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100396>
- Salsabila, S., Indrayanti, E., & Widiarati, R. (2023). Karakteristik Mikroplastik Di Perairan Pulau Tengah, Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4), 99-108. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i4.15420>
- Schmaltz, E., Melvin, E. C., Diana, Z., Gunady, E. F., Rittschof, D., Somarelli, J. A., ... & Dunphy-Daly, M. (2020). Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution. *Environment international*, 144, 106067. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106067>
- Shofiyah, R., Musarofa, M., & Siswanti, Y. D. (2025). Peningkatan Kesadaran Lingkungan melalui Edukasi Dampak Mikroplastik kepada Anggota Ranting 'Aisyiyah Patrang. *JIWAKERTA: Jurnal Ilmiah Wawasan Kuliah Kerja Nyata*, 6(1), 30-34. <https://doi.org/10.32528/jiwakerta.v6i1.22636209>
- Soegianto, A., Putranto, T. W. C., Affandi, M., Imamah, S. W., Jamlean, S. A., Khairunnisak, Mukholladun, W., & Payus, C. M. (2025). Microplastic contamination in green mussels (*Perna viridis* Linnaeus, 1758) collected from the traditional fish markets along the East Java coast of Indonesia and the associated risk assessment. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 118, 104762. <https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2025.104762>
- Suryani, A. H. Rafii, A., Ghitari, A. (2024). Jenis dan kelimpahan mikroplastik pada air di Pesisir Pantai Monpera Kota Balikpapan Kalimantan Timur. *Jurnal Tropical Aquatic Sciences*, 3(1), 71-76. <https://doi.org/10.30872/tas.v3i1.803>
- Sutkar, P. R., Gadewar, R. D., & Dhulap, V. P. (2023). Recent trends in degradation of microplastics in the environment: A state-of-the-art review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 11, 100343. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100343>
- Syversen, T., & Lilleng, G. (2022). Microplastics derived from commercial fishing activities. *Advances and Challenges in Microplastics*, 1-19. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108475>
- Tang, W., Li, H., Fei, L., Wei, B., Zhou, T., & Zhang, H. (2022). The removal of microplastics from water by coagulation: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 851, 158224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158224>
- Tiwari, N., Santhiya, D., & Sharma, J. G. (2020). Microbial remediation of micro-nano plastics: current knowledge and future trends. *Environmental Pollution*, 265, 115044.
- Ugwu, K., Herrera, A., & Gómez, M. (2021). Microplastics in marine biota: A review. *Marine pollution bulletin*, 169, 112540. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112540>
- Wang, W., Ge, J., & Yu, X. (2020). Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 189, 109913.
- Weis, J.S. 2020. Suggestions for the Future. *Water*, 12(1475): 1-10. <https://doi.org/10.3390/w12051475>
- Widyastuti, S., Abidin, A. S., Hikmaturohmi, H., Ilhami, B. T. K., Kurniawan, N. S. H., Jupri, A., Candri, D. A., Frediansyah, A., & Prasedya, E. S. (2023). Microplastic Contamination in Different Marine Species of Bintaro Fish Market, Indonesia. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 9836, 15(12), 9836. <https://doi.org/10.3390/SU15129836>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. In *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987) (Vol. 178, hal. 483– 492). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. S. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0897-7>
- Wu, Y., Yi, R., Wang, Y., Zhang, C., Zheng, J., Ning, P., ... & Wang, B. (2025). Light-driven degradation of microplastics: Mechanisms, technologies, and future directions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100628>
- Yona, D., Maharani, M. D., Cordova, M. R., Elvania, Y., & Dharmawan, I. W. E. (2020). ANALISIS MIKROPLASTIK DI INSANG DAN SALURAN PENCERNAAN IKAN KARANG DI TIGA PULAU KECIL DAN TERLUAR PAPUA, INDONESIA: KAJIAN AWAL. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 497–507. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.25971>
- Yona, D., Maharani, M. D., Cordova, M. R., Elvania, Y., & Dharmawan, I. W. E. (2020). Analisis mikroplastik di insang dan saluran pencernaan ikan karang di tiga pulau kecil dan terluar Papua, Indonesia: kajian awal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 495-505.
- Zhang, Y., Yang, H., Gao, W., & Wu, C. (2024). Research Progress of Optical Dissolved Oxygen Sensors: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 24(19), 29564–29574. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3441692>

- Zhou, Y., Kumar, M., Sarsaiya, S., Sirohi, R., Awasthi, S. K., Sindhu, R., ... & Awasthi, M. K. (2022). Challenges and opportunities in bioremediation of micro-nano plastics: A review. *Science of the Total Environment*, 802, 149823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149823>