



Biogenerasi Vol 10 No 3, 2025

Biogenerasi: Jurnal Pendidikan Biologi

Universitas Cokroaminoto Palopo

<https://e-journal.my.id/biogenerasi>

e-ISSN 2579-7085



KONTAMINASI MIKROPLASTIK DI USUS DAN INSANG IKAN LAUT KOMERSIAL DARI TELUK JAKARTA

¹*Singgih Prasetyo Adi Wibowo, ²Muhammad Taufik Kaisupy, ³Muhammad Reza Cordova

¹Universitas Terbuka, Indonesia

^{2,3}Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

*Corresponding author E-mail: singgihpaw@gmail.com

DOI : 10.30605/biogenerasi.v10i3.6930

Accepted : 10 September 2025 Approved : 29 September 2025 Published : 30 September 2025

Abstract

The rapid growth of seafood consumption has raised concerns about food safety due to microplastic contamination in marine organisms. This study investigated the occurrence and characteristics of microplastics in commercially important marine fish marketed in Jakarta Bay, one of Indonesia's most densely populated and industrialized coastal regions. A total of 160 specimens representing eight species were collected from five major fish markets between December 2023 and January 2024. Microplastics were extracted from gills and gastrointestinal tracts using enzymatic digestion, density separation, and confirmed by ATR-FTIR spectroscopy. Results revealed that 93.8% of the samples contained microplastics, with an average of 3.65 ± 2.34 particles per individual (0.12 ± 0.21 particles/g). Carnivorous and benthopelagic species exhibited significantly higher contamination levels compared to omnivorous and planktivorous species. Most particles were fragments and fibers (~70%), predominantly within the 2000-5000 μm size range. Seven polymer types were identified, with polyethylene, polypropylene, and polystyrene as the most frequent. These findings indicate that Jakarta Bay is a hotspot of plastic pollution, posing potential risks to food security and public health. Continuous monitoring, standardized risk assessments, and improved waste management strategies are urgently needed to mitigate the impacts of microplastic contamination on fisheries and human consumers.

Keywords : *microplastic; commercial fish; Jakarta Bay; food safety; marine pollution*

PENDAHULUAN

Permintaan global terhadap produk perikanan terus meningkat seiring kesadaran masyarakat akan manfaat nutrisi yang dikandungnya. Ikan laut dikenal sebagai sumber protein berkualitas tinggi, asam lemak tak jenuh ganda, vitamin, dan mineral esensial yang mendukung kesehatan manusia (Teixeira & Silva, 2024). Di Indonesia, tingkat konsumsi ikan mencapai lebih dari 50 kg per kapita per tahun dan cenderung terus naik, sehingga keamanan pangan berbasis hasil laut menjadi isu penting (BPS, 2024). Namun, ekosistem laut kini menghadapi ancaman serius berupa kontaminasi plastik. Plastik merupakan polutan dominan di lingkungan akuatik, dengan mikroplastik (<5 mm) sebagai fraksi yang paling mengkhawatirkan (Vriend et al., 2021). Mikroplastik dapat berasal dari dua sumber, sumber primer, yang diproduksi langsung dalam ukuran mikro, seperti pelet industri atau microbeads kosmetik, dan sumber sekunder, yang dihasilkan dari fragmentasi plastik berukuran besar akibat proses degradasi fisik, kimia, maupun biologis (Omeyer et al., 2022). Tingginya produksi plastik global, diperkirakan lebih dari 400 juta ton per tahun, berkontribusi langsung pada akumulasi sampah plastik di perairan (Ajith et al., 2020). Mikroplastik memiliki karakteristik yang memungkinkan interaksi kompleks dengan biota laut. Partikel ini dapat tertelan secara tidak sengaja oleh organisme karena bentuk dan ukurannya menyerupai mangsa alami (Lehtiniemi et al., 2018). Pada ikan, akumulasi mikroplastik telah banyak ditemukan di organ pencernaan dan insang, dengan potensi menimbulkan efek fisiologis seperti iritasi jaringan, obstruksi saluran, hingga stres oksidatif (Su et al., 2019; Lyu et al., 2020). Lebih jauh lagi, mikroplastik dapat bertindak sebagai vektor bagi bahan kimia berbahaya seperti logam berat dan polutan organik persisten, sehingga meningkatkan risiko toksikologis (Brennecke et al., 2016; Wright & Kelly, 2017). Dari perspektif kesehatan masyarakat, paparan mikroplastik kini telah dilaporkan pada berbagai matriks biologis manusia, termasuk feses, darah, air susu ibu, dan urin (Pironti et al., 2023; Barceló et al., 2023). Temuan ini memperkuat kekhawatiran bahwa konsumsi makanan laut terkontaminasi dapat menjadi jalur utama masuknya

mikroplastik ke tubuh manusia. Dengan demikian, ikan tidak hanya berfungsi sebagai sumber protein penting, tetapi juga sebagai bioindikator yang efektif untuk menilai tingkat kontaminasi lingkungan akuatik (Cordova et al., 2020). Teluk Jakarta sebagai kawasan pesisir yang menampung lebih dari 35 juta penduduk dengan aktivitas industri, transportasi laut, perikanan, dan pariwisata, dipandang sebagai salah satu hotspot utama pencemaran plastik di Indonesia (Cordova & Nurhati, 2019; Cordova et al., 2024). Sedikitnya 13 sungai besar bermuara ke Teluk Jakarta, membawa limbah domestik, industri, serta sampah plastik sekali pakai. Kombinasi antara tekanan antropogenik, kepadatan penduduk, dan lemahnya manajemen sampah menjadikan kawasan ini rentan terhadap akumulasi mikroplastik. Meskipun beberapa penelitian telah mengonfirmasi keberadaan mikroplastik pada air, sedimen, dan biota di Teluk Jakarta, kajian komprehensif pada ikan laut komersial masih terbatas. Padahal, ikan komersial dari teluk ini dipasarkan secara luas di berbagai pasar ikan di Jakarta dan sekitarnya, sehingga memiliki implikasi langsung terhadap keamanan pangan regional.

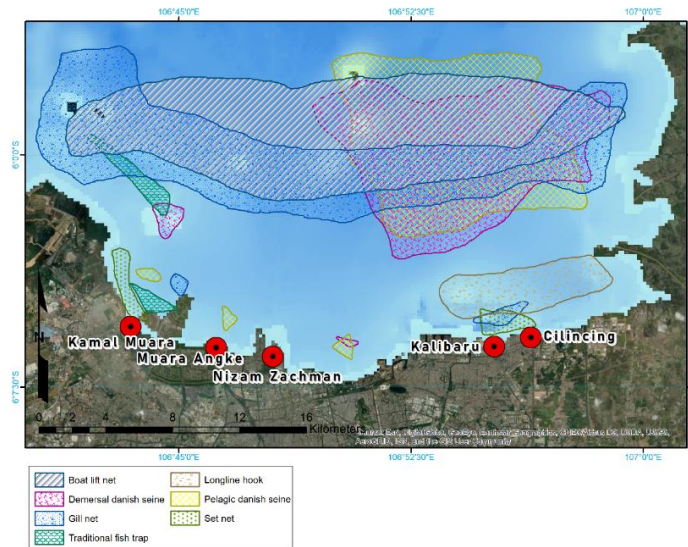
Penelitian ini bertujuan untuk menilai prevalensi kontaminasi mikroplastik pada ikan laut komersial dari Teluk Jakarta; mengidentifikasi karakteristik mikroplastik (ukuran, bentuk, dan jenis polimer) dalam organ insang dan pencernaan; dan menganalisis perbedaan kontaminasi berdasarkan kebiasaan makan dan habitat ikan. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam memahami risiko kontaminasi mikroplastik terhadap produk perikanan komersial, serta menjadi dasar dalam pengembangan strategi pengelolaan limbah plastik dan penilaian risiko keamanan pangan di kawasan perkotaan pesisir.

METODE

Penelitian dilaksanakan di wilayah pesisir utara Jakarta, khususnya di lima pasar ikan utama, Cilincing, Kalibaru, Nizam Zachman, Muara Angke, dan Kamal Muara (Gambar 1). Pasar-pasar ini menerima hasil tangkapan dari nelayan lokal yang beroperasi di Teluk Jakarta. Wilayah pesisir dengan tekanan antropogenik tinggi akibat aliran limbah domestik, industri, dan aktivitas

perikanan. Kawasan ini dipilih karena menjadi pusat distribusi ikan konsumsi harian bagi

jutaan penduduk Jakarta dan sekitarnya.



Gambar 1. Peta lokasi geografis daerah studi beserta titik-titik pengambilan sampel dan daerah penangkapan ikan di Teluk Jakarta, Indonesia.

Ikan dikumpulkan antara Desember 2023 hingga Januari 2024. Delapan spesies dipilih berdasarkan nilai ekonomis dan ketersediaannya di pasar, yakni *Chirocentrus dorab* (wolf-herring), *Rastrelliger kanagurta* (Indian mackerel), *Decapterus russelli* (Indian scad), *Mugil* spp. (grey mullet), *Saurida tumbil* (lizardfish), *Netuma thalassina* (giant catfish), *Lutjanus malabaricus* (Malabar snapper), dan *Leiognathus* spp. (pony fish). Spesies tersebut mewakili berbagai kategori kebiasaan makan (karnivora, omnivora, planktivora) dan habitat (pelagis, benthopelagis, bentik). Total 160 individu diperoleh (20 ekor per spesies). Setiap sampel dicatat panjang total dan berat tubuhnya, kemudian disimpan dalam kondisi dingin ($<4^{\circ}\text{C}$) dan diproses dalam waktu 24 jam untuk mencegah degradasi.

Di laboratorium, ikan dibilas dengan air *ultrapure* untuk menghilangkan kontaminan eksternal. Organ insang dan saluran pencernaan diisolasi karena keduanya merupakan jalur utama masuknya mikroplastik melalui inhalasi dan salah makan (Horton et al., 2018). Prosedur ekstraksi mengikuti metode standar internasional dengan modifikasi (Lusher et al., 2017; Karami et al., 2018; Cordova et al., 2020). Tahapan meliputi melarutkan jaringan dengan digesti biologi, pemisahan partikel dengan perbedaan densitas, filtrasi dan identifikasi. Proses digesti biologi dilakukan dengan melarutkan sampel

menggunakan larutan oksidatif (berbasis H_2O_2 dengan katalis Fe^{2+}) untuk menguraikan material organik. Selanjutnya proses pemisahan dengan perbedaan densitas, dilakukan dengan cara mencampur sampel dengan larutan ZnCl_2 ($\rho \sim 1,6\text{-}1,7 \text{ g/cm}^3$) sehingga partikel mikroplastik dengan densitas lebih rendah mengapung dan dapat dipisahkan. Selanjutnya proses filtrasi dilakukan dengan pengambilan fraksi supernatan dari hasil pemisahan densitas, disaring menggunakan membran selulosa nitrat steril. Partikel selanjutnya diperiksa dengan mikroskop cahaya berdasarkan kriteria morfologi, yakni warna homogen, tidak berstruktur seluler, bentuk yang konsisten (Cordova et al., 2020). Untuk validasi, $\pm 20\%$ partikel yang teridentifikasi dianalisis menggunakan Agilent Cary 630 ATR-FTIR (*Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared spectroscopy*). Analisis dilakukan pada rentang spektral $650\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$ dengan resolusi standar, kemudian dicocokkan dengan pustaka spektrum polimer (De Frond et al., 2021). Hanya partikel $>200 \mu\text{m}$ yang disertakan dalam analisis, mengikuti batas deteksi umum dalam studi mikroplastik makanan laut (Cordova et al., 2024).

Seluruh tahapan dilakukan dengan prosedur *quality assurance/quality control* (QA/QC) ketat untuk meminimalkan kontaminasi silang. Laboran menggunakan jas

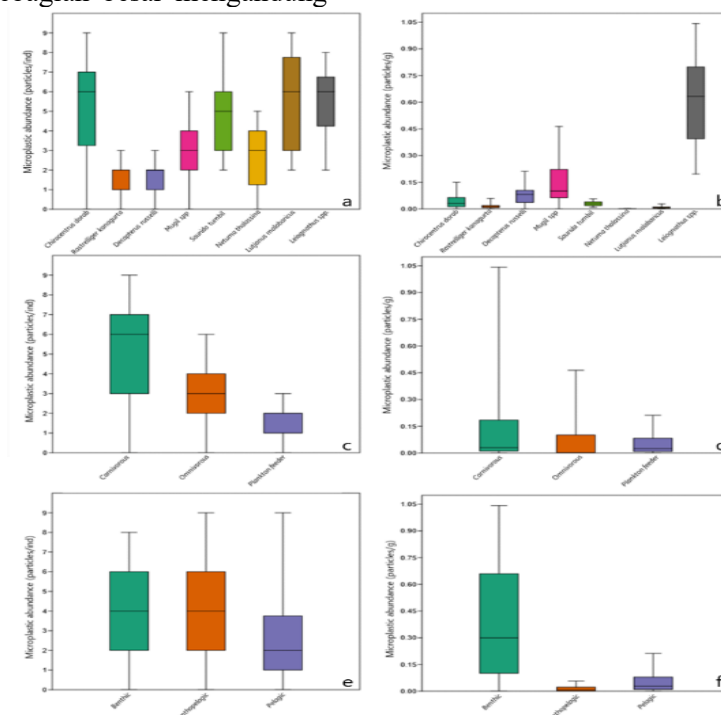
berbahan katun, masker, dan sarung tangan; semua wadah kaca dibilas air *ultrapure* sebelum digunakan. Larutan kimia difiltrasi sebelum aplikasi. Blanko prosedural (n = 5) diproses paralel dengan sampel; tidak ditemukan mikroplastik pada kontrol, menunjukkan tidak adanya kontaminasi silang.

Mikroplastik yang ditemukan dilaporkan dalam dua satuan, yakni jumlah partikel per individu (partikel/ind) dan jumlah partikel per berat jaringan (partikel/g). Kategori morfologi mencakup fragmen, serat, butiran, dan busa, sedangkan ukuran dikelompokkan ke dalam 200-500 μm , 500-1000 μm , 1000-2000 μm , dan 2000-5000 μm . Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak PAST4. Distribusi antar spesies, kebiasaan makan, dan habitat dianalisis dengan uji non-parametrik Kruskal-Wallis, diikuti uji post-hoc Mann-Whitney. Nilai $p < 0,05$ dianggap signifikan.

HASIL PENELITIAN

Dari total 160 ekor ikan yang dianalisis, 150 ekor (93,8%) mengandung mikroplastik pada organ insang maupun saluran pencernaan. Analisis organ menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan pada 81,3% sampel usus dan 79,4% sampel insang. Sebagian ikan ($\pm 13,8\%$) hanya menunjukkan kontaminasi pada salah satu organ, sementara sebagian besar mengandung

mikroplastik di keduanya. Rata-rata jumlah partikel pada usus ($1,79 \pm 1,19$ partikel/individu) hampir setara dengan insang ($1,86 \pm 1,30$ partikel/individu), tanpa perbedaan signifikan secara statistik ($p = 0,8673$). Temuan ini konsisten dengan literatur yang menyebutkan bahwa baik ingesti maupun inhalasi partikel berperan dalam akumulasi mikroplastik pada ikan (Horton et al., 2018; Su et al., 2019). Perbedaan kelimpahan antarspesies cukup mencolok (Gambar 2). *Lutjanus malabaricus* (snapper) dan *Leiognathus* spp. (pony fish) memiliki rata-rata tertinggi (>5 partikel/individu), sementara *Rastrelliger kanagurta* (Indian mackerel) menunjukkan kontaminasi terendah (<2 partikel/individu). Variasi ini kemungkinan terkait dengan perbedaan perilaku makan dan habitat. Spesies karnivora yang aktif berburu mangsa cenderung lebih banyak menelan mikroplastik, baik secara langsung karena keserupaan partikel dengan prey item, maupun secara tidak langsung melalui proses biomagnifikasi (Lopes et al., 2020; Justino et al., 2023). Prevalensi tinggi pada ikan pesisir menunjukkan paparan yang intensif terhadap polusi plastik di perairan dangkal Teluk Jakarta menerima masukan plastik secara terus-menerus dari 13 sungai besar dan limpasan perkotaan, serta aktivitas perikanan, pelayaran, dan pariwisata (Cordova et al., 2022; Harikrishnan et al., 2023).



Gambar 2. Kelimpahan mikroplastik pada ikan laut komersial untuk setiap spesies (a,b), kebiasaan makan (c,d) dan area makan (e,f) dalam partikel/ind dan partikel/g.

Mikroplastik dalam ikan komersial dari kebiasaan makan dan area makan yang berbeda

Analisis berdasarkan kebiasaan makan menunjukkan pola yang konsisten, ikan karnivora memiliki kontaminasi mikroplastik lebih tinggi dibandingkan omnivora dan planktivora (Gambar 2). Rata-rata jumlah partikel pada spesies karnivora adalah $5,13 \pm 2,14$ partikel per individu ($0,17 \pm 0,28$ partikel/g), sedangkan omnivora $2,88 \pm 1,56$ partikel/ind ($0,07 \pm 0,11$ partikel/g), dan planktivora hanya $1,48 \pm 0,88$ partikel/ind ($0,05 \pm 0,05$ partikel/g). Uji statistik menunjukkan perbedaan signifikan antar kelompok makan, terutama antara karnivora dengan omnivora. Tingginya kontaminasi pada ikan karnivora kemungkinan terkait dengan dua faktor utama. Pertama, mikroplastik dapat menyerupai mangsa alami dalam ukuran dan bentuk, sehingga meningkatkan peluang tertelan secara tidak sengaja (Lehtiniemi et al., 2018). Kedua, proses biomagnifikasi berperan, di mana partikel yang sudah masuk ke dalam tubuh organisme tingkat rendah akan berpindah ke predator yang lebih tinggi dalam rantai makanan (Justino et al., 2023). Hal ini menjelaskan mengapa spesies seperti *Lutjanus malabaricus* (snapper) dan *Saurida tumbil* (lizardfish), yang aktif memangsa ikan kecil dan krustasea, memiliki kelimpahan mikroplastik lebih tinggi dibandingkan planktivora seperti *Rastrelliger kanagurta*.

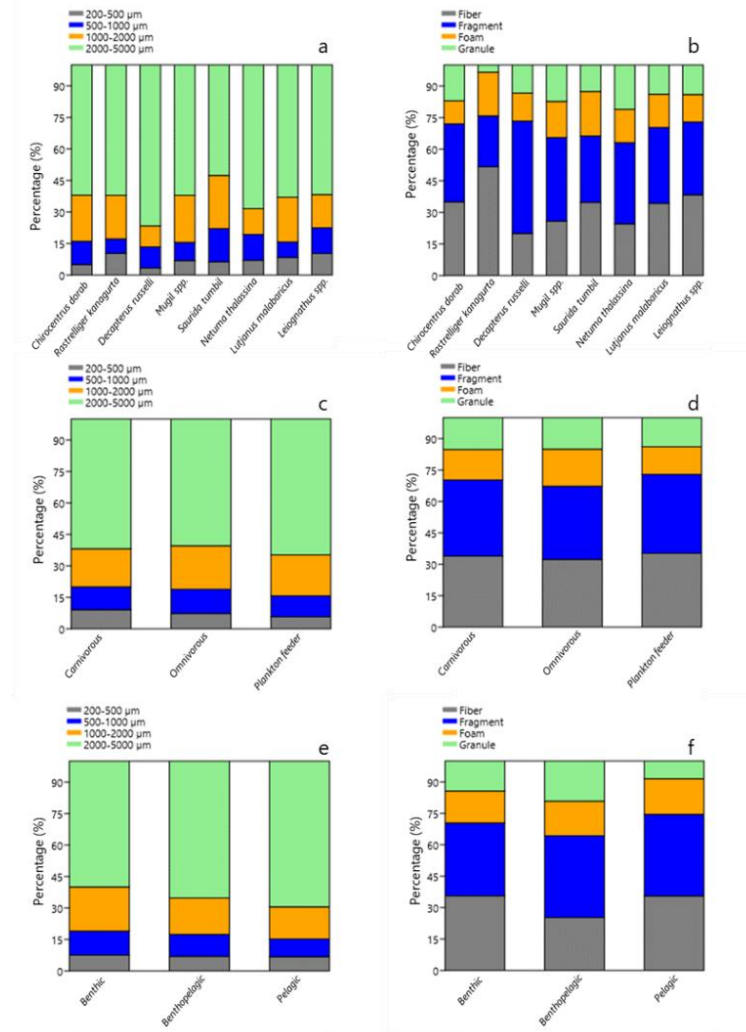
Dari sisi area makan, hasil menunjukkan bahwa ikan benthopelagik memiliki rata-rata kontaminasi tertinggi ($4,33 \pm 2,27$ partikel/ind), diikuti spesies bentik ($4,13 \pm 2,04$ partikel/ind), dan pelagis ($2,65 \pm 2,29$ partikel/ind). Perbedaan ini signifikan terutama antara kelompok pelagis dengan dua kelompok lainnya. Namun, bila dinormalisasi terhadap berat jaringan (partikel/g), ikan bentik justru menunjukkan nilai tertinggi ($0,60 \pm 0,24$

partikel/g), jauh di atas benthopelagik ($0,01 \pm 0,01$) dan pelagis ($0,05 \pm 0,05$). Di lingkungan eutrofik dengan masukan sedimen tinggi, partikel plastik cenderung tenggelam akibat melekatnya bahan organik, sehingga meningkatkan paparan bagi spesies dasar perairan (Karami et al., 2018). Hal ini menegaskan bahwa habitat dasar perairan, yang sering berfungsi sebagai tempat mencari makan, merupakan hotspot akumulasi mikroplastik.

Karakteristik mikroplastik di usus dan insang

Analisis ukuran menunjukkan bahwa mikroplastik yang ditemukan pada ikan komersial dari Teluk Jakarta memiliki rentang 205-5000 μm (Gambar 3). Distribusi ukuran tidak merata; mayoritas partikel (61,9%) berada pada kelas 2000-5000 μm , sedangkan partikel berukuran 1000-2000 μm menyumbang 19,7%, 500-1000 μm sebanyak 11,0%, dan 200-500 μm hanya 7,4%. Pola ini menunjukkan bahwa partikel berukuran relatif besar mendominasi, yang kemungkinan berasal dari degradasi parsial plastik sekali pakai, seperti kantong plastik, kemasan makanan, dan botol minuman (Simon-Sánchez et al., 2022; Zakiah et al., 2024). Partikel yang lebih kecil memiliki potensi lebih besar untuk berpindah ke jaringan internal ikan atau bahkan melewati sawar biologis (Krause et al., 2021).

Berdasarkan bentuk morfologi (Gambar 3), fragmen (36,1%) dan serat (33,6%) merupakan tipe dominan, diikuti busa (15,6%) dan butiran (14,7%). Dominasi fragmen menunjukkan kontribusi signifikan dari degradasi plastik sekali pakai, sementara tingginya proporsi serat diduga berasal dari limbah tekstil dan pakaian yang masuk melalui aliran sungai (Cordova et al., 2022; Sathish et al., 2020).



Gambar 3. Karakteristik mikroplastik yang ditemukan dari ikan laut komersial untuk setiap spesies

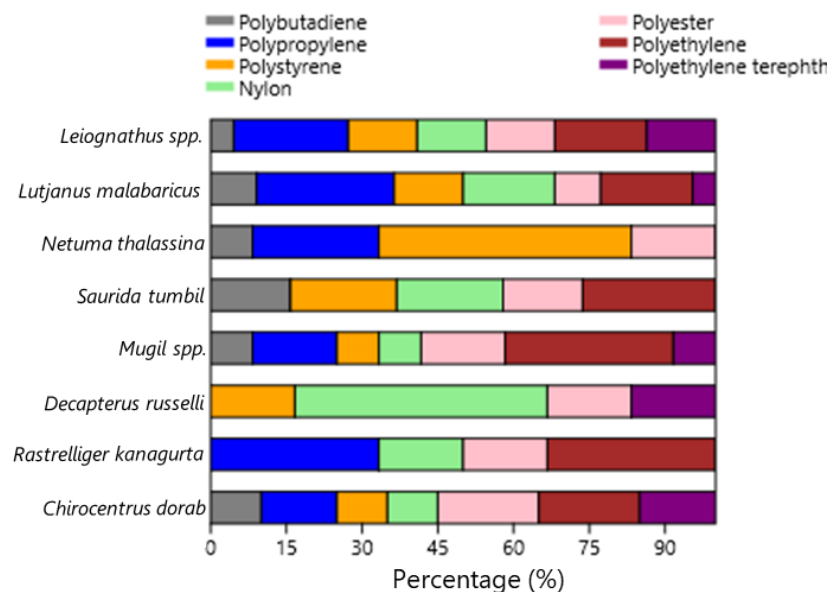
(a,b), kebiasaan makan (c,d) dan area makan (e,f) dalam hal ukuran dan bentuk.

Analisis organ menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan dalam distribusi ukuran maupun bentuk antara usus dan insang. Fragmen besar lebih sering ditemukan di usus, sedangkan serat terdistribusi hampir merata pada kedua organ. Hal ini sesuai dengan mekanisme paparan, yakni partikel fragmen cenderung tertelan bersama pakan, sedangkan serat halus lebih mudah terperangkap di insang akibat proses respirasi (Horton et al., 2018). Dengan demikian, kedua organ berperan penting sebagai jalur masuk utama mikroplastik. Kehadiran fragmen dan serat dalam jumlah besar memiliki implikasi ekologis yang serius. Fragmen seringkali berbentuk tajam dan dapat menyebabkan iritasi jaringan, sedangkan serat yang panjang dapat

menimbulkan obstruksi mekanis pada saluran pencernaan (Barboza et al., 2020).

Komposisi kimia mikroplastik yang dipulihkan di usus dan insang

Analisis ATR-FTIR dilakukan pada 119 partikel, sekitar 20% dari total 584 partikel yang diidentifikasi secara visual (Gambar 4). Analisis tersebut mewakili sampel dari berbagai spesies dan organ. Hasilnya mengungkapkan tujuh jenis polimer berbeda, yaitu polietilena (PE, 19,3%), polipropilena (PP, 17,7%), polistirena (PS, 16,8%), nilon (15,1%), poliester (15,1%), polibutadiena (8,4%), dan polietilen tereftalat (PET, 7,6%). Tidak ada polimer tunggal yang dominan secara absolut, melainkan distribusi relatif seimbang antar kelompok.



Gambar 4. Karakteristik mikroplastik yang ditemukan dari ikan laut komersial untuk setiap spesies (a,b), kebiasaan makan (c,d) dan area makan (e,f) dalam hal ukuran dan bentuk.

Keberagaman polimer ini mencerminkan sumber pencemar yang kompleks di Teluk Jakarta. PE dan PP, yang paling banyak terdeteksi, adalah plastik sekali pakai paling umum digunakan untuk kantong belanja, botol, dan kemasan makanan (Cordova et al., 2022). PS banyak berasal dari styrofoam kemasan, sedangkan poliester dan nilon berasosiasi dengan limbah tekstil dan jaring ikan. PET identik dengan botol minuman, sementara polibutadiena kemungkinan terkait dengan partikel ban kendaraan bermotor yang masuk ke sungai melalui limpasan permukaan (Int-Veen et al., 2021). Namun, di Teluk Jakarta yang eutrofik, partikel-partikel ini mudah beragregasi dengan bahan organik atau sedimen tersuspensi sehingga tenggelam ke dasar (Cordova & Nurhati, 2019). Hal ini menjelaskan mengapa spesies benthopelagik dan bentik menunjukkan kontaminasi relatif tinggi meskipun polimer dominan seharusnya lebih banyak berada di permukaan. Keberagaman polimer yang ditemukan dalam penelitian ini memperbesar kompleksitas risiko ekologis dan kesehatan. Variasi polimer memperluas spektrum risiko karena setiap jenis memiliki sifat degradasi dan interaksi kimia berbeda (Enders et al., 2015).

SIMPULAN DAN SARAN

Studi ini menunjukkan bahwa hampir seluruh ikan komersial dari Teluk Jakarta (93,8%) terkontaminasi mikroplastik, dengan rata-rata 3,65 partikel per individu (0,12 partikel/g). Tingkat kontaminasi lebih tinggi pada spesies karnivora dan benthopelagik dibandingkan omnivora, planktivora, maupun ikan pelagis. Partikel yang dominan berupa fragmen dan serat berukuran 2000-5000 μm , terutama terdiri atas polietilena, polipropilena, dan polistirena, yang umum berasal dari plastik sekali pakai, tekstil, serta aktivitas perikanan. Temuan ini menegaskan bahwa Teluk Jakarta merupakan hotspot pencemaran plastik dengan implikasi serius bagi keamanan pangan dan kesehatan masyarakat. Diperlukan pemantauan berkelanjutan, penilaian risiko yang terstandarisasi, dan kebijakan pengelolaan limbah plastik yang lebih efektif untuk menekan beban mikroplastik di perairan perkotaan dan melindungi keberlanjutan perikanan komersial.

DAFTAR RUJUKAN

- Ajith N, Arumugam S, Parthasarathy S, Manupoori S, Janakiraman S. 2020. Global distribution of microplastics and its impact on marine environment—a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(21):25970-25986. doi:

- <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09015-5>
- Barboza LGA, Lopes C, Oliveira P, Bessa F, Otero V, Henriques B, Raimundo J, Caetano M, Vale C, Guilhermino L. 2020. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks. *Science of the Total Environment*. 717:134625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>
- Barceló D, Picó Y, Alfathan AH. 2023. Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 101:104204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104204>
- BPS. 2024. Rata-rata konsumsi ikan per kapita per minggu menurut provinsi. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Brennecke D, Duarte B, Paiva F, Caçador I, Canning-Clode J. 2016. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 178:189-195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>
- Cordova MR, Nurhati IS. 2019. Major sources and monthly variations in the release of land-derived marine debris from the Greater Jakarta area, Indonesia. *Scientific Reports*. 9:18730. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55065-2>
- Cordova MR, Riani E, Shiimoto A. 2020. Microplastics ingestion by blue panchax fish (*Aplocheilichthys* sp.) from Ciliwung Estuary, Jakarta, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 161:111763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111763>
- Cordova MR, Ulumuddin YI, Purbonegoro T, Puspitasari R, Afiani D, Rositasari R, dkk. 2022. [artikel MPB 2022; sesuai file pertama]. *Marine Pollution Bulletin*. 181:113926. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113926>
- Cordova MR, Ulumuddin YI, Purbonegoro T, Puspitasari R, Rositasari R, Yogaswara D, Kaisupy MT, Wibowo SPA, Subandi R, Sani SY, Sulistyowati S, et al. 2024. Abundance and characterization of microplastic pollution in wildlife reserve, Ramsar site, and national park in northern Jakarta and Seribu Islands, Indonesia. *Chemosphere*. 348:140761. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140761>
- De Frond H, Rubinvitz R, Rochman CM. 2021. μ ATR-FTIR spectral libraries of plastic particles (FLOPP and FLOPP-e) for the analysis of microplastics. *Analytical Chemistry*. 93(48):15878-15885. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c02549>
- Enders K, Lenz R, Stedmon CA, Nielsen TG. 2015. Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin*. 100(1):70–81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.027>
- Harikrishnan S, Chithra E, Sasi N, Ramya A, Chitra PS. 2023. Microplastics in edible fish tissues and human health risk assessment: a systematic review. *Chemosphere*. 313:137486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137486>
- Horton AA, Jürgens MD, Lahive E, van Bodegom PM, Vijver MG. 2018. Influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by roach (*Rutilus rutilus*) in the River Thames. *Environmental Pollution*. 236:188-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.044>
- Ineyathendral TR, Govindarajulu B, Priyanka R. 2023. Characterization and distribution of microplastics in commercial fishes along Chennai coast. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. 20:100898. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100898>
- Int-Veen I, Nogueira P, Isigkeit J, Hanel R, Kammann U. 2021. Polybutadiene particles as tire wear in aquatic

- environments. *Marine Pollution Bulletin*. 172:112876. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112876>
- Justino AKS, Ferreira GVB, Fauvelle V, Schmidt N, Lenoble V, Pelage L, Martins K, Travassos P, Lucena-Frédou F. 2023. Evidence of microplastic trophic transfer in tuna and large pelagic species in the Tropical Atlantic. *Environmental Pollution*. 327:121532. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121532>
- Karami A, Golieskardi A, Choo CK, Larat V, Karbalaei S, Salamatinia B. 2018. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Science of the Total Environment*. 612:1380-1386. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.005>
- Krause S, Baranov V, Nel HA, Drummond JD, Kukkola A, Hoellein T, et al. 2021. Environmental controls of microplastic uptake and biomagnification in freshwater food webs. *Environmental Pollution*. 268:115750. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115750>
- Lehtiniemi M, Hartikainen S, Näkki P, Engström-Öst J, Koistinen A, Setälä O. 2018. Size matters more than shape: Ingestion of primary and secondary microplastics by small predators. *Food Webs*. 17:e00097. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2018.e00097>
- Lopes C, Raimundo J, Caetano M, Garrido S. 2020. Microplastic ingestion and diet composition of planktivorous fish. *Limnology and Oceanography Letters*. 5(1):103–112. doi: <https://doi.org/10.1002/lol2.10144>
- Lusher AL, McHugh M, Thompson RC. 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*. 67(1–2):94–99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>
- Lyu W, Chen Q, Cheng L, Zhou W. 2020. Microplastics in aquaculture systems and their transfer in the food chain. *Handbook of Environmental Chemistry*. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9823-2_455
- Omeyer LCM, Duncan EM, Bowdery H, Tilley D, Abreo NAS, Boxall M, dkk. 2022. A global synthesis of marine megafauna interactions with plastic pollution. *Nature Communications*. 13:2719. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30134-z>
- Pironti C, Notarstefano V, Ricciardi M, Motta O, Giorgini E, Montano L. 2023. First evidence of microplastics in human urine: a preliminary study. *Toxics*. 11(1):32. doi: <https://doi.org/10.3390/toxics11010040>
- Sathish N, Jeyasanta KI, Patterson J. 2020. Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(36):45900–45918. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10479-7>
- Simon-Sánchez L, Martin J, Grelaud M, Lorenz C, Garcia-Orellana J, Vianello A, dkk. 2022. Microplastic preservation in a coastal sedimentary record. *Environmental Science & Technology*. 56(23):16780–16788. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04264>
- Su L, Deng H, Li B, Chen Q, Pettigrove V, Wu C, Shi H. 2019. Occurrence of microplastic in organs of fish from East China. *Journal of Hazardous Materials*. 365:716-724. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.024>
- Teixeira CM, Silva PM. 2024. The huge dilemma: how to increase seafood consumption without compromising sustainability? *International Journal of Food Science and Technology*. 59(2):661-672. doi: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16841>
- Wright SL, Kelly FJ. 2017. Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science & Technology*. 51(12):6634-6647. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Zakiah YS, Riani E, Taryono, Cordova MR. 2024. Assessment of microplastic

contamination in a tropical estuary
[judul sesuai file pertama].
Environmental Forensics. 25:1–14. doi:
[https://doi.org/10.1080/15275922.2023.](https://doi.org/10.1080/15275922.2023.2297434)
2297434