Indonesian Journal of Oceanography
November 2026, Vol 8 No 4: 476 - 486
ISSN: 2714-8726

Karakteristik dan Dinamika Mikroplastik di Muara Sungai Loji, Pekalongan, Jawa Tengah

Muhammad Satya Imantaka, Aris Ismanto, Muhammad Zainuri, Elis Indrayanti*

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais. Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: *indrayantielis@gmail.com

Abstrak

Muara Sungai Loji merupakan perairan transisi antara sistem sungai dan laut yang menerima masukan material dari aktivitas daratan dan pesisir, termasuk limbah plastik yang berpotensi terfragmentasi menjadi mikroplastik. Kondisi hidrodinamika yang dipengaruhi oleh interaksi arus pasang surut menyebabkan kawasan ini berperan sebagai jalur transport sekaligus zona akumulasi partikel. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik dan dinamika mikroplastik di Muara Sungai Loji, Pekalongan, Jawa Tengah. Mikroplastik yang dianalisis adalah mikroplastik yang terdapat dalam air laut yang diambil secara in situ pada 20 stasiun pengamatan di bulan Mei 2025. Karakteristik mikroplastik diperoleh melalui penyaringan, *Wet Peroxide Oxidation* (WPO), dan selanjutnya diidentifikasi secara mikroskopis untuk memperoleh data jenis, ukuran, warna, dan konsentrasi mikroplastik. Sedangkan dinamika mikroplastik dianalisis dengan menggunakan pemodelan hidrodinamika dua dimensi dengan pelacakan partikel pasif (mikroplastik). Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan pada seluruh stasiun pengamatan dengan dominasi bentuk pellet, fragmen, dan fiber. Distribusi mikroplastik cenderung lebih tinggi di area sekitar muara, sedangkan pada perairan yang lebih terbuka nilainya relatif lebih rendah. Hasil distribusi partikel, menunjukkan pada kondisi pasang partikel (mikroplastik) cenderung tertahan di area sekitar muara, sedangkan pada kondisi surut terdorong menuju perairan pesisir. Dinamika arus dan pasang surut memengaruhi distribusi mikroplastik di Muara Sungai Loji.

Kata kunci: Mikroplastik, Muara Sungai, Arus Pasang Surut, Pemodelan Hidrodinamika, Pelacakan Partikel

Abstract

Characteristics and Dynamics of Microplastics in the Loji River Estuary, Pekalongan, Central Java

The Loji River Estuary is a transitional water between river and marine systems that receives input of materials from terrestrial and coastal activities, including plastic waste with the potential to fragment into microplastics. The hydrodynamic conditions influenced by tidal current interactions cause this area to function both as a transport pathway and a particle accumulation zone. This study aims to examine the characteristics and dynamics of microplastics in the Loji River Estuary, Pekalongan, Central Java. The analyzed microplastics are those present in seawater samples collected in situ at 20 observation stations in May 2025. Microplastic characteristics were obtained through filtration, Wet Peroxide Oxidation (WPO), and subsequent microscopic identification to gather data on type, size, color, and concentration. Meanwhile, microplastic dynamics were analyzed using two-dimensional hydrodynamic modeling with particle (microplastic) tracking. The results show that microplastics were found at all observation stations, predominantly in the form of pellets, fragments, and fibers. Microplastic distribution tended to be higher in areas around the estuary, while concentrations in more open waters were relatively lower. Particle distribution results show that during high tide, particles (microplastics) tend to be retained around the estuary, whereas during low tide, they are pushed toward coastal waters. Current and tidal dynamics influence the distribution of microplastics in the Loji River Estuary.

Keywords: *Microplastics, River Estuary, Tidal Currents, Hydrodynamic Modeling, Particle Tracking*

PENDAHULUAN

Mikroplastik pertama kali diperkenalkan oleh Thompson et al. (2004) untuk menggambarkan akumulasi potongan plastik mikroskopis di sedimen dan kolom air laut, yang kemudian diberi batasan ukuran atas kurang dari 5 mm oleh Arthur et al. (2009). Frias and Nash (2019), mendefinisikan mikroplastik sebagai partikel padat sintetis atau matriks polimer apa pun, baik berbentuk beraturan maupun tidak beraturan, dengan rentang ukuran 1 µm hingga 5 mm yang berasal dari proses manufaktur primer maupun sekunder serta bersifat tidak larut dalam air. Mikroplastik dapat memasuki sungai melalui drainase perkotaan, limpasan permukaan, pembuangan domestik, aktivitas industri, dan kegiatan perikanan. Limbah plastik dari aktivitas domestik dan industri

https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce
DOI: 10.14710/ijoce.v8i4.31737
Diterima/Received: 02-04-2026
Disetujui/Accepted: 18-11-2026

 ISSN: 2714-8726

umumnya masuk ke badan sungai melalui saluran drainase, pembuangan langsung, serta limpasan permukaan, kemudian terbawa menuju wilayah muara dan perairan pesisir. Kondisi ini menjadikan kawasan perairan sekitar muara sungai sebagai area yang rentan terhadap masuknya berbagai material pencemar dari daratan. Setelah memasuki sistem sungai–pesisir, sebarannya tidak selalu mengikuti intensitas sumber secara langsung karena ditentukan pula oleh debit, pasang surut, pencampuran, salinitas, interaksi dengan sedimen, dan karakteristik partikel. Penelitian pada Raritan–Hudson menunjukkan adanya perbedaan distribusi menurut kelas ukuran dan jalur masukan (Bailey et al., 2021), sedangkan kajian di Delaware menggabungkan pemantauan lapangan dan pemodelan arus untuk menelusuri perpindahan mikroplastik (Akbari et al., 2024).

Muara berperan sebagai jalur ekspor sekaligus zona retensi sementara. Pada sistem Tapi–Phumduang–Bandon Bay, aliran balik saat pasang menyebabkan sebagian mikroplastik yang semula menuju teluk kembali terdorong ke sungai (Chinfak et al., 2021). Kajian di Chao Phraya menunjukkan deposisi dan resuspensi partikel yang berubah sepanjang siklus pasang surut (Vibhatabandhu et al., 2024), sementara studi berbasis pemodelan menegaskan bahwa respons retensi bersifat spesifik terhadap geometri dan kondisi hidrodinamika setempat (Cardoso-Mohedano et al., 2023; Chubarenko et al., 2025). Penelitian di beberapa muara sungai di Indonesia menunjukkan bahwa mikroplastik umumnya didominasi oleh jenis fiber dan fragmen yang berkaitan erat dengan aktivitas domestik dan perikanan (Putri *et al.,* 2024). Keberadaan mikroplastik di perairan muara berpotensi menimbulkan dampak ekologis. Mikroplastik dapat tertelan oleh organisme akuatik seperti plankton, ikan, dan organisme bentik, yang berpotensi mengganggu fungsi fisiologis biota. Selain itu, mikroplastik memiliki kemampuan mengadsorpsi senyawa kimia berbahaya serta mikroorganisme patogen, sehingga berpotensi masuk ke dalam rantai makanan.

Pekalongan merupakan wilayah pesisir dengan kegiatan permukiman, perdagangan, batik, dan perikanan yang berpotensi memasok material plastik ke aliran sungai. Muara Sungai Loji merupakan salah satu muara utama di Kota Pekalongan yang menerima aliran dari beberapa sungai dan saluran air di sekitarnya. Karakteristik topografi wilayah Pekalongan yang relatif landai menyebabkan aliran sungai cenderung melambat ketika mendekati muara, sehingga material tersuspensi yang terbawa dari hulu berpotensi mengalami pengendapan dan akumulasi. Kajian terdahulu di Muara Sungai Bedahan menemukan variasi kelimpahan mikroplastik pada air dan sedimen (Damanik et al., 2024). Secara khusus, Azhary et al. (2025) telah meneliti Muara Sungai Loji menggunakan 11 stasiun, observasi air dan sedimen, serta pemodelan hidrodinamika dan pelacakan partikel; hasil penelitian melaporkan bahwa mikroplastik didominasi bentuk fragmen dan warna yang dominan adalah warna hitam. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada jumlah stasiun yang lebih banyak yaitu 20 stasiun serta periode pengambilan sampel yang lebih lama.

Bentuk, ukuran, massa jenis, serta perubahan sifat apung akibat biofouling memengaruhi nasib partikel. Simulasi berbasis karakteristik polimer menunjukkan bahwa partikel terapung, netral, dan tenggelam dapat memiliki distribusi berbeda (Summers et al., 2023; Zeng et al., 2024; Bai et al., 2025). Identifikasi secara visual terhadap pellet, film, fragmen, dan serat dapat menggambarkan morfologi, tetapi belum dapat memastikan jenis polimer atau sumbernya. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan karakteristik (bentuk, ukuran, dan warna) mikroplastik pada muara serta dinamika sebarannya pada kondisi muka air yang berbeda yaitu konisi pasang dan surut.

MATERI DAN METODE

Area Studi dan Stasiun Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air dilaksanakan pada bulan Mei 2025 di 20 stasiun yang tersebar dari Muara Sungai Loji, Pekalongan, Jawa Tengah menuju ke arah laut pada 109,67–109,69 BT dan 6,88–6,90 LS. (Gambar 1). Pemilihan 20 stasiun bertujuan untuk memperlihatkan distribusi lokasi secara heterogen terhadap fase pasang surut. Penempatan stasiun juga mempertimbangkan variasi zona hidrodinamika di wilayah muara, seperti daerah dengan pengaruh arus sungai yang dominan, zona percampuran arus sungai dan laut, serta perairan pesisir dengan dominasi arus laut.

Pengambilan Sampel Air

Pengambilan sampel air dilakukan berdasarkan metode Viršek *et al*. (2016) yang sudah disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Proses pengambilan dimulai dengan memasang plankton net di sisi kapal agar air permukaan bisa tersaring dengan baik. Jaring dipasang dengan jarak sekitar 1–2 meter dari badan kapal supaya air yang masuk tidak terganggu oleh pusaran akibat pergerakan kapal. Sebelum penyaringan dimulai, posisi

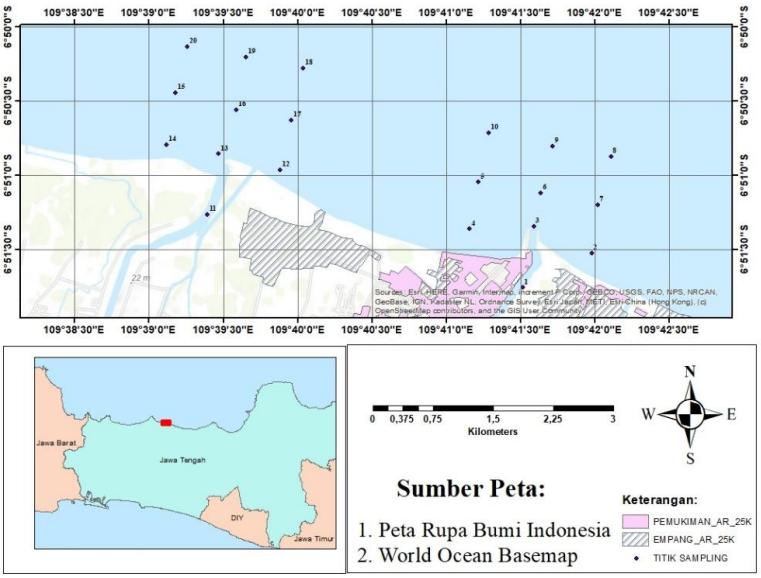
 ISSN: 2714-8726

awal dan waktu pengambilan dicatat menggunakan GPS. Kapal dijalankan dengan kecepatan yang relatif stabil sampai volume air yang tersaring kurang lebih mencapai 10 liter. Selama proses ini, kondisi perairan dan pergerakan kapal tetap diperhatikan agar hasil penyaringan tidak terganggu. Setelah volume air tercapai, kapal dihentikan dan plankton net diangkat perlahan dari air. Posisi akhir pengambilan sampel kembali dicatat, termasuk panjang lintasan pengambilan dan kecepatan rata-rata kapal yang terbaca dari baling-baling pada plankton net. Jaring kemudian dibilas menggunakan air laut dari bagian luar dengan arah dari mulut jaring ke bawah untuk melepaskan partikel yang menempel. Pembilasan dilakukan dengan hati-hati dan tidak melalui bukaan jaring agar sampel tidak tercemar. Sampel hasil penyaringan selanjutnya dituangkan ke dalam botol plastik berukuran 1 liter menggunakan corong yang bersih. Botol ditutup rapat, dibersihkan bagian luarnya, diberi label, lalu disimpan di dalam coolbox sampai dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut.

Analisis Mikroplastik

Metode analisis mikroplastik dalam penelitian ini mengacu pada pedoman NOAA Marine Debris Program (Masura et al., 2015), dengan penyesuaian teknis pada tahap filtrasi sesuai kondisi perairan muara dan fasilitas laboratorium yang tersedia, tanpa mengubah prinsip utama analisis mikroplastik. Tahapan awal dimulai dengan penyaringan sampel air menggunakan pompa vakum menggunakan kertas saring millipore berukuran 0,45 µm untuk menangkap partikel padatan tersuspensi, termasuk mikroplastik. Guna meminimalkan kontaminasi eksternal maka setelah proses penyaringan, kertas saring dibungkus menggunakan aluminium foil, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu kurang lebih 90°C selama ±24 jam hingga mencapai kondisi kering konstan. Kertas saring kosong ditimbang terlebih dahulu sebagai berat awal, kemudian ditimbang kembali setelah penyaringan. Selisih kedua penimbangan tersebut digunakan untuk menentukan massa total padatan tersuspensi.

Material padatan hasil penyaringan selanjutnya diproses melalui teknik *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) untuk menghilangkan bahan organik yang masih menempel. Pada tahap ini, sampel dicampur dengan larutan Fe(II) sebagai katalis dan hidrogen peroksida (H_2O_2), kemudian dipanaskan hingga suhu sekitar 75°C disertai pengadukan. Penambahan H_2O_2 dilakukan secara bertahap hingga tidak terlihat lagi sisa bahan organik. Tahap berikutnya adalah pemisahan dengan menambahkan larutan NaCl untuk meningkatkan densitas air sehingga partikel mikroplastik dapat terpisah dari material mineral yang lebih berat. Campuran dibiarkan mengendap selama ±24 jam, kemudian fraksi partikel yang mengapung disaring kembali. Kertas saring hasil pemisahan densitas selanjutnya dikeringkan dalam oven sebelum dilakukan tahap identifikasi. Identifikasi mikroplastik dilakukan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40x. Partikel yang teridentifikasi sebagai mikroplastik dipisahkan secara manual menggunakan pinset dan ditempatkan ke dalam cawan petri untuk diamati berdasarkan karakteristik visual, seperti bentuk dan warna.

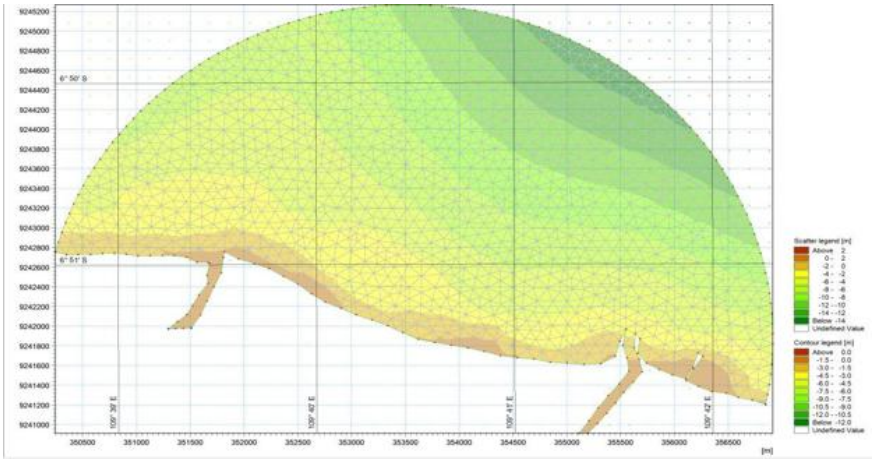


Gambar 1. Lokasi penelitian dan 20 stasiun pengambilan sampel di Muara Sungai Loji, Pekalongan

 ISSN: 2714-8726

Tabel 1. Input Data Model

No	Data	Sumber
1.	Mikroplastik (dari sampel air)	Pangukuran Lapangan
2.	Garis Pantai	BIG (https://tanahair.indonesia.go.id)
3.	Batimetri	BATNAS – BIG (https://tanahair.indonesia.go.id/batnas)
4.	Angin	Marine Copernicus (https://marine.copernicus.eu)
5.	Debit Sungai	Pusdatin SDA / Pusdatru (https://data.pu.go.id)
6.	Pasang Surut	SRGI – BIG (https://srgi.big.go.id/tides)



Gambar 2. Domain Pemodelan dan Konfigurasi Mesh Hidrodinamika di Muara Sungai Loji, Pekalongan

Model Pelacakan Partikel

Input model yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Garis pantai digunakan untuk mendefinisikan batas darat–laut, sedangkan data batimetri untuk menggambarkan variasi kedalaman perairan yang berpengaruh terhadap pola arus. Kedua data tersebut diolah sebagai acuan penentuan domain pemodelan (Gambar 2). Simulasi pelacakan partikel dimulai dengan memodelkan hidrodinamika arus dua dimensi untuk periode bulan Maret - Mei 2025, yang merepresentasikan musim peralihan I sekaligus menyesuaikan dengan waktu pengambilan sampel mikroplastik di lapangan. Validasi model dilakukan dengan membandingkan elevasi muka air laut hasil simulasi model dengan data pasang surut observasi dari BIG. Keluaran model hidrodinamika ini kemudian digunakan sebagai input utama untuk menentukan arah dan kecepatan pergerakan partikel mikroplastik. Partikel dilepaskan dari titik-titik yang mewakili 20 stasiun pengambilan sampel mikroplastik di perairan Muara Sungai Loji. Jumlah partikel yang dimasukkan ke dalam simulasi ditentukan berdasarkan total partikel mikroplastik hasil hasil pengukuran lapangan, partikel diperlakukan sebagai partikel pasif. Dengan asumsi tersebut, pergerakan partikel sepenuhnya dikontrol oleh arah dan kecepatan arus hasil pemodelan hidrodinamika tanpa mempertimbangkan pengaruh gaya tambahan lainnya

Simulasi sebaran konsentrasi mikroplastik dilakukan dengan pendekatan persamaan transpor adveksi-dispersi dua dimensi (DHI, 2017; Wulandari et al., 2021). Persamaan pengatur (*governing equation*) yang digunakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} + v\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x\frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y\frac{\partial C}{\partial y}\right) + \alpha_1 C + \alpha_2$$

dimana C = konsentrasi mikroplastik (kg/m3), t = waktu simulasi (s), u,v = komponen kecepatan arus pada arah sumbu- x dan sumbu-y (m/s), Dx, Dy = koefisien dispersi turbulen pada arah sumbu- x dan sumbu-y (m^2/s), α_1= koefisien suku sumber (*source term*) untuk proses erosi dan deposisi (s^{-1}), α_2 = konsentrasi kesetimbangan pada suku sumber erosi-deposisi ($kg/m^3/s$), dengan nilai $\alpha_2 = - \alpha_1 C_{eq}$, C_{eq} = konsentrasi kesetimbangan partikel (kg/m^3)

Dinamika mikroplastik di Muara Sungai Loji dianalisis dengan membandingkan distribusi mikroplastik hasil pengamatan lapangan pada 20 stasiun dengan lintasan partikel hasil simulasi pada kondisi pasang dan

 ISSN: 2714-8726

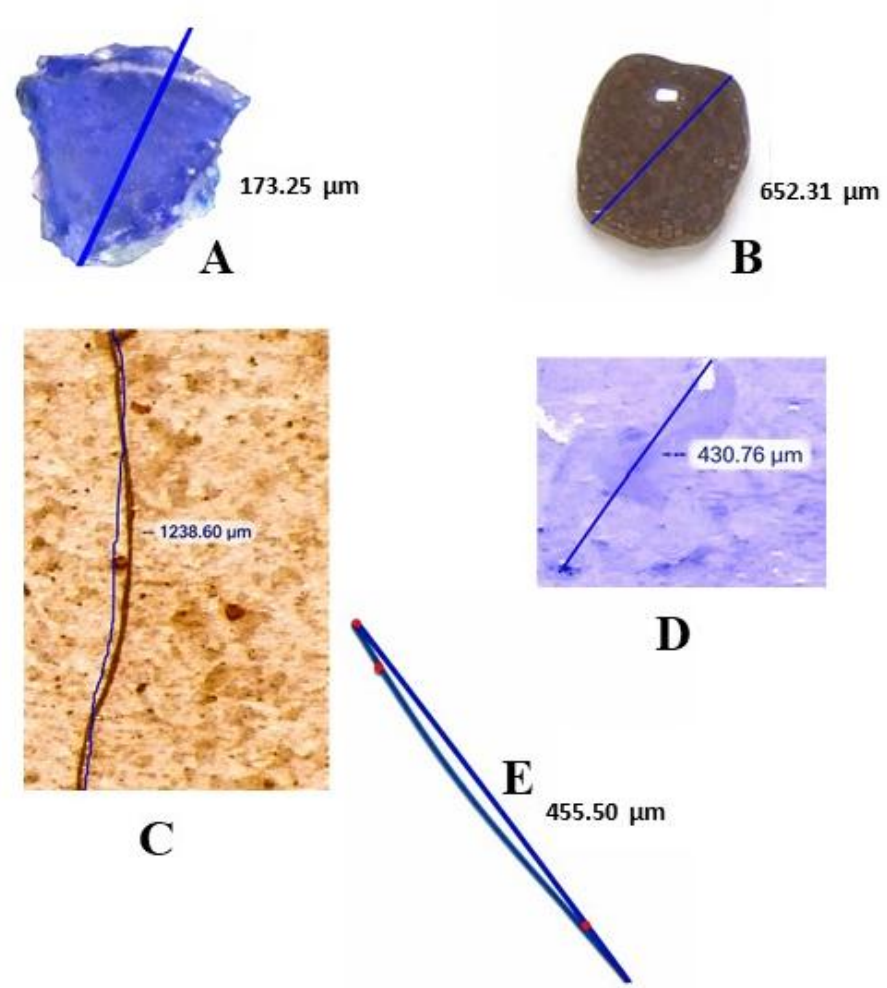
surut. Pendekatan ini tidak menggunakan analisis statistik kuantitatif, melainkan penekanan pada interpretasi spasial antara hasil observasi dan hasil simulasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis Mikroplastik

Karakteristik mikroplastik yang diamati meliputi jenis, ukuran dan warna. Mikroplastik yang ditemukan di Muara Sungai Loji menunjukkan variasi morfologi yang terdiri atas fiber, fragmen, pellet, filamen, dan film (Gambar 3). Mikroplastik berbentuk fiber tampak sebagai partikel memanjang menyerupai serat dengan diameter relatif kecil, yang mengindikasikan kontribusi aktivitas domestik dan perikanan sebagai sumber utama partikel serat sintetis di wilayah muara. Fragmen memperlihatkan bentuk tidak beraturan dengan tepi pecahan yang jelas, menunjukkan adanya proses degradasi fisik dari plastik berukuran lebih besar sebelum tertransport ke lokasi penelitian. Mikroplastik berbentuk pellet memiliki morfologi relatif bulat dan kompak, yang mengindikasikan kemungkinan berasal dari bahan baku plastik atau produk plastik yang mengalami fragmentasi lanjutan. Selain itu, filamen terlihat lebih kaku dan memanjang dengan diameter yang relatif seragam, sedangkan film tampak sebagai lembaran tipis yang berasosiasi dengan degradasi plastik kemasan.

Variasi bentuk mikroplastik tersebut menunjukkan bahwa perairan Muara Sungai Loji, Pekalongan menerima input partikel dari berbagai sumber serta mengalami proses fragmentasi dan transport yang dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika estuari. Hal ini juga mengindikasikan kuatnya pengaruh aktivitas domestik dan perikanan di sekitar Sungai Loji. Keberadaan fragmen dan film menunjukkan adanya proses degradasi sampah plastik berukuran besar yang mengalami pelapukan secara fisik di lingkungan perairan muara. (Putri *et al.,* 2024).



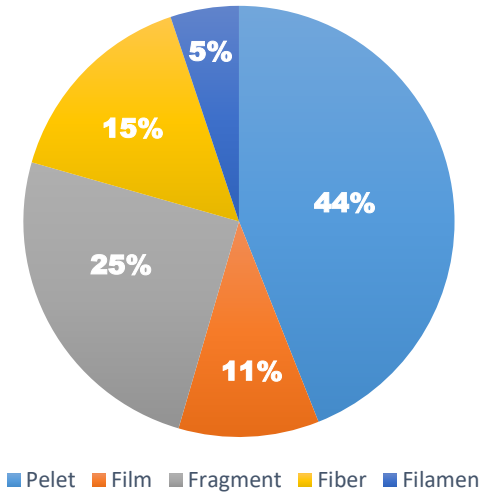
Gambar 3. Jenis Mikroplastik di Muara Sungai Loji, Pekalongan (A) fragmen, (B) Pellet, (C) Fiber, (D) Film, (E) Filamen

 ISSN: 2714-8726

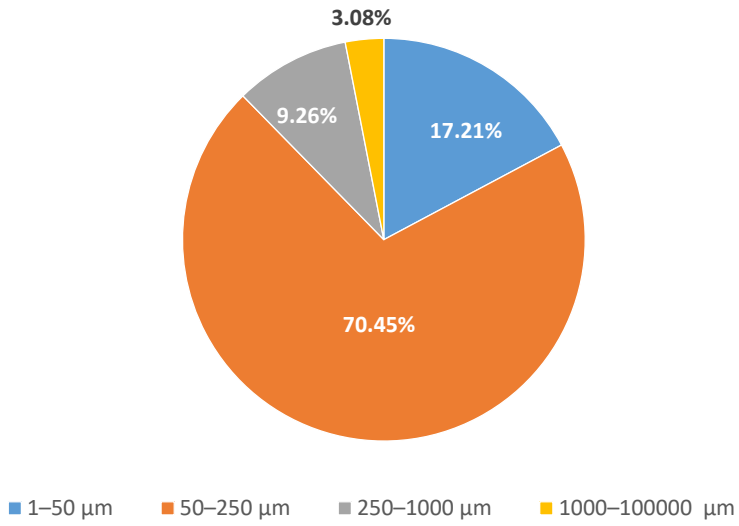
Grafik komposisi morfologi menunjukkan dominasi pellet sebesar 43,99%, diikuti fragmen, fiber, film dan filamen (Gambar 4). Dominasi pellet menunjukkan kecenderungan partikel berbentuk butiran lebih banyak terdeteksi dalam kolom air dibandingkan jenis lainnya. Pellet menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi di beberapa lokasi, sementara fiber, fragment, dan film cenderung berfluktuasi dengan pola sebaran yang tidak seragam.

Ukuran Mikroplastik

Mikroplastik pada sampel air yang ditemukan dikelompokkan ke dalam empat kelas ukuran, yaitu 1–50 µm, 50–250 µm, 250–1000 µm, dan 1–10 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa ukuran 50–250 µm menjadi kelas paling dominan dengan persentase sebesar 70,45% seperti tersaji pada Gambar 5. Dominasi ukuran menengah ini menunjukkan kecenderungan partikel mikroplastik berada pada fase fragmentasi lanjut yang masih banyak terdeteksi dalam kolom air.

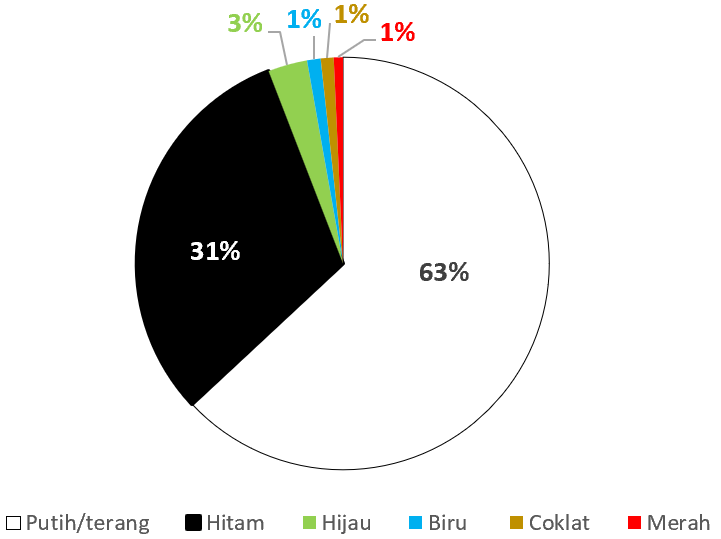


Gambar 4. Presentase Jenis Mikroplastik pada Sampel Air



Gambar 5. Presentase Ukuran Mikroplastik pada Sampel Air

 ISSN: 2714-8726



Gambar 6. Presentase Warna Mikroplastik pada Sampel Air

Warna Mikroplastik

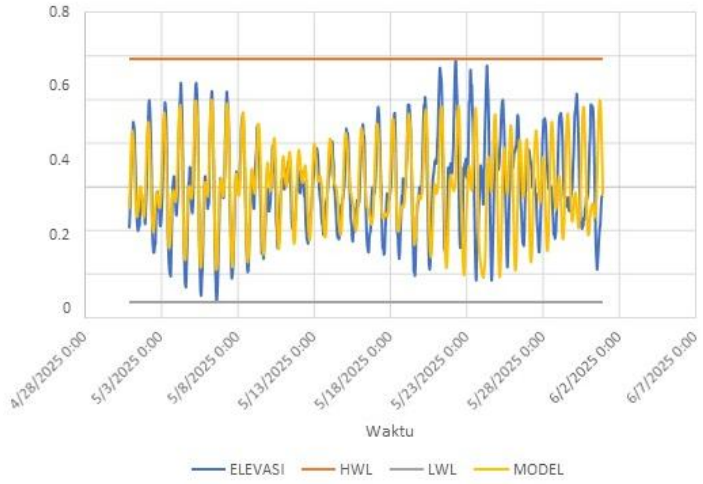
Berdasarkan klasifikasi warna, mikroplastik pada sampel air didominasi oleh warna putih/terang sebesar 63,07% dan merah (0,72%) memiliki proporsi yang relatif paling sedikit (Gambar 6). Dominasi warna terang dan gelap menunjukkan kecenderungan partikel mikroplastik yang terdeteksi memiliki karakteristik visual yang kontras dalam kolom air. Grafik sebaran warna per lokasi sampling memperlihatkan bahwa putih/terang dan hitam muncul hampir di seluruh stasiun dengan nilai yang lebih tinggi dibandingkan warna lainnya, menunjukkan pola distribusi yang lebih merata. Sebaliknya, warna hijau, biru, coklat, dan merah hanya muncul pada beberapa titik dengan jumlah terbatas, sehingga menunjukkan variasi distribusi spasial yang tidak seragam di area penelitian. Warna putih atau bening umumnya berkaitan dengan plastik kemasan yang telah mengalami proses pelapukan, sedangkan warna hitam sering diasosiasikan dengan plastik berbahan karet atau material teknis. Variasi warna tersebut mencerminkan keberagaman sumber plastik serta proses degradasi yang terjadi di lingkungan muara. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Muara Sungai Loji berfungsi sebagai zona akumulasi mikroplastik yang dipengaruhi oleh kombinasi sumber daratan, aktivitas manusia di sekitar sungai dan pesisir, serta dinamika arus pasang surut. Pola sebaran mikroplastik yang relatif merata, baik dari sisi jumlah, bentuk, ukuran, maupun warna, menegaskan bahwa arus pasang surut memiliki peran penting dalam mengontrol distribusi mikroplastik di kawasan muara. Temuan ini sejalan dengan penelitian Pamungkas et al. (2022) di Muara Sungai Wulan, Demak, yang menyatakan bahwa muara sungai merupakan area transisi yang efektif dalam menahan dan mengakumulasi mikroplastik dari berbagai sumber.

Validasi Model Hidrodinamika Arus

Hasil pemodelan hidrodinamika menunjukkan bahwa pergerakan arus di Muara Sungai Loji didominasi oleh pola bolak-balik yang mengikuti fase pasang dan surut. Pada saat pasang, arus bergerak dari laut menuju ke arah daratan sehingga massa air laut masuk ke kawasan muara dan bercampur dengan aliran air sungai. Sebaliknya, pada saat surut, arus bergerak keluar dari kawasan muara menuju laut. Kecepatan arus relatif lebih tinggi pada alur utama sungai dan area yang terhubung langsung dengan laut, sedangkan pada bagian perairan yang lebih melebar atau terlindung, kecepatan arus cenderung lebih rendah. Variasi ini menunjukkan bahwa kondisi bathimetri dan bentuk kawasan muara berpengaruh terhadap arah serta intensitas arus pasang surut. Dominasi pasang surut sebagai penggerak utama sirkulasi perairan muara juga ditegaskan oleh Cahyani et al. (2024), yang menyatakan bahwa arus pasang surut merupakan faktor utama dalam mengontrol dinamika perairan muara, sementara angin berperan sebagai faktor tambahan yang memodifikasi pola arus permukaan.

Grafik validasi elevasi pasang surut menunjukkan bahwa hasil model mengikuti pola elevasi pasang surut observasi (BIG) selama periode simulasi seperti tersaji pada Gambar 7.

 ISSN: 2714-8726



Gambar 7. Grafik Perbandingan Elevasi Pasang Surut Hasil Model dan BIG

Hasil Simulasi Pelacakan Partikel Pada Saat Pasang dan Surut

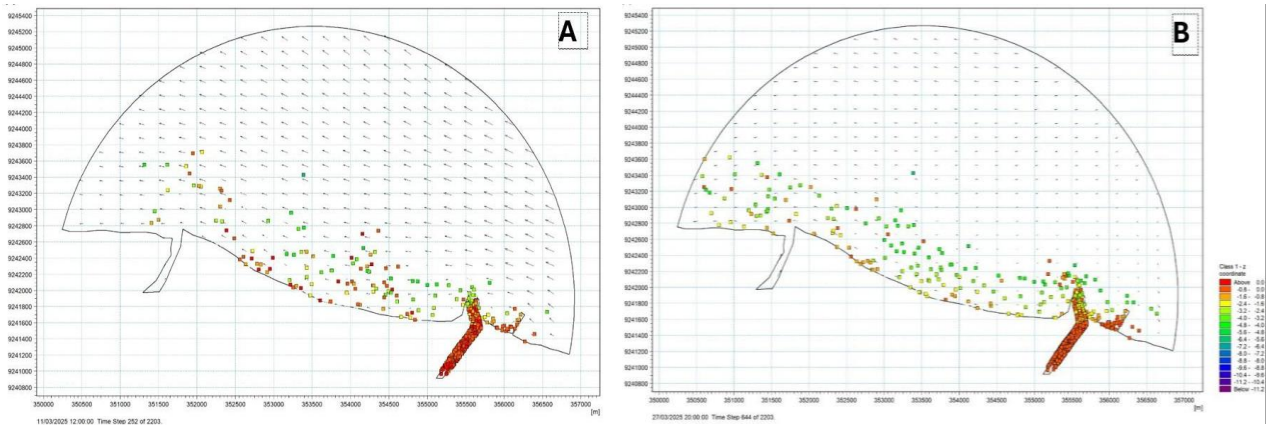
Simulasi pelacakan partikel di Muara Sungai Loji pada saat pasang dan surut disajikan per bulan yaitu Maret, April dan Mei 2025 pada Gambar 8, 9 dan 10. Lintasan partikel pada bulan Maret memperlihatkan pola lintasan partikel mengikuti fase pasang surut. Pada kondisi pasang (Gambar 8A), partikel bergerak dari arah laut menuju wilayah muara dengan lintasan yang mengikuti arah arus dominan. Kepadatan lintasan terlihat meningkat di sekitar mulut muara, menunjukkan adanya kecenderungan akumulasi partikel pada area tersebut ketika energi arus menguat. Pola ini memperlihatkan bahwa partikel dari perairan terbuka berpotensi masuk dan tertahan sementara di lingkungan muara. Pada kondisi surut (Gambar 8B), lintasan partikel memanjang menjauhi muara menuju laut terbuka dengan sebaran yang lebih luas mengikuti garis pantai. Arah pergerakan yang lebih konsisten menunjukkan proses transpor keluar dari sistem muara, sehingga distribusi partikel menjadi lebih menyebar.

Gambar 9A dan 9B, menunjukkan bahwa lintasan partikel pada bulan April 2025 terlihat mengikuti arah arus saat pasang dan surut. Pada kondisi pasang, partikel bergerak dari arah laut menuju wilayah pesisir dan muara dengan lintasan yang cukup rapat di sepanjang garis pantai. Pergerakan partikel terlihat lebih terkonsentrasi di bagian timur muara terutama di sekitar mulut muara, yang menunjukkan adanya kecenderungan penumpukan sementara pada area tersebut. Pada kondisi surut, lintasan partikel mulai memanjang menjauhi muara menuju laut terbuka. Sebaran partikel terlihat lebih menyebar mengikuti arah arus dominan di sepanjang pesisir.

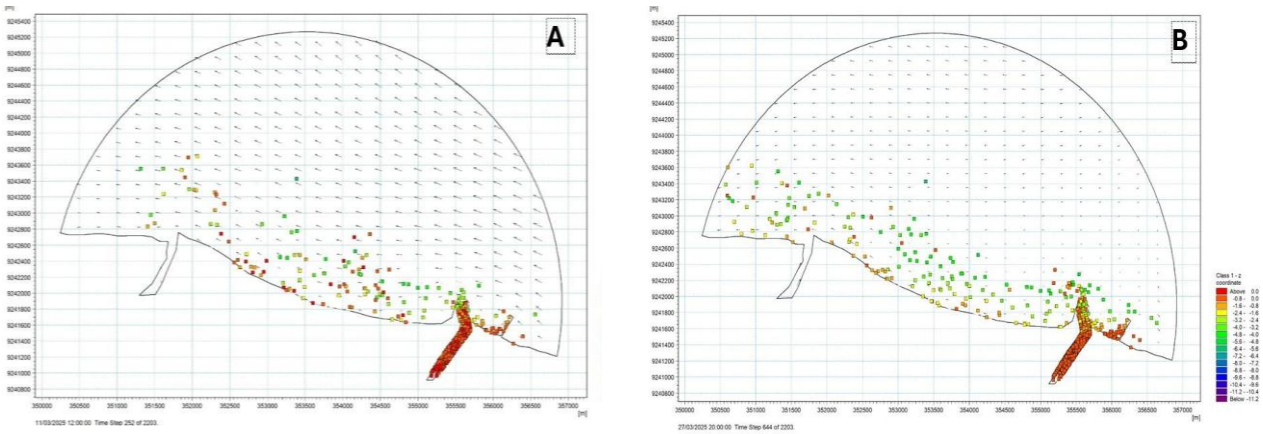
Lintasan partikel pada bulan Mei 2025 sama dengan lintasan pada bulan Maret dan April yaitu mengikuti arah pergerakan arus saat pasang dan surut. Pada saat pasang, partikel bergerak dari arah laut menuju wilayah pesisir dengan lintasan yang cukup rapat di sekitar mulut muara. Kepadatan lintasan di bagian timur domain menunjukkan bahwa partikel cenderung terkonsentrasi pada area dengan kecepatan arus yang lebih tinggi, sehingga pergerakan partikel terlihat lebih terarah menuju garis pantai. Pada saat surut, lintasan partikel memanjang menjauhi muara dan menyebar mengikuti arah arus dominan di sepanjang pesisir. Sebaran partikel terlihat lebih luas dibandingkan kondisi pasang, yang menunjukkan adanya proses pelepasan partikel dari area muara menuju perairan terbuka.

Berdasarkan hasil pemodelan hidrodinamika dan simulasi pelacakan partikel, distribusi mikroplastik di perairan sekitar Muara Sungai Loji menunjukkan keterkaitan yang erat dengan pola arus pasang surut. Pergerakan partikel pada hasil simulasi umumnya mengikuti arah arus dominan, sehingga perubahan fase pasang dan surut berperan dalam mengatur arah transport, sebaran, serta kecenderungan akumulasi mikroplastik di wilayah penelitian. Pada saat pasang, massa air bergerak menuju kawasan muara dan perairan yang lebih dangkal, sehingga partikel cenderung terdorong masuk dan menyebar ke area sekitar mulut muara. Sebaliknya, pada saat surut, arus bergerak keluar menuju laut dan membawa kembali sebagian partikel menjauhi muara. Pola bolak-balik ini menunjukkan bahwa mikroplastik di kawasan muara tidak hanya mengalami perpindahan satu arah, tetapi mengalami proses transport berulang yang mengikuti dinamika pasang surut. (Damanik *et al*., 2024; Azhary *et al*., 2025).

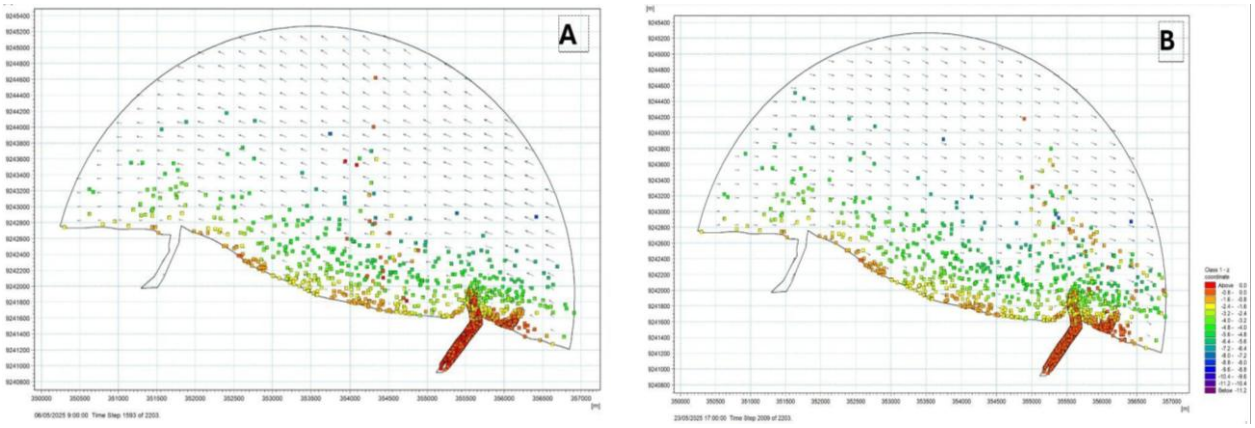
 ISSN: 2714-8726



Gambar 8. Simulasi Pelacakan Partikel Bulan Maret 2025 (A) Saat Pasang dan (B) Saat Surut



Gambar 9. Simulasi Pelacakan Partikel Bulan April 2025 (A) Saat Pasang dan (B) Saat Surut



Gambar 10. Simulasi Pelacakan Partikel Bulan Mei 2025 (A) Saat Pasang dan (B) Saat Surut

Hasil simulasi pelacakan partikel juga menunjukkan bahwa tidak seluruh partikel tersebar secara merata. Pada beberapa bagian perairan, partikel cenderung memiliki lintasan yang lebih pendek dan tertahan lebih lama, terutama pada area dengan kecepatan arus yang relatif lebih rendah. Kondisi ini mengindikasikan adanya zona retensi, yaitu area tempat partikel lebih mudah terakumulasi karena energi arus tidak cukup kuat untuk membawa partikel bergerak lebih jauh. Sebaliknya, pada area yang dilalui arus lebih kuat, partikel cenderung memiliki lintasan yang lebih panjang sehingga peluang terjadinya dispersi menjadi lebih besar. Perbedaan karakter arus antar lokasi inilah yang menyebabkan distribusi mikroplastik pada stasiun pengamatan tidak merata. Mikroplastik dengan karakter seperti fiber cenderung bergerak lebih jauh mengikuti arah arus pasang surut dan memiliki waktu tinggal yang lebih lama di kawasan muara. Kondisi ini menyebabkan fiber lebih mudah tersebar luas sekaligus lebih mudah terakumulasi di area dengan kecepatan arus rendah. Berbeda

 ISSN: 2714-8726

dengan fiber, mikroplastik jenis fragmen yang memiliki bentuk lebih padat dan tidak beraturan cenderung bergerak lebih lambat dan lebih sering tertahan di perairan dangkal. Perbedaan karakter fisik antar jenis mikroplastik ini menyebabkan pola distribusi yang berbeda antar lokasi, sebagaimana terlihat dari hasil pelacakan partikel. Hal ini sejalan dengan penelitian Ritonga et al. (2025) yang menyatakan bahwa mikroplastik jenis fiber dan fragmen merupakan jenis yang paling dominan di perairan pesisir Indonesia, dan penyebarannya sangat dipengaruhi oleh dinamika arus laut.

KESIMPULAN

Sebaran mikroplastik di Muara Sungai Loji didominasi oleh pellet, fragmen, dan fiber dengan ukuran utama 50–250 µm, dan warna putih yang menunjukkan bahwa partikel hasil fragmentasi lanjut banyak terdeteksi dalam kolom air dan tersebar di seluruh stasiun pengamatan. Pola arus pasang surut menjadi pengontrol utama dinamika pergerakan massa air, ditunjukkan oleh perubahan intensitas arus antara fase pasang dan surut serta konsentrasi energi arus di sekitar mulut muara. Hasil simulasi pelacakan partikel memperlihatkan lintasan partikel mengikuti arah arus dominan, dengan kecenderungan partikel bergerak masuk dan tertahan di area muara saat pasang, serta menyebar menuju perairan terbuka saat surut.

DAFTAR PUSTAKA

Akbari, E., Powers, L., Shah, T., Suri, R., Jedrusiak, S., Bransky, J., Chen, F., & Andaluri, G. 2024. Microplastics in the Delaware River Estuary: Mapping the Distribution and Modeling Hydrodynamic Transport. *Environmental Engineering Science*, 41(12): 552–562. https://doi.org/10.1089/ees.2024.0041

Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (Eds.). 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9–11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30). National Oceanic and Atmospheric Administration.

Azhary, A. D., Ismanto, A., Hadibarata, T., & Zainuri, M. 2025. Studi Hidrodinamika dan Dispersi Mikroplastik di Muara Sungai Loji, Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(3): 237–251. https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i3.26224

Bai, Y., Guo, X., Masaki, T., Kikuchi, T., Kataoka, T., Hinata, H., Zhao, X., & Li, Y. 2025. Distribution Characteristics and Transport Processes of Biodegradable Microplastics in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Hazardous Materials*, 491: 137911. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137911

Bailey, K., Sipps, K., Saba, G. K., Arbuckle-Keil, G., Chant, R. J., & Fahrenfeld, N. L. 2021. Quantification and Composition of Microplastics in the Raritan-Hudson Estuary: Comparison to Pathways of Entry and Implications for Fate. *Chemosphere*, 272: 129886. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129886

Cahyani, A., Zahrina, N. W., Arrochim, A., & Olivia, T. 2024. Pemodelan Arus Pasang Surut dan Transpor Sedimen 2D Menggunakan Metode Numerik di Perairan Kalimantan Barat pada Juli 2024. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 6(2): 87–96.

Cardoso-Mohedano, J. G., Ruiz-Fernández, A. C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Camacho-Torres, S. M., & Ontiveros-Cuadras, J. F. 2023. Microplastics Transport in a Low-Inflow Estuary at the Entrance of the Gulf of California. *Science of the Total Environment*, 870: 161825. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161825

Chinfak, N., Sompongchaiyakul, P., Charoenpong, C., Shi, H., Yeemin, T., & Zhang, J. 2021. Abundance, Composition, and Fate of Microplastics in Water, Sediment, and Shellfish in the Tapi-Phumduang River System and Bandon Bay, Thailand. *Science of the Total Environment*, 781: 146700. https://doi.org/10.1016/ j.scitotenv.2021.146700

Chubarenko, I., Khatmullina, L., Esiukova, E., Krivoshlyk, P., Radmanesh (Manbohi), A., Bocherikova, I., Isachenko, I., Hamzeh, M. A., & Chubarenko, B. 2025. Deposition of Microplastics in Estuaries: Critical Review of Field and Experimental Data from the Perspective of the Ocean Marginal Filter Concept. *Science of the Total Environment*, 997: 180210. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180210

Damanik, D. A., Widada, S., & Widiaratih, R. 2024. Analisis Konsentrasi dan Sebaran Mikroplastik di Muara Sungai Bedahan, Wonokerto, Kabupaten Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4): 344–356.

 ISSN: 2714-8726

DHI. 2017. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM: Mud Transport Module – Scientific Documentation. Hørsholm: DHI Water & Environment.

Frias, J. P. G. L., & Nash, R. 2019. Microplastics: Finding a Consensus on the Definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138: 145–147.

Masura, J., Baker, J. E., Foster, G. D., Arthur, C., & Herring, C. 2015. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles in Waters and Sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/10296

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.

Putri, A. R., Pranowo, W. S., & Hadi, S. 2024. Distribusi Mikroplastik di Perairan Muara Berdasarkan Karakteristik Hidrodinamika. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 16(1): 85–97.

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.

Summers, E., Du, J., Park, K., & Kaiser, K. 2023. How Does Buoyancy Behavior Impact Microplastic Transport in an Estuarine Environment? *Science of the Total Environment*, 899: 165687. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165687

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672): 838.

Vibhatabandhu, P., Prachayakul, T., Tang-siri, J., Benmas, P., Srithongouthai, S., & Kanokkantapong, V. 2024. Effect of Tidal Current on the Settling and Accumulation of Microplastics in the Chao Phraya River Estuary, Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 200: 116068. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116068

Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. 2016. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments*, (118): e55161. https://doi.org/10.3791/55161

Wulandari, S. Y., Radjasa, O. K., Yulianto, B., & Maisyarah, S. 2021. Microplastics Model Distribution in Semarang Waters. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 25(1): 109–120.

Zeng, Y., Wang, H., Liang, D., Yuan, W., Shen, Y., Shen, Z., & Gu, Q. 2024. Shape- and Polymer-Considered Simulation to Unravel the Estuarine Microplastics Fate. *Journal of Hazardous Materials*, 461: 132679. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132679