Volume 18, No. 3, 2025

ISSN: 1907-9931 (print), 2476-9991 (online)

DISTRIBUSI DAN KELIMPAHAN MIKROPLASTIK DI PERAIRAN MUARA BELAWAN, PROVINSI SUMATERA UTARA

DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF MICROPLASTICS IN THE BELAWAN ESTUARY, NORTH SUMATERA PROVINCE

Monika Advent Novia Simarmata, Miswar Budi Mulya*, Ternala Alexander Barus

Program Studi Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara
Jl. Dr. T. Mansyur No. 9, Padang Bulan, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia 20222

*Corresponding author email: miswarbm_bio@usu.ac.id

Submitted: 8 November 2025 / Revised: 18 November 2025 / Accepted: 3 December 2025

http://doi.org/10.21107/jk.v18i3.32325

ABSTRAK

Penelitian ini untuk menganalisis kelimpahan mikroplastik, mengidentifikasi tipe dan warna mikroplastik pada perairan Belawan, provinsi Sumatera Utara. Pengambilan sampel air permukaan kedalaman ±20 cm (500 mL/ulangan) dilakukan secara sederhana di tiga stasiun pengamatan, disaring menggunakan plankton net. Prosedur analisis di laboratorium meliputi: 1) penyaringan bertingkat menggunakan saringan berukuran 5 mm dan 300 µm, 2) destruksi bahan organik menggunakan H_2O_2 30%, 3) pemisahan densitas menggunakan larutan NaCl 30%, 4) penyaringan akhir sampel air menggunakan whatman no. 42, dan 5) identifikasi menggunakan mikroskop binokuler dengan perbesaran 10×. Kelimpahan mikroplastik konsentrasi tertinggi ditemukan di stasiun 1 titik koordinat 3°47'26,268"N 98°40'45"E dengan rata-rata kelimpahan 110 ± 16,37 partikel/L, kemudian stasiun 2 titik koordinat 3°47'29,484"N 98°40'57,486"E dengan rata-rata kelimpahan 90,67 ± 14,74 partikel/L, dan rata-rata kelimpahan terendah 55,33 ± 17 partikel/L di stasiun 3 titik koordinat 3°47'16,686"N 98°40'56,682"E. Untuk variasi tipe yang ditemukan, fiber merupakan tipe dominan (33-50%), disusul tipe fragmen (28-48%), film (12-16%) , foam (3-7%) , dan tipe paling sedikit pellet (3-5%). Untuk sebaran warna yang ditemukan paling banyak adalah transparan (15-33%), disusul warna biru (15-28%), merah (13-19%), hitam (9-16%), putih (7-9%), abu-abu (0-6%), hijau (4-7%), orange (0-4%), kuning (2-4%), cokelat (1-6%), dan warna yang paling sedikit ungu (0-1%). Menunjukkan bahwa pencemaran wilayah ini bersumber masukan limbah dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Kota Medan yang terperangkap di muara, pelepasan limbah domestik dan rumah tangga, serta aktivitas maritim langsung ke perairan. Tingginya kontaminasi mikroplastik ini memerlukan intervensi kebijakan pengelolaan sampah yang terpadu dan berkelanjutan dari pemerintah daerah.

Kata Kunci: *Air, Kelimpahan Mikoroplastik, Perairan Belawan, Tipe Mikroplastik, Warna Mikroplastik*

ABSTRACT

This study aims to analyse the abundance of microplastics and identify the types and colours of microplastics in the waters of Belawan, North Sumatra province. Surface water samples at a depth of ±20 cm (500 mL/repetition) were collected simply at three observation stations and filtered using a plankton net. The laboratory analysis procedure included: 1) multi-stage filtration using 5 mm and 300 µm sieves, 2) destruction of organic material using 30% H_2O_2, 3) density separation using 30% NaCl solution, 4) final filtration of water samples using Whatman No. 42, and 5) identification using a binocular microscope with 10× magnification. The highest concentration of microplastics was found at station 1 at coordinates 3°47'26.268"N 98°40'45"E with an average abundance of 110 ± 16.37 particles/L, followed by station 2 at coordinates 3°47'29.484"N 98 °40'57.486"E with an average abundance of 90.67 ± 14.74 particles/L, and the lowest average abundance of 55.33 ± 17 particles/L at station 3 at coordinates 3°47'16.686"N 98°40'56.682"E. Regarding the types found, fibre was the dominant type (33-50%), followed by fragments (28-48%), film (12-16%), foam (3-7%), and the least common type, pellets (3-5%). The most common colour distribution was transparent (15-33%), followed by blue (15-28%), red (13-19%), black (9-16%), white (7-9%), grey (0-6%), green (4-7%), orange (0-4%), yellow (2-

4%), brown (1-6%), and the least common colour purple (0-1%). This indicates that pollution in this area originates from waste input from the Medan City Watershed (DAS) trapped at the estuary, domestic and household waste discharge, and maritime activities directly into the water. The high level of microplastic contamination requires integrated and sustainable waste management policy interventions from the local government.

Keywords: *Water, Microplastic Abundance, Belawan Estuary, Microplastic Types, Microplastic Colors*

PENDAHULUAN

Secara global, krisis polusi plastik telah menjadi masalah lingkungan yang semakin parah dan berulang, sehingga mengancam keanekaragaman hayati dan stabititas rantai makanan (Veiga *et al.,* 2025). Berdasarkan data tahun 2023, jumlah limbah plastik yang dihasilkan di seluruh dunia diperkirakan mencapai 220 juta ton. Berdasarkan Data Earth Action tahun 2024, 68,6 juta hingga 69,5 juta ton dari total limbah tersebut (sekitar sepertiga) tidak akan terurai dan akan berakhir di lingkungan. Krisis ini mencapai ambang kritis akibat adanya partikel-partikel kecil, khususnya mikroplastik, yang didefinisikan sebagai partikel plastik dengan dimensi kurang dari 5 mm (Yang *et al.,* 2021). Dua jenis mikroplastik yang diklasifikasikan adalah mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer terdiri dari partikel ukuran kecil yang dibuat secara sengaja (seperti mikrobeads pada produk kecantikan dan pellet pada bahan baku industri), sedangkan mikroplastik sekunder terdiri dari plastik yang lebih besar rusak akibat sinar matahari, abrasi fisik, dan degradasi kimia di lingkungan (Bhowmik *et al.,* 2025). Mikroplastik adalah kontaminan yang ditemukan di berbagai lingkungan, termasuk laut dan perairan pesisir yang padat aktivitas serta di udara karena keberadaan mereka yang terus-menerus, mudah terbawa arus, dan sulit untuk didegradasi (Widiaratih *et al.,* 2024). Mikroplastik akan tertelan oleh biota air setelah memasuki perairan atau terkumpul di dasar perairan (sedimen).

Fenomena ini menjadi perhatian dikarenakan mikroplastik dapat menjadi vektor bagi logam berat dan polutan organik persisten (POP) ke seluruh rantai makanan, sampai ke konsumsi manusia (Hoan *et al.,* 2025). Indonesia adalah salah satu pengirim sampah plastik terbesar ke lautan karena terdiri dari banyak kepulauan. Data yang dilaporkan oleh Tim Koordinasi Nasional Penanganan Sampah Laut (TKN PSL, 2024) menunjukkan bahwa jumlah sampah laut yang tercemar telah turun dari sekitar 350.000 menjadi 359.061 ton pada tahun 2023.

Perairan Belawan, di Sumatera Utara adalah salah satu daerah pesisir yang paling rentan terhadap pencemaran mikroplastik secara regional (Muhtadi *et al.,* 2025). Perairan Belawan berfungsi sebagai zona transisi estuari yang penting, menerima air tawar, sedimen, dan limbah dari daerah daratan yang padat penduduk, terutama melalui Sungai Deli. Karakteristik geografisnya, sebagai muara sungai besar dan dekat dengan Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan, serta kawasan industri, membuatnya sebagai sink (penampung) utama limbah antropogenik (Wahab *et al.,* 2022). Karena banyaknya aktivitas yang terjadi di pelabuhan, industri perikanan, pelayaran, dan pemukiman padat di sepanjang bantaran sungai, akibatnya Perairan Belawan menjadi tempat akumulasi sampah plastik.

Polusi mikroplastik di Belawan adalah bagian dari masalah pengelolaan sampah Kota Medan yang buruk. Data terbaru dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Medan dari tahun 2023–2024 menunjukkan bahwa Kota Medan menghasilkan timbulan sampah sebesar 2.000 ton per hari, dengan hanya 800 ton yang berhasil dikelola dan diangkut ke TPA, meninggalkan 1.000–1.200 ton sampah yang tidak terkelola, yang berpotensi mencemari lingkungan, termasuk badan air. Muara Belawan menerima limpasan air tawar dari tiga sungai besar: Sungai Deli, Sungai Percut, dan Sungai Belawan. Karena kombinasi arus pasang surut air laut dan aliran sungai dari daerah hulu yang padat penduduk, dinamika estuari ini membuat lingkungan rentan terhadap penumpukan polutan (Anggraini *et al.,* 2023).

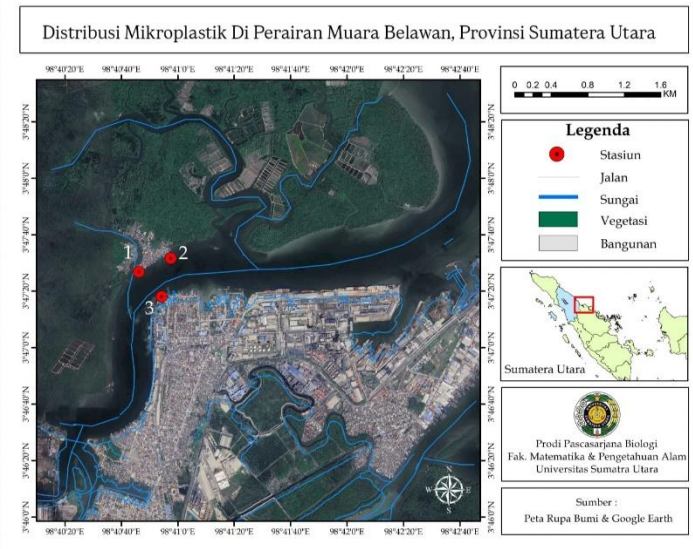
Lima jenis mikroplastik yang paling umum ditemukan dalam penelitian: serat (serat) berasal dari serat kain sintetis seperti nilon dan poliester yang terlepas saat mencuci pakaian; fragmentasi (pecahan) adalah bentuk paling umum dan dibuat dari potongan plastik yang lebih besar dan keras (seperti botol atau peralatan rumah tangga) yang terurai oleh sinar matahari dan bahan fisik; dan film (lapisan tipis) berasal dari potongan plastik dengan densitas renda yang dipecahkan. Keanekaragaman tipe ini menentukan luas permukaan partikel, kemampuan mengikat polutan, dan risiko

penyerapan oleh biota laut, yang membuatnya penting untuk dianalisis (Bhowmik *et al.,* 2025).

Berdasarkan latar belakang mengenai masalah pencemaran mikroplastik. Secara spesifik, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: 1) Bagaimana kelimpahan mikroplastik yang terdapat pada perairan di Muara Belawan, Sumatera Utara? 2) Apa saja tipe dan warna mikroplastik yang teridentifikasi pada perairan di Muara Belawan, Sumatera Utara? Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelimpahan mikroplastik serta mengidentifikasi tipe dan warna partikel yang terkandung dalam sampel air di Muara Belawan, Sumatera Utara. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan serta mendukung pengembangan kebijakan yang lebih berkelanjutan dan responsif terhadap tantangan pencemaran di wilayah tersebut.

MATERI DAN METODE

Tiga titik stasiun digunakan untuk pengambilan sampel. Waktu pengambilan sampel pada bulan Maret-Oktober 2025. Stasiun 1 memiliki koordinat 3°47'26,268″N 98°40'45"E (Muara Belawan), stasiun 2 memiliki koordinar 3°47'29,484″N 98°40′57,486" (Pemukiman Kampung Nelayan Seberang), dan stasiun 3 memiliki 3°47'16,686″N 98°40'56,682"E (dermaga), semuanya tercantum pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Distribusi Mikroplastik Di Perairan Muara Belawan, Provinsi Sumatera Utara

Pengambilan sampel air dengan metode sederhana dengan menggunakan ember (kedalaman 0-20 cm) kemudian tuangkan air dari ember ke plankton net. Desain kerucut plankton net memastikan bahwa semua partikel mikroplastik yang tersaring akan terdorong dan terkumpul di wadah kecil yang disebut ujung cod. Dengan cara ini, transfer partikel mikroplastik ke botol sampel di lapangan menjadi lebih mudah. Sampel air di ambil sebanyak 500 ml masing-masing stasiun dengan tiga kali pengulangan. Simpan dalam botol kaca penyimpanan. Setelah botol sampel terisi penuh dengan air ditambah dengan formalin 5% sebanyak 5 ml untuk meminimalkan pertumbuhan alga atau bakteri yang dapat mengganggu analisis di laboratorium (Fibbe *et al.,* 2023)

Menurut NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) yaitu: 1) persiapam sampel 2) penyaringan sampel 3) degradasi bahan organik 4) pemisahan densitas 5) pemilahan sampel 6) pengamatan mikroskop (Wotton *et al.,* 2025). Pengolahan awal dimulai dengan menyiapkan seluruh sampel air yang sudah ada dalam wadah untuk menerima perlakuan lanjutan. Selanjutnya, proses penyaringan sampel air melalui saringan berjenjang yang memiliki dimensi pori bervariasi, saringan tingkat pertama (atas) memiliki ukuran yang lebih lebar penyaringan menggunakan *mesh sieve* no. 4 ukuran 5 mm, diikuti oleh saringan tingkat kedua (bawah) yang berdimensi lebih kecil dengan *mesh sieve* no 50 dengan ukuran 300 mikrometer.

Setelah tahapan penyaringan, konsentrat sampel air yang sudah disaring selanjutnya dimasukkan ke oven untuk mengurangi kadar airnya, di mana proses pengovenan termal ini dijalankan pada suhu 60°C selama 24 jam.

Tahap berikutnya, yaitu penghilangan bahan organik (destruksi senyawa organik), dilakukan dengan menambahkan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) berkonsentrasi 30% ke dalam larutan, diikuti dengan pengadukan merata selama 5 menit, dan didiamkan selama satu hari penuh (24 jam) (Pfeiffer *et al.,* 2020). Selanjutnya, untuk separasi partikel berdasarkan kerapatan (pemisahan densitas), larutan Natrium Klorida (NaCl) jenuh dicampurkan ke dalam sampel sebanyak jumlah sampel, kemudian campuran tersebut didiamkan selama 24 jam agar partikel mikroplastik mengapung (Belioka *et al.,* 2023). Partikel mikroplastik diisolasi melalui pemilahan sampel menggunakan kertas saring whatman nomor 42, dengan prosedur penyaringan diulang hingga kertas Whatman benar-benar kering. Langkah akhir adalah pemeriksaan mikroskopis, di mana identifikasi visual dan kuantifikasi partikel dilakukan di bawah mikroskop binokuler dengan perbesaran 10x.

Metode analisis data yang digunakan adalah deskripsi kuantitatif, dimulai dengan identifikasi dan klasifikasi mikroplastik dari Perairan Belawan. Klasifikasi dilakukan berdasarkan karakteristik fisik partikel, yaitu untuk memahami sebaran kelimpahan dan tipe mikroplastik di lingkungan perairan. Tahap kuantifikasi melibatkan perhitungan kelimpahan mikroplastik pada air yang diteliti **(**Sutanhaji *et al.,* 2021). Rumus menghitung kelimpahan mikroplastik pada sampel air :

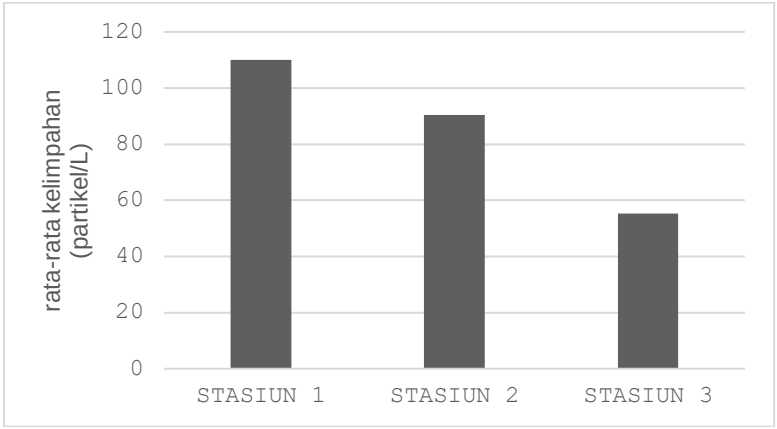
$$K = \frac{\mathrm{Np}}{\mathrm{V}} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana, K adalah Kelimpahan mimroplastik (partikel/L); Np adalah Jumlah partikel yang ditemukan; V adalah Volume air

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelimpahan Rata-Rata Mikroplastik

Analisis kelimpahan mikroplastik menunjukkan bahwa konsentrasi partikel paling tinggi di stasiun 1, mencapai rata-rata 110 ± 16,37 partikel/L, sesuai data pada **Gambar 2**. Angka ini diikuti oleh stasiun 2, yang mencatat rata-rata 90,67 ± 14,74 partikel/L, sementara stasiun 3 menunjukkan kelimpahan terendah yaitu 55,33 ± 17 partikel/L.



Gambar 2. Rata-Rata Kelimpahan Mikroplastik di Perairan Belawan, Sumatera Utara

Tingginya temuan di Stasiun 1 mengindikasikan perannya sebagai jalur masuk utama mikroplastik (input sungai). Lokasi ini berfungsi sebagai zona konvergensi tempat air tawar dari Sungai Deli bertemu dengan air laut, menjadikannya 'sink' atau saluran primer bagi limbah yang berasal dari wilayah hulu Kota Medan yang padat penduduk. Ketika massa air sungai bertemu dan bercampur dengan air laut di muara, kecepatan arus mengalami perlambatan signifikan. Kondisi hidrodinamika ini secara langsung memicu pengendapan massal partikel mikroplastik pada permukaan air sebelum partikel tersebut terbawa ke laut lepas. Oleh karena itu, muara bertindak sebagai perangkap fisik alami, sehingga stasiun 1 menunjukkan konsentrasi partikel mikroplastik tertinggi dibandingkan stasiun pengamatan lainnya.

Temuan kelimpahan ini sejalan dengan data penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh di air Sungai Sei Sikambing, Medan, menemukan rata-rata kelimpahan yang setara dengan 114,4 partikel/L (Hasibuat *et al.,* 2020) dan penelitian pada Sungai Deli di Medan juga mencatat konsentrasi rata-rata 102 partikel/L (Harpah er al., 2021) namun, berbanding terbalik dengan hasil temuan di Estuari Batang Anai, Padang Pariaman sebesar 37-77 partikel/L (Suparno *et al.,* 2024).

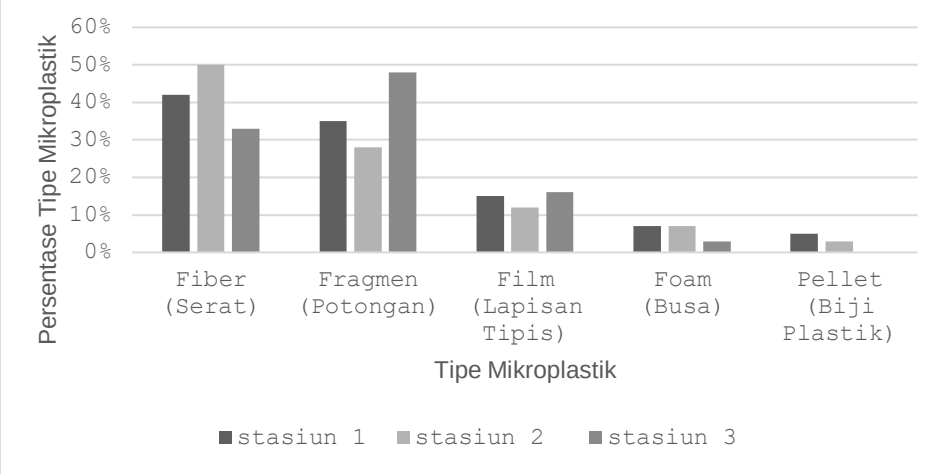
Data-data ini, bersama dengan hasil penelitian saat ini, menunjukkan adanya indikasi kuat bahwa ekosistem perairan estuari dan sungai

di wilayah Kota Medan telah berada dalam kategori tercemar berat. Stasiun 2 mencatat kelimpahan tertinggi kedua, yang dapat dikaitkan dengan intensitas aktivitas antropogenik di lokasi tersebut. Wilayah ini menerima buangan limbah domestik dari permukiman padat serta pelepasan limbah dari kegiatan perikanan (misalnya, alat tangkap) di perairan dangkal. Meskipun kondisi hidrodinamika arus mungkin relatif lebih tenang dibandingkan zona muara, masukan limbah yang berkelanjutan dan langsung ke badan air menjaga konsentrasi mikroplastik di permukaan tetap tinggi. Temuan ini serupa dengan hasil penelitian di Teluk Jakarta (Muara Angke - Muara Karang), yang menemukan rata-rata kelimpahan 70,9 partikel/L (Takarina *et al.,* 2022), sebuah angka kelimpahan yang sejalan dengan kondisi di sekitar pemukiman Kampung Nelayan Seberang (Stasiun 2).

Penurunan kelimpahan yang signifikan di stasiun 3 (area dekat dermaga kecil Belawan) kemungkinan besar disebabkan oleh faktor hidrodinamika laut yang lebih dominan. Faktor seperti pengaruh arus laut yang lebih kuat atau proses pengenceran (*dilution*) yang lebih efektif dapat mengurangi konsentrasi partikel. Selain itu, lokasi ini relatif lebih jauh dari sumber limbah utama (sungai), meskipun aktivitas maritim di sekitar dermaga tetap menjadi sumber pencemaran sekunder. Menariknya, temuan rata-rata kelimpahan di stasiun 3 ini berbanding terbalik dengan data yang diperoleh dari Danau Siombak, Medan Marelan, yang menunjukkan rata-rata jauh lebih rendah (0,093-0,519 partikel/L atau setara 93-519 partikel/m³) (Ramananda *et al.,* 2023).

Tipe-Tipe Mikroplastik

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan mengukur beragam tipe partikel mikroplastik di ketiga stasiun. Pada Stasiun 1 (koordinat 3°47'26,268″N 98°40'45"E), tipe fiber mendominasi sebesar 42%, diikuti oleh fragmen (35%), film (15%), foam (7%), dan pellet (5%). Pola yang serupa ditemukan di Stasiun 2 (koordinat 3°47'29,484″N 98°40′57,486"E), di mana fiber menjadi yang paling menonjol (50%), lalu diikuti oleh fragmen (28%), film (12%), foam (7%), dan pellet (3%). Sementara itu, komposisi di Stasiun 3 (koordinat 3°47'16,686″N 98°40'56,682"E) menunjukkan pola yang berbeda, dengan fragmen sebagai tipe paling dominan (48%), diikuti oleh fiber (33%), film (16%), dan foam (3%).



Gambar 3. Persentase Kelimpahan Tipe Mikroplastik di Perairan Belawan, Sumatera Utara

Berdasarkan visualisasi **Gambar 3**, terlihat bahwa dua tipe partikel fiber (serat) dan fragmen (potongan) merupakan tipe yang paling di ketiga stasiun penelitian. Variasi ini menujukkan perbedaan sumber masukan dan dinamika perairan di masing-masing stasiun. Pada stasiun 1 (Muara Belawan), yang merupakan zona pertemuan antara sungai dan laut, fiber dan fragmen adalah bentuk yang paling dominan. Dominasi fiber (42%) (serat) dihubungkan dengan limbah domestik, khususnya dari pencucian pakaian sintetis yang dibuang ke sungai dan akhirnya bermuara di stasiun 1. Selain itu, aktivitas perikanan seperti jaring dan tali pancing (Nunes *et al.,* 2023) yang rusak juga dapat menjadi sumber. Sebagai muara, lokasi ini berfungsi sebagai akumulator untuk limbah dari daratan yang dibawa oleh aliran sungai (Sánchez-Campos *et al.,* 2024). Pola dominasi fiber ini sangat selaras dengan temuan di Sungai Metro, Malang. Mikroplastik tipe fiber merupakan mikroplastik yang mendominasi di tiap titik sampel. Hal tersebut dikarenakan temuan

mikroplastik fiber memiliki jumlah terbanyak dengan total 980 partikel (63% di bagian hulu, 55% di bagian tengah, 57% di bagian hilir) (Sutanhaji *et al.,* 2021)

Tipe fragmen (35%) berasal dari degradasi fisik dan fotodegradasi sampah plastik yang lebih besar (*makroplastik*) seperti botol, kemasan, atau peralatan rumah tangga. Ditemukan tipe fragmen yang tinggi menunjukkan adanya proses fragmentasi yang intensif di sepanjang aliran sungai atau di muara itu sendiri. Implikasi ekologis dari fragmen adalah risiko ingesti oleh berbagai tingkatan biota air karena bentuknya yang menyerupai partikel makanan alami, terutama oleh ikan planktivora yang sering berburu di zona muara (Hossain *et al.,* 2023). Tipe film adalah partikel berbentuk lembaran tipis yang menyumbang (5% dari total mikroplastik di air permukaan muara. Film umumnya berasal dari polimer berkepadatan rendah seperti LDPE (Low-Density Polyethylene), bahan baku utama kantong plastik, *plastic wrap*, dan kemasan fleksibel lainnya. Persentase 15% menunjukkan bahwa limbah konsumsi rumah tangga dan komersial (Febriyanti *et al.,* 2024), yang menggunakan kemasan sekali pakai merupakan kontributor signifikan yang terbawa oleh aliran sungai. Walaupun tipe film secara alami cenderung mengapung karena densitasnya kurang dari 1 g/cm^3, tingginya jumlah film di permukaan muara menunjukkan bahwa partikel-partikel ini masih berada dalam kondisi tersuspensi dan belum tenggelam atau terbawa ke laut. Arus muara yang melambat membuat partikel film mudah tertahan sementara sebelum akhirnya berpindah mengikuti aliran. Tipe film memiliki luas permukaan yang lebar, menjadikan tipe film efisien dalam menyerap polutan hidrofilik dan dapat dengan mudah disalahpahami sebagai mangsa oleh organisme *filter feeder* atau zooplankton di kolom air muara (Tan *et al.,* 2023).

Tipe foam menyumbang 7% dari partikel yang ditemukan, merupakan bentuk mikroplastik yang sangat ringan dan terkait erat dengan material *Polystyrene* (PS). Foam hampir selalu berasal dari styrofoam yang digunakan sebagai: kotak makanan dan minuman kemasan (limbah katering/domestik), kemasan pelindung produk elektronik/industri (limbah komersial), alat apung untuk budidaya perikanan, pelampung, atau jembatan/dermaga sederhana (limbah maritim/perikanan). Sifat foam yang sangat apung (densitas sangat rendah), cenderung mengapung di permukaan air untuk waktu yang sangat lama. 7% mengindikasikan bahwa foam dari hulu dan pesisir terakumulasi di permukaan stasiun 1 sebelum berpotensi pecah menjadi partikel yang lebih kecil lagi atau terbawa ke laut lepas. Karena kerapuhannya, foam mudah pecah menjadi partikel yang lebih kecil (Harmayani *et al.,* 2025), yang dapat dicerna oleh berbagai tingkatan biota air. Selain itu, sifatnya yang berpori memungkinkan penyerapan polutan hidrofobik (seperti PCB dan DDT) yang lebih besar.

Tipe pellet adalah butiran plastik mentah, yang merupakan bentuk paling penting untuk dianalisis karena menyumbang 5% dari total partikel. Tipe pellet sebagai bahan baku industri, secara jelas menunjukkan pencemaran dari rantai pasok industri plastik. Sumbernya dapat berupa: tumpahan selama bongkar muat di pelabuhan (namun hanyut sampai ke stasiun 1), tumpahan dari fasilitas pabrik yang berada di sekitar area muara atau di hulu sungai (Sánchez-Campos *et al.,* 2024), kegagalan dalam transportasi menuju pabrik pengolahan di wilayah industri Kota Medan. Tipe pelet biasanya memiliki densitas yang sedikit lebih tinggi daripada air laut. Kehadirannya di air permukaan muara (5%) menunjukkan bahwa partikel ini masih dalam proses suspensi dan belum sepenuhnya mengendap ke dasar. Pellet dianggap sebagai salah satu bentuk mikroplastik yang paling berbahaya karena memiliki luas permukaan yang tinggi untuk ukuran volumenya dan merupakan peluang penyerapan polutan hidrofobik yang sangat besar. Dampak utama Pelet adalah sebagai ‘pil racun’ bagi biota air, di mana ingesti pellet tidak hanya menyebabkan potensi *false satiety* (rasa kenyang palsu) tetapi juga meningkatkan risiko toksisitas kimiawi melalui pelepasan polutan yang terserap dan transfernya melalui rantai makanan (Sánchez-Campos *et al.,* 2024).

Pada stasiun 2 terletak di area Pemukiman Kampung Nelayan Seberang, didominasi oleh tipe mikroplastik yang berkaitan langsung dengan aktivitas antropogenik lokal, yaitu fiber. Pola ini menunjukkan lingkungan yang memiliki masukan limbah yang intensif dari sumber yang sangat dekat. Ada lima tipe mikroplastik yang ditemukan di stasiun 2 yaitu: fiber, fragmen, film, foam, pellet. Tipe fiber (50%) mencapai titik tertinggi di stasiun 2. Peningkatan ini adalah indikator yang kuat bahwa Stasiun 2 secara langsung dipengaruhi oleh limbah domestik (khususnya serat dari pencucian pakaian sintetis) dan limbah perikanan (potongan jaring nilon, tali pancing, benang). Keberadaan pemukiman nelayan yang padat di pinggir perairan menyebabkan buangan

limbah, baik sengaja maupun tidak sengaja, langsung masuk ke badan air. Tipe fiber sebagai limbah tekstil yang ringan, cenderung tetap tersuspensi di air permukaan. Fiber yang dominan merupakan risiko ingesti yang tinggi bagi organisme *filter feeder* dan krustasea kecil, di mana bentuknya yang memanjang dapat menyebabkan penyumbatan mekanis atau iritasi pada saluran pencernaan biota air (Nunes *et al.,* 2023).

Fragmen 28% menunjukkan adanya degradasi sampah plastik konsumsi harian (kemasan makanan, botol, peralatan rumah tangga) (Hossain *et al.,* 2023) yang dibuang oleh penduduk. Meskipun dominasi fiber lebih besar, Fragmen adalah bukti nyata bahwa sampah plastik makro yang dibuang di sekitar area pemukiman mengalami fragmentasi menjadi partikel yang lebih kecil di kolom air. Fragmen yang tinggi di lingkungan pemukiman meningkatkan peluang ingesti oleh ikan-ikan pesisir yang mencari makan di kolom air dan permukaan (Hossain et al., 2023). Tipe film 12% umumnya berasal dari kantong plastik atau *plastic wrap* kemasan (LDPE), menyumbang 12% dari total. Persentase ini mengindikasikan bahwa sampah kemasan sekali pakai dari aktivitas rumah tangga merupakan kontributor persisten. Angka 12% ini menunjukkan sumber limbah konsumsi yang jelas. Tipe film di stasiun 2 (12%) lebih rendah dibandingkan muara (stasiun 1: 15%). Perbedaan ini disebabkan oleh dua hal: (1) muara menjadi titik kumpul akhir dari film yang hanyut dari area yang lebih luas, (2) film di stasiun 2 lebih cepat hanyut atau tenggelam karena kondisi hidrodinamika lokal (Febriyanti *et al.,* 2024) yang berbeda dibandingkan muara yang lebih stabil. Tipe film di area ini berpotensi membahayakan larva ikan dan zooplankton yang hidup di dekat permukaan karena kemiripannya dengan makanan alami (Febriyanti *et al.,* 2024).

Tipe foam (7%) ditemukan sebesar 7%, sama dengan stasiun 1. Angka ini mencerminkan adanya limbah wadah makanan (kotak styrofoam) yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan dibuang langsung ke perairan. Foam juga bisa berasal dari alat apung (Harmayani *et al.,* 2025) yang digunakan nelayan yang rusak. Karena sifatnya yang sangat apung, Foam cenderung tetap berada di air permukaan, menjadikannya mudah terlihat dan mengganggu estetika perairan, serta berpotensi menjadi *vector* polutan. Foam di lingkungan pemukiman nelayan sangat relevan bagi burung laut atau biota yang mencari makan di permukaan, di mana bentuknya yang ringan mudah tertelan dan menyebabkan rasa kenyang palsu (Harmayani *et al.,* 2025).

Tipe pelet ditemukan (3%), pellet sebagai bahan baku mentah, memiliki persentase terendah (3%) di stasiun 2. Penurunan ini terisolasi dari sumber masukan industri dan pelabuhan primer. Sumber pellet yang terpusat di muara (stasiun 1) menunjukkan bahwa pellet yang sampai di stasiun 2 hanyalah partikel yang terbawa oleh arus (Sánchez-Campos *et al.,* 2024). Pellet yang terbawa arus dari stasiun 1 ke area stasiun 2 tetap menimbulkan risiko *bioakumulasi* polutan di biota lokal. Stasiun 2 didominasi oleh limbah yang bersifat konsumtif dan domestik, sementara pengaruh industri/logistik lebih minim.

Stasiun 3 merupakan area dermaga dan aktivitas dermaga yang intensif, menunjukkan pergeseran dominansi yang jelas, dengan fragmen menjadi bentuk utama. Ditemukan emapat tipe mikroplastik yaitu: fragmen, fiber, film dan foam. Dominasi fragmen (48%), tipe yang paling melimpah dipengaruhi oleh lingkungan dermaga memiliki lalu lintas kapal yang tinggi, dan seringkali merupakan lokasi pembuangan atau tumpahan sampah plastik dari kegiatan di kapal atau bongkar muat. Gesekan dan benturan fisik di lingkungan yang padat kapal dapat mempercepat fragmentasi makroplastik menjadi bentuk pecahan yang lebih kecil. Fragmen yang sangat dominan di stasiun 3 menimbulkan ancaman *ingesti* yang tinggi bagi biota laut, dan berpotensi membawa beban kontaminan yang lebih besar (misalnya logam berat dari cat anti-f*ouling* kapal) (Hossain *et al.,* 2023). Dominasi fragmen yang tinggi di stasiun 3 menunjukkan pola yang sejalan dengan temuan di Muara Sungai Wulan, Demak di Stasiun 1 dengan total keseluruhan 99 partikel/L, di mana fragmen menjadi tipe yang paling banyak ditemukan di air laut, dengan total 57 partikel/L, melebihi tipe fiber 33 partikel/L (Pamungkas *et al.,* 2022).

Tipe fiber (33%) pada stasiun 3 terjadi penurunan fiber distasiun ini dibandingkan stasiun 1 dan 2. Ini menunjukkan bahwa meskipun limbah domestik masih ada (kemungkinan dibawa arus), masukan dari sumber aktivitas maritim (yang menghasilkan lebih banyak fragmen) mengambil alih dominasi. Persentase foam yang sangat rendah (3%) menunjukkan bahwa penggunaan styrofoam di sekitar dermaga kemungkinan kecil, atau material ini cepat terbawa arus keluar dari area dermaga yang memiliki kondisi arus lebih kuat dan turbulen. Persentase foam yang rendah menunjukkan bahwa dampak

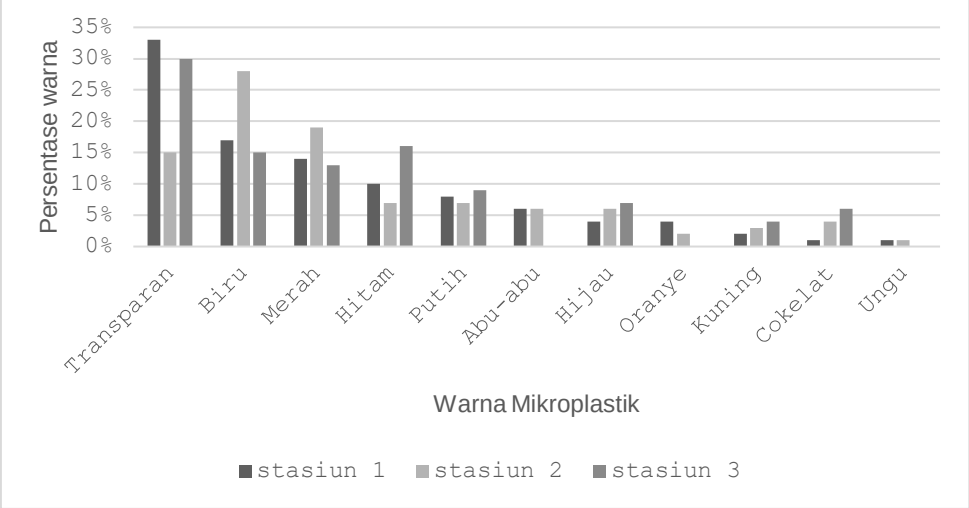
ekologis langsung dari Foam di kolom air Dermaga tidak seintensif di zona Muara, namun risikonya tetap ada (Harmayani *et al.,* 2025).

Keberadaan Film mikroplastik yang mencapai 16% di stasiun 3 merupakan indikasi kuat adanya kontribusi signifikan dari limbah logistik dan operasional dermaga. Partikel tipe film (lapisan tipis) ditemukan secara konsisten di semua stasiun (15% di Stasiun 1; 12% di Stasiun 2; dan 16% di Stasiun 3). Sumber utama film adalah kantong plastik sekali pakai atau kemasan fleksibel, hasil temuan di ketiga stasiun penelitian ini berbanding terbalik dengan temudan di Teluk Banten, Semarang menemukan partikel tipe film dengan persentase kecil 5,56% (Noor *et al.,* 2025). Film umumnya terbuat dari LDPE yang digunakan sebagai *shrink wrap* atau *stretch wrap* untuk mengamankan barang, partikel ringan ini mudah terbuang dan mengapung selama proses bongkar muat, menegaskan bahwa area dermaga, limbah kemasan dari rantai pasok maritim yang cenderung bertahan di kolom air karena daya apungnya yang tinggi, sehingga menjadi ancaman visual dan ekologis di permukaan perairan.

Tidak ditemukannya tipe pellet (0%) di stasiun 3, pellet bisa terbawa arus, karena bentuk dan densitasnya, pellet bisa terbawa jauh dan tidak menetap di area dermaga jika arus cukup kuat, dermaga berada di area dengan aliran kuat atau ada gelombang, pellet bisa terbawa keluar dan tidak terakumulasi di dermaga (stasiun 3) temuan ini sejalan dengan penelitian di Teluk Banten, Semarang tidak menemukan partikel mikroplastik tipe pellet, karena tidak memiliki konsentrasi industri plastik besar yang bisa menjadi sumber pelepasan pellet secara langsung. Karena itu, peluang pellet masuk ke perairan sangat kecil (Noor *et al.,* 2025)

Warna-Warna Mikroplastik

Berdasarkan distribusi warna mikroplastik sebanyak 11 varian di Stasiun 1 dan 2 yaitu: transparan, biru, merah, hitam, putih, abu-abu, hijau, orange, kuning, cokelat, dan ungu, dan 8 varian di stasiun 3 yaitu: transparan, biru, merah, hitam, putih, hijau, kuning, dan cokelat. Semua tercantum pada **Gambar 4** menunjukkan keterkaitan erat dengan karakteristik spasial di perairan Belawan, meliputi limbah rumah tangga, aktivitas industri/pelabuhan, pemukiman padat, dan aktivitas maritim setempat.



Gambar 4. Persentase Warna Mikroplastik di Perairan Belawan, Sumatera Utara

Pola dominasi warna transparan pada stasiun 1 (33%) sejalan dengan warna yang paling banyak ditemukan di air Sungai Kapuas Kota Pontianak dengan rata-rata 220,16 partikel/L. Warna ini berasal dari plastik asal yang baru terdegradasi serta plastik yang sudah lama terdegradasi dan luntur (Sugandi *et al.,* 2021) dan sejalan dengan temuan di Teluk Banten, Semarang ditemukan 33% partikel mikroplastik berwarna transparan (Noor *et al.,* 2025).

Warna biru dominasi warna kedua di Stasiun 1 (17%) sejalan dengan temuan di Sungai Metro, Malang dengan dominasi urutan kedua adalah mikroplastik berwarna biru mencapai 130 partikel/L (Sutanhaji *et al.,* 2021). Stasiun 2, yang berlokasi di kawasan pemukiman yang padat, memperlihatkan dampak dari polusi lokal yang intensif. Di sini, warna biru menjadi yang paling dominan (28%), diikuti oleh merah (19%). Dominasi biru sebagian besar dapat distribusikan pada limbah alat tangkap

perikanan (*fishing gear*), seperti serat nilon dari tali atau jaring yang terlepas dan terakumulasi di lingkungan aktivitas nelayan temuan ini sejalan dengan temuan warna biru menjadi warna dominan di Muara Sungai Wulan Demak sebanyak 37 partikel/L (Pamungkas *et al.,* 2022).

Selanjutnya, merah dan transparan (masing-masing 15%) mengindikasikan kontribusi tinggi dari limbah rumah tangga sehari-hari, seperti produk sekali pakai atau kemasan makanan (*sachet*) yang dibuang langsung oleh penduduk. Kehadiran warna minoritas seperti cokelat (4%) dan abu-abu (6%) dapat menjadi indikasi adanya plastik yang telah mengalami *biofouling* atau pelapukan, suatu proses yang mampu mengubah densitas partikel dan memindahkannya dari permukaan air ke sedimen (Guo *et al.,* 2024), berbanding terbalik dengan data dari penelitian hasil analisis warna mikroplastik di perairan muara Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur ditemukan warna cokelat adalah warna yang mendominasi partikel mikroplastik dengan total jumlah partikel di kedua lokasi adalah 461 partikel (Shafani *et al.,* 2022)

Kontras ini menunjukkan faktor-faktor seperti limbah industri atau degradasi polimer ekstrem (di mana warna cokelat sering dikaitkan dengan oksidasi lama) yang lebih dominan, berbeda dengan kontribusi limbah maritim biru atau transparan yang lebih menonjol di perairan Belawan.

Dominasi warna mikroplastik di stasiun 3 menunjukkan pengaruh kuat dari aktivitas dermaga dan proses degradasi lingkungan: warna transparan (30%) menjadi yang paling dominan, mengindikasikan kuatnya *photodegradation* (pemudaran pigmen di bawah sinar UV) pada plastik berwarna, atau berasal dari plastik *packaging* yang secara alami tidak berpigmen dan memiliki densitas rendah sehingga mudah mengapung; warna hitam (16%) menempati urutan kedua, yang erat kaitannya dengan limbah teknis mesin dari mesin kapal (Coyle *et al.,* 2020); sementara itu, warna biru (15%) dan merah (13%) tetap signifikan, yang mencerminkan kontribusi berkelanjutan dari limbah maritim dan limbah domestik yang terbawa arus ke dermaga tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada keluarga, dosen, teman-teman, dan seluruh pihak lain yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan kontribusi dalam penyusunan jurnal ini hingga terselesaikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kelimpahan di Stasiun 1 (Muara Belawan) menunjukkan konsentrasi tertinggi dengan rata-rata 110 ± 16,37 partikel/L.Tingginya kelimpahan ini disebabkan oleh lokasinya sebagai zona konvergensi (pertemuan sungai dan laut). Perlambatan arus di muara menyebabkan mikroplastik yang dibawa dari wilayah hulu Kota Medan (sumber limbah padat penduduk) terakumulasi dan mengendap di permukaan air sebelum terbawa ke laut lepas. Penemuan ini menunjukkan bahwa perairan estuari di Medan telah berada dalam kategori tercemar sedang-tinggi. Dominasi Tipe Fiber (serat) dan Fragmen (potongan) adalah bentuk yang paling melimpah secara keseluruhan. Stasiun 1 dan 2 didominasi oleh Fiber (42% dan 50%), yang kuat dikaitkan dengan limbah domestik (pencucian pakaian sintetis) dan limbah perikanan (jaring, tali pancing) yang masuk langsung dari sungai dan pemukiman padat. Stasiun 3: Dominasi bergeser ke Fragmen (48%), yang berhubungan dengan degradasi makroplastik yang dipercepat oleh aktivitas fisik intensif di lingkungan dermaga (lalu lintas kapal, bongkar muat). Kedua tipe ini menimbulkan risiko ekologis tinggi, di mana Fiber dapat menyebabkan penyumbatan dan Fragmen meniru partikel makanan, meningkatkan peluang ingesti dan transfer polutan. Distribusi Warna Berbeda-beda di Setiap Stasiun. Stasiun 1 (Muara): Warna Transparan (33%) dominan, mengindikasikan kuatnya *photodegradation* dan masukan plastik alami tidak berpigmen/baru terdegradasi dari hulu. Stasiun 2 (Pemukiman Nelayan): Warna Biru (28%) dominan, secara spesifik mengarah pada kontribusi intensif dari limbah alat tangkap perikanan (nilon) dan limbah domestik (Merah dan Transparan). Stasiun 3 (Dermaga): Warna Transparan (30%) dan Hitam (16%) dominan. Warna Hitam secara khusus dikaitkan dengan limbah teknis/operasional dari mesin kapal (*antropogenik maritim*), melengkapi dominasi Fragmen di area dermaga.

DAFTAR PUSTAKA

Azizah, P., Ridlo, A., & Suryono, C. A. (2020). Mikroplastik pada Sedimen di Pantai Kartini Kabupaten Jepara Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, *9*(3), 326–332. http://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.28197

Belioka, M., & Achilias, D. S. (2023). Microplastic Pollution and Monitoring in Seawater and Harbor Environments: A

Meta-Analysis and Review. *Sustainability*, *15*(9079), 1-40. http://doi.org/10.3390/su15119079

Coyle, R., Hardiman, G., & Driscoll, K. O. (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), 1-9. http://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100010

Febriyanti, S. V., Utomo, K. P., & Sulastri, A. (2024). Analisis Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Pantai Mangrove di Kalimantan Barat. *Journal of Marine Research*, *13*(2), 231-238. http://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.36714

Fibbe, M. C., Carroll, D., Gowans, S., & Siuda, A. N. S. (2023). Ingestion of microplastics by copepods in Tampa Bay Estuary, FL. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *11*(1143377), 1-11. http://doi.org/10.3389/fevo.2023.1143377

Guo, M., Noori, R., & Abolfathi, S. (2024). Microplastics in freshwater systems: Dynamic behaviour and transport processes. *Resources Conservation and Recycling*, *205*(107578), 1-21. http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107578

Harmayani, K. D., Hadibarata, T., Kristanti, R. A., Dayanti, P. K. P. M., Satyawati, K. L., Wiratama, P. a. A., & Suari, P. P. V. (2025b). Initial indication of microplastics in the water and sediment of the Tukad Badung River in Bali, Indonesia. *Water Air & Soil Pollution*, *236*(727), 1-13. https://doi.org/10.1007/s11270-025-08365-5

Hasibuan, N. H., Suryati, I., Leonardo, R., Risky, A., Ageng, P., & Addauwiyah, R. (2020). Analisa Jenis, Bentuk Dan Kelimpahan Mikroplastik Di Sungai Sei Sikambing Medan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, *20*(2), 108-115. http://doi.org/10.36275/stsp.v20i2.270

Harpah, N., Ageng, P., Addauwiyah, R., Rizki, A., Perdana, Z., Suryati, I., Leonardo, R., Husin, A., & Faisal, M. (2021). Microplastic Pollution in Deli River Medan. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, *802*(012019), 1-7. http://doi.org/10.1088/1755-1315/802/1/012019

Hossain, M. B., Yu, J., Nur, A. U., Banik, P., Jolly, Y. N., Mamun, M. A., Arai, T., & Albeshr, M. F. (2023). Microplastics In Surface Water From A Mighty Subtropical Estuary: First Observations On Occurrence, Characterization, And Contamination Assessment. *Environmental Research*, *226*(115594), 1-9. http://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115594

Jolaosho, T. L., Rasaq, M. F., Omotoye, E. V., Araomo, O. V., Adekoya, O. S., Abolaji, O. Y., & Hungbo, J. J. (2025). Microplastics In Freshwater And Marine Ecosystems: Occurrence, Characterization, Sources, Distribution Dynamics, Fate, Transport Processes, Potential Mitigation Strategies, And Policy Interventions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *294*(118036), 1-36. http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118036

Layn, A. A., Emiyarti, & Ira. (2020). Analisis Konsentrasi Dan Sebaran Mikroplastik Di Muara Sungai Bedahan, Wonokerto, Kabupaten Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, *4*(4), 101–110. http://doi.org/10.14710/ijoce.v6i4.24673

Nakakuni, M., Nishida, M., Nishibata, R., Kishimoto, K., Yamaguchi, H., Ichimi, K., Ishizuka, M., Suenaga, Y., & Tada, K. (2024). Convergence zones of coastal waters as hotspots for floating microplastic accumulation. *Marine Pollution Bulletin*, *206*(116691), 1-10. http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116691

Noor, S. Y., Riani, E., Hariyadi, S., Butet, N. A., & Cordova, M. R. (2025). Abundance and characteristics of microplastics in surface waters of Banten Bay, Serang, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, *29*(3), 61–79. https://doi.org/10.21608/ejabf.2025.425772

Nunes, B. Z., Huang, Y., Ribeiro, V. V., Wu, S., Holbech, H., Moreira, L. B., Xu, E. G., & Castro, I. B. (2022). Microplastic Contamination In Seawater Across Global Marine Protected Areas Boundaries. *Environmental Pollution*, *316*(120692), 1-12. http://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120692

Ramananda, J., Barus, T. A., & Nuryawan, A. (2023). Analysis of Microplastic Abundance in Lake Siombak, Medan Marelan, Medan. *Tunas Geografi*, *12*(1), 18–32.

http://doi.org/10.24114/tgeo.v12i1.39753

Sánchez-Campos, M., Ponce-Vélez, G., Sanvicente-Añorve, L., & Alatorre-Mendieta, M. (2024). Microplastic Contamination In Three Environmental Compartments Of A Coastal Lagoon In The Southern Gulf Of Mexico. *Environ Monit and Assess*, *196*(1012), 1-24. http://doi.org/10.1007/s10661-024-13156-2

Sugandi, D., Agustiawan, D., Febriyanti, S. V., Yudi, Y., & Wahyuni, N. (2021). Identifikasi Jenis Mikroplastik dan Logam Berat di Air Sungai Kapuas Kota Pontianak. *POSITRON*, *11*(2), 112-120. https://doi.org/10.26418/positron.v11i2.49355

Suparno, S., Deswati, D., Fitri, W. E., Pardi, H. ., & Putra, A. . (2024). Microplastics in the Water of Batang Anai Estuary, Padang Pariaman Regency, Indonesia: Assessing Effects on Riverine Plastic Load in the Marine Environment: 10.32526/ennrj/22/20230191. *Environment and Natural Resources Journal*, *22*(1), 55-64. http://doi.org/10.32526/ennrj/22/20230191

Sutanhaji, A. T., Rahadi, B., & Firdausi, N. T. (2021). Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Permukaan di Sungai Metro, Malang. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, *8*(2), 74–84. https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2021.008.02.3

Shafani, R. H., Nuraini, R. a. T., & Endrawati, H. (2022). Identifikasi dan kepadatan mikroplastik di sekitar muara sungai Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur, Kota Semarang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, *11*(2), 245–254. https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.31885

Takarina, N. D., Purwiyanto, A. I., Rasud, A. A., Arifin, A. A., & Suteja, Y. (2022). Microplastic Abundance And Distribution In Surface Water And Sediment Collected From The Coastal Area. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *8*(2), 183-196. https://doi.org/10.22034/gjesm.2022.02.03

Tan, E., & Mohd Zanuri, N. B. (2023). Abundance And Distribution Of Microplastics In Tropical Estuarine Mangrove Areas Around Penang, Malaysia. *Frontiers in Marine Science*, ***10***(1148804), 1-20. http://doi.org/10.3389/fmars.2023.1148804

Utami, I., Resdianningsih, K., & Rahmawati, S. (2022). Temuan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Progo dan Sungai Opak Kabupaten Bantul. *Jurnal Riset Daerah*, *12*(1) 4175-4184. http://doi.org/10.64730/jrdbantul.v22i1.21

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. http://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.14923

Pfeiffer, F., & Fischer, E. K. (2020). Various digestion protocols within Microplastic Sample Processing-Evaluating the resistance of different synthetic polymers and the efficiency of biogenic Organic matter destruction. *Frontiers in Environmental Science*, *8*(572424), 1-9. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.572424

Wootton, N., Reis-Santos, P., Przeslawski, R., Adyel, TM., Blewitt, M., Clarke, B., Crutchett, T., Ghose, A., Hajbane, S., Hamann, M., Hardesty, BD., Hossain, R., Lavers, JL., Leterme, SC., Leusch, FDL., Lynch, SK., MacGregor, M., Motti, CA., Noble, W., Obrien, A., Palanisami, T., Okoffo, ED., Perera, K., Puskic, P., Hollis, JR., Roman, L., Sahajwalla, V., Santana, MFM., Snigirova, A., Tuuri, EM., Wilson, SP., Ziajahromi, S., & Gillanders, BM. (2025). A Field And Laboratory Manual For Sampling, Processing And Reporting Microplastics In Coastal And Marine Environments. *Frontiers in Marine Science, 12*(1674412), 1-18. http://doi.org/10.3389/fmars.2025.1674412

Xiong, X., Wu, C., Elser, J. J., Mei, Z., & Hao, Y. (2018). Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River - From inland to the sea. *The Science of the Total Environment*, *659*, 66-73. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.313

Yang, H., Chen, G., & Wang, J. (2021). Microplastics in the marine environment: sources, fates, impacts and microbial degradation. *Toxics*, *9*(41), 1-19. https://doi.org/10.3390/toxics9020041