

Studi Distribusi Mikroplastik dan Material Padatan Tersuspensi (MPT) di Muara Sungai Sengkarang, Pekalongan

Talitha Sahda Nindyra Wicaksono¹, Kunarso¹, Muhammad Zainuri^{1,3},
Adzkia Noerma Arifa¹, Muhammad Shulhan Jihadi^{2,3}, Annisa Dianti Cahyaningtyas^{2,3},
Anindita Rahma Candrasekar^{2,3}

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

³Center for Coastal Rehabilitation and Disaster Mitigation Studies, Integrated Laboratory for Research and Services, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedharto SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

Email: muhammadzainuri@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Wilayah Pekalongan dengan panjang garis pantai $\pm 6,15$ km menghadapi limbah mikroplastik dan bahan organik akibat kegiatan industri dan antropogenik. Keberadaan mikroplastik yang terakumulasi serta suspensi sedimen dapat berdampak buruk pada lingkungan dan kualitas perairan. Penelitian ini bertujuan mengetahui kandungan dan distribusi mikroplastik dengan material padatan tersuspensi (MPT) di Muara Sungai Sengkarang menggunakan 12 stasiun representatif. Pengambilan sampel dilakukan secara in-situ pada 30 Mei 2024, dianalisis melalui pemodelan particle tracking, mud transport, hidrodinamika 2D, serta uji korelasi Pearson. Hasil menunjukkan kelimpahan mikroplastik sebesar 34–760 partikel/m³ dengan karakteristik dominan fragmen hitam (50–250 μ m). Kandungan terbanyak berada pada wilayah muara hingga laut lepas (T26, T6, T18). Konsentrasi MPT sebesar 25–64 mg/L dengan nilai tertinggi di stasiun T28, T7, T4. Mikroplastik dominan terakumulasi di pesisir dekat sungai, sedangkan kepadatan MPT cenderung menurun menuju laut lepas. Keterkaitan mikroplastik dan MPT tidak berkorelasi secara signifikan dengan pengaruh MPT terhadap keberadaan mikroplastik hanya sebesar 3,7249% (R^2 0,037249; p-value 0,547). Kandungan serta sebaran keduanya diduga dipengaruhi faktor hidro-oseanografi seperti pasang surut, arus, dan batimetri.

Kata kunci: Distribusi, Mikroplastik, MPT, Pekalongan, Sengkarang

Abstract

Study on the Distribution of Microplastics and Total Suspended Solid (TSS) in the Sengkarang River Estuary, Pekalongan Waters

Pekalongan coastal area, with a shoreline length of ± 6.15 km, faces microplastic and organic waste pollution due to industry and anthropogenic activities. The accumulation of microplastics and suspended sediments can negatively impact the marine environment and water quality. This study aims to determine the concentration and distribution of microplastics in relation to Total Suspended Solids (TSS) at the Sengkarang River Estuary, Pekalongan, utilizing 12 representative stations. In-situ water sampling was conducted on May 30, 2024, followed by particle tracking, mud transport, and 2D hydrodynamic modeling, as well as Pearson correlation analysis. Results show microplastic abundance ranging from 34–760 particles/m³, dominated by black fragments (50–250 μ m). The highest concentrations were found from the estuary to the open sea (stations T26, T6, T18). TSS concentrations ranged from 25–64 mg/L, with peak values at stations T28, T7, and T4. Modeling indicates that microplastics primarily accumulate in coastal areas near the river, while TSS density tends to decrease toward the open sea. The relationship between microplastics and TSS is not significantly correlated, with the influence of TSS on the presence of microplastics accounting for only 3.7249% (R^2 0.037249; p-value 0.547). The distribution of both variables is likely influenced by hydro-oceanographic factors, including tides, currents, and bathymetry.

Keywords: Distribution, Microplastics, Pekalongan, Sengkarang, TSS

PENDAHULUAN

Mikroplastik merupakan jenis sampah plastik yang berukuran lebih kecil dari 5 mm yang dikelompokkan menjadi mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer diproduksi secara sengaja untuk kebutuhan industri, sementara mikroplastik sekunder merupakan hasil fragmentasi fisik dari polimer plastik yang lebih besar (Azizah *et al.*, 2020). Sebagai polimer sintesis yang sulit terdegradasi sempurna, mikroplastik menetap di lingkungan dalam jangka waktu lama, menyusut menjadi ukuran mikro melalui proses fisika-kimia, dan terdistribusi bersama Material Padatan Tersuspensi (MPT).

Kota Pekalongan memiliki jaringan sungai yang padat, salah satunya adalah Sungai Sengkarang dengan panjang 51,50 km yang bermuara di Laut Jawa. Peningkatan kegiatan industri, pertanian, dan pemukiman di wilayah ini telah memicu peningkatan buangan limbah dan erosi tanah. Limbah-limbah tersebut membawa kontaminan berupa mikroplastik dan MPT yang terdistribusi di kolom perairan. MPT sendiri merupakan parameter fisikokimia yang dianggap berpengaruh terhadap kelimpahan mikroplastik karena sifat kontaminan yang rentan melekat pada padatan tersuspensi. Menurut penelitian Rasyid (2024), konsentrasi MPT yang tinggi dapat meningkatkan potensi kelimpahan mikroplastik melalui proses adsorpsi dan transportasi partikel yang bersamaan. Namun, sebagian besar studi mikroplastik di wilayah Pekalongan utamanya pada Sungai Sengkarang, seperti yang dilakukan oleh Anindita *et al.* (2024) dan Tristanova *et al.* (2024), masih berfokus pada inventarisasi kelimpahan tanpa mengkaji keterkaitan parametrik dengan padatan tersuspensi secara statistik.

Selain itu terdapat kekosongan data mengenai aspek dinamika transportasi, dimana penelitian terdahulu belum mempertimbangkan bagaimana fenomena hidro-oseanografi, seperti arus pasang surut, secara simultan mendistribusikan mikroplastik dan MPT di area transisi muara. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan uji korelasi Pearson dan pemodelan hidrodinamika 2D. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai mekanisme akumulasi mikroplastik di Muara Sungai Sengkarang yang dipengaruhi oleh dinamika perairan pesisir.

MATERI DAN METODE

Titik lokasi pengambilan sampel ditentukan menggunakan metode *purposive sampling*.

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 30 Mei 2024 di Muara Sungai Sengkarang, Perairan Pekalongan yang tepatnya berada pada Kabupaten Pekalongan. Memiliki letak geografis yang berada pada koordinat 6°50'42"LS – 6°55'44"LS dan 109°37'55"BT – 109°42'19"BT. Terdapat 12 titik sampling untuk sampel mikroplastik dan MPT yang diambil dan dilakukan ketika musim peralihan I pada saat keadaan pasang menuju surut. Pengolahan sampel mikroplastik dan MPT dilakukan di Laboratorium Geologi Laut, Kimia, dan Biologi FPIK Universitas Diponegoro.

Pengambilan Sampel Air Mikroplastik

Metode pengambilan sampel mikroplastik dilakukan dengan modifikasi dari Virsek *et al.* (2016) menggunakan plankton net berukuran 200 μ m dengan diameter mulut jaring sebesar 50 cm ($r = 0,25$ m; $A = \pi r^2 \approx 0,196$ m²). Jaring ditempatkan di sisi kapal pada jarak 1–2 meter untuk menghindari turbulensi mesin, dengan posisi dipantau menggunakan GPS. Volume filtrasi dihitung menggunakan rumus standar volume swept:

$$V = A \times D$$

$$V = 0,196 \text{ m}^2 \times 5,1 \text{ m} = 1 \text{ m}^3$$

Dimana V adalah volume filtrasi, A adalah luas mulut jaring dan D adalah jarak penarikan 5,1 meter untuk mencapai target 1 m³ atau setara dengan 1.000 liter air yang tersaring (Pasquier *et al.*, 2022). Setelah volume tersebut terpenuhi, jaring diangkat dan seluruh partikel tersaring dibilas ke dalam botol sampel hingga diperoleh konsentrat akhir sebanyak 1 liter. Sampel kemudian disimpan di dalam *cool box* untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium.

Analisis Kandungan Mikroplastik

Analisis kelimpahan mikroplastik pada sampel air dihitung menggunakan rumus (Masura *et al.*, 2015):

$$K = \frac{n}{v}$$

Keterangan : K = Kelimpahan mikroplastik (partikel/ L); n = Jumlah mikroplastik; v = Volume sampel

Metode yang digunakan dalam pengujian sampel air mengacu pada metode dari *National*

Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA). Dalam melakukan pengujian terdapat beberapa modifikasi, yaitu alur pengolahan sampel adalah proses penyaringan basah, pengeringan sampel, Wet Peroxide Oxidation (WPO), proses pemisahan densitas dan pengeringan sampel.

Pengambilan Sampel MPT

Sampel air laut diambil menggunakan botol Nansen pada kedalaman yang telah ditentukan. Setelah botol tertutup rapat, sampel dipindahkan ke dalam botol sampel (polyethylene) yang telah diberi label sesuai titik sampling. Sampel kemudian disimpan dalam *coolbox* berisi es untuk meminimalkan proses dekomposisi mikrobiologis selama transportasi.

Analisis Kandungan MPT

Analisis konsentrasi MPT dilakukan merujuk pada SNI 06-6989.3-2024 (BSN, 2004). Kertas saring Whatman No. 42 (diameter 125 mm) dipersiapkan dengan cara dibilas akuades, dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 1 jam,

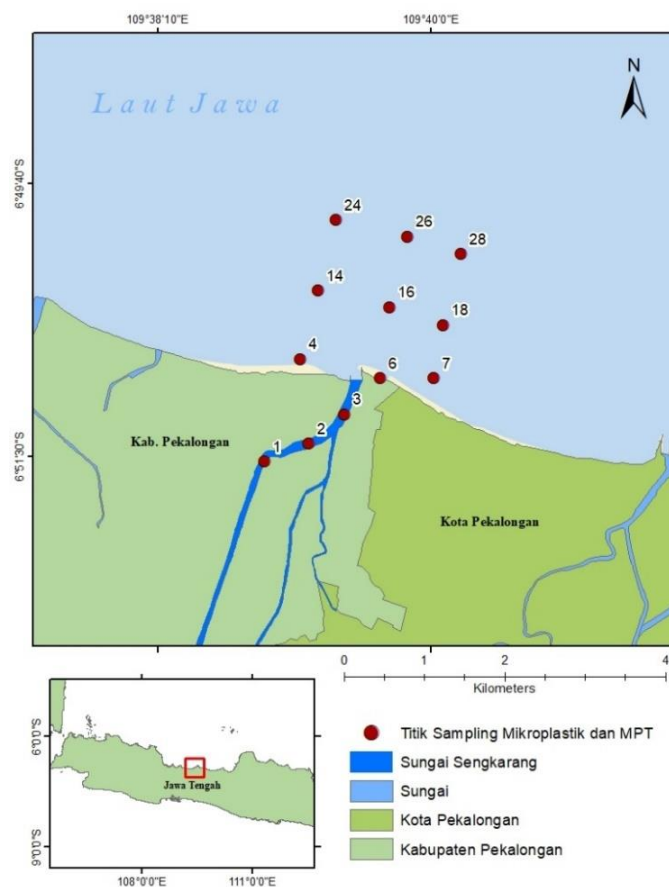
didinginkan dalam desikator selama 30 menit, lalu ditimbang sebagai berat awal (Erfando et al., 2023). Sebanyak 500 ml sampel air yang telah homogen disaring menggunakan kertas saring tersebut. Selanjutnya, kertas saring dikeringkan kembali dalam oven (105°C, 1 jam), didinginkan dalam desikator (30 menit), dan ditimbang untuk mendapatkan berat akhir. Nilai MPT dihitung menggunakan rumus:

$$MPT = \frac{(A-B) 1000}{V}$$

Keterangan : A = Berat kertas saring + sampel setelah di oven (mg); B = Berat kertas saring setelah dioven (mg); V = Volume sampel (ml)

Pemodelan Hidrodinamika

Pemodelan hidrodinamika dilakukan untuk merepresentasikan pola arus yang terjadi di Sungai Sengkarang. Model ini mensimulasikan perbedaan ketinggian muka air dan aliran air sebagai respon dari perbedaan gaya yang bekerja pada perairan



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

seperti danau, estuari dan pantai (Wiyadi, *et al.*, 2022). Dalam pemodelan hidrodinamika terdapat dua persamaan pembangun, yaitu persamaan kontinuitas dan momentum. Persamaan ini digunakan untuk memahami hukum kekekalan massa air dan energi yang bekerja pada air, dimana hal tersebut mempengaruhi pergerakannya. Dalam modul hidrodinamika yang dinyatakan pada *Hydrodynamic and Transport* modul, DHI *software* (2017), persamaan kontinuitas dan momentum yaitu :

a) Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

b) Persamaan Momentum

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} &= fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho^0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{g}{\rho^0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho^0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) u_s S \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} &= fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho^0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ \frac{g}{\rho^0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho^0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) v_s S \end{aligned}$$

Keterangan : η = Elevasi Muka Air (m); t = Waktu (s); x, y, z = Koordinat Cartesian (m); h = Total Kedalaman Air (m); d = Kedalaman Air (m); u, v, w = Komponen Kecepatan dalam arah x, y , dan z (m/s); f = Parameter Coriolis; F = Gaya Eksternal (N); Ω = Kecepatan Sudut Rotasi Bumi; g = Percepatan Gravitasi; p = Densitas Air (kg/m^3); $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ = Komponen Tensor Tegangan Radiasi (pa); v = Kecepatan Air (m/s); p_a = Tekanan Atmosfer (pa); p_0 = Referensi densitas air (kg/m^3); S = Besarnya debit akibat sumber titik (m^3/s); u_s, v_s = Kecepatan air dilepaskan ke air (m/s); μ = Viskositas Dinamis Air (pa/s).

Validasi Hasil Pemodelan

Validasi pemodelan hidrodinamika menggunakan *Root Mean Squared Error* (RMSE), yang merupakan akar kuadrat dari rata-rata kuadrat semua error. Umumnya metode RMSE ini dianggap sangat baik dalam menentukan kesalahan prediksi numerik (Neill dan Hashemi, 2018). Persamaan yang digunakan dalam metode ini sebagai berikut (Cahyani *et al.*, 2024) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

Keterangan: O_i = Nilai prediksi model; S_i = Nilai hasil observasi; n = Banyaknya data

Analisis Faktor Angin

Data angin yang digunakan adalah arah dan kecepatan, yaitu dengan cara mengunduh data angin pada *website open source* ECMWF dengan format NetCDF, setelah itu format tersebut diubah menjadi Microsoft Excel agar mudah di olah dengan menggunakan *software Ocean Data View* (ODV). Raw data dengan format *Microsoft Excel* kemudian di olah menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = \sqrt{(u)^2 + (v)^2}$$

Keterangan : V = kecepatan angin dengan satuan meter per second; u = kecepatan angin permukaan 10 meter komponen u ; v = kecepatan angin permukaan 10 meter komponen v

Setelah dilakukan pengolahan dan didapat nilai-nilai yang dibutuhkan, input data tersebut ke *software* MIKE 21 untuk pengolahan windrose agar terlihat arah dan kecepatan angin dominan pada bulan Juli 2024.

Pemodelan Particle Tracking (PT)

Menurut Nusantara *et al.* (2024), particle tracking modul merupakan salah satu cara untuk meramalkan pergerakan partikel di fluida. Pada modul ini perpindahan posisi partikel dari input kecepatan hasil keluaran dari model hidrodinamika dikalkulasikan setiap waktunya. Menurut Wulandari *et al.* (2021), Persamaan pada modul ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ + a_1 C + a_2 \end{aligned}$$

Keterangan : C = konsentrasi mikroplastik (partikel/ m^3 , partikel/kg); t = waktu, detik; u = kecepatan aliran arah x , m/d; v = kecepatan aliran arah y , m/d; D_x = koefisien arah dispersi x , m^2/d ; D_y = koefisien arah dispersi y , m^2/d ; a_1 = koefisien istilah sumber (erosi-deposisi), 1/detik; a_2 = konsentrasi seimbang istilah sumber (erosi-deposisi), $\text{kg/m}^3/\text{d} = -a_1 C_{eq}$

Pemodelan *Mud Transport* (MT)

Pemodelan dengan menggunakan modul *Mud Transport* (MT) pada dasarnya merupakan perantara untuk pembuatan visualisasi dari angkutan sedimen kohesif. Sedimen kohesif merupakan jenis sedimen yang memiliki sifat khusus sehingga sifatnya mudah terikat satu sama lain. Sedimen kohesif biasanya berukuran halus seperti lumpur dan lempung, yang cenderung bersifat kohesif dikarenakan ikatan kimia antarpartikel yang kuat (Noya dan Manuputty, 2023). Untuk membuat visualisasi pemodelan *Mud Transport* perlu menghitung hasil dari pergerakan material kohesif. Persamaan pembangun yang digunakan dalam modul ini yaitu (Cahyani *et al.*, 2024) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \\ = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(h D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \\ + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q_L C_L \frac{1}{h} - S \end{aligned}$$

Keterangan : C = Konsentrasi sedimen dalam air (kg/m^3); t = Waktu (s); u, v = Komponen kecepatan aliran dalam arah x dan y ; D_x, D_y = Koefisien dispersi dalam arah x dan y (m^2/s); S = *Sour or sink* dari sedimen ($\text{g}/\text{m}^3/\text{s}$); Q_L = *Source discharge per unit horizontal area* ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$); C_L = *Concentration of the source discharge* (g/m^3).

Uji Korelasi Pearson

Uji korelasi Pearson ini berfungsi untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel

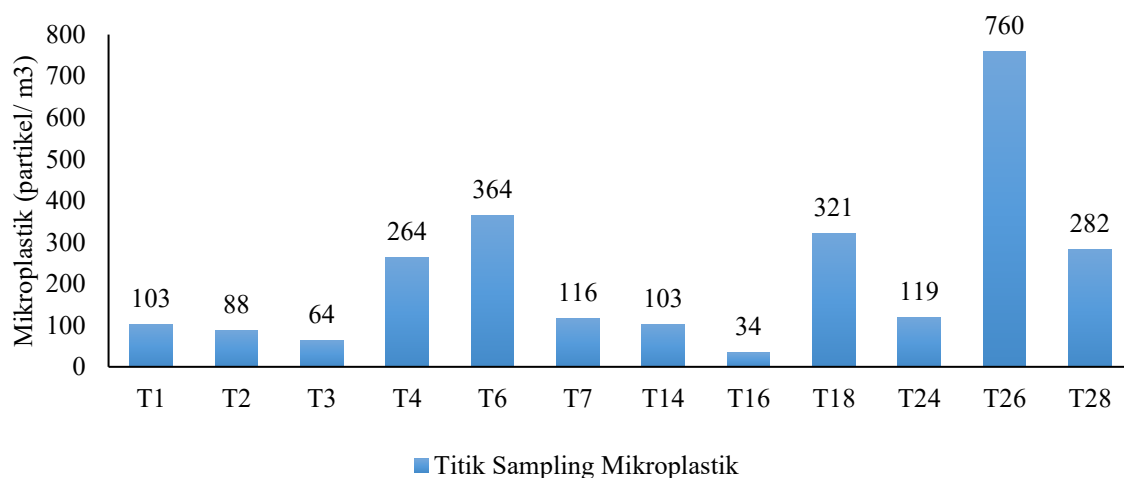
yang dinyatakan dengan koefisien korelasi (r) yang nilainya berkisar antara -1 hingga 1 yang menunjukkan hubungan negative sempurna, 0 menunjukkan tidak adanya hubungan dan 1 menunjukkan hubungan positif sempurna. Uji korelasi ini dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara kelimpahan mikroplastik dengan konsentrasi MPT. Koefisien korelasi Pearson dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Ardhaneswari dan Suwitra, 2024) :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Keterangan : n = Jumlah sampel; x = Nilai dari variabel X; y = nilai dari variabel Y

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada titik sampling mikroplastik, di daerah sungai (T1 & T2) mikroplastik yang ditemukan sebanyak 103 dan 88 partikel/ m^3 , pada wilayah sungai menuju muara (T3) mikroplastik yang ditemukan sebanyak 64 partikel/ m^3 . Sedangkan pada wilayah muara sungai (T6) mikroplastik yang ditemukan yaitu sebanyak 364 partikel/ m^3 , serta pada wilayah pesisir dekat dengan kawasan Mangrove (T4) yaitu sebanyak 264 partikel/ m^3 . Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Selanjutnya pada kawasan pesisir (T7) terdapat mikroplastik sebanyak 116 partikel/ m^3 . Pada wilayah muara ke perairan tengah (T14, T16, & T18) memiliki kelimpahan mikroplastik sebanyak 103, 34, dan 321 partikel/ m^3 . Pada perairan dalam (T24, T26, & T28) memiliki kelimpahan mikroplastik yang tinggi yaitu sebanyak 119, 760, & 282 partikel/ m^3 .



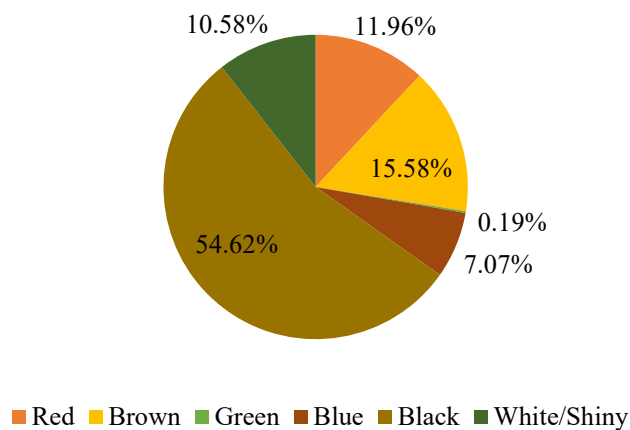
Gambar 2. Kelimpahan Mikroplastik Sungai Sengkarang

Pada wilayah ini warna mikroplastik yang ditemukan adalah hitam yaitu sebesar 54,62% yang artinya mikroplastik dengan warna ini memiliki perbandingan yang cukup signifikan dengan total kelimpahan mikroplastik di wilayah tersebut. Selanjutnya pada lokasi dengan kandungan mikroplastik kedua yang berwarna coklat dan merah yaitu sebesar 15,58% dan 11,96%. Pada warna sisanya yaitu putih, biru, dan hijau memiliki persen kelimpahan sebesar 10,58%, 7,07%, dan 0,19%.

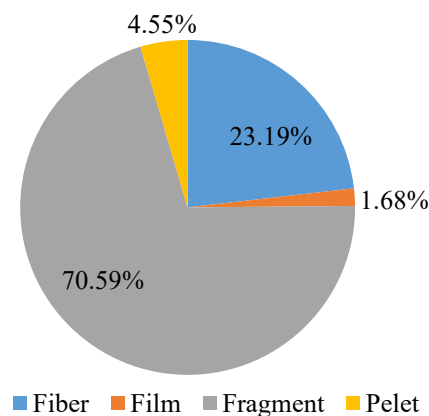
Pada wilayah penelitian ini ditemukan mikroplastik dengan beberapa jenis yaitu fiber, film, fragmen dan pellet. Jenis mikroplastik terbanyak yang ditemukan adalah fragmen yaitu sebesar 70,59% yang besarnya hampir memenuhi total kelimpahan mikroplastik yang ada pada wilayah kajian. Jenis fragmen tersendiri merupakan salah satu jenis mikroplastik yang

berasal dari pemecahan/ fragmentasi plastik yang lebih besar seperti botol, kantong plastik dan kemasan makanan akibat dari paparan sinar ultraviolet dan arus air (Cahayani *et al.*, 2024). Sedangkan jenis mikroplastik kedua terbanyak pada wilayah kajian ini adalah fiber yaitu sebanyak 23,19%. Jenis mikroplastik lainnya juga ditemukan pada wilayah kajian yaitu film dan pellet sebesar 1,68% dan 4,55%.

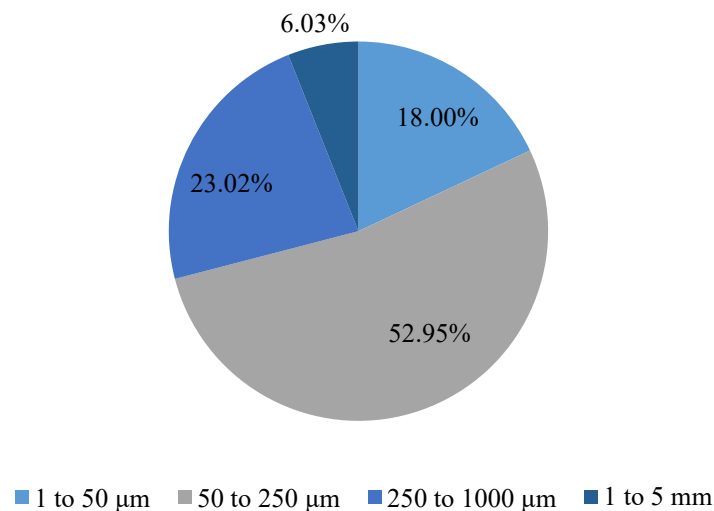
Pada wilayah kajian ukuran mikroplastik terbanyak yaitu berukuran 50 – 250 μm yaitu sebesar 52,95%. Sedangkan jumlah mikroplastik pada urutan kedua berukuran 250 – 1000 μm sebesar 23,02%, serta ukuran yang lain seperti 1 – 50 μm dan 250 – 1000 μm sebesar 18% dan 6,03%. Ukuran terbanyak yaitu 50 – 250 μm ditemukan paling banyak berada pada titik (T26 & T6) yang berada pada wilayah perairan dalam dan muara sungai.



Gambar 3. Presentase Warna Mikroplastik



Gambar 4. Persentase Jenis Mikroplastik



Gambar 5. Grafik Persentase Ukuran Mikroplastik

Konsentrasi MPT

Nilai konsentrasi Material Padatan Tersuspensi (MPT) pada setiap titik sampling disajikan dalam Gambar 6. Di wilayah sungai dekat tambak (T1 dan T2), nilai MPT tercatat sebesar 56 dan 55 mg/L, sementara di dekat kawasan wisata (T3) sebesar 25 mg/L. Wilayah pesisir dan muara sungai (T4, T6, dan T7) menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi, masing-masing sebesar 60, 38, dan 62 mg/L. Pada perairan tengah (T14, T16, dan T18), nilai MPT berkisar antara 28, 40,3, dan 40 mg/L. Sedangkan di perairan dalam (T24, T26, dan T28), nilai yang diperoleh adalah 27, 26, dan 64 mg/L. Tingginya konsentrasi di stasiun T4 disebabkan oleh suplai MPT dari muara. Sedangkan pada stasiun (T28) memiliki nilai MPT yang tinggi dikarenakan faktor hidro-oseanografi seperti arus, nilai konsentrasi MPT ini dipengaruhi oleh pergerakan arus, sehingga semakin tinggi nilai kecepatan arus maka semakin besar pula terjadinya kekeruhan pada suatu perairan (Adriono *et al.*, 2021).

Hidro-Oseanografi Perairan Pekalongan

Hasil pemodelan arus menunjukkan bahwa arus dekat dengan Muara Sungai Sengkarang bergerak dari arah barat laut ke arah tenggara dengan kecepatan rata-rata 0,0385 – 0,1927 m/s. Kecepatan arus pada model tersebut menunjukkan kecepatan dominan pada wilayah yang dekat dengan muara yaitu sekitar 0,0385 – 0,0771 m/s.

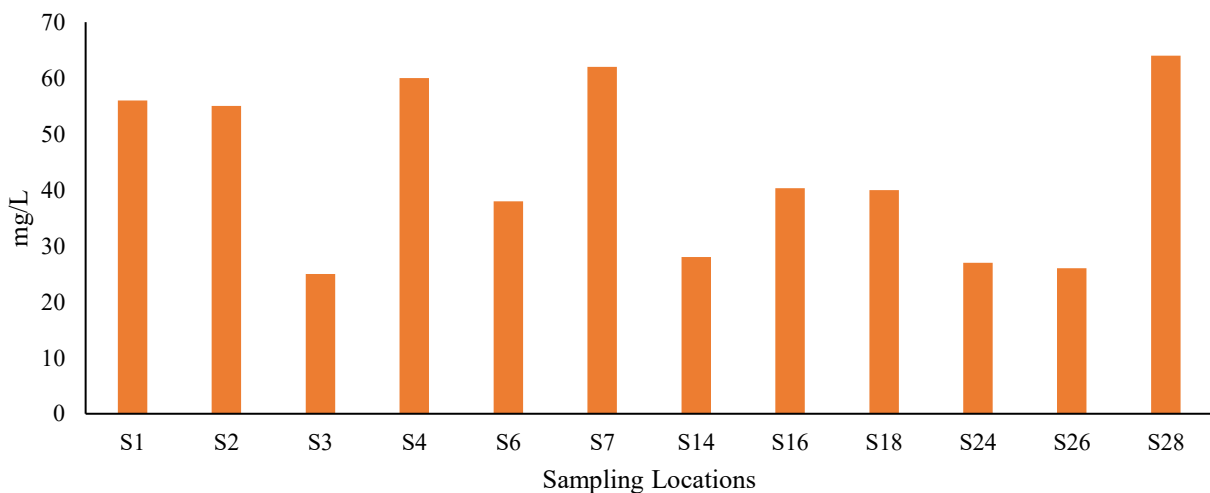
Model arus telah di verifikasi menggunakan data pasang surut dari *website open source* Badan Informasi Geospasial (BIG). Dimana dari hasil verifikasi menggunakan metode RMSE, hasil verifikasi menunjukkan nilai sebesar 0.080026 atau sama dengan 8%, nilai RMSE kurang dari 40% termasuk ke dalam model yang sangat akurat dan memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil (Jatnika *et al.*, 2023). Hasil verifikasi statistik menunjukkan perolehan nilai rata-rata data BIG sebesar -0,0005369 dan rata-rata model sebesar 0,070596. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai RMSE sebesar 0,0800 (8%), yang menunjukkan bahwa hasil pemodelan memiliki korelasi yang sangat baik dengan data lapangan. Selanjutnya pada hasil *windrose* angin pada bulan Mei 2024 menunjukkan hasil yang sama dengan pemodelan arus pada wilayah tersebut yaitu bergerak dari dominan dari arah barat laut ke arah tenggara. Kecepatan angin tersebut memiliki nilai sebesar 0.8333 – 4.1667 m/s

Distribusi Mikroplastik dan MPT

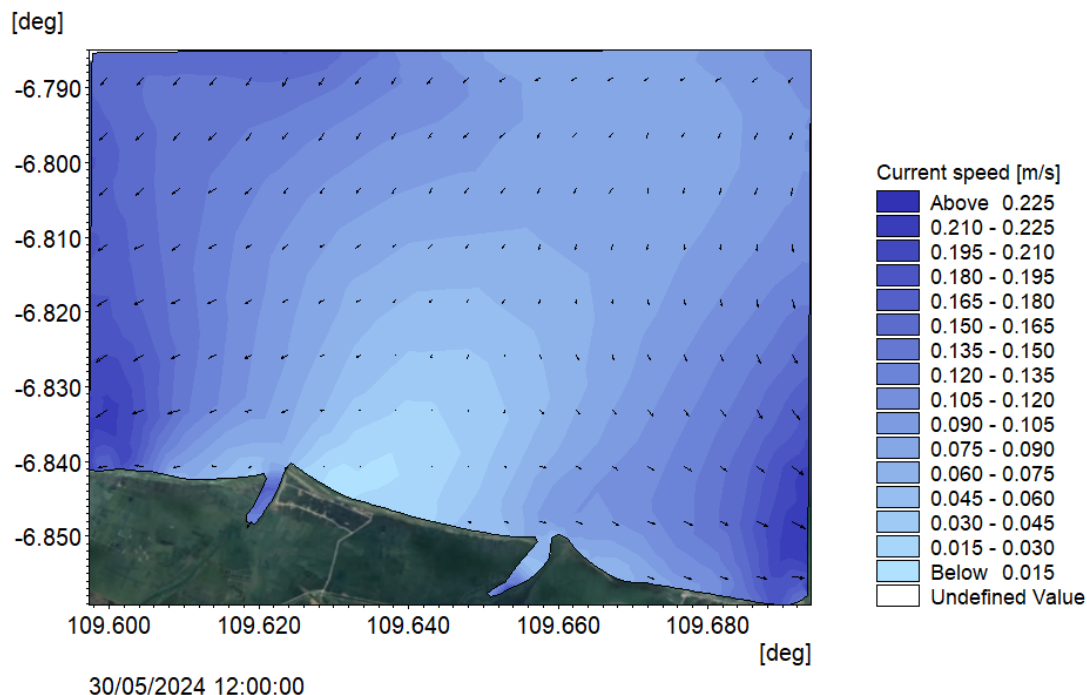
Sebaran mikroplastik pada saat kondisi surut menuju pasang Gambar 12 (A) memperlihatkan arah arus dominan dari arah barat laut ke tenggara. Pola sebaran yang terjadi pada saat surut menuju pasang menunjukkan sebaran acak yang terakumulasi dominan pada wilayah

muara. Lalu pada Gambar 12 (B) kondisi pasang tertinggi memiliki arah arus dominan yang sama dengan kondisi surut menuju pasang yaitu dari arah barat laut ke tenggara, dapat dilihat pada Gambar 12 (B) menunjukkan akumulasi mikroplastik yang semakin banyak di wilayah laut lepas, hal tersebut dikarenakan persebaran yang mulai dominan ke wilayah pesisir dekat dengan Sungai Sengkarang. Saat kondisi pasang menuju surut Gambar 12 (C) sebaran mikroplastik semakin terlihat menjalar di

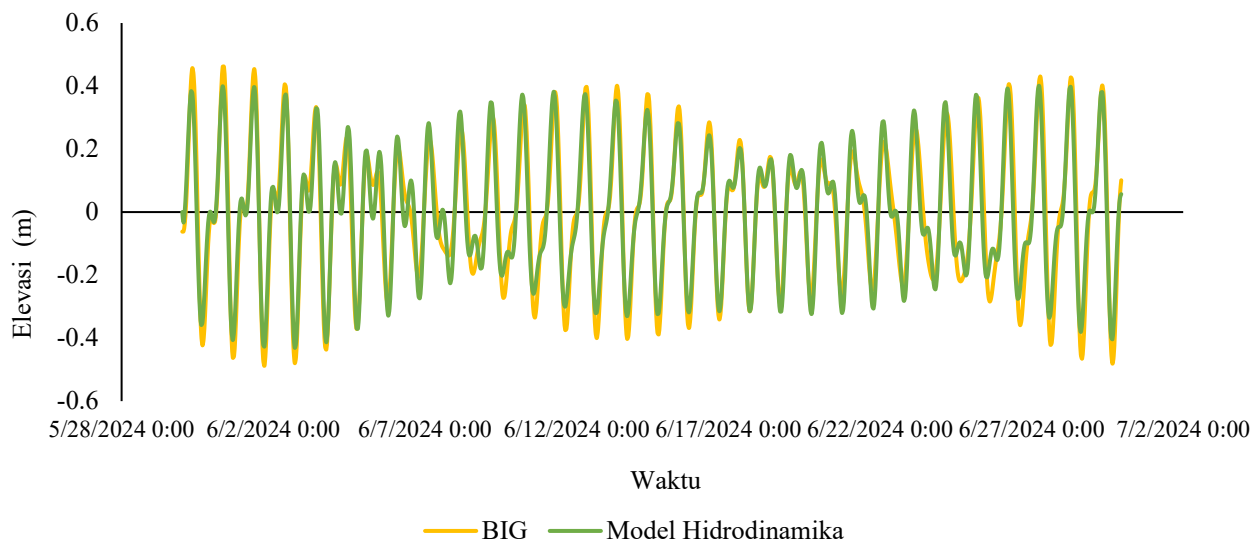
wilayah pesisir dekat dengan Sungai Sengkarang, hal tersebut dipengaruhi oleh karakteristik arus di wilayah pesisir. Serta pada kondisi surut terendah Gambar 12 (D) arah arus memiliki pola yang sama dengan saat kondisi pasang menuju surut, namun persebaran mikroplastiknya mulai terakumulasi ke wilayah pesisir timur serta mikroplastik banyak yang mengendap di wilayah pesisir maupun di dasar perairan.



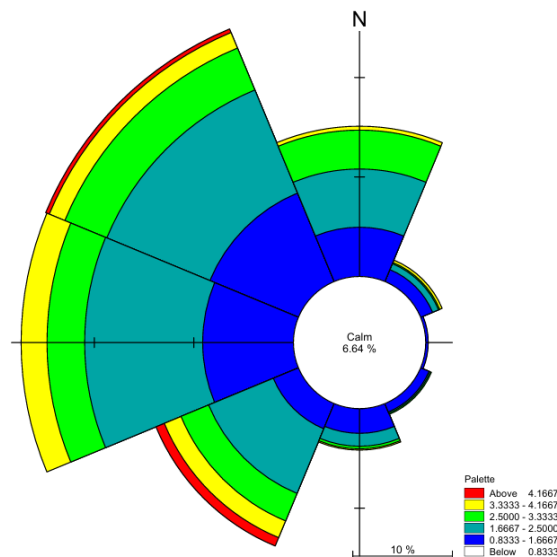
Gambar 6. Konsentrasi MPT



Gambar 8. Model Arus 30 Mei 2024 pukul 12.00 WIB Kondisi Pasang Menuju Surut



Gambar 9. Verifikasi Model Arus



Gambar 10. Windrose Angin Bulan Mei Tahun 2024

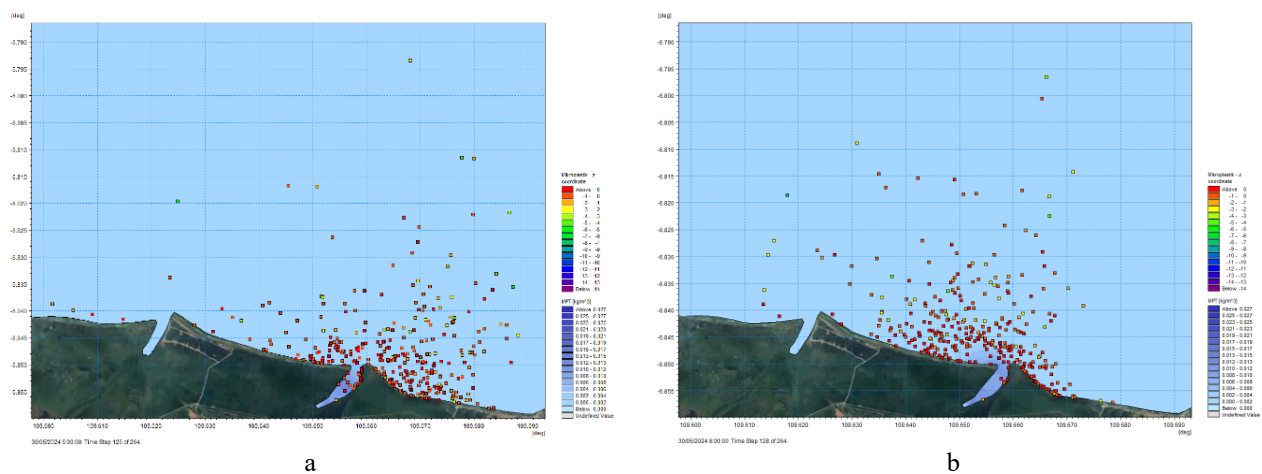
Persebaran MPT pada hasil pemodelan distribusi diatas pun menunjukkan pola sebaran yang mengarah ke arah barat. Pada saat kondisi surut menuju pasang Gambar 11 a menunjukkan konsentrasi tertinggi dengan warna biru gelap dengan konsentrasi sekitar $0.008 - 0.013 \text{ kg/m}^3$, yang terfokus pada wilayah sungai. Hal ini mengindikasikan bahwa sungai adalah salah satu sumber MPT dapat terakumulasi di wilayah laut. Konsentrasi tertinggi biasanya ditemukan di sekitar muara sungai tergantung pada kondisi pasang dan surutnya, seriring dengan jarak distribusinya dari

muara ke wilayah laut lepas konsentrasi MPT cenderung menurun. Hal ini dikarenakan apabila pergerakan air yang menuju atupun yang berasal dari laut relatif kecil maka keadaan ini memungkinkan terjadinya pengendapan yang lebih intensif ke arah dasar dan menyebabkan konsentrasi MPT menurun (Subardjo *et al.*, 2018). Selanjutnya pada Gambar 11 b saat kondisi pasang tertinggi menunjukkan bahwa MPT mulai terdistribusi merata di wilayah sungai menuju muara dengan nilai konsentrasi sekitar $0.010 - 0.017 \text{ kg/m}^3$, hal tersebut dikarenakan energi

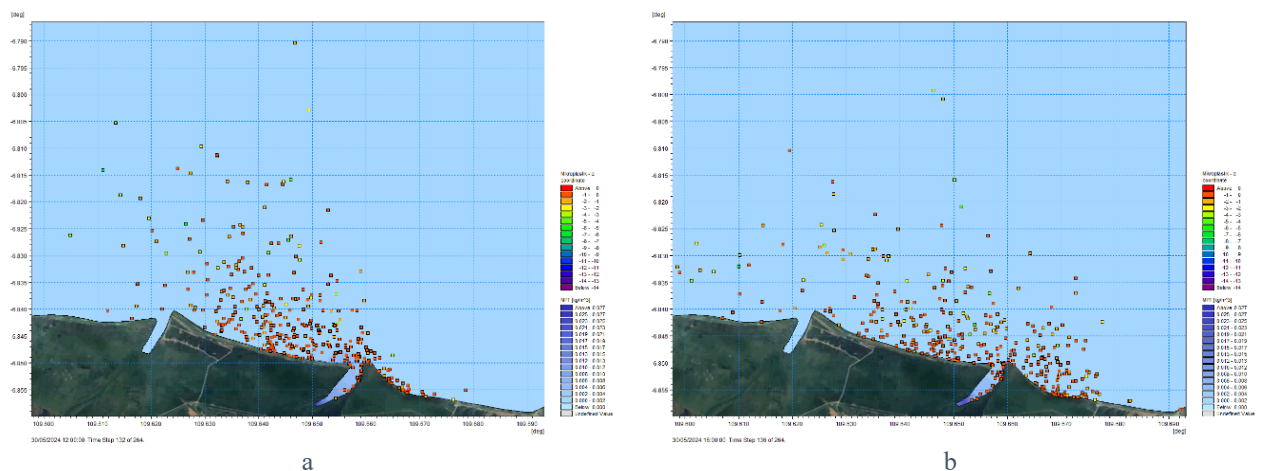
transport pada saat pasang lebih besar dibandingkan saat surut sehingga resuspensi pasang juga lebih besar dibandingkan pada saat kondisi surut (Triatmodjo, 1999). Kondisi pasang menuju surut Gambar 12 a pun juga menunjukkan sebaran dengan konsentrasi berkisar 0.015 – 0.027 kg/m³ dengan persebaran dominan berada pada wilayah muara sungai. Serta surut terendah Gambar 12 b yang menunjukkan konsentrasi tertinggi > 0.027 kg/m³, mulai mendominasi wilayah sungai.

Meskipun pengamatan visual menunjukkan pola sebaran yang selaras akibat pengaruh faktor hidrodinamika, hasil analisis menggunakan Uji Korelasi Pearson menunjukkan hubungan negatif yang sangat lemah dan tidak signifikan secara

statistik antara konsentrasi MPT dan kelimpahan mikroplastik ($r = -0,193$; $p = 0,547 > 0,05$). Rendahnya nilai signifikansi ini mengindikasikan bahwa hubungan linear tersebut belum mencerminkan korelasi yang nyata dalam populasi yang lebih luas (Wulandari *et al.*, 2022). Secara teoritis, mikroplastik merupakan adsorben yang mampu mengikat polutan tersuspensi di lingkungan perairan (Wang *et al.*, 2019). Namun, ketidakhadiran korelasi signifikan dalam studi ini diduga disebabkan oleh perbedaan karakteristik densitas material serta dominasi faktor hidrodinamika permukaan yang lebih kuat dalam mengontrol transportasi mikroplastik dibandingkan mekanisme adsorpsi dengan partikel MPT.



Gambar 11. Distribusi Mikroplastik dan MPT pada saat Kondisi (A) Surut Menuju Pasang, (B) Pasang Tertinggi



Gambar 12. Distribusi Mikroplastik dan MPT pada saat Kondisi (C) Pasang Menuju Surut, (D) Surut Terendah

KESIMPULAN

Kelimpahan mikroplastik pada Sungai Sengkarang adalah sebesar 34 – 760 partikel/m³ dengan memiliki karakteristik dominan yaitu fragment hitam berukuran 50-250 µm. Sedangkan pada variabel MPT memiliki konsentrasi sebesar 25 – 64 mg/L. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa distribusi mikroplastik dominan terakumulasi di wilayah pesisir dekat Sungai Sengkarang, sedangkan distribusi MPT cenderung menurun kepadatannya saat terdistribusi ke arah laut lepas. Hubungan antara mikroplastik dan MPT termasuk kategori lemah atau tidak berkorelasi secara signifikan. MPT hanya berpengaruh terhadap keberadaan mikroplastik sebesar 3,7249% (dengan koefisien determinasi sebesar 0,037249 dan *p-value* 0,547). Kandungan serta sebaran mikroplastik dan MPT dipengaruhi oleh faktor hidro-oseanografi : seperti pasang surut, arus, dan batimetri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Data yang digunakan pada penelitian ini didanai oleh Riset Publikasi Internasional Bereputasi Tinggi (RPIBT). 609- RPI: 609-115/UN7.D2/PP/VII/2024, 4 Juli 2024 dan Hibah Penelitian Fakultas Perikanan dan Ilmu Perikanan, Universitas Diponegoro dengan nomor kontrak No.52/UN7.F10/PP/II/2024

DAFTAR PUSTAKA

Adriono, F.H., Zainuri, M., Helmi, M., Rochaddi, B., & Widada, S. 2021. Distribusi material padatan tersuspensi di Perairan Sungai Jajar, Kabupaten Demak. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4):344–353. doi: 10.14710/ijoce.v3i4.11862

Anindita, M.A., Ismanto, A., Zainuri, M., Hadibarata, T., Kunarso, K., Maslukah, L., & Atmodjo, W. 2024. Trajectory of microplastic particles with 2-dimensional hydrodynamic modelling approach at Pekalongan waters, Central Java, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(9):832. doi: 10.1007/s10661-024-13016-z

Ardhaneswari, P.P.N., & Suwitra, I.W.C. 2024. Analisis korelasi Pearson dalam menentukan hubungan harga dengan volume penjualan Wardah Matte Lip Cream pada platform e-commerce Shopee. *Jis Siwirabuda*, 2(2):151–156. doi: 10.58878/jissiwirabuda. v2i2.302

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. doi: 10.14710/jmr.v9i3.28197

BSN (Badan Standarisasi Nasional). 2004. Air dan Air Limbah Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) secara Gravimetri, SNI 06-6989.3-2004. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Cahayani, R., & Asmadin, A. 2024. Studi kandungan mikroplastik pada substrat dasar perairan dangkal kaitannya dengan kondisi oseanografi di sekitar daerah Estuari Balandete, Kabupaten Kolaka. *Jurnal Laut Pulau: Hasil Penelitian Kelautan*, 3(2):29–41. doi: 10.30598/jlpvol3iss2pp29-41

Cahyani, A., Zahrina, N., Arrochim, A., & Olivia, T. 2024. Pemodelan arus pasang surut dan transpor sedimen 2D menggunakan metode di Perairan Kalimantan Barat pada bulan Juli 2024: 2D tidal current and mud transport modeling using numerical method in the waters of West Kalimantan in July 2024. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 6(2):87–96. doi: 10.62703/jhi.v6i2.117

DHI. 2017. MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation. DHI Documentation.

Erfando, W., Ismanto, A., & Wulandari, S.Y. 2023. Sebaran material padatan tersuspensi di laguna Perairan Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(3):158–164. doi: 10.14710/ijoce.v5i3.19858

Jatnika, J., Zahrina, N., Yanfeto, B., & Agassi, R.N. 2023. Pemodelan arus eddy 2 dimensi di Perairan Selatan Yogyakarta serta hubungannya dengan sebaran salinitas di permukaan: 2-dimensional eddy current modeling in the waters south of Yogyakarta and its relationship with salinity distribution on the surface. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 5(1):23–30. doi: 10.62703/jhi.v5i1.17

Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, 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, USA. 39 hlm.

Neill, S.P., & Hashemi, M.R. 2018. Fundamentals of Ocean Renewable Energy: Generating

- Electricity from the Sea. Academic Press, London.
- Noya, Y.A., & Manuputty, G.D. 2023. Pola sebaran sedimen kohesif dan hubungannya dengan massa air laut pada muara Sungai Wairuhu, Pulau Ambon-Maluku. *SALOI: Jurnal Ilmu Pertanian*, 1(1):1–15. doi: 10.55984/saloi.v1i1.105
- Nusantara, G., Takwir, A., & Palupi, R.D. 2024. Pemodelan sebaran larva karang (*Acropora*) di Perairan Pulau Wangi-Wangi, Kabupaten Wakatobi. *Jurnal Laut Pulau: Hasil Penelitian Kelautan*, 3(1):28–37. doi: 10.30598/jlpvol3iss1pp28-37
- Pasquier, G., Doyen, P., Kazour, M., Dehaut, A., Diop, M., Duflos, G., & Amara, R. 2022. Manta net: the golden method for sampling surface water microplastics in aquatic environments. *Frontiers in Environmental Science*, 10:811112. doi: 10.3389/fenvs.2022.811112
- Rasyid, A.E.W. 2024. Korelasi kualitas air terhadap kelimpahan mikroplastik di Perairan Laut Galesong Utara pada kondisi surut. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 6(1):5–9.
- Subardjo, P., Suryo, A.A.D., Pratikno, I., Handoyo, G., & Diani, K.P. 2018. Distribusi material padatan tersuspensi di muara Sungai Sambas, Kalimantan Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1):22–28. doi: 10.14710/buloma.v7i1.19035
- Tristanova, T., Ismanto, A., Widiaratih, R., Zainuri, M., Sugianto, D.N., Rochaddi, B., & Anindita, M.A. 2024. Modeling the fate of microplastics in the Sengkarang Estuary, Pekalongan City, Central Java, Indonesia. *Environmental Quality Management*, 34(1):e22239. doi: 10.1002/tqem.22239
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta.
- 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. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 118:e55161. doi: 10.3791/55161
- Wang, J., Wang, M., Ru, S., & Liu, X. 2019. High levels of microplastic pollution in the sediments and benthic organisms of the South Yellow Sea, China. *Science of the Total Environment*, 651:1661–1669. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.007
- Wiyadi, H.T., Muslim, M., & Marwoto, J. 2022. Pemodelan hidrodinamika pada musim barat di Pantai Gosong Kalimantan Barat sebagai calon tapak PLTN pertama di Indonesia pada tahun 2025. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2):97–106. doi: 10.14710/ijoce.v4i2.14308
- Wulandari, S.Y., Karna, R.O., Bambang, Y., Aris, I., Muslim, Jarot, M., Hendry, S., & Siti, M. 2021. Microplastics model distribution in Semarang waters. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 25(1):109–120.
- Wulandari, S.Y., Yulianto, B., Radjasa, O.K., Ismunarti, D.H., & Sedjati, S. 2022. Korelasi konsentrasi mikroplastik dengan material padatan tersuspensi (MPT) di Perairan Delta Sungai Bodri, Kendal, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3):448–455. doi: 10.14710/jkt.v25i3.16121