

**PEMODELAN HIDRODINAMIKA POLA ARUS DAN KAITANNYA TERHADAP DISTRIBUSI
SAMPAH LAUT DI PERAIRAN DAN PESISIR KOTA TANJUNGPINANG**
*HYDRODYNAMIC MODELLING OF OCEAN CURRENT PATTERNS AND ITS RELATION TO THE
DISTRIBUTION OF MARINE DEBRIS IN THE WATERS AND COASTS OF TANJUNGPINANG
CITY*

**Septi Dwi Nursyahnita¹, Fadhliyah Idris¹, Mario Putra Suhana^{1,2,*}, Aditya Hikmat Nugraha¹,
Try Febrianto¹, Asep Ma'mun¹**

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia, 29111

²Laboratorium Oceanography, Computation & Modelling, Universitas Maritim Raja Ali Haji,
Tanjungpinang, Indonesia, 29111

*Corresponding author email: marioputrasuhana@umrah.ac.id

Submitted: 09 July 2022 / Revised: 05 April 2023 / Accepted: 10 April 2023

<http://doi.org/10.21107/jk.v16i1.15431>

ABSTRAK

Perairan Kota Tanjungpinang memiliki kompleksitas tinggi dengan berbagai bentuk pemanfaatan lingkungan. Aktivitas tersebut menyebabkan peningkatan buangan bahan pencemar organik maupun anorganik ke perairan. Distribusi sampah laut yang tidak tenggelam ke dasar perairan akan hanyut dan mengendap di sepanjang pantai. Proses ini sangat dipengaruhi oleh faktor hidro-oseanografi seperti arus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keterkaitan arus laut terhadap distribusi sampah laut di perairan. Pengambilan sampel sampah laut menggunakan metode line transect untuk pengambilan sampel di pantai dan pengambilan sampel di laut menggunakan Manta Net. Pengukuran arus, pasang surut, batimetri dan kecepatan angin dilakukan secara langsung di lapangan. Analisis pola arus menggunakan model hidrodinamika untuk mensimulasikan pola arus di lokasi penelitian. Saat kondisi pasang, arus bergerak dari utara menuju selatan dengan kecepatan 0,15-0,24 m/s. Sedangkan saat surut, arus bergerak dari selatan menuju utara dengan kecepatan 0,00-0,09 m/s. Plastik merupakan jenis sampah laut dengan tingkat kepadatan tertinggi yang paling banyak ditemukan, baik yang berukuran makro maupun meso. Sirkulasi arus diduga memberikan pengaruh terhadap distribusi sampah laut di lokasi penelitian. Ketika perairan dalam kondisi pasang, sampah laut dengan massa yang lebih ringan akan terbawa ke pantai. Pada saat surut, kecepatan arus yang cenderung jauh lebih lemah menyebabkan sampah laut akan tertinggal di pantai.

Kata kunci: Arus Laut, Hidro-Oseanografi, Kota Tanjungpinang, Sampah Laut

ABSTRACT

The waters of Tanjungpinang City have a high complexity with various of environmental utilization. This activity leads to increased discharge of organic and inorganic pollutants into the waters. The distribution of marine debris that does not sink to the bottom of the water will be washed away and settle along the coast. This process is strongly influenced by hydro-oceanographic factors such as currents. This study aims to determine the relationship between ocean currents and the distribution of marine debris in the waters. Marine debris sampling using line transect method for beach samples and Manta Net for marine sampling. Measurements of currents, tides, bathymetry and wind speed are carried out directly in the field. Current patterns analysis using hydrodynamic models to simulate current patterns. During high tide conditions, the current moves from north to south at a speed of 0,15-0,24 m/s. While at low tide, the current moves from south to north at a speed of 0,00-0,09 m/s. Plastic is the highest density type of marine debris found, either macro and meso. Current circulation have an influence on the distribution of marine debris. At high tide conditions, marine debris with a lighter mass will be carried to the beach. At low tide, the speed of the current which tends to be much weaker causes marine debris to be left on the beach.

Keywords: Hydro-Oceanography, Marine Debris, Sea Current, Tanjungpinang City

PENDAHULUAN

Letak geografis yang tepat berhadapan dengan Selat Malaka dan Selat Karimata menyebabkan perairan Kota Tanjungpinang memiliki kompleksitas yang tinggi karena mendapatkan pengaruh dari segala proses yang terjadi di kawasan tersebut (Ramadani *et al.*, 2022). Berdasarkan letak geografis yang cukup strategis tersebut, Kota Tanjungpinang menjadi wilayah dengan pemanfaatan yang multi fungsi. Pariwisata, perikanan, permukiman, pembangunan, perdagangan, pelabuhan dan transportasi laut merupakan beberapa bentuk pemanfaatan yang dilakukan. Kegiatan-kegiatan ini tentunya dapat menyebabkan peningkatan buangan bahan pencemar organik maupun anorganik ke lingkungan perairan dan pesisir yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan serta mengganggu kelangsungan hidup organisme yang ada (Lestari, 2020). Secara morfologi lingkungan, perairan Kota Tanjungpinang merupakan perairan semi tertutup yang di bagian utaranya membentuk selat kecil. Berdasarkan kondisi tersebut, tentunya dinamika di perairan Kota Tanjungpinang cukup kompleks karena mendapatkan banyak pengaruh dari berbagai aspek.

Kedinamisan perairan selat, teluk atau perairan semi tertutup lainnya seperti halnya perairan Kota Tanjungpinang sangat dipengaruhi oleh pasang surut sebagai penggerak utama terjadinya proses sirkulasi massa air (arus) (Budiman *et al.*, 2014; Sugianto & Agus, 2007). Saat kondisi pasang, arus bergerak ke dalam selat di bagian utara dan keluar menuju laut terbuka pada saat surut. Arus dengan kondisi seperti ini dikenal dengan nama arus pasang surut. Selain arus pasang surut dikenal juga arus residual (Surbakti, 2012). Faktor hidro-oseanografi salah satunya arus laut merupakan aspek yang dapat berpengaruh secara langsung terhadap penyebaran buangan bahan pencemar di lingkungan laut, dimana sirkulasi atau gerakan massa air laut mampu mentranspor dan menggerakkan massa buangan bahan pencemar dari satu tempat ke tempat lain (Handoyo *et al.*, 2020). Adanya pergerakan massa air tersebut menyebabkan buangan bahan pencemar yang berada di pinggir pantai terbawa masuk ke dalam

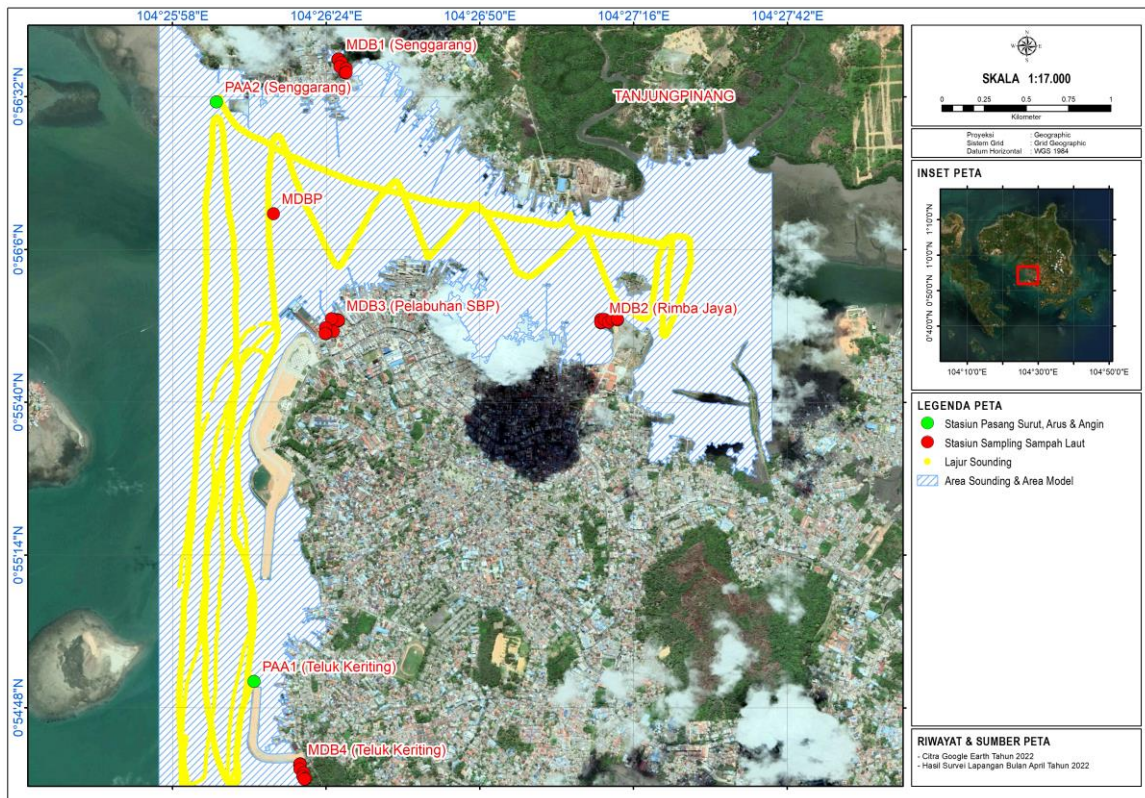
perairan. Seperti yang dijelaskan oleh Lebreton *et al.*, (2012) bahwa sirkulasi arus memainkan peran penting dalam penyebaran buangan bahan pencemar di perairan. Salah satu di antara buangan bahan pencemar tersebut adalah sampah laut (*marine debris*).

Sampah laut merupakan material persisten yang dibuang secara sengaja maupun tidak sengaja ke laut (Maharani *et al.*, 2018). Berdasarkan jenisnya, sampah laut dibagi menjadi plastik, busa plastik, kaca dan keramik, kain, logam, kertas dan kardus, karet, kayu dan bahan lainnya (Prajanti *et al.*, 2020). Plastik merupakan jenis yang paling banyak ditemukan. Lebih dari 8 juta ton sampah plastik berakhir di lautan setiap tahunnya (Jambeck & Johnsen, 2015). Hal ini menimbulkan dampak buruk terhadap biota laut dan manusia yang secara khusus menjadi ancaman utama bagi kelangsungan hidup organisme di wilayah pesisir dan laut (Purba *et al.*, 2019). Distribusi sampah laut khususnya ukuran makro dan meso yang tidak tenggelam atau mengendap ke dasar perairan akan hanyut dan terbawa serta mengendap di sepanjang pantai. Proses ini sangat dipengaruhi oleh faktor hidro-oseanografi di perairan khususnya arus laut. Oleh sebab itu perlu dilakukan suatu studi bagaimana pola arus, karakteristik sampah laut dan keterkaitan proses hidro-oseanografi dengan distribusi sampah laut di lokasi penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pola arus laut terhadap di lokasi penelitian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagaimana arus berperan dalam proses distribusi sampah laut di lokasi penelitian.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan April-Juni 2022 di perairan dan pesisir Kota Tanjungpinang. Terdapat 2 (dua) titik stasiun pengukuran angin, arus dan pasang surut (PAA1 dan PAA2) serta 4 (empat) titik stasiun pengambilan sampel sampah laut (MDB1, MDB2, MDB3 dan MDB4) (**Gambar 1**). Pada penelitian ini juga dilakukan pemeruman (*sounding*) batimetri pada area seluas ± 6.23 km² yang menjadi area model dan sampling sampah di laut.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat dan Bahan

yang digunakan disajikan dalam prosedur penelitian dan analisis data.

Data-data yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 1** sedangkan peralatan **Tabel 1.** Data-data yang digunakan

| No. | Bahan (Data) | Kegunaan |
|-----|-----------------------|------------------------------|
| 1. | Sampah makro dan meso | Sampel penelitian |
| 2. | Data arus | Validasi pembuatan model |
| 3. | Data angin | Data masukan pembuatan model |
| 4. | Data pasang surut | Data masukan pembuatan model |
| 5. | Data garis pantai | Data masukan pembuatan model |
| 6. | Data batimetri | Data masukan pembuatan model |

Metode dan Prosedur Penelitian

Penelitian menggunakan metode survei dengan melakukan pengambilan (pengukuran) data secara langsung di lapangan. Data-data yang diperoleh di lapangan terdiri dari sampel sampah laut, arah dan kecepatan arus, pasang surut, arah dan kecepatan angin serta batimetri. Data arah dan kecepatan angin, pasang surut dan batimetri digunakan sebagai data masukan (*input*) pembuatan model arus. Selain itu juga, data pasang surut dan data arus laut yang diukur di lapangan dijadikan sebagai data untuk validasi hasil pembuatan model arus.

Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel Sampah

Penentuan stasiun pengukuran/pengambilan sampel/data berdasarkan hasil pra-survei menggunakan teknik purposive sampling. Pemilihan lokasi pengambilan sampel sampah laut mengacu pada Opfer *et al.*, (2012). Penentuan lokasi pengukuran arus, pasang surut dan pengukuran angin berdasarkan pertimbangan parameter yang diamati dan keterwakilan cakupan wilayah yang bertujuan agar data yang diperoleh nantinya dapat lebih representatif. Pengambilan sampel sampah laut diawali dengan menentukan lokasi berdasarkan beberapa kriteria berikut yaitu

panjang pantai ± 100 m, mudah diakses, tidak terdapat bangunan pemecah gelombang atau dermaga, pantai berpasir atau pantai berkerikil dan tidak terdapat kegiatan pembersihan pantai rutin. Berdasarkan kriteria tersebut didapatkan 4 (empat) titik stasiun pengambilan sampel sampah laut di pesisir. Stasiun I (MDB1) di sekitar perairan Senggarang yang berada berdekatan dengan aliran sungai, permukiman yang padat aktivitas dan terdapat aktivitas pariwisata. Stasiun II (MDB2) di sekitar Rimba Jaya sebagai kawasan padat aktivitas, industri dan berdekatan dengan kawasan perawatan kapal (docking). Stasiun III (MDB3) berada di sekitar kawasan pelabuhan Sri Bintang Pura Kota Tanjungpinang dan stasiun IV (MDB4) di sekitar perairan Teluk Keriting yang padat permukiman penduduk.

Pengambilan Sampel Sampah Laut

Pengambilan sampel sampah laut menggunakan metode transek garis (*line transect*) dengan ukuran panjang 100 m sejajar garis pantai dan lebar mengikuti batas belakang pantai (minimal 5 m). Selanjutnya transek dibagi menjadi 5 lajur dengan jarak masing-masing lajur 20 m. Kemudian di dalam setiap lajur terdapat sub transek berukuran 5 x 5 m yang dibagi menjadi 25 kotak sub-sub transek dengan ukuran 1 x 1 m (Prajanti *et al.*, 2020). Pengambilan sampel dilakukan pada saat surut terendah. Penempatan kotak sub transek berukuran 5 x 5 m pada setiap lajur membentuk zig zag. Pengambilan sampel sampah makro dilakukan pada sub transek berukuran 5 x 5 m dengan mengambil semua sampah yang terlihat pada sub transek tersebut. Sedangkan pengambilan sampel sampah meso dilakukan pada 5 kotak sub-sub transek yang telah dipilih secara random menggunakan panduan dari laman www.randomizer.org. Pengambilan sampel meso menggunakan sendok *stainless* untuk menggali sedimen sedalam 3 cm lalu disaring menggunakan ayakan bertingkat dengan diameter lubang 2,5 cm yang terletak paling atas kemudian ayakan dengan diameter lubang 0,5 cm dibawahnya.

Sampah yang tidak lolos pada ayakan berukuran 2,5 cm dikategorikan sebagai sampah berukuran makro, sedangkan sampah yang tidak lolos pada ayakan berukuran 0,5 cm dikategorikan sampah berukuran meso. Selanjutnya dilakukan pencatatan koordinat lokasi pengambilan sampel pada masing-masing sub transek dan 4 ujung transek garis (A1, A2, E1 dan E2) dengan GPS. Sedangkan untuk pengambilan sampel sampah laut di perairan menggunakan Manta Net.

Pengambilan sampel sampah laut di perairan menggunakan Manta Net dilakukan dengan cara menarik Manta Net menggunakan kapal/boat sejauh 1 mil atau $\pm 1,8$ km dari garis pantai. Jaring diletakkan di permukaan menggunakan pelampung resin dengan volume 75 cm x 20 cm dengan jarak tarik 1,8 km (Syakti *et al.*, 2017). Setelah itu seluruh sampel sampah berukuran makro dan meso dibersihkan dan dikeringkan lalu diidentifikasi untuk dikelompokkan berdasarkan jenisnya, kemudian ditimbang dan dihitung. Identifikasi sampah laut mengacu pada buku pemantauan sampah laut oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2020.

Pengukuran Arus dan Pasang Surut

Pengukuran arus dan pasang surut dilakukan selama 30 (tiga puluh) hari yang dibagi menjadi 15 (lima belas) hari (1-15 April 2022) pada stasiun 1 (PAA1) dan 15 (lima belas) hari selanjutnya (16-30 April 2022) pada stasiun 2 (PAA2) disebabkan keterbatasan alat. Pengukuran arus menggunakan *current meter* dengan interval perekaman data 5 (lima) menit. Pengukuran arus dimulai dari memasang *current meter* di lokasi yang telah ditentukan. Selanjutnya melakukan *setup* (pengaturan) interval waktu perekaman. Kemudian secara otomatis *current meter* merekam data. Data arus laut selanjutnya digunakan untuk validasi hasil model arus laut. Tahap akhir adalah melakukan ekstraksi data hasil perekaman menggunakan *software CDU Express*. Data hasil ekstraksi diperoleh dalam bentuk arah dan kecepatan arus.

Pengukuran pasang surut dilakukan dengan menggunakan *tide master* (Khairunnisa *et al.*, 2021). Pengukuran pasang surut dimulai dengan memasang sensor *tide master* pada tiang penyangga. Selanjutnya melakukan kalibrasi sensor, setelah selesai melakukan kalibrasi selanjutnya menentukan mode perekaman data yang digunakan dan tide master akan melakukan perekaman data secara otomatis. Tahap akhir adalah melakukan ekstraksi data hasil perekaman dengan menggunakan *software Tide Master Express*.

Pengukuran Angin

Pengukuran angin dilakukan selama 30 (tiga puluh) hari yang dibagi menjadi 15 (lima belas) hari pada stasiun 1 (PAA1) dan 15 (lima belas) hari selanjutnya pada stasiun 2 (PAA2) disebabkan keterbatasan alat. Pengukuran arah dan kecepatan angin menggunakan *Wireless Weather Station* diawali dengan

melakukan pengaturan (*setup*) untuk pengaktifan *Wireless Weather Station*. Pengukuran diawali dengan melakukan kalibrasi untuk menghubungkan *Wireless Weather Station* dengan *display* perekaman data dan komputer/laptop yang terhubung dengan *software Weatherlink* yang akan merekam data secara otomatis.

Pemeruman Batimetri

Pemeruman dilakukan menggunakan Garmin GPS Maps 585 mengacu pada BIG (2015) dan Suhana (2016). Pemeruman dilakukan pada area seluas ±6,23 km². Kegiatan pemeruman dimulai dengan melakukan pemasangan peralatan yang terdiri dari GPS, transduser dan *display* alat di kapal/boat. Selanjutnya melakukan kalibrasi alat dengan cara mengatur titik kedalaman minimum yang dapat dibaca oleh transduser. Setelah pengaturan selesai dilakukan, dilanjutkan dengan melakukan kalibrasi alat yaitu menunggu GPS dapat menangkap sinyal secara baik. Tahap akhir adalah melakukan pemeruman menggunakan kapal yang dilakukan secara bolak-balik membentuk lajur tertentu di sekitar lokasi pemeruman.

Analisis Data Penghitungan Massa dan Kepadatan Sampah Laut

Analisis sampel sampah laut dilakukan untuk menghitung massa dan kepadatan sampel sampah laut pada masing-masing titik stasiun. Untuk persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk persamaan momentum pada sumbu x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_a) = 0 \dots (4)$$

Untuk persamaan momentum pada sumbu y:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (\rho_a) = 0 \dots (5)$$

Dimana= h (x, y, t): Kedalaman perairan (=ζ-d); d (x, y, t) : Kedalaman perairan yang bervariasi terhadap waktu; ζ (x, y, t): Elevasi muka laut; p, q (x, y, t) : Fluks densitas pada sumbu x dan sumbu y (m³/s/m) (=uh, vh); u, v: Kecepatan yang dirata-ratakan terhadap kedalaman pada sumbu x dan y; C (x, y): *Chezy*

Perhitungan massa sampel sampah laut menggunakan persamaan berikut mengacu pada Prajanti et al., (2020):

$$M = \frac{\text{Total Berat Sampah}}{\text{Luas Transek}} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk menghitung kepadatan sampah laut berdasarkan dari jumlah sampah per jenis per luasan kotak transek yang disajikan dengan jumlah sampah per jenis/m² dengan menggunakan persamaan berikut:

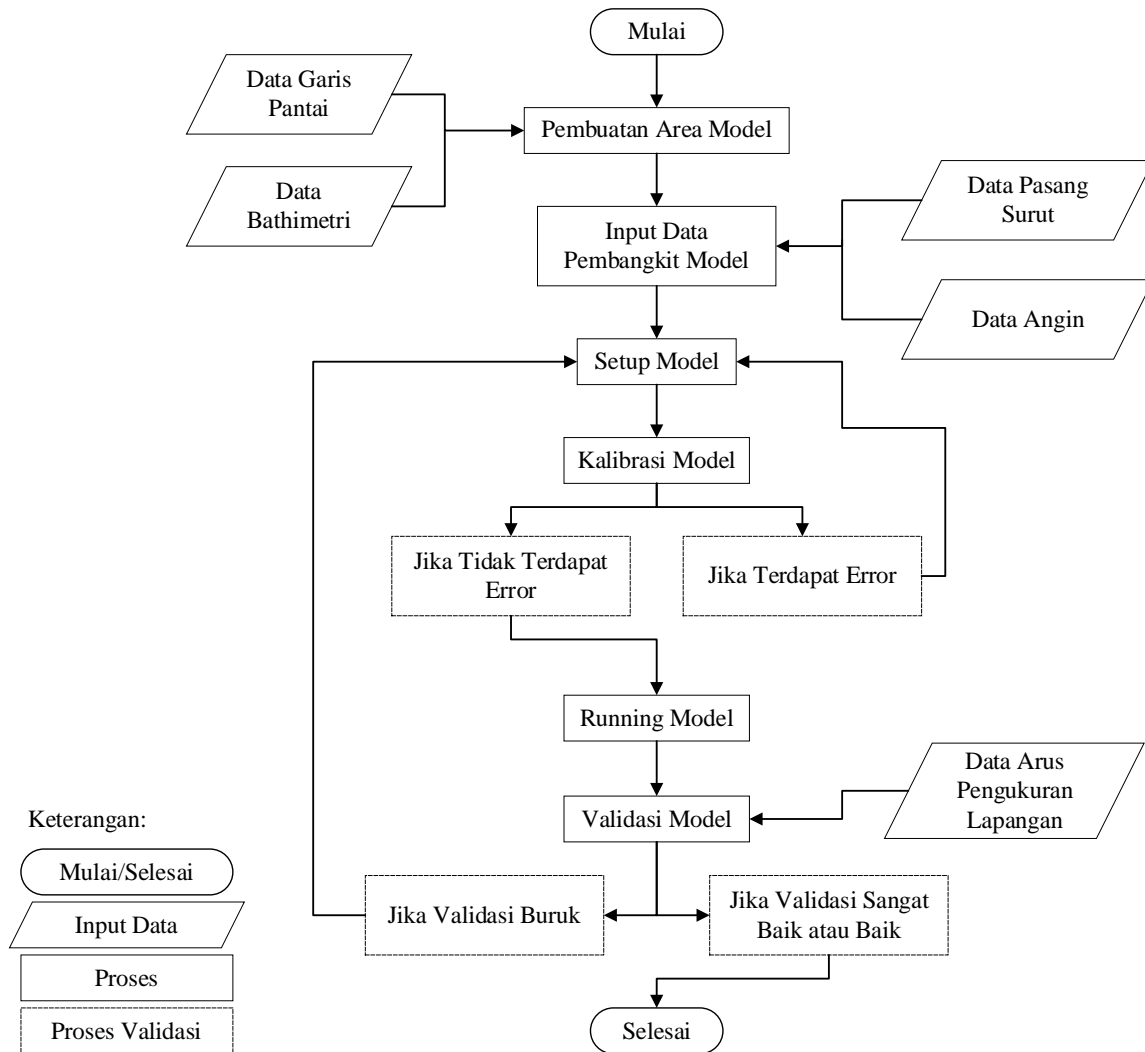
$$K = \frac{\text{Jumlah Sampah per Jenis}}{\text{Luas Transek}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana= M: Massa sampah laut (g/m²); K: Kepadatan sampah laut (jenis/m²)

Pembuatan Model Arus

Pembuatan model arus menggunakan MIKE21 dengan modul Flow Model FM (DHI, 2014). Flow Model FM merupakan paket model yang digunakan untuk pemodelan 2 dimensi (perataan terhadap kedalaman). Dasar persamaan yang digunakan pada model ini adalah persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dengan perata-rataan kedalaman. Model ini menggunakan pendekatan metode beda hingga (*finite difference*) untuk menyelesaikan persamaan yang digunakan. Diagram alir proses pembuatan model disajikan pada **Gambar 2**. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

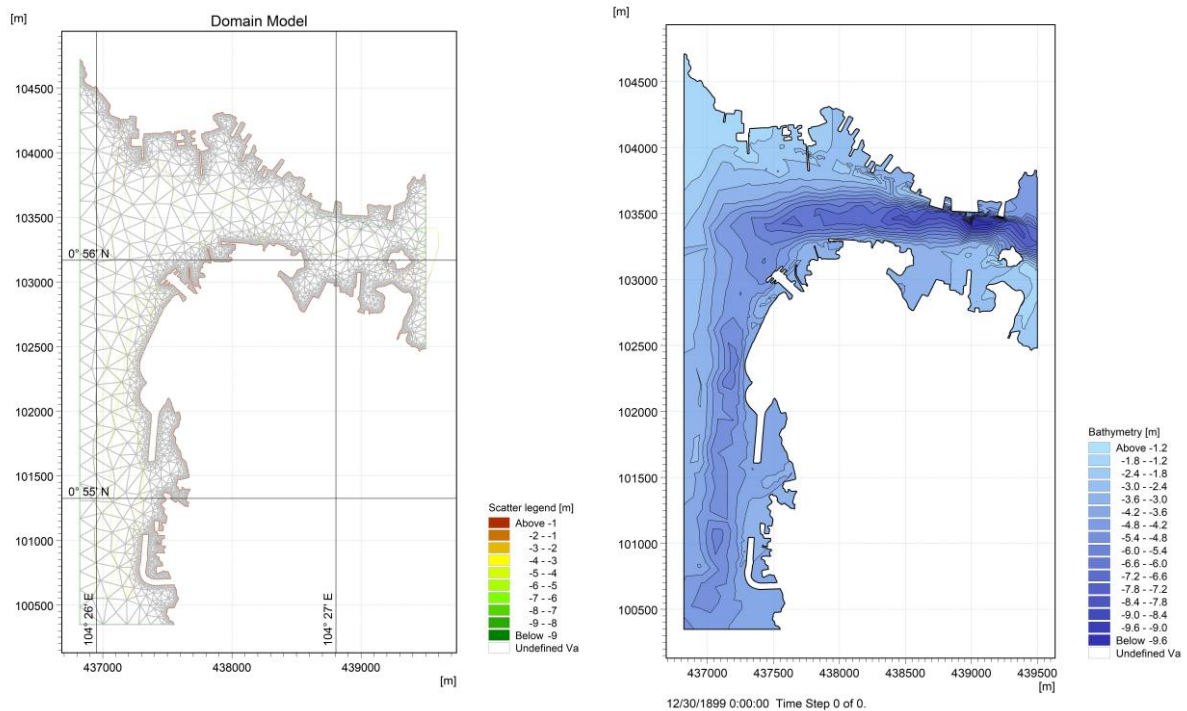
resistance (m^{1/2}/s); g: Percepatan gravitasi (ms⁻²); f(V): Faktor gesekan angin; V, V_x, V_y (x, y, t): Kecepatan angin pada sumbu x dan sumbu y (m/s); Ω (x, y, t): Gaya Coriolis; ρ_a (x, y): Tekanan atmosfer (kg/m/s²); ρ_w: Densitas air laut (kg/m³); T_{xx}, T_{xy}, T_{yy}: Komponen *shear stress*



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan model arus

Langkah pertama melakukan simulasi pemodelan arus yaitu dengan cara membuat *mesh* model menggunakan modul *mesh generator*, selanjutnya menentukan *boundary condition* dengan tujuan untuk menentukan batas terbuka dan tertutup luasan area model. Setelah batas domain model terbentuk, selanjutnya adalah melakukan *gridding* berupa *unstructured mesh*. *Grid* berbentuk segi tiga yang ukurannya berbeda-beda. Tahap akhir adalah melakukan interpolasi area model hingga menghasilkan tampilan seperti **Gambar**

3. *Setup* (pengaturan) model dilakukan untuk menentukan pembangkitan model yang disimulasikan. Dalam penelitian ini area pemodelan hidrodinamika dibuat seluas mungkin atau sejauh mungkin dengan *interest area* (daerah penelitian), dengan tujuan untuk mendapatkan aliran batas terbuka pasang surut secara benar. Skenario model yang dibangun adalah dengan asumsi di awal simulasi model perairan di lokasi penelitian dikategorikan dalam keadaan diam atau belum terjadi proses sirkulasi massa air.



Gambar 3. Bentuk *grid domain* model lokasi penelitian. Gambar kiri: *grid domain*; Gambar kanan: hasil pembuatan *domain* model

Tahap selanjutnya melakukan *input* data pembangkit model. Data pembangkit yang digunakan terdiri dari data pasang surut pada periode 1-30 April 2022 dan data angin dalam bentuk arah dan kecepatan pada periode yang sama dengan data pasang surut. Selanjutnya melakukan *setup* model menggunakan modul *Flow Model FM* untuk membuat model hidrodinamika pola arus di lokasi penelitian. *Flow Model FM* merupakan paket model yang digunakan untuk pemodelan 2 dimensi (perataan terhadap kedalaman) (DHI, 2014). Dasar persamaan yang digunakan pada model ini adalah persamaan kontinuitas dan

persamaan momentum dengan perataan kedalaman. Model ini menggunakan pendekatan metode beda hingga (*finite difference*) untuk menyelesaikan persamaan yang digunakan. Pada penelitian ini syarat batas model yang digunakan adalah menggunakan syarat batas tertutup untuk daratan dan syarat batas terbuka untuk laut. Syarat batas terbuka untuk laut terdiri atas pasang surut (sebagai gaya pembangkit arus yang utama) dan syarat batas radiasi untuk kecepatan arus di batas terbuka. Diskritisasi model yang digunakan pada penelitian ini secara lengkap disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kriteria diskritisasi model yang digunakan untuk simulasi

| No. | Diskritisasi Model | Model Setup | Keterangan/Fungsi |
|-----|---|-----------------------|--|
| 1. | Domain Model Domain Specification | Minimum Depth = 0 m | Meminimalisir kemungkinan <i>blow up</i> model |
| 2. | Simulation Period Number of Period Time Steps | 720 3600 detik | Jumlah waktu <i>running</i> model Interval waktu simulasi model |
| 3. | Module Selection | Hydrodynamic Module | Modul simulasi model arus |
| 4. | Solution Technique | High Order | Menunjukkan tingkat orde persamaan hidrodinamika yang akan digunakan serta syarat kestabilan model |
| 5. | Depth | - | - |
| 6. | Flood and Dry | Include Flood and Dry | Batasan kondisi model untuk area yang dengan kedalaman yang lebih kecil dari range pasang surut |

| No. | Diskritisasi Model | Model Setup | Keterangan/Fungsi |
|-----|---------------------------|-------------------------------------|---|
| 7. | Density | Barotropic | sehingga daerah tersebut akan menjadi kering (tidak <i>blow up</i>). Menghitung nilai dan tipe densitas air laut |
| 8. | Eddy Viscosity | Smagorinsky Formulation | Konstanta persamaan viskositas eddy |
| 9. | Bed Resistance | Manning Number | Konstanta resistansi dasar perairan |
| 10. | Coriolis Forcing | Varying in Domain | Penentuan efek gaya coriolis terhadap simulasi model |
| 11. | Wind Forcing | Varying in Time, Constant in Domain | Penentuan pembangkit model melalui data angin |
| 12. | Ice Coverage | - | - |
| 13. | Tidal Potential | Specified from Dialog | Penentuan pembangkit model melalui data pasang surut |
| 14. | Precipitation-Evaporation | - | - |
| 15. | Wave Radiation | - | - |
| 16. | Source | - | - |
| 17. | Structures | - | - |
| 18. | Initial Conditions | Constant | - |
| 19. | Boundary Conditions | Specified Level | Batas terbuka dan batas tertutup area model |
| 20. | Decoupling | - | - |

Tahap selanjutnya adalah melakukan kalibrasi model. Kalibrasi hasil model bertujuan untuk pengecekan ulang sebelum melakukan *running* model agar tidak terjadi kegagalan (*blow up*) saat proses *running* model. Proses kalibrasi model dilakukan dengan melakukan *running* model terlebih dahulu, apabila terdapat kesalahan (*error*) pada saat *running* model, maka dilakukan pengecekan dan perbaikan pada bagian yang *error* dari data masukan untuk *running* model yang dilakukan (DHI, 2014). Validasi hasil model dilakukan dengan cara melakukan pencuplikan data hasil model di lokasi yang sama dengan lokasi pengukuran arus di lapangan. Selanjutnya melakukan perbandingan data yang dihasilkan dari

pemodelan dengan data hasil pengukuran langsung di lapangan. Tingkat validitas hasil model diperoleh dengan menghitung nilai *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) yang bertujuan untuk memberikan informasi seberapa besar kesalahan data hasil model dengan data lapangan. Tingkat validitas hasil model dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \left(\frac{A_t - F_t}{A_t} \right) 100 \right|}{n} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana= MAPE: *Mean Absolute Percentage Error*; A_t: Data hasil pengukuran lapangan; F_t: Data hasil model; n: Jumlah data

Tabel 3. Kriteria validitas hasil model dengan kondisi asli di lapangan berdasarkan nilai MAPE

| Nilai MAPE (%) | Kriteria |
|----------------|-------------|
| <10 | Sangat Baik |
| 10-20 | Baik |
| 20-50 | Cukup |
| >50 | Buruk |

Keterkaitan Pola Arus dengan Distribusi Sampah Laut

Keterkaitan pola arus dengan distribusi sampah laut dilakukan dengan cara melihat pola dominan pergerakan dan kecepatan arus di sekitar lokasi penelitian dengan kepadatan sampah laut di masing-masing lokasi pengambilan sampel sampah laut. Keterkaitan

yang dilihat khususnya pada saat surut terendah dimana sampah laut kemungkinan akan cenderung mengendap di pantai. Apabila pola arus sangat dominan bergerak ke arah dimana tingkat kepadatan sampah laut tinggi maka terdapat keterkaitan antara pola arus dengan distribusi sampah laut di perairan. Sehingga dapat diasumsikan bahwa sampah laut dapat berpindah dengan kontribusi dari

faktor oseanografi (arus laut) hingga terjadi penumpukan pada suatu tempat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis, Massa dan Kepadatan Sampah Laut

Pada penelitian ini jenis sampah yang dikumpulkan dan diidentifikasi hanya sampah makro dan sampah meso dengan pembagian lokasi pengambilan sampel yaitu di pesisir dan perairan. Hasil identifikasi sampah pada masing-masing stasiun ditemukan sebanyak 1.419 buah sampah berukuran makro (1 m->2,50 cm) dan 173 buah sampah berukuran meso (2,50 cm->5 mm) yang terbagi ke dalam 9 (sembilan) jenis sampah (plastik, busa plastik, kain, kaca dan keramik, logam, kertas dan kardus, karet, kayu dan bahan lainnya). Sampah jenis plastik merupakan jenis sampah yang paling banyak ditemukan di masing-masing lokasi pengambilan sampel baik yang berukuran makro (**Tabel 4**) maupun yang berukuran meso (**Tabel 5**). Sebanyak 1.027 buah sampah jenis plastik (PL) berukuran makro (72,37 %) ditemukan di sekitar pesisir, dimana jumlah terbanyak ditemukan di stasiun MDB4 (Teluk Keriting) sebanyak 338 buah, 288 buah ditemukan di stasiun MDB2 (Rimba Jaya) dan 237 buah ditemukan di stasiun MDB1

(Senggarang). Selain sampah jenis plastik, sampah jenis busa plastik (FP) juga menjadi salah satu jenis sampah yang cukup banyak ditemukan. Sebanyak 176 buah sampah jenis busa plastik (FP) berukuran makro atau sekitar 12,40 % ditemukan di sekitar lokasi penelitian (**Tabel 4**). Stasiun MDB4 (Teluk Keriting), stasiun MDB1 (Senggarang) dan stasiun MDB2 (Rimba Jaya) merupakan lokasi yang paling banyak ditemukan sampah jenis busa plastik berukuran makro, masing-masing sebanyak 79, 39 dan 34 buah (**Tabel 4**).

Seperti halnya dengan sampah berukuran makro, sampah berukuran meso jenis plastik dan busa plastik merupakan jenis sampah yang paling banyak ditemukan. Sampah jenis plastik berukuran meso ditemukan sebanyak 149 buah (86,13 %) sedangkan jenis busa plastik ditemukan sebanyak 11 buah (6,36 %) (**Tabel 5**). Sampah jenis plastik berukuran meso paling banyak ditemukan di stasiun MDB4 (Teluk Keriting) yaitu 51 buah sampah, stasiun MDB2 (Rimba Jaya) ditemukan 48 buah sampah dan stasiun MDB1 (Senggarang) ditemukan 30 buah sampah. Sementara itu sampah berukuran meso jenis busa plastik paling banyak ditemukan di stasiun MDB4 (Teluk Keriting) yaitu sebanyak 7 buah (**Tabel 5**).

Tabel 4. Jumlah jenis sampah berukuran makro yang ditemukan

| Jenis Sampah | Stasiun | | | | | Total | |
|--------------|---------|------|------|------|----------|-------|--------|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | Item | % |
| PL | 237 | 288 | 112 | 338 | 52 | 1027 | 72,37 |
| FP | 39 | 34 | 20 | 79 | 4 | 176 | 12,40 |
| CL | 35 | 3 | 0 | 12 | 1 | 51 | 3,59 |
| GC | 9 | 8 | 0 | 25 | 0 | 42 | 2,96 |
| ME | 3 | 5 | 0 | 5 | 5 | 18 | 1,27 |
| PC | 1 | 12 | 0 | 1 | 4 | 18 | 1,27 |
| RB | 4 | 3 | 1 | 10 | 4 | 22 | 1,55 |
| WD | 3 | 6 | 3 | 5 | 3 | 20 | 1,41 |
| OT | 18 | 7 | 10 | 9 | 1 | 45 | 3,17 |
| Total | 349 | 366 | 146 | 484 | 74 | 1419 | 100,00 |

Keterangan: PL (Plastik); FP (Busa Plastik); CL (Kain); GC (Kaca dan Keramik); ME (Logam); PC (Kertas dan Kardus); RB (Karet); WD (Kayu); dan OT (Bahan Lainnya)

Tabel 5. Jumlah jenis sampah berukuran meso yang ditemukan

| Jenis Sampah | Stasiun | | | | | Total | |
|--------------|---------|------|------|------|----------|-------|--------|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | Item | % |
| PL | 30 | 48 | 4 | 51 | 16 | 149 | 86,13 |
| FP | 2 | 2 | 0 | 7 | 0 | 11 | 6,36 |
| CL | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,58 |
| GC | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2,31 |
| ME | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,58 |
| PC | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,58 |
| RB | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 5 | 2,89 |
| WD | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,58 |
| OT | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| Total | 32 | 59 | 4 | 60 | 18 | 173 | 100,00 |

Keterangan: PL (Plastik); FP (Busa Plastik); CL (Kain); GC (Kaca dan Keramik); ME (Logam); PC (Kertas dan Kardus); RB (Karet); WD (Kayu); dan OT (Bahan Lainnya)

Banyaknya sampah yang ditemukan di stasiun MDB1, MDB2 dan MDB4 (Senggarang, Rimba Jaya dan Teluk Keriting) disebabkan beberapa faktor. Stasiun MDB1 (Senggarang) dan MDB4 (Teluk Keriting) merupakan lokasi yang ramai permukiman penduduk di sekitar pesisir dan sepanjang pantai. Buangan sampah (limbah) rumah tangga diduga menjadi sumber banyaknya sampah laut yang ditemukan di lokasi tersebut. Sama halnya dengan stasiun MDB2 (Rimba Jaya) dan stasiun MDB4 (Teluk Keriting). Stasiun MDB2 (Rimba Jaya) merupakan daerah pesisir yang dimanfaatkan sebagai ruang publik dan terdapat aktivitas galangan kapal, sehingga akan banyak kecenderungan buangan sampah dari daratan sebagai dampak pemanfaatan dan aktivitas di lokasi tersebut.

Hasil perhitungan massa sampah laut berukuran makro di lokasi penelitian diketahui di stasiun MDB1 (Senggarang) memiliki massa

sampah laut tertinggi yaitu 400,63 g/m², selanjutnya stasiun MDB4 (Teluk Keriting) sebesar 339,32 g/m² dan stasiun MDB2 (Rimba Jaya) sebesar 287,64 g/m². Sampah jenis plastik (500,62 g/m²), kain (246,60 g/m²) serta kaca dan keramik (139,20 g/m²) merupakan jenis sampah dengan massa tertinggi (**Tabel 6**). Sedangkan untuk sampah laut berukuran meso, sampah jenis plastik merupakan sampah laut dengan massa jenis paling tinggi yaitu sebesar 6,24 g/m². Stasiun MDB4 (Teluk Keriting) dan stasiun MDB2 (Rimba Jaya) merupakan lokasi dengan total massa sampah tertinggi, masing-masing adalah 4,00 g/m² dan 2,17 g/m² (**Tabel 7**). Tingginya massa sampah makro dan meso di stasiun MDB4 (Teluk Keriting) disebabkan oleh jumlah sampah yang ditemukan di stasiun MDB4 (Teluk Keriting) merupakan jumlah sampah terbanyak dari seluruh lokasi penelitian dan sampah jenis plastik menjadi sampah terbanyak yang ditemukan di lokasi tersebut.

Tabel 6. Massa sampah laut ukuran makro di masing-masing stasiun

| Jenis Sampah | Massa Sampah per Stasiun (g/m ²) | | | | | Total per Jenis (g/m ²) |
|---------------------------------------|--|--------|--------|--------|----------|-------------------------------------|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | |
| PL | 120,47 | 174,48 | 73,56 | 95,48 | 36,63 | 500,62 |
| FP | 10,12 | 2,32 | 3,12 | 7,00 | 1,17 | 23,73 |
| CL | 132,80 | 19,28 | 0,00 | 96,44 | 0,08 | 248,60 |
| GC | 57,48 | 21,12 | 0,00 | 60,60 | 0,00 | 139,20 |
| ME | 4,76 | 10,88 | 0,00 | 7,80 | 0,88 | 24,32 |
| PC | 1,36 | 3,56 | 0,00 | 1,20 | 2,52 | 8,64 |
| RB | 14,28 | 28,04 | 1,28 | 28,44 | 16,31 | 88,35 |
| WD | 21,76 | 14,68 | 19,28 | 27,28 | 23,48 | 106,48 |
| OT | 37,60 | 13,28 | 3,60 | 15,08 | 0,48 | 70,04 |
| Total per Stasiun (g/m ²) | 400,63 | 287,64 | 100,84 | 339,32 | 81,54 | - |

Keterangan: PL (Plastik); FP (Busa Plastik); CL (Kain); GC (Kaca dan Keramik); ME (Logam); PC (Kertas dan Kardus); RB (Karet); WD (Kayu); dan OT (Bahan Lainnya)

Tabel 7. Massa sampah laut ukuran meso di masing-masing stasiun

| Jenis Sampah | Massa Sampah per Stasiun (g/m ²) | | | | | Total per Jenis (g/m ²) |
|--------------|--|------|------|------|----------|-------------------------------------|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | |
| PL | 0,20 | 1,66 | 0,02 | 3,98 | 0,37 | 6,24 |
| FP | 0,09 | 0,36 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,45 |
| CL | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| GC | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,04 |
| ME | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 |
| PC | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| RB | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| WD | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 |
| OT | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| Jenis Sampah | Massa Sampah per Stasiun (g/m ²) | | | | | Total per Jenis (g/m ²) |
|---------------------------------------|--|------|------|------|----------|-------------------------------------|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | |
| Total per Stasiun (g/m ²) | 0,29 | 2,17 | 0,03 | 4,00 | 0,87 | - |

Keterangan: PL (Plastik); FP (Busa Plastik); CL (Kain); GC (Kaca dan Keramik); ME (Logam); PC (Kertas dan Kardus); RB (Karet); WD (Kayu); dan OT (Bahan Lainnya)

Hasil analisis perhitungan kepadatan sampah laut untuk sampah laut berukuran makro diketahui kepadatan sampah laut tertinggi ditemukan di stasiun MDB2 (Rimba Jaya) yaitu 18,60 jenis/m². Selain itu, kepadatan sampah laut di stasiun MDB4 (Teluk Keriting) dan stasiun MDB1 (Senggarang) juga tergolong tinggi. Pada stasiun MDB4 kepadatan sampah laut diketahui sebesar 15,40 jenis/m² dan di stasiun MDB1 kepadatan sampah laut sebesar 13,96 jenis/m². Dari hasil perhitungan kepadatan sampah laut per jenis, diketahui

sampah jenis plastik (PL) memiliki nilai kepadatan tertinggi yaitu 41,08 jenis/m² (**Tabel 8**). Kepadatan sampah laut berukuran meso pada masing-masing stasiun berkisar antara 0,16-4,08 jenis/m². Stasiun MDB2 (Rimba Jaya) merupakan lokasi dengan kepadatan sampah laut berukuran meso yang paling tinggi (4,08 jenis/m²). Sama halnya dengan sampah laut berukuran makro, sampah laut berukuran meso yang memiliki tingkat kepadatan tertinggi adalah sampah laut jenis plastik yaitu 5,44 jenis/m² (**Tabel 9**).

Tabel 8. Kepadatan sampah makro pada masing-masing stasiun

| Jenis Sampah | Massa Sampah per Stasiun (g/m ²) | | | | | Total per Jenis (Jenis/m ²) |
|---|--|-------|------|-------|----------|---|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | |
| PL | 9,48 | 15,48 | 4,48 | 9,56 | 2,08 | 41,08 |
| FP | 1,56 | 1,36 | 0,80 | 3,16 | 0,16 | 7,04 |
| CL | 1,40 | 0,12 | 0,00 | 0,48 | 0,04 | 2,04 |
| GC | 0,36 | 0,32 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 1,68 |
| ME | 0,12 | 0,20 | 0,00 | 0,20 | 0,20 | 0,72 |
| PC | 0,04 | 0,48 | 0,00 | 0,04 | 0,16 | 0,72 |
| RB | 0,16 | 0,12 | 0,04 | 0,40 | 0,16 | 0,88 |
| WD | 0,12 | 0,24 | 0,12 | 0,20 | 0,12 | 0,80 |
| OT | 0,72 | 0,28 | 0,40 | 0,36 | 0,04 | 1,80 |
| Total per Stasiun (Jenis/m ²) | 13,96 | 18,60 | 5,84 | 15,40 | 2,96 | - |

Keterangan: PL (Plastik); FP (Busa Plastik); CL (Kain); GC (Kaca dan Keramik); ME (Logam); PC (Kertas dan Kardus); RB (Karet); WD (Kayu); dan OT (Bahan Lainnya)

Tabel 9. Kepadatan sampah meso pada masing-masing stasiun

| Jenis Sampah | Massa Sampah per Stasiun (g/m ²) | | | | | Total per Jenis (Jenis/m ²) |
|---|--|------|------|------|----------|---|
| | MDB1 | MDB2 | MDB3 | MDB4 | Perairan | |
| PL | 1,12 | 3,44 | 0,16 | 0,08 | 0,64 | 5,44 |
| FP | 0,08 | 0,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 |
| CL | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| GC | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,16 |
| ME | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| PC | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| RB | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,20 |
| WD | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,04 |
| OT | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total per Stasiun (Jenis/m ²) | 1,20 | 4,08 | 0,16 | 0,16 | 0,72 | - |

Keterangan: PL (Plastik); FP (Busa Plastik); CL (Kain); GC (Kaca dan Keramik); ME (Logam); PC (Kertas dan Kardus); RB (Karet); WD (Kayu); dan OT (Bahan Lainnya)

Pola Arus

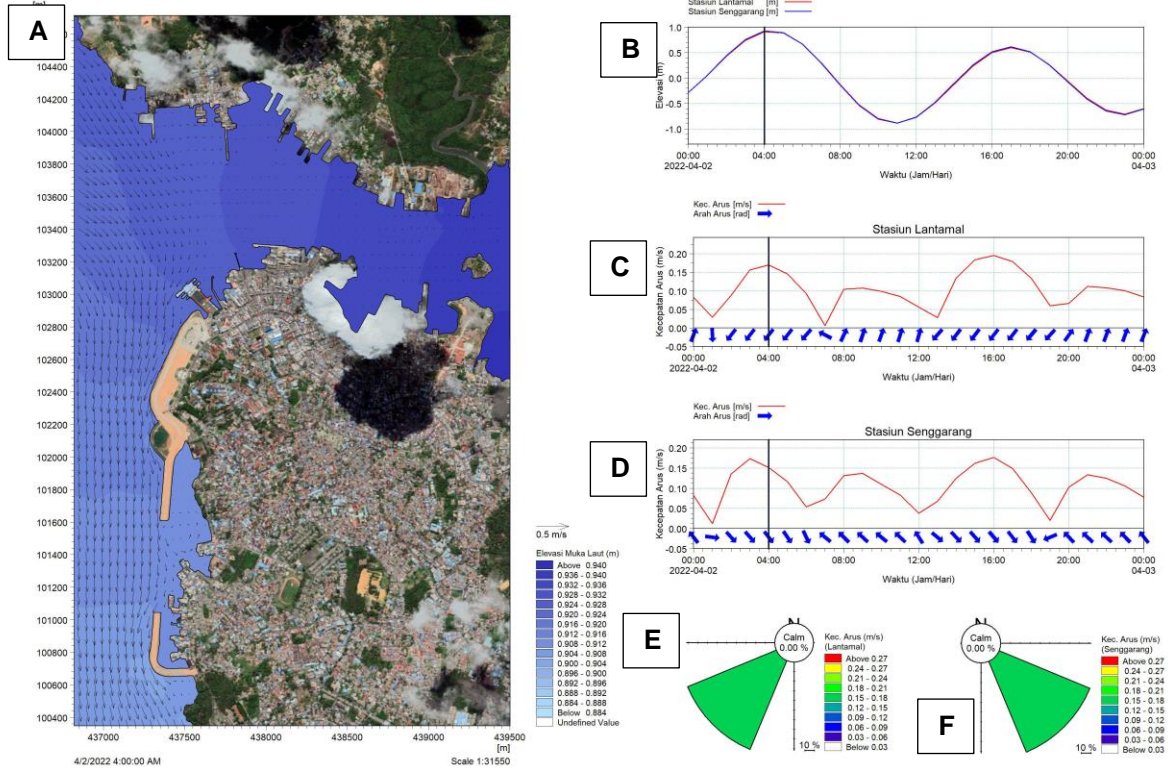
Model arus pada penelitian ini disimulasikan selama 1 (satu) bulan untuk mendapatkan gambaran umum kondisi arus di lokasi penelitian. Hasil model tidak ditampilkan secara keseluruhan, melainkan hanya dicuplik pada 4 (empat) kondisi tertentu yaitu pada saat pasang tertinggi, surut terendah, menuju pasang dan menuju surut. Pencuplikan yang dilakukan disebabkan pada kondisi-kondisi tersebut pola arus sangat kuat dipengaruhi oleh pasang surut. Validasi hasil model menunjukkan tingkat akurasi yang baik berdasarkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang diperoleh. Nilai MAPE diperoleh dari pencuplikan hasil model pada periode waktu yang sama dan di titik lokasi yang sama saat dilakukan pengukuran di lapangan. Validasi dari hasil pencuplikan tersebut diperoleh nilai MAPE sebesar 10,15 % untuk stasiun Teluk Keriting dan 12,47 % untuk stasiun Senggarang. Hal ini menunjukkan hasil simulasi model masuk dalam kategori baik, yang artinya data hasil simulasi model dapat digunakan sebagai acuan dalam menggambarkan kondisi *real time* suatu objek atau fenomena di lapangan.

Saat kondisi pasang tertinggi, pola arus sangat dominan bergerak dari arah utara dan barat laut menuju ke selatan. Saat mendekati bagian perairan yang membentuk selat sempit di bagian utara dari lokasi penelitian (**Gambar 4**) arus akan berbelok ke arah timur dan terus masuk ke lokasi tersebut. Pada kondisi ini, arus yang datang dari arah laut terbuka cenderung semakin melambat kecepatannya ketika telah masuk ke bagian selat sempit tersebut. Perlambatan kecepatan arus ini diduga karena adanya perbedaan kedalaman perairan yang semakin dangkal ketika sampai ke bagian dalam selat sempit tersebut dan jauh dari perairan terbuka. Posisi perairan yang sedikit tertutup juga dapat mempengaruhi kecepatan arus yang masuk ke lokasi tersebut. Dalam

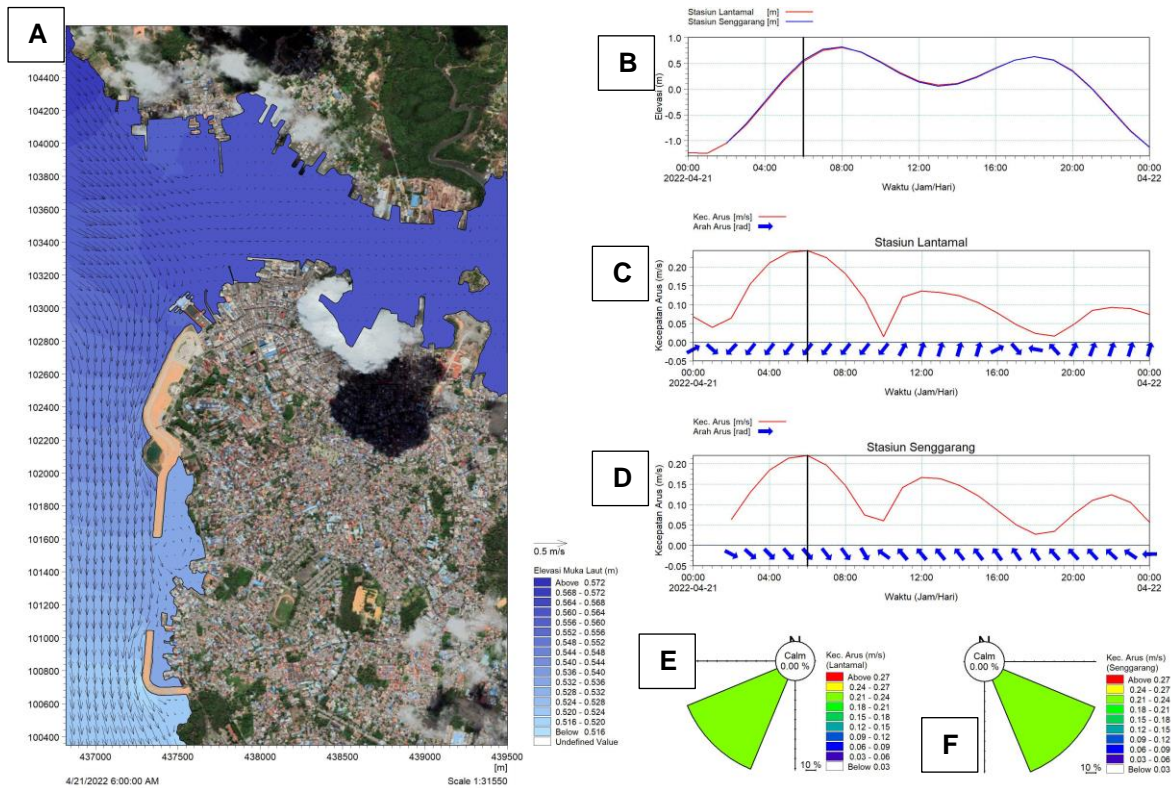
posisi seperti ini, angin yang bertiup di permukaan cenderung akan melemah karena banyaknya penghalang seperti pulau-pulau, daratan maupun letak lokasi perairan yang cukup sempit sehingga akan mengurangi kecepatan gesekan angin di permukaan laut sehingga kecepatan arus juga akan melemah.

Pada kondisi ini (saat pasang tertinggi), kecepatan arus berkisar antara 0,15-0,18 m/s dengan arah gerak dominan menuju barat daya. Sementara angin dominan bertiup dari arah tenggara dengan kecepatan berkisar antara 2,60-3,25 m/s. Kecepatan dan arah angin pada periode ini (bulan April saat pelaksanaan penelitian) cenderung tidak stabil dan berubah-ubah. Hal ini disebabkan pada periode ini di lokasi penelitian sedang berada dalam periode musim timur (musim peralihan I di perairan utara Jawa). Pada periode ini pola angin selalu berubah setiap saat, hal ini disebabkan oleh perubahan arah bertiupnya angin dari satu musim ke musim lainnya (Purba & Jaya 2004).

Pada kondisi menuju pasang, pola arus di lokasi penelitian hampir sama dengan kondisi pasang tertinggi. Arus bergerak dari arah utara dan barat laut menuju ke selatan sebelum akhirnya dibelokkan ke arah barat daya akibat posisi pantai lokasi penelitian. Perbedaan pola arus saat pasang tertinggi dengan kondisi pada saat menuju pasang adalah kisaran kecepatan arus. Saat kondisi menuju pasang kisaran kecepatan arus jauh lebih tinggi dari saat pasang tertinggi. Kecepatan arus saat menuju pasang berkisar antara 0,21-0,24 m/s dan pada kondisi ini juga kecepatan angin jauh lebih tinggi sekitar 5,20-5,85 m/s (**Gambar 5**). Elevasi muka air pada saat kondisi pasang tertinggi dan menuju pasang sangat tinggi di bagian utara (di bagian selat yang sempit) dibandingkan dengan di laut terbuka di sisi barat lokasi penelitian. Kondisi ini berlangsung terus menerus hingga sampai pada puncak pasang tertinggi.



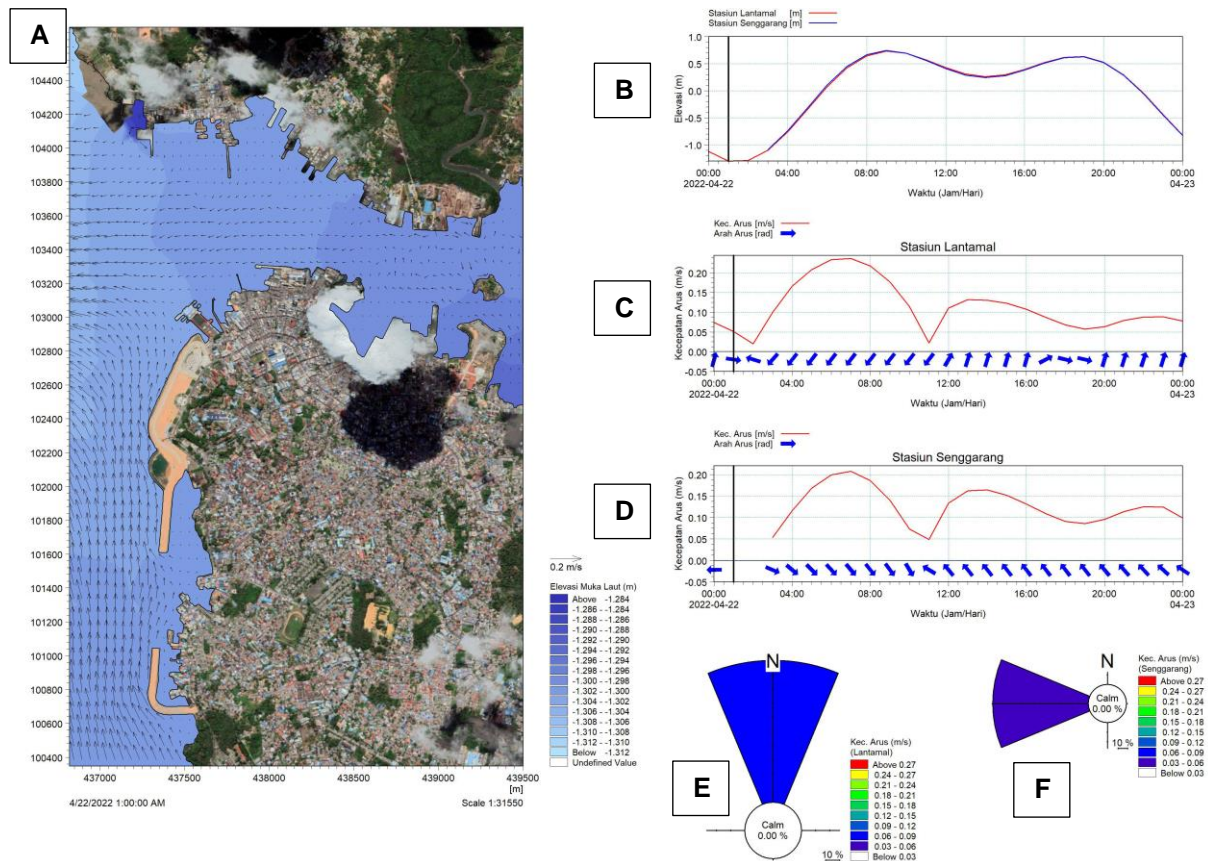
Gambar 4. Arus saat pasang tertinggi. (A) vektor arus yang di-overlay dengan pasang surut; (B) elevasi pasang surut; (C) arah dan kecepatan arus stasiun Teluk Keriting; (D) arah dan kecepatan arus stasiun Senggarang; (E) mawar arus stasiun Teluk Keriting; dan (F) mawar arus stasiun Senggarang



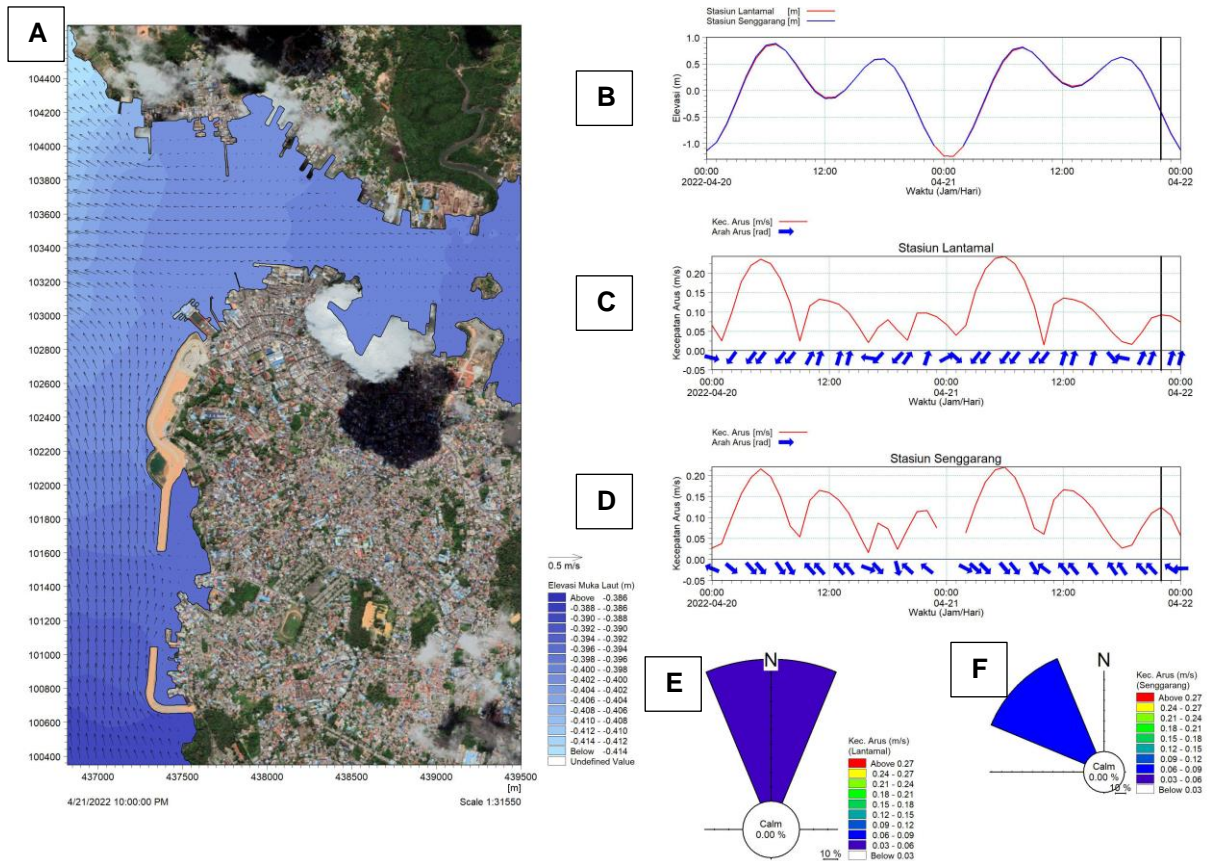
Gambar 5. Arus saat menuju pasang. (A) vektor arus yang di-overlay dengan pasang surut; (B) elevasi pasang surut; (C) arah dan kecepatan arus stasiun Teluk Keriting; (D) arah dan kecepatan arus stasiun Senggarang; (E) mawar arus stasiun Teluk Keriting; dan (F) mawar arus stasiun Senggarang

Saat kondisi surut pola sirkulasi arus di lokasi penelitian sangat berbanding terbalik dengan kondisi saat pasang. Sirkulasi massa air cenderung bergerak dari arah selatan menuju utara saat kondisi surut. Pada kondisi surut terendah, arus bergerak dari arah selatan menuju utara dengan kecepatan berkisar antara 0,06-0,09 m/s (**Gambar 6**). Sementara itu di bagian utara lokasi penelitian (perairan selat sempit) arus bergerak dari arah timur menuju barat meninggalkan pantai dengan kecepatan berkisar antara 0,00-0,06 m/s. Ketika arus dari perairan selat sempit di bagian utara lokasi penelitian sampai di laut terbuka terjadi pertemuan dengan massa air yang bergerak dari arah selatan yang menuju ke utara. Pertemuan ini menyebabkan arus yang menuju utara dibelokkan ke arah barat dan terus menuju ke laut terbuka. Ketika kondisi perairan

menuju surut, kecepatan arus di bagian utara menjadi jauh lebih lemah dari kecepatan arus yang datang dari arah selatan menuju utara. Pada kondisi ini, arus di bagian utara lokasi penelitian bergerak dengan kecepatan 0,06-0,09 m/s sedangkan di sekitar stasiun Teluk Keriting kecepatan arus berkisar antara 0,00-0,06 m/s (**Gambar 7**). Saat menuju surut terjadi dorongan massa air dari arah selatan. Ketika massa air dari selat di bagian utara lokasi penelitian bergerak menuju ke arah barat meninggalkan pantai, terjadi pertemuan massa air di bagian perairan terbuka di arah laut. Pertemuan ini menyebabkan massa air yang bergerak ke arah barat sebagian dibelokkan ke arah barat daya dan utara. Pertemuan ini juga menyebabkan sebagian massa air dari arah selatan dibelokkan ke arah barat daya dan barat menuju ke arah laut terbuka.



Gambar 6. Arus saat surut terendah. (A) vektor arus yang di-overlay dengan pasang surut; (B) elevasi pasang surut; (C) arah dan kecepatan arus stasiun Teluk Keriting; (D) arah dan kecepatan arus stasiun Senggarang; (E) mawar arus stasiun Teluk Keriting; dan (F) mawar arus stasiun Senggarang



Gambar 7. Arus saat menuju surut. (A) vektor arus yang di-overlay dengan pasang surut; (B) elevasi pasang surut; (C) arah dan kecepatan arus stasiun Teluk Keriting; (D) arah dan kecepatan arus stasiun Senggarang; (E) mawar arus stasiun Teluk Keriting; dan (F) mawar arus stasiun Senggarang

Arus merupakan pergerakan atau perpindahan massa air dari satu tempat ke tempat lain. Pergerakan tersebut terjadi akibat adanya gesekan angin di permukaan laut, perbedaan densitas air laut, gelombang pasang surut, gradien tekanan, fenomena *upwelling* dan *downwelling* (Daruwedho et al., 2016; Permadi et al., 2015; Tanto et al., 2017). Arus di permukaan laut atau di perairan dangkal (kawasan pantai) dapat dibangkitkan oleh gelombang laut, pasang surut maupun gesekan angin di permukaan laut. Pada perairan sempit dan semi tertutup seperti selat dan teluk, pasang surut merupakan gaya penggerak utama sirkulasi massa air. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin pada umumnya bersifat musiman, dimana pada satu musim arus mengalir ke satu arah dengan tetap dan pada musim berikutnya akan berubah arah sesuai dengan perubahan arah angin yang terjadi (Tanto et al., 2017).

Melihat bagaimana pola arah dan kecepatan arus di lokasi penelitian yang diperoleh dari

hasil simulasi model yang dilakukan, diduga arus memberikan pengaruh terhadap distribusi sampah laut di lokasi penelitian. Adibhusana et al., (2016) menjelaskan sumber datangnya sampah dapat diketahui dengan melakukan penelusuran pergerakan partikel sampah laut. Pada umumnya pergerakan sampah laut cenderung mengikuti arah gerak atau pola arus laut. Kecepatan arus berperan dalam proses penempatan sampah laut. Semakin cepat arus laut maka semakin cepat terjadi penumpukan sampah laut. Mandala (2016) menjelaskan daerah pantai adalah lokasi yang paling banyak ditemukannya sampah laut yang kemudian diikuti oleh permukaan air yang didominasi oleh sampah plastik yang memiliki karakteristik daya apung dan daya tahan tinggi. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan di pesisir Barat Pulau Bali pada musim barat oleh Husrin et al., (2017) bahwa sampah laut lebih banyak berada pada stasiun yang dekat dengan garis pantai (500 m dari pantai) dibandingkan dengan stasiun yang lebih jauh dari pantai.

Hasil identifikasi jenis sampah laut dan tingkat kepadatan sampah laut di lokasi penelitian diketahui tingkat kepadatan tertinggi ditemukan di sekitar lokasi stasiun MDB1 (Senggarang), stasiun MDB2 (Rimba Jaya) dan stasiun MDB4 (Teluk Keriting). Lokasi-lokasi merupakan lokasi yang padat dengan aktivitas di sekitar kawasan pesisir. Hal ini yang menyebabkan kepadatan sampah laut menjadi tinggi dan diduga merupakan buangan dari daratan. Kebiasaan masyarakat di pesisir Kota Tanjungpinang membuang sampah atau limbah rumah tangga ke laut juga menjadi penyebab tingginya kepadatan sampah laut di lokasi tersebut. Lokasi-lokasi dengan tingkat kepadatan sampah laut tertinggi ini juga memberikan pengaruh tingginya kepadatan sampah laut di lokasi tersebut.

Stasiun MDB1 dan stasiun MDB2 berada di sekitar lokasi yang membentuk teluk kecil, sedangkan stasiun MDB4 berada di sekitar pantai yang morfologinya cukup landai dan jauh dari daerah tubir serta terlindung (tertutup) oleh bagian pantai yang direklamasi. Oleh sebab itu ketika perairan dalam kondisi pasang, arus bergerak dari arah laut menuju pantai sehingga sampah laut yang massanya lebih ringan dari kecepatan arus akan terbawa dan menumpuk di sekitar pesisir (pantai). Profil perairan yang berbentuk teluk sempit menyebabkan sampah-sampah tersebut dapat terjebak dan tertinggal di pesisir pada saat surut. Hal ini diperkuat dengan kisaran kecepatan arus pada saat pasang maupun saat surut. Pada saat pasang kecepatan arus yang bergerak di sekitar lokasi penelitian sangat tinggi dibandingkan pada saat surut. Kecepatan arus yang cukup tinggi pada saat pasang memungkinkan sampah laut akan terbawa ke arah pantai, namun pada saat surut kecepatan arus cenderung jauh lebih lemah dari saat pasang. Lemahnya kecepatan arus yang meninggalkan pantai saat kondisi surut tersebut menyebabkan sampah laut akan tertinggal di pantai yang disebabkan kecepatan arus lebih kecil dari massa sampah laut yang menumpuk di pesisir (pantai). Hal ini yang diduga menjadi salah satu penyebab tingginya kepadatan sampah laut di stasiun MDB1 (Senggarang) dan stasiun MDB2 (Rimba Jaya).

Stasiun MDB4 (Teluk Keriting) juga menjadi salah satu lokasi yang memiliki tingkat kepadatan sampah tertinggi selain stasiun MDB1 dan stasiun MDB2. Pantai yang cukup landai dan jauh dari daerah tubir dan cenderung kering hingga jarak 0-500 m dari pantai ke arah laut pada saat surut diduga menjadi penyebab tingginya kepadatan sampah di lokasi tersebut. Pada saat pasang,

kecepatan arus cukup tinggi sehingga sampah laut akan terbawa ke arah pantai. Ketika kondisi surut, arus akan bergerak ke arah pantai. Namun karena kecepatan arus yang lebih lemah daripada saat pasang dan bentuk pantai yang landai serta jauh dari tubir menyebabkan sampah laut yang sudah terbawa ke arah pantai pada saat pasang tidak dapat keluar jauh dari pantai disebabkan arus yang lemah. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Werorilangi *et al.*, (2021) bahwa transpor dan distribusi sampah laut terapung di perairan Pulau Barrangcaddi dipengaruhi oleh arus permukaan, kecepatan arus yang cukup kuat dapat membawa atau mentranspor sampah dengan jumlah yang banyak khususnya sampah plastik. Semakin besar kecepatan arus maka potensi pergerakan sampah juga akan semakin besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan simulasi model yang dilakukan dapat dijadikan acuan dalam menggambarkan pola arus yang sesuai dengan kondisi *real* di lapangan. Hal ini ditunjukkan dari hasil validasi model dengan tingkat validasi yang baik. Pola arus di lokasi penelitian juga diketahui sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut. Sirkulasi arus di lokasi penelitian diduga memberikan pengaruh terhadap distribusi sampah laut di perairan maupun di pesisir lokasi penelitian. Ketika perairan dalam kondisi pasang, arus bergerak dari arah laut menuju pantai sehingga sampah laut yang massanya lebih ringan dari kecepatan arus akan terbawa dan menumpuk di sekitar pesisir (pantai). Profil perairan yang berbentuk teluk sempit menyebabkan sampah-sampah tersebut dapat terjebak dan tertinggal di pesisir pada saat surut. Pada saat surut kecepatan arus cenderung jauh lebih lemah dari saat pasang. Lemahnya kecepatan arus yang meninggalkan pantai saat kondisi surut tersebut menyebabkan sampah laut akan tertinggal di pantai yang disebabkan kecepatan arus lebih kecil dari massa sampah laut yang menumpuk di pesisir.

Saran

Mengingat keterbatasan waktu dan luasnya cakupan dan ruang lingkup dari penelitian ini, maka penelitian ini diberi batasan dengan tidak melakukan proses *sampel/particle tracking*. Disarankan untuk penelitian lanjutan perlu diberi perlakuan berupa pemantauan pergerakan sampah laut dalam satu periode waktu tertentu secara *real time* di perairan sehingga tingkat keterkaitan pola arus dapat

semakin tinggi dan tergambarkan dengan jelas. Penelitian ini juga tidak mengukur atau mensimulasikan kondisi gelombang laut mengingat lokasi penelitian adalah perairan semi tertutup dan kondisi gelombang laut di lokasi penelitian tidak terlalu tinggi atau ekstrim, sehingga diasumsikan gelombang laut tidak memberikan pengaruh terhadap pergerakan sampah laut di lokasi penelitian. Oleh sebab itu disarankan juga untuk penelitian lanjutan dapat ditambahkan parameter gelombang laut, khususnya untuk lokasi yang berbentuk perairan terbuka atau yang memiliki kecenderungan terbentuk kondisi gelombang laut yang tinggi atau ekstrim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada seluruh pihak yang telah terlibat selama pelaksanaan penelitian, pengolahan data dan penulisan artikel. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada *reviewer* yang telah memberikan saran, koreksi dan masukan yang sangat baik guna kesempurnaan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibhusana, M. N., Hendrawan, I. G., & Karang, I. W. G. A. (2016). Model hidrodinamika pasang surut di perairan pesisir barat Kabupaten Badung, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 2(2), 54-59. <https://doi.org/10.24843/jmas.2016.v2.i02.54-59>.
- [BIG] Badan Informasi Geospasial. (2015). *Spesifikasi Teknis Survei Hidrografi dan Pembuatan Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) Skala 1:50.000*. Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai.
- Budiman, A. S., Koropitan, A. F., & Nurjaya, I. W. (2014). Pemodelan hidrodinamika arus pasang surut Teluk Mayalibit Kabupaten Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Jurnal Depik*, 3(2), 146-156.
- Daruwedho, H., Sasmito, B., & Janu A, F. (2016). Analisis pola arus laut permukaan perairan Indonesia dengan menggunakan satelit altimetri Jason-2 tahun 2010-2014. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 145-158.
- [DHI] Danish Hydraulic Institute. 2014. *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. Hydrodynamic Module. Step by Step Training Guide*. DHI.
- Handoyo, G., Subardjo, P., Kusumadewi, V., Rochaddi, B., & Widada, S. (2020). Pengaruh pasang surut terhadap sebaran material padatan tersuspensi di Pantai Dasun Kabupaten Rembang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(1), 1-7.
- Husrin, S., Wisna, U. J., Prasetyo, R., Putra, A., & Attamimi, A. (2017). Characteristics of marine litters in the west coast of Bali. *Jurnal Segara*, 13(2), 129-140. <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v13i2.6449>.
- Jambeck, J. R., & Johnsen, K. (2015). Citizen-based litter and marine debris data collection and mapping. In *Computing in Science and Engineering*, 20-26. *IEEE Computer Society*.
- Khairunnisa., Apdillah, D., & Putra, R. D. (2021). Karakteristik pasang surut di perairan Pulau Bintang bagian timur menggunakan metode admiralty. *Jurnal Kelautan*, 14(1), 58-70. <http://doi.org/10.21107/jk.v14i1.9928>.
- Lebreton, L. C. M., Greer, S. D., & Borrero, J. C. (2012). Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Marine Pollution Bulletin*, 64(3), 653-661.
- Lestari, F. (2020). Nutrient distribution models and flow patterns in coastal waters and small islands, Tanjungpinang City, Indonesia. *Akuatikisile: Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*, 4(1), 36-40.
- Maharani, A., Purba, N. P., & Faizal, I. (2018). Occurrence of beach debris in Tunda Island, Banten, Indonesia. In *E3S Web of Conferences, EDP Sciences*.
- Mandala, W. F. (2016). Kendala dan strategi pengelolaan sampah Pulau Barrang Lompo. *The Journal of Fisheries Development*, 2(2), 61-68.
- Opfer, S., Arthur, C., & Lippiatt, S. (2012). *Marine Debris Shoreline Survey Field Guide*. NOAA.
- Permadi, L. C., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). Studi arus pada perairan laut di sekitar PLTU Sumuradem Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 516-523.
- Prajanti, A., Berlianto, M., Simamora, R. L., Imansari, M. B., & Sari, N. (2020). *Pedoman Pemantauan Sampah Laut: Sampah Pantai, Sampah Mengapung dan Sampah Dasar Laut*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Purba, M., & Jaya, I, W. (2004). Analisis perubahan garis pantai dan penutupan lahan antara Way Penet dan Way Sekampung, Kabupaten Lampung Timur. *IIPPI*, 11(2), 109-121.

- Purba, N. P., Handyman, D. I. W., Pribadi, T. D., Syakti, A. D., Pranowo, W. S., Harvey, A., & Ihsan, Y. N. (2019). Marine debris in Indonesia: A review of research and status. *Marine Pollution Bulletin*, 146:134–144.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.057>.
- Ramadani, A., Suhana, M. P., & Febrianto, T. (2022). Karakteristik spasial suhu permukaan laut perairan Kota Tanjungpinang pada empat musim berbeda. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 15(1), 39-59.
<https://doi.org/10.21107/jk.v15i1.10832>.
- Sugianto, D. N., & Agus, A. D. S. (2007). Studi Pola sirkulasi arus laut di perairan pantai Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 12(2), 79-92.
- Suhana, M. P. (2016). *Analisis Perubahan Garis Pantai di Pantai Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau*. Tesis. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Surbakti, H. (2012). Karakteristik pasang surut dan pola arus di muara Sungai Musi, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 15(1), 35-39.
- Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulisty, I., Lebarillier, S., Akhlus, S., Doumenq, P., & Chung, P. W. W. (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in a coastal area of Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 217–225.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.046>.
- Tanto, T. A., Wisha, U. J., Kusumah, G., Pranowo, W. S., Husrin, S., Ilham, I., & Putra, A. (2017). Karakteristik arus laut perairan Teluk Benoa-Bali. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 23(1), 37–48.
<https://doi.org/10.24895/jig.2017.23-1.631>.
- Werorilangi, M. A. S., Samad, W., Gosalam, S., & Lanuru, M. 2021. Identifikasi sampah laut permukaan kaitannya dengan pola arus di perairan Pulau Barrangcaddi, Kota Makassar. *Prosiding Simposium Nasional VIII Kelautan dan Perikanan. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, 5 Juni 2021*.