

**ANALISA POLA ARUS PASANG SURUT DAN PERANNYA DALAM TRANSPOR SEDIMEN
MENGUNAKAN COUPLE MODEL DI PERAIRAN PAMEKASAN, SELATAN MADURA
PADA BULAN JUNI 2023**

**ANALYSIS OF TIDAL CURRENT PATTERNS IN SEDIMENT TRANSPORT USING COUPLE
MODEL IN PAMEKASAN WATERS, SOUTH OF MADURA LAND IN JUNE 2023**

¹Esti Himawan*, ¹Maureen Sondang Natalie, ¹Nurholis, ¹Rima Putri Pertiwi, ¹Aliyyah Khoirunnisa,
²Arrochim, ²Iswantono

¹Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Undip, Semarang, Indonesia

²Pusat Hidro-oseanografi TNI Angkatan Laut, Jakarta, Indonesia

*Koresponden penulis: 12920072 @mahasiswa.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus pasang surut dan peranannya dalam transpor sedimen di perairan Pamekasan, Madura Selatan, pada bulan Juni 2023. Data batimetri, pasang surut, angin, gelombang, dan karakteristik sedimen dasar digunakan sebagai input model. Untuk pemodelan gelombang, metode spektral gelombang digunakan untuk memahami penjalaran gelombang. Metode ini sangat penting karena gelombang memiliki peran yang signifikan dalam dinamika oseanografi, mempengaruhi transpor sedimen, erosi pantai, dengan penentuan karakteristik gelombang seperti tinggi, periode, dan arah, yang penting untuk memahami kondisi dan dinamika perairan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan Pamekasan memiliki tipe pasang surut campuran, cenderung ke harian ganda. Kecepatan arus pasang surut lebih tinggi saat kondisi pasang dan surut dibandingkan saat menuju pasang atau surut. Konsentrasi sedimen tersuspensi (SSC) meningkat saat pasang tertinggi akibat arus yang kuat, dan menurun saat surut karena sedimentasi. Penelitian ini memberikan pemahaman penting tentang dinamika oseanografi di perairan Pamekasan yang dapat mendukung pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Pasang Surut, Transpor Sedimen, Model Aliran, Spektral Gelombang, Perairan Pamekasan

Abstract

This study aims to analyze the tidal current pattern and its effects in sediment transport in Pamekasan waters, South Madura, in June 2023. Bathymetry, tide, wind, wave, and bottom sediment characteristics data were used as model inputs. For wave modeling, spectral wave methods are used to understand wave propagation. This method is very important because waves have a significant role in oceanographic dynamics, affecting sediment transport, coastal erosion, with the determination of wave characteristics such as height, period, and direction, which are important for understanding water conditions and dynamics. The results showed that Pamekasan waters have a mixed tidal type, tending to be double daily. The tidal current speed is higher during high and low tide conditions than when heading towards high or low tide. Suspended sediment concentration (SSC) increases during high tide due to strong currents, and decreases during low tide due to sedimentation. This study provides important insights into oceanographic dynamics in Pamekasan waters that can support sustainable coastal area management.

Keyword: Tidal, Sediment Transport, Flow Model, Spectral Wave, Pamekasan Sea

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki ribuan pulau yang tersebar dari sabang sampai merauke, memiliki wilayah perairan yang luas mencapai 75,7% dari total luas wilayah negara Indonesia, dengan kondisi geografis tersebut, Indonesia dikenal sebagai negara maritim dengan potensi kelautan yang sangat

besar. Luasnya wilayah perairan ini juga menjadikan kondisi laut di Indonesia memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi, dipengaruhi oleh dinamika oseanografi dan geografi laut. Oseanografi sendiri merupakan ilmu yang mempelajari sifat serta fenomena yang terdapat di dalam maupun permukaan laut atau samudera.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki garis pantai yang sangat panjang, mencapai 95.181 km, yang kaya akan keanekaragaman biota pesisir. Kondisi batimetri atau kedalaman dasar perairan di Indonesia juga sangat bervariasi, dipengaruhi oleh tiga struktur besar yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan Indo-Australia (Riadi *et al.*, 2014). Dinamika oseanografi di perairan Indonesia sangat dipengaruhi oleh posisinya yang berada di antara Samudera Hindia dan Samudra Pasifik. Dua samudera ini memiliki karakteristik yang berbeda dan memengaruhi fenomena periodik seperti *El Nino*, *La Nina*, dan *Indian Ocean Dipole (IOD)* yang berdampak langsung pada laut di Indonesia.

Arus pasang surut merupakan salah satu parameter hidro-oseanografi yang memegang peranan penting dalam dinamika perairan, memengaruhi pergerakan massa air dan transportasi material di dalamnya. Pemahaman tentang pola arus pasang surut esensial dalam menjelaskan fenomena oseanografi di wilayah pesisir. Penelitian mengenai pola arus pasang surut dan peranannya dalam transpor sedimen menjadi krusial, terutama di wilayah pesisir seperti Pamekasan, Madura Selatan, yang memiliki karakteristik perairan yang kompleks (Asatidz *et al.*, 2021).

Dinamika arus pasang surut yang kompleks ini dapat mempengaruhi berbagai aspek lingkungan dan sosial-ekonomi di wilayah pesisir. Proses transpor sedimen terjadi dikarenakan faktor hidro-oseanografi seperti arus, pasang surut, dan gelombang. Selain arus pasang surut, gelombang juga berperan dalam dinamika perairan. Spektral gelombang digunakan untuk menganalisis karakteristik gelombang, yang bersama dengan arus, memengaruhi transpor sedimen dan perubahan morfologi dasar laut.

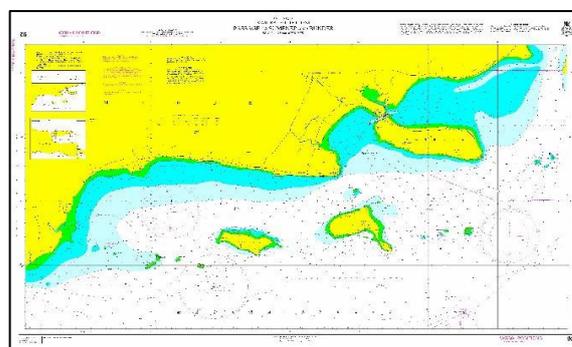
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus pasang surut dan peranannya dalam transpor sedimen di perairan Pamekasan, Madura Selatan, khususnya pada bulan Juni 2023. Pamekasan, yang terletak di selatan Madura, dengan luas wilayah berkisar 844.19 km². memiliki garis pantai yang dinamis dengan perubahan yang dipengaruhi oleh faktor hidro

oseanografi seperti arus (Agustin dan Syah, 2020).

Perubahan garis pantai ini dapat berdampak signifikan terhadap ekosistem pesisir, aktivitas perikanan, dan infrastruktur di wilayah tersebut. Oleh karena itu, pemahaman yang akurat tentang dinamika arus dan transpor sedimen sangat penting untuk pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan. Pemodelan numerik menjadi alat yang penting dalam menganalisis pola arus pasang surut dan transpor sedimen di wilayah pesisir. Dengan memfokuskan pada periode waktu tertentu, penelitian ini dapat memberikan gambaran yang lebih rinci tentang variasi temporal dalam pola arus dan transpor sedimen. Data lapangan seperti batimetri, pasang surut, arus, angin, garis pantai, gelombang, dan karakteristik sedimen dasar diperlukan sebagai input data.

2. METODE

Pada metode penelitian ini dilakukan pemodelan arus pasang surut, gelombang, dan *mud transport*. Hasil dari pemodelan kemudian diverifikasi menggunakan RMSE dengan data reanalisis dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*. Wilayah perairan Pamekasan dijadikan sebagai domain model yang kemudian dipotong sesuai wilayah penelitian dan dianalisis datanya pada periode 1-30 Juni 2023. Daerah kajian penelitian kali ini dilakukan Pada Perairan Pamekasan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Laut Indonesia (PLI) No. 92 (Sumber: Pushidrosal, 2019)

Menurut *DHI Water & Environment* (2012), untuk dapat menjalankan pemodelan, diperlukan persamaan pembangunan yang

merupakan turunan Navier-Stokes secara sederhana, yaitu:

Persamaan Kontinuitas:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

Persamaan Momentum:

Untuk komponen horizontal x dan y ditulis sebagai berikut

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

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- $h(x, y, t)$ = kedalaman air ($\eta - d, m$)
- $d(x, y, t)$ = kedalaman air dalam berbagai waktu (m)
- $\eta(x, y, t)$ = elevasi permukaan (m)
- $p, q(x, y, t)$ = flux densities dalam arah x dan y ($m^3/s/m$) = (uh, vh); (u, v) = depth averaged velocities dalam arah x dan y
- $C(x, y)$ = Chezy resistance ($m^{1/3}/s$)
- g = kecepatan gravitasi (m/s^2)
- $V, V_x, V_y(x, y, t)$ = kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s)
- $\Omega(x, y)$ = Coriolis parameter (s^{-1})
- $p_a(x, y, t)$ = tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)
- ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = shear stress

Menurut Banan-Dallalian *et al.* (2021), Pemodelan ini menggunakan persamaan pembangun numerik dari persamaan Navier-Stokes rata-rata yang tidak termampatkan Reynolds 2D dengan asumsi Boussinesq dan tekanan hidrostatis. Terdapat persamaan kontinuitas berdasarkan koordinat kartesian yaitu,

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = hs \dots \dots \dots (4)$$

Untuk transport sedimen, terdapat rumusan seperti berikut,

$$\frac{\partial c}{\partial t} = AD_c + P_c \dots \dots \dots (5)$$

Modul Hidrodinamika (HD) dan Gelombang Spektral (SW) ini berfungsi sebagai komponen komputasi dasar dalam sistem pemodelan. Modul Hidrodinamika (HD) kemudian akan digunakan untuk mensimulasikan perubahan muka air dan aliran di wilayah estuari, teluk, serta pantai. Sementara itu, modul gelombang spektral atau Spectral Waves (SW), berperan dalam memodelkan transformasi gelombang serta gelombang yang dihasilkan oleh angin, baik di perairan lepas pantai maupun di daerah pesisir. Selain itu, modul ini juga dapat dimanfaatkan untuk menghitung transportasi sedimen yang dipengaruhi oleh kondisi gelombang serta interaksi antara gelombang dan arus.

Dalam penerapannya, Modul Gelombang Spektral menggunakan dua pendekatan berbeda, yaitu *directional decoupled parametric* dan *fully spectral*. Kedua persamaan gelombang tersebut sama-sama menggunakan persamaan kekekalan gelombang sebagai persamaan pembangun. Perbedaan dari kedua persamaan tersebut terletak pada solusi yang digunakan, yakni formulasi *directional decoupled parametric* menggunakan penyelesaian Holthuijsen (1989) sedangkan formulasi *fully spectral* menggunakan penyelesaian yang dilakukan Komen *et al.*, (1994) dan Young (1999).

Koordinat kartesian

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{s}{\sigma} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ = rapat gaya
- t = waktu
- $\vec{x}(x, y)$ = koordinat Cartesian
- $v(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ = kecepatan propagasi gelombang grup empat dimensi
- S = source

Koordinat spherical

$$N = NR 2 \cos \phi = \frac{ER2 \cos \phi}{\sigma} \dots \dots \dots (7)$$

Energi *source* (S) menunjukkan *superposisi source function* dari berbagai macam fenomena fisik

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \dots(8)$$

Keterangan:

S_{in} = pembentukan energi oleh angin

S_{nl} = transfer energi gelombang akibat non linear *wave-wave interaction*

S_{ds} = disipasi energi gelombang akibat *whitecapping*

S_{bot} = disipasi akibat *bottom friction*

S_{surf} = disipasi energi gelombang akibat *depth-induced breaking*

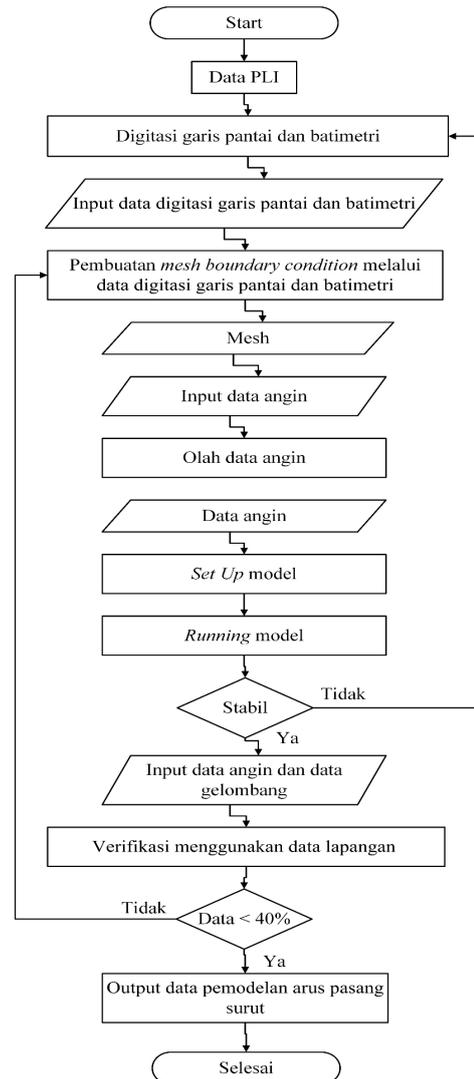
Pada tabel 1 merupakan *setup* model yang digunakan dalam penelitian di Perairan Pamekasan pada bulan Juni 2023, sebagai berikut:

Tabel 1. Setup Model

Lama simulasi	30 hari
Jumlah <i>timestep</i>	719
Interval <i>timestep</i>	1 jam
<i>Simulation start time</i>	01/06/2023 00:00:00
<i>Simulation stop time</i>	30/06/2026 23:00:00
<i>Grid</i>	<i>Unstructured Grid</i>

Pemodelan ini melewati beberapa tahapan pengerjaan sampai dengan mendapatkan hasil akhir. Skema tahapan dapat terlihat pada Gambar 2.

Pada pemodelan kali ini digunakan data angin, data gelombang signifikan, serta data batimetri dan data garis pantai. Data tersebut didapatkan melalui *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 2, seperti data angin dan data gelombang signifikan yang didapat dari *ECMWF Copernicus*. Data angin menggunakan data pada arah *u* atau arah Barat-Timur dan arah *v* atau arah Utara-Selatan. Kemudian data batimetri dan garis pantai merupakan hasil dari digitasi peta (PLI No. 92) menggunakan bantuan ArcGIS 10.4. Serta data pasang surut yang didapatkan dari pengolahan di *Flow Model* (FM) pada *global tide model data* dalam jangka waktu 1 – 30 Juni 2023.

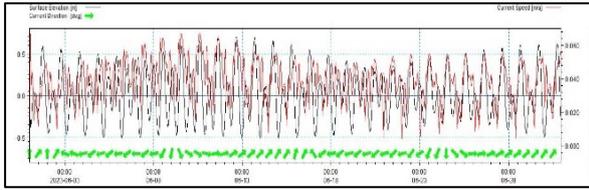


Gambar 2. Flowchart Pengerjaan Model

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

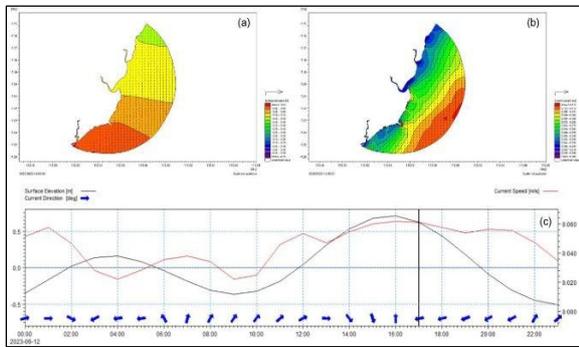
3.1 Arus Pasang Surut

Model Hidrodinamika arus pasang surut dibuat dengan menggunakan model numerik/aliran atau Couple Model FM yang menggabungkan modul *Hydrodynamic Module* (HD), *Mud Transport Module* (MT) dan *Spectral Wave Module* (SW) menggunakan pendekatan *Flexibel Mesh* untuk meningkatkan ketepatan simulasi. Prediksi pasang dan arah arus dapat dilihat pada gambar 3.



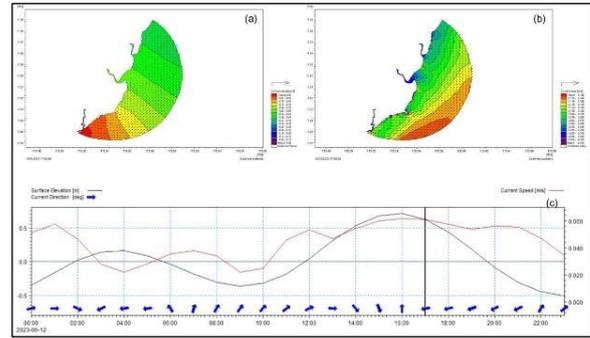
Gambar 3. Time Series di Perairan Pamekasan pada bulan Juni 2023, grafik pasut berwarna hitam dan merah, arah arus berwarna hijau.

Tipe pasang surut di Perairan Pamekasan yaitu tipe pasang surut harian ganda ($0.25 < F < 1.5$). Model arus pasang surut dijelaskan pada gambar 3 – gambar 6. Model kemudian dianalisis kondisi elevasi muka air laut, kecepatan, dan arah arusnya.



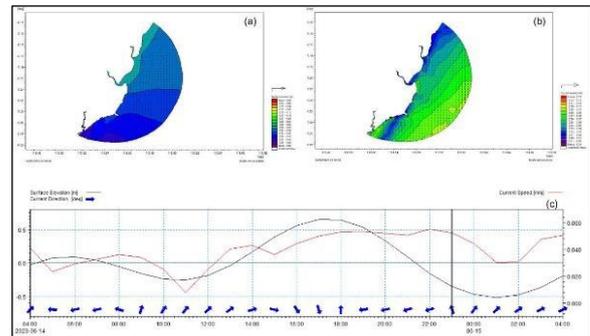
Gambar 4. (a) Elevasi muka air laut, (b) kecepatan arus, dan (c) grafik overlay time series saat menuju pasang *Time Series* ke-278 pukul 14.00 WIB (12/06/2023)

Kondisi arus pasang surut saat menuju pasang menunjukkan elevasi muka air laut, kecepatan arus dan grafik *overlay time series* yang terjadi pada tanggal 12 Juni 2023 pukul 14.00 WIB. Berdasarkan hasil simulasi diketahui arus pada saat menuju pasang tertinggi berada di *time step* ke-278. Dari hasil model tersebut didapatkan bahwa elevasi muka air laut berkisar $-0.05 - 0.65$ meter. Kecepatan arus saat menuju pasang berkisar $0.000 - 0.112$ m/s.



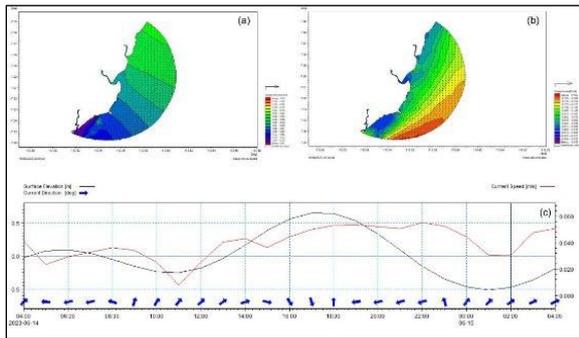
Gambar 5. (a) Elevasi muka air laut, (b) kecepatan arus, dan (c) grafik overlay time series saat pasang *Time Series* ke-281 pukul 17.00 WIB (12/06/2023)

Kondisi arus pasang surut saat pasang menunjukkan elevasi muka air laut, kecepatan arus dan grafik *overlay time series* yang terjadi pada tanggal 12 Juni 2023 pukul 17.00 WIB. Berdasarkan hasil simulasi diketahui arus pada saat menuju pasang tertinggi berada di *time step* ke-281. Dari hasil model tersebut didapatkan bahwa elevasi muka air laut berkisar $-0.06 - 0.90$ meter. Kecepatan arus saat pasang berkisar $-0.030 - 0.180$ m/s.



Gambar 6. (a) Elevasi muka air laut, (b) kecepatan arus, dan (c) grafik overlay time series saat menuju surut *Time Series* ke-335 pukul 23.00 WIB (14/06/2023)

Kondisi arus pasang surut saat menuju surut menunjukkan elevasi muka air laut, kecepatan arus dan grafik *overlay time series* yang terjadi pada tanggal 14 Juni 2023 pukul 23.00 WIB. Berdasarkan hasil simulasi diketahui arus pada saat menuju surut berada di *time step* ke-335. Dari hasil model tersebut didapatkan bahwa elevasi muka air laut berkisar $-0.56 - 0.00$ meter. Kecepatan arus saat menuju surut berkisar antara $-0.01 - 0.13$ m/s.



Gambar 7. (a) Elevasi muka air laut, (b) kecepatan arus, dan (c) grafik overlay time series saat surut *Time Series* ke-338 pukul 02.00 WIB (15/06/2023)

Kondisi arus pasang surut saat surut menunjukkan elevasi muka air laut, kecepatan arus dan grafik *overlay time series* yang terjadi pada tanggal 15 Juni 2023 pukul 02.00 WIB. Berdasarkan hasil simulasi diketahui arus pada saat surut berada di *time step* ke-338. Dari hasil model tersebut didapatkan bahwa elevasi muka air laut berkisar $-0.84 - 0.00$ meter. Kecepatan arus saat surut berkisar antara $-0.045 - 0.165$ m/s.

Berdasarkan parameter waktu menuju pasang, pasang, menuju surut dan surut didapatkan ketinggian elevasi maksimum terjadi pada saat pasang yaitu sebesar $0,31 - 0,71$ meter dan ketinggian elevasi minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar $(-0,23) - (-0,52)$ meter. Kecepatan arus berbanding lurus seiring bertambah dan berkurangnya elevasi muka air laut. Kecepatan arus pasang surut saat kondisi pasang dan surut lebih tinggi dibandingkan kondisi saat menuju surut dan menuju pasang.

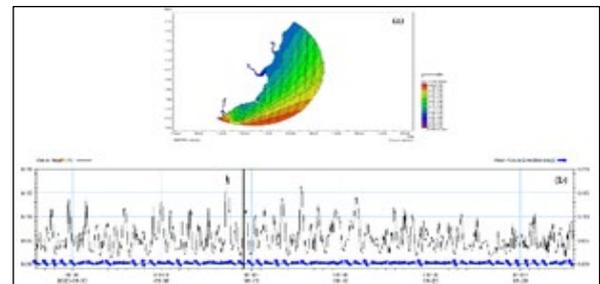
Analisis vektor arus mengindikasikan bahwa perairan dekat pantai memiliki kecepatan arus yang lebih rendah dibandingkan dengan perairan lepas pantai, karena adanya pengaruh gesekan dasar laut yang lebih besar di perairan dekat pantai sehingga menghambat kecepatan dan pergerakan massa air. Hal ini dapat diamati dari panjang vektor arus, di mana vektor yang lebih panjang menunjukkan arus yang lebih kuat.

Arah arus pasang surut dominan saat pasang tertinggi menuju ke timur laut dan timur mendekati daratan. Arah arus saat surut terendah menuju ke arah barat daya dan selatan menuju lautan. Gerak arus di perairan Pamekasan searah dengan jarum jam.

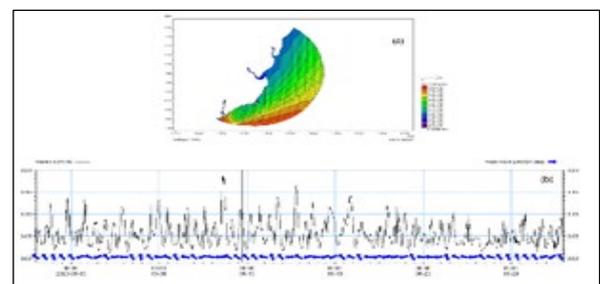
Seperti pada Prasetiyo *et al.* (2019) Di laut lepas gerak arus pasang surut berbentuk elips dimana arah rotasi adalah searah dengan putaran jarum jam di BBU (Belahan Bumi Utara) dan berlawanan arah jarum jam di BBS (Belahan Bumi Selatan). Arus pasang surut bergerak secara kontinu dengan arah yang terus berubah mengikuti arah jarum jam atau berlawanan jarum jam dalam satu periode pasang surut.

3.2 Gelombang

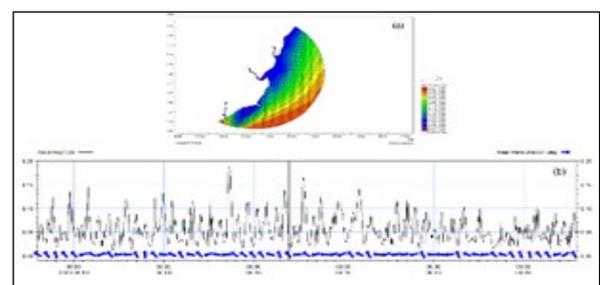
Model gelombang signifikan saat menuju pasang, pasang, saat menuju surut dan surut dijelaskan pada gambar 7 – 8.



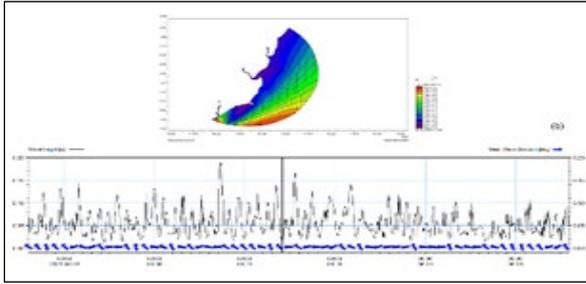
Gambar 8. (a) gelombang signifikan, (b) grafik gelombang signifikan saat menuju pasang *Time Series* ke-278 pukul 14.00 WIB (12/06/2023)



Gambar 9. (a) gelombang signifikan, (b) grafik gelombang signifikan saat pasang *Time Series* ke-281 pukul 17.00 WIB (12/06/2023)



Gambar 10. (a) gelombang signifikan, (b) grafik gelombang signifikan saat menuju surut *Time Series* ke-335 pukul 23.00 WIB (14/06/2023)



Gambar 11. (a) gelombang signifikan, (b) grafik gelombang signifikan saat surut *Time Series* ke-338 pukul 02.00 WIB (15/06/2023)

Tindaon *et al.* (2022), gelombang signifikan (H_s) merupakan tinggi rata-rata sepertiga dari data gelombang yang terukur dalam satu periode waktu. Berdasarkan hasil Tinggi gelombang signifikan (H_s) saat menuju pasang berkisar antara 0.00 - 0.48 meter, saat pasang berkisar antara 0.00 - 0.48 meter, saat menuju surut berkisar antara 0.00 - 0.33 meter, dan saat surut berkisar antara 0.00 - 0.28 meter. Gelombang H_s tertinggi terjadi saat pasang puncak dan saat menuju pasang, sedangkan H_s terendah terjadi saat surut. Arah gelombang didominasi oleh vektor yang mengarah ke daratan dari arah selatan hingga tenggara, yang menunjukkan karakteristik gelombang yang dipengaruhi oleh musim timur.

Tinggi gelombang signifikan dalam sebulan memiliki nilai maksimum pada tanggal 12 Juni 2023 pukul 17.00 WIB dengan nilai 0.48 meter, sedangkan nilai minimum tinggi gelombang signifikan terjadi pada 15 Juni 2023 pukul 02.00 WIB dengan nilai 0,28 meter. Tinggi gelombang signifikan dalam sebulan memiliki nilai maksimum pada tanggal 25 Januari 2022 pukul 07.00 WIB dengan nilai 1,857 meter, sedangkan nilai minimum tinggi gelombang signifikan terjadi pada 1 Januari 2022 pukul 02.00 WIB dengan nilai 0,6020 meter.

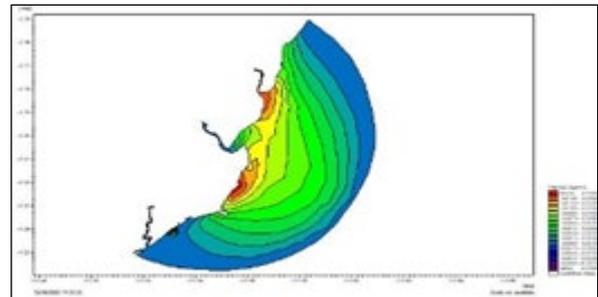
3.3 Sebaran Total SSC (Sediment Suspended Concentration)

Model transpor sedimen dibangun untuk transpor sedimen kohesif yang berupa module *mud transport* (MT). Modul MT dapat mensimulasikan erosi, transpor, *settling* dan deposisi sedimen kohesif di laut. Modul ini dapat memperhitungkan material berbutir halus yang non-kohesi (Wibowo *et al.*, 2020). Model total *Suspended Sediment*

Concentration (SSC) pada Perairan Pamekasan dijelaskan pada gambar 11-14. Pada pengamatan yang dilakukan pada 12 Juni 2023, diketahui bahwa konsentrasi SSC di perairan tersebut menunjukkan variasi yang signifikan sepanjang siklus pasang surut.

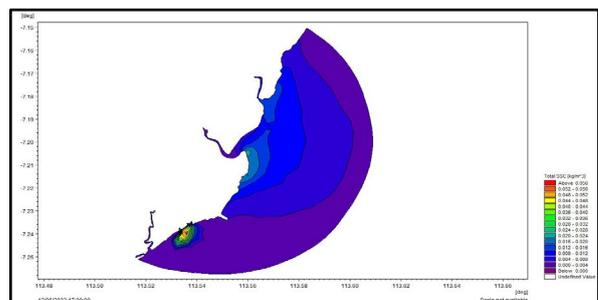
Model total SSC pada Perairan Pamekasan dijelaskan pada gambar 11-14. Pada pengamatan yang dilakukan pada 12 Juni 2023, diketahui bahwa konsentrasi SSC di perairan tersebut menunjukkan variasi yang signifikan sepanjang siklus pasang surut.

Pesisir Pamekasan memiliki jenis sedimen dominan lumpur (*Mud*). Sedimen halus yang terdiri dari campuran lempung (*clay*) dan lanau (*silt*) dengan ukuran partikel kurang dari 63 mikrometer (μm).

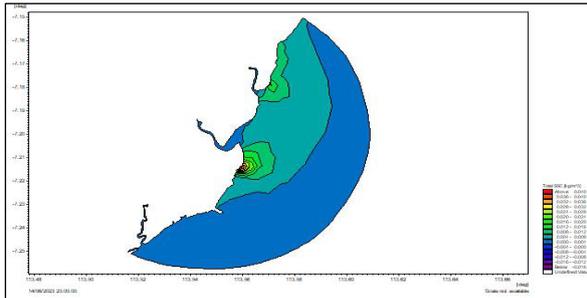


Gambar 12. Sebaran Total SSC ketika menuju Pasang pukul 14.00 WIB (12/06/2023)

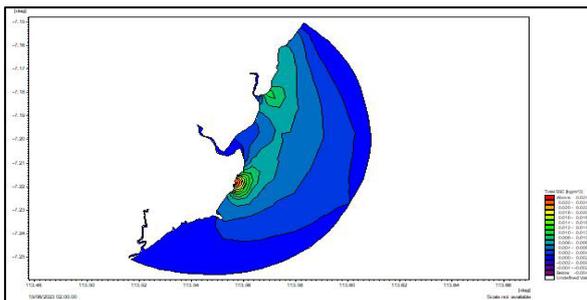
Saat menuju pasang di tanggal 12 Juni 2023 pukul 14.00 WIB diketahui total SSC berkisar 0.0060 - 0.0150 kg/m^3 , Saat pasang pada pukul 17.00 WIB diketahui total SSC berkisar hingga 0.056 kg/m^3 , Saat menuju surut di tanggal 14 Juni 2023 pukul 23.00 WIB diketahui total SSC berkisar 0.016 - 0.040 kg/m^3 , Saat surut di tanggal 15 Juni 2023 pukul 02.00 WIB diketahui total SSC berkisar 0.004 - 0.024 kg/m^3 .



Gambar 13. Sebaran Total SSC ketika menuju Pasang Tertinggi pukul 17.00 WIB (12/06/2023)



Gambar 14. Sebaran Total SSC ketika menuju Surut pukul 23.00 WIB (14/06/2023)

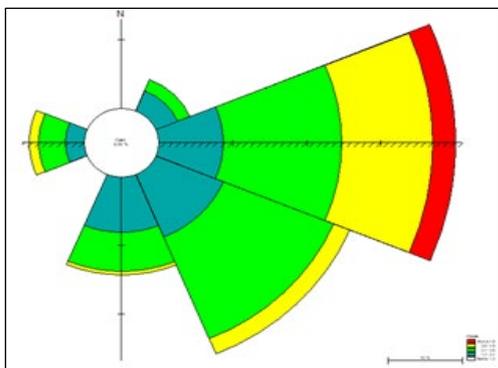


Gambar 15. Sebaran Total SSC Ketika Surut pukul 02.00WIB (15/06/2023)

Konsentrasi SSC meningkat saat pasang tertinggi karena arus yang lebih kuat mengangkat lebih banyak sedimen dari dasar laut. Konsentrasi SSC menurun saat surut karena arus melemah, sehingga sedimen kembali mengendap. Fenomena ini sejalan dengan karakteristik sedimen lumpur yang mudah tersuspensi saat arus meningkat dan cepat mengendap saat kondisi lebih tenang.

3.4 Wind Rose

Wind Rose pada perairan Pamekasan pada bulan Juni 2024 di jelaskan pada gambar 15 sebagai berikut:

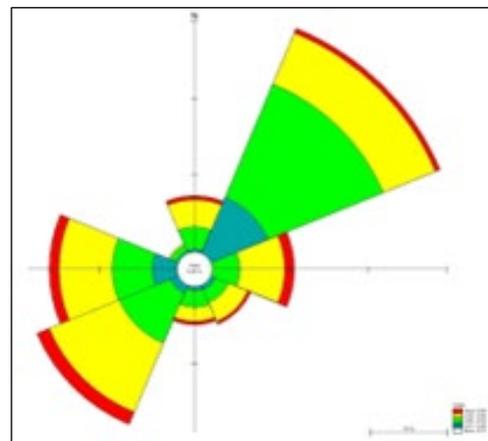


Gambar 15. Wind rose di Pamekasan pada bulan Juni 2023

Diagram *wind rose* menunjukkan distribusi arah dan kecepatan frekuensi banyaknya kejadian angin. Diagram *wind rose* membutuhkan input magnitudo sebagai kecepatan dan arah. Data yang digunakan diunduh dari Copernicus. Hasil Diagram *wind rose* angin dominan bertiup dari arah timur dan tenggara ke barat dan barat laut, yang konsisten dengan karakteristik angin musim timur di wilayah Indonesia. Presentase angin *calm* (angin tenang) dalam waktu 1 bulan di wilayah ini sebesar 5.00%. Kecepatan angin bervariasi, dengan sebagian besar berada dalam rentang 2.4 – 3.6 m/s, sementara kecepatan tertinggi lebih dari 4.8 m/s. Pola ini menunjukkan bahwa angin di bulan Juni Perairan Pamekasan didominasi oleh angin monsun timur. Sistem angin muson ini berpengaruh terhadap fluktuasi karakteristik perairan seperti angin, arus, serta sebaran suhu. Berdasarkan gambar *wind rose*, arah angin gelombang didominasi menuju ke barat dan barat laut. Apabila dikaitkan dengan angin, arah penjarangan gelombang 180° berbalik dengan arah datangnya angin. Hal ini sesuai karena penjarangan gelombang dari timur dan tenggara.

3.5 Current Rose

Wind Rose pada perairan Pamekasan pada bulan Juni 2024 di jelaskan pada gambar 14 sebagai berikut:



Gambar 16. Current rose di Perairan Pamekasan Juni 2023

Berdasarkan gambar *current rose*, arah arus pasut didominasi oleh arah ke Timur laut. Presentae angin *calm* (angin tenang) dalam waktu 1 bulan di wilayah ini sebesar

5.00%. Kecepatan arus dominannya bernilai 0,014 - 0,053 m/s. Apabila dikaitkan dengan pasang surut, seharusnya arah dominan dari arus pasut ini memiliki arah bolak-balik sesuai dengan pasang yang terjadi.

4. KESIMPULAN

Grafik pengolahan data pasang surut di perairan pamekasan menunjukkan bahwa tipe pasang surut Campuran, cenderung ke harian ganda ($0.25 < F < 1.5$). Tipe ini menjelaskan bahwa terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut yang terjadi secara teratur.

Kecepatan arus pasang surut saat kondisi pasang dan surut lebih tinggi dibandingkan kondisi saat menuju surut dan menuju pasang.

Konsentrasi SSC meningkat saat pasang tertinggi karena arus yang lebih kuat mengangkat lebih banyak sedimen dari dasar laut. Konsentrasi SSC menurun saat surut karena arus melemah, sehingga sedimen kembali mengendap.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Komandan Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian dan menggunakan data Peta Laut Indonesia (PLI), dan ECMWF untuk data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N. S., & Syah, A. F. (2020). Analisis Perubahan Garis Pantai Di Pulau Madura Menggunakan Citra Satelit Landsat 8. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 1(3):427-436.
- Asatidz, S., Satriadi, A., Ismanto, A., Setiyono, H., & Purwanto, P. (2021). Pemodelan Sebaran Sedimen Dasar Di Perairan Pelabuhan Branta, Pamekasan. *Indonesian Journal Of Oceanography*, 3(1):64-75.
- Analisis Tinggi Gelombang Signifikan Berdasarkan Model Wavewatch-III di Pantai Alau-Alau, Kalianda, Lampung

Selatan. *Buletin Oseanografi Mariana*. 11(2):123-130.

- Bakri, M., Santosa, Y. N., Awaluddin, A., Hawati, H., Malik, K., & Pranowo, W. S. (2024). Simulasi Pemodelan Arus Pasang Surut Di Perairan Teluk Jakarta: Tidal Current Modelling Simulation In The Waters Of Jakarta Bay. *Jurnal Chart Datum*, 10(2):131-140.
- Banan-dallalian, M., Shokatian-beiragh, M., Golshani, A., Mojtahedi, A., Lotfollahiyaghin, M. A., & Akib, S. (2021). Study Of The Effect Of An Environmentally Friendly Flood Risk Reduction Approach On The Oman Coastlines During The Gonu Tropical Cyclone (Case Study: The Coastline Of Sur). *Eng*, 2(2):141-155.
- 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.
- DHI. (2019). *MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation*. DHI Documentation.
- DHI. *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM*. DHI Documentation.
- DHI. *MIKE 21 Spectral Waves Modelling*. DHI Documentation.
- Holthuijsen, L.H., Booij, N and Herbers, T.H.C., 1989. *A prediction model for stationary shortcrested waves in shallow water with ambient currents*, *Coastal Engineering*, 13:23 – 54.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P.A.E. M., 1994. *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Marewa, Y. B., & Parinussa, E. M. (2020). Perlindungan Pulau-pulau Terluar Indonesiaberdasarkan Konsep Negara

- Kepulauan. *Paulus Law Journal*, 2(1):1-14.
- Prasetyo, A., Yusuf, M., & Mislan, M. (2019). Studi Transpor Sedimen Di Perairan Pantai Kalimantan Timur Dengan Menggunakan Model Hidrodinamika. *Geosains Kutai Basin*, 2(1): 1-8.
- Riadi, E., Zainuri, M., & Purwanto, P. (2014). Studi Kondisi Dasar Perairan Menggunakan Citra Sub-bottom Profiler Di Perairan Tarakan Kalimantan Timur. *Journal Of Oceanography*, 3(1):26-35.
- Suprakto, B. (2005). Studi Tentang Dinamika Mangrove Kawasan Pesisir Selatan Kabupaten Pamekasan Provinsi Jawa Timur Dengan Data Penginderaan Jauh. *Makalah Pada Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Tindaon, G. P., Angmalisang, P. A., Rampengan, R. M., Aror, R. D., Djamaluddin, R., Manengkey, H. W., & Ngangi, E. L. (2022). Karakteristik Arah Dan Tinggi Gelombang Signifikan Di Laut Sulawesi. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 10(3), 255-266.
- Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3):885-900.
- Wibowo, M., Khoirunnisa, H., Wardhani, K. S., & Wijayanti, R. (2022). Pemodelan Pola Sedimentasi di Muara Cisadane untuk Mendukung Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(2), 179-190.