PEMODELAN ARUS PASANG SURUT DAN GELOMBANG 2D MENGGUNAKAN METODE NUMERIK DENGAN *FLOW MODEL* DAN *SPECTRAL WAVE SOFTWARE* MIKE 21 DI PERAIRAN TANJUNG MULANG HINGGA TELUK MERU PADA BULAN JANUARI 2022

2D TIDAL AND WAVE MODELING USING NUMERICAL METHOD WITH FLOW MODEL AND SPECTRAL WAVE MIKE 21 SOFTWARE IN THE WATERS OF TANJUNG MULANG TO MERU BAY IN JANUARY 2022

[1]Amabel Zalfa Rienetza*, [2]Nadia Zahrina W, [2]Billy Yanfeto, [2]Rifqi Noval Agassi

[1]Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, ITB
[2]Pusat Hidro-oseanografi TNI Angkatan Laut
*Koresponden penulis: 12920072@mahasiswa.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang pemodelan arus dan gelombang laut di perairan Tanjung Mulang hingga Teluk Meru dengan metode numerik MIKE 21. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan pemahaman tentang pembuatan model dan menganalisis kondisi arus dan gelombang yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data dan informasi terkait karakteristik arus dan gelombang melalui studi literatur dan pemodelan numerik. Data tersebut kemudian diverifikasi dengan data dari ECMWF dan dianalisis untuk mengetahui karakteristik arus pasang surut dan gelombang. Hasil analisis menunjukkan bahwa arus pasang surut perairan Tanjung Mulang sampai Teluk Meru mempunyai arah dominan ke arah timur dengan kecepatan 0,04-0,053 m/s dan tinggi gelombang signifikan mempunyai arah dominan ke arah utara. dengan nilai 1,3-1,53 m. Hasil arus pasang surut yang terverifikasi cukup akurat dengan nilai RMSE model pasang surut dengan data BIG sebesar 0,05879 m sehingga hasil model valid untuk digunakan.

Kata Kunci: Pasang Surut, Glombang 2D, Model Aliran, Spektral Gelombang, Teluk Meru

Abstract

This research discusses the modeling of ocean currents and waves in the Tanjung Mulang to Meru Bay with the numerical method MIKE 21. The purpose of this research is to provide an understanding of model building and analyze the resulting current and wave conditions. The method used in this research is the collection of data and information related to the characteristics of currents and waves through literature studies and numerical modeling. The data were then verified with data from ECMWF and analyzed to determine the characteristics of tidal currents and waves. The results of the analysis show that the tidal currents in the waters from Tanjung Mulang to Meru Bay have a dominant direction towards the east with a speed of 0.04-0.053 m/s and the significant wave height has a dominant direction towards the north with a value of 1.3-1.53 m. The verified tidal current results are accurate enough with the RMSE value of the tidal model with BIG data of 0.05879 m so that the model results are valid for use.

Keyword: *Pasang Surut, Glombang 2D, Flow Model, Spectral Wave, Teluk Meru*

1. PENDAHULUAN

Pasang surut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan air laut yang terjadi secara *periodic* yang diakibatkan oleh hubungan gravitasional antara matahari, bulan, dan bumi. Selain faktor tersebut pasang surut juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti angin, curah hujan, dan iklim. Faktor ini juga menentukan ketinggian tambahan pada permukaan laut dan fluktuasinya sepanjang masa (Pariwono, 1989). Fluktuasi muka air laut berubah-ubah secara periodik dalam suatu selang waktu

tertentu atau sering disebut dalam satu siklus pasang surut. Karakteristik pasang surut di perairan dipengaruhi oleh letak geografis, morfologi pantai, maupun batimetri perairan.

Arus laut didefinisikan sebagai gerakan horizontal massa air laut yang dipicu oleh gaya-gaya penggerak yang bekerja pada air laut seperti pasang surut, stres angin, gradien tekanan, dan gelombang laut (Hadi dan Radjawane, 2009). Arus laut secara umum dapat dikategorikan menjadi 4 yaitu arus yang berhubungan dengan densitas, arus pasang surut, arus akibat gelombang, dan arus yang ditimbulkan oleh angin (Ippen, 1996). Arus pasut adalah pergerakkan massa air laut secara horizontal yang dihubungkan dengan naik turunnya permukaan air laut akibat gaya tarik benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari. Arus pasang surut yang disebabkan oleh adanya fenomena pasang surut air laut berubah arahnya secara periodik.

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal (Holthuijsen, 2007). Gelombang laut tersebut memiliki dimensi berupa periode gelombang (T), panjang gelombang (λ), dan tinggi gelombang (h), serta cepat rambat gelombang (v).

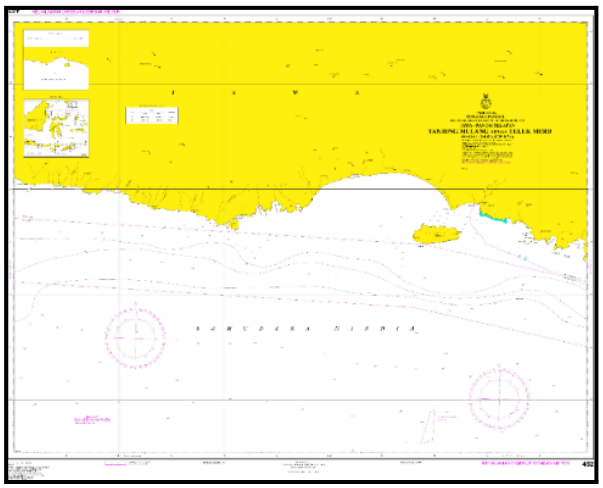
Tanjung Mulang dan Teluk Meru terletak di Pulau Jawa. Pulau Jawa merupakan wilayah di tengah Indonesia dan pantai Selatannya berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Hal ini menjadikan wilayah ini memiliki fenomena alam seperti gelombang dan arus yang berubah-ubah (Fadhilah, 2019). Daerah pesisir Selatan Jawa Timur memiliki karakteristik kecepatan angin diatas rata-rata beserta ketinggian gelombang yang konstan serta diatas rata-rata. Adapun kecepatan angin rata-rata perbulannya antara 6,00-19,00 knot perbulannya sedangkan ketinggian gelombang rata-rata di pesisir Selatan Jawa Timur yaitu antara 2,00-3,00m pertahun (Alfansuri dan Zuliari, 2014).

Dijkstra (2008) menjelaskan bahwa arus, pasang surut dan gelombang merupakan parameter penting dalam dinamika perairan yang memberikan pengaruh terhadap wilayah pesisir dan laut. Oleh karena itu, dilakukannya pemodelan arus dan gelombang 2D menggunakan software MIKE 21 ini menjadi relevan dalam upaya memahami dan memprediksi interaksi arus dan gelombang di pantai Selatan Jawa.

2. METODE

Dalam penelitian ini dilakukan penelitian dengan pemodelan numerik 2 dimensi arus pasang surut dan gelombang menggunakan MIKE 21. Hasil model tersebut akan diverifikasi menggunakan RMSE dengan data *reanalysis* ECMWF. Domain model yang digunakan berlokasi di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru pada tanggal 1-31 Januari 2022 perairan Selatan Jawa dan Samudra Hindia.

MIKE 21 adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer untuk 2D *free-surface flows*. MIKE 21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, danau, estuari, teluk, pantai dan laut (DHI, 2017). MIKE 21 terdiri dari beberapa modul yang pada pemodelan kali ini menggunakan *Hydrodynamic Module* dan *Spectral Wave Module*.



Gambar 1. Peta Laut Indonesia (PLI) No.452

(Sumber: Pushidrosal, 2013)

Modul hidrodinamika MIKE 21 (MIKE 21 HD) merupakan modul dasar dalam program MIKE 21 model aliran (*flow model*). *Hydrodynamic model* atau model hidrodinamika dua dimensi yang dipakai oleh MIKE 21 FM berdasarkan persamaan kekekalan massa dan momentum yang diintegrasikan sepanjang kolom vertikal. Kedua persamaan ini dapat menjelaskan variasi aliran dan ketinggian muka air (*DHI Water & Environment*, 2012).

Persamaan kekekalan massa atau kontinuitas ditulis sebagai berikut (*DHI Software*, 2017):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

.....(1)

dan persamaan momentum untuk 2 komponen horizontal x dan y ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \bullet h^2} - \frac{}{\rho}$$

.....(2)

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \bullet h^2} - \frac{}{\rho}$$

.....(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 resistace* $(m^{\frac{1}{3}}/s)$

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*

MIKE 21 SW mensimulasi pembangkitan, kehilangan energi dan transmisi *wind-generated waves* dan *swell* di pantai dan lepas pantai. MIKE 21 SW dapat digunakan untuk prediksi gelombang dan analisa dalam skala regional dan skala lokal. MIKE 21 SW juga digunakan dalam hubungannya dengan perhitungan transportasi sedimen, yang mana sebagian besar ditentukan oleh kondisi gelombang dan *wave-induced currents*. *Wave-induced current* disebabkan oleh gradien *radiation stresses* yang terjadi di *surf zone*. MIKE 21 SW dapat digunakan untuk menghitung kondisi gelombang dan *radiation stresses* (Azhar, dkk., 2011). Dalam modul ini, persamaan pengaturnya adalah persamaan keseimbangan gaya gelombang baik dalam koordinat kartesian maupun *spherical* yang dirumuskan oleh Komen dkk (1994) dan Young (1999).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \bullet \left(\vec{v}N\right) = \frac{s}{\sigma}$$

.....(4)

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*

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

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \ldots\ldots \quad (5)$$

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*

Akurasi dilakukan untuk mengetahui besarnya penyimpangan yang terjadi antara data dari hasil pengukuran di lapangan dengan data hasil simulasi model. Perhitungan akurasi yang dilakukan pada pemodelan kali ini menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat (Suprayogi, dkk., 2012). Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[\hat{X}_i - X_i\right]^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Keterangan:

$RMSE$ =.akar dari rata-rata kuadrat kesalahan

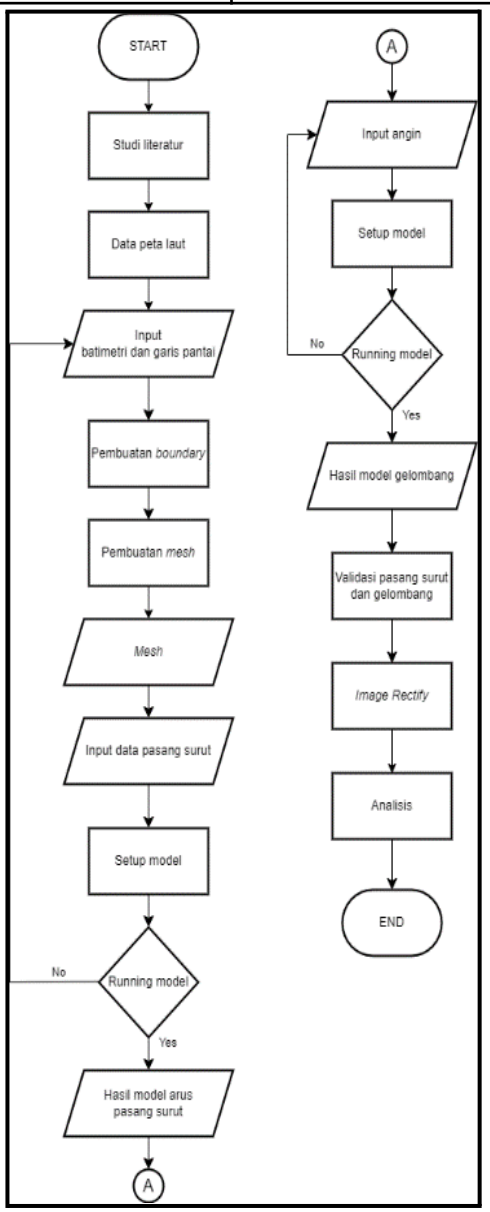
$\hat{X}_i$ = hasil pemodelan

X_i = data validasi

N = jumlah data

Tabel 1. *Setup Model*

Lama simulasi	31 hari
Jumlah *timestep*	745
Interval *timestep*	1 jam
Simulation start time	01/01/2022 00:00:00
Simulation stop time	02/01/2022 00:00:00
Grid	*Unstructured Grid*



Gambar 2. *Flowchart* pengerjaan model

Data yang digunakan dalam pemodelan ini adalah:

a. Data angin didapatkan dari *European Centre for Medium-Range Weather*

Forecasts (ECMWF) *Copernicus* sebagai *input* parameter model.

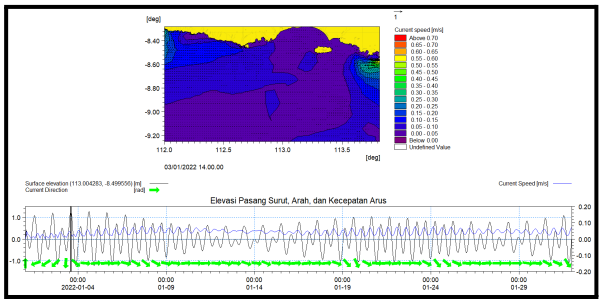
b. Data pasang surut dengan menggunakan *Tidal Prediction of Heights Toolbox* yang tersedia di MIKE 21 sebagai input parameter model dan menggunakan data prediksi Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai validasi pasang surut hasil model.

c. Data batimetri dan garis pantai didapatkan dari digitasi peta (PLI No.452) di *software* ArcGIS.

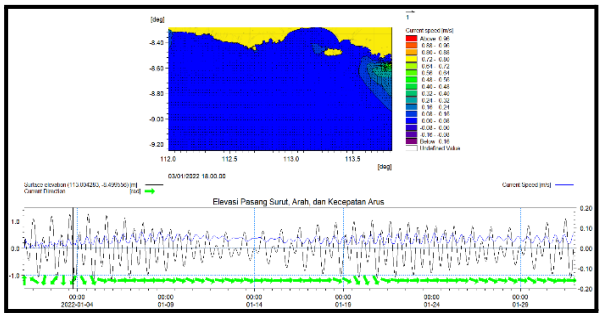
d. Data tinggi gelombang signifikan didapatkan dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) *Copernicus* sebagai validasi gelombang hasil model.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

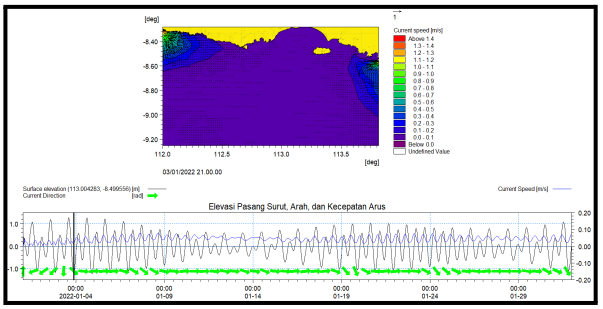
3.1 Kecepatan Arus Pasang Surut



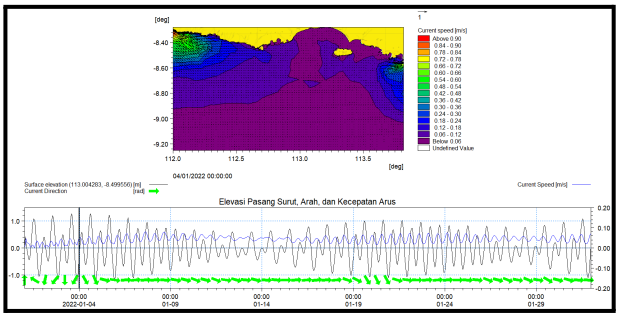
Gambar 3. Kecepatan arus pasut pada saat pasang



Gambar 4. Kecepatan arus pasut pada saat menuju surut



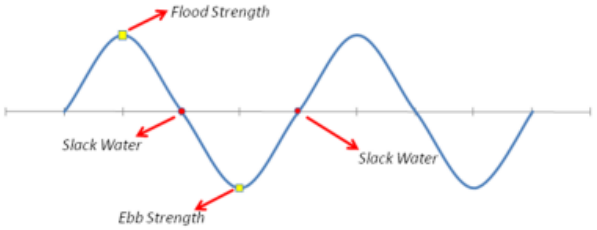
Gambar 5. Kecepatan arus pasut pada saat surut



Gambar 6. Kecepatan arus pasut pada saat menuju pasang

Gambar 3-6 menunjukkan kecepatan arus pasut pada 4 kondisi yaitu saat pasang pada 3 Januari pukul 14.00 WIB, menuju surut pada 3 Januari pukul 18.00 WIB, surut pada 3 Januari pukul 21.00 WIB, dan menuju pasang pada 4 Januari pukul 00.00 WIB. Berdasarkan gambar tersebut, kecepatan arus pasut berfluktuasi mengikuti elevasi pasut. Terlihat dari grafik bahwa di laut lepas kecepatan arusnya cenderung homogen, namun ketika meninjau daerah pesisir, kecepatan arusnya dapat mencapai 1,4 m/s.

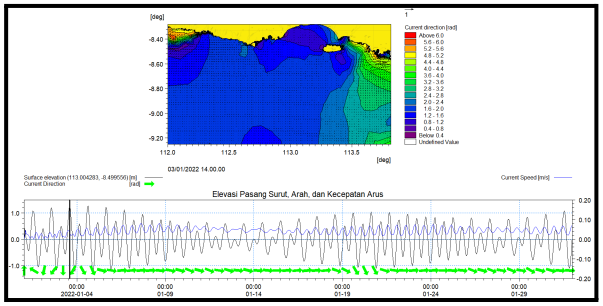
Hal ini dapat terjadi karena penempatan titik-titik untuk *input* pasut terdapat di ujung-ujung sehingga memungkinkan kecepatan arusnya bernilai. Menurut Hadi dan Radjwane (2009), arus akan memiliki kecepatan yang maksimum ketika menuju pasang tertinggi dan surut terendah atau disebut pula sebagai kondisi *flood strength* dan *ebb strength*.



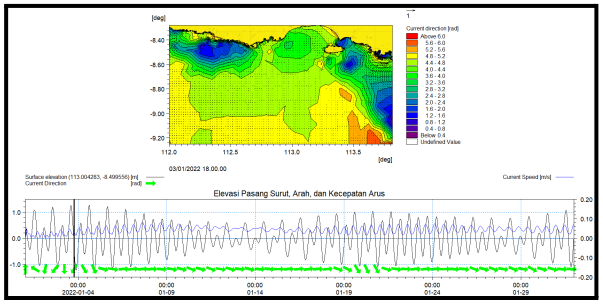
Gambar 7. Kondisi s*lack water, flood strength,* dan *ebb strength* (Sumber: Hadi dan Radjawane, 2009)

3.2. Arah Arus Pasang Surut

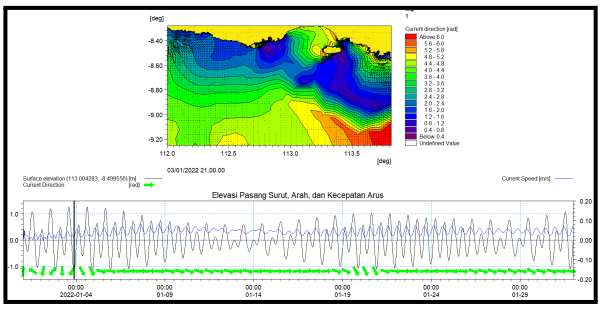
Ketika kondisi menuju pasang dan pasang, arus pasut dominan bergerak menuju Timur dan Tenggara, sedangkan ketika kondisi menuju surut dan surut, arah arus pasut bervariasi namun apabila dilihat dari arah vektornya, arah arus pasut cenderung bergerak ke arah pesisir atau ke Barat Laut.



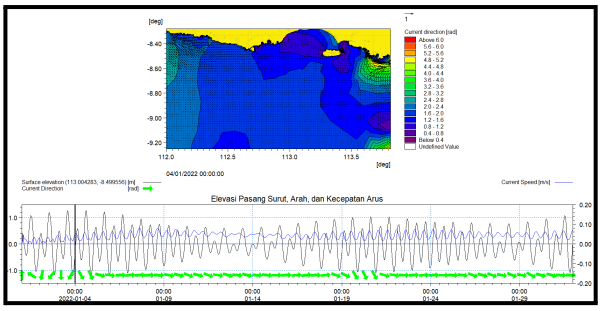
Gambar 8. Arah arus pasut pada saat pasang



Gambar 9. Arah arus pasut pada saat menuju surut



Gambar 10. Arah arus pasut pada saat surut

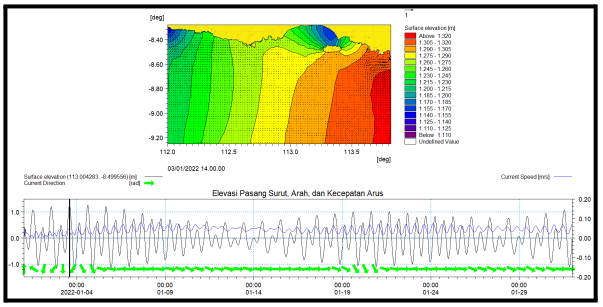


Gambar 11. Arah arus pasut pada saat menuju pasang

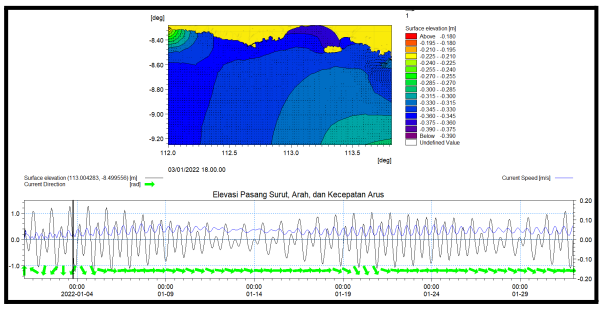
Yanagi (1999) menyatakan bahwa salah satu tipe gerak arus pasang surut adalah gerak rotasi dimana di laut lepas, gerak rotasi berbentuk elips dengan arah rotasi searah dengan putaran jarum jam di Belahan Bumi Utara dan berlawanan arah dengan jarum jam di Belahan Bumi Selatan.

Menurut Sachoemar (2008), kecepatan arus pasut dipengaruhi pula oleh *spring* dan *neap tide*, dimana pada waktu pasang purnama (*spring tide*) kecepatan arus pasutnya akan lebih besar dibandingkan dengan waktu pasang perbani (*neap tide*).

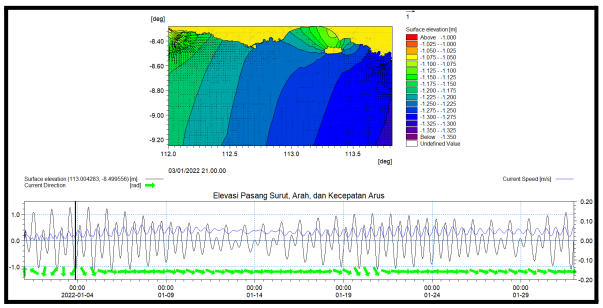
3.3 Elevasi Muka Air Laut



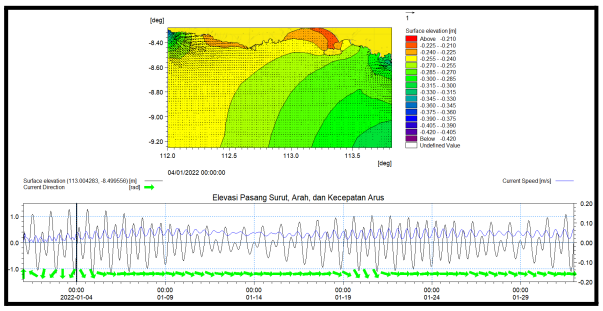
Gambar 12. Elevasi muka air laut pada saat pasang



Gambar 13. Elevasi muka air laut pada saat menuju surut



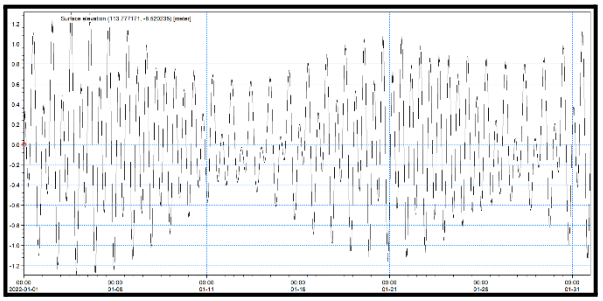
Gambar 14. Elevasi muka air laut pada saat surut



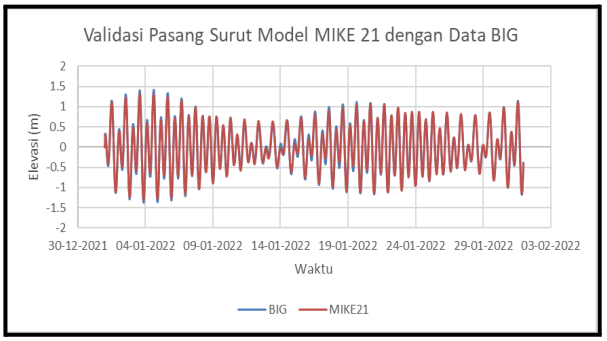
Gambar 15. Elevasi muka air laut pada saat menuju pasang

Gambar 12-15 menunjukkan elevasi muka air laut pada 4 kondisi yaitu saat pasang pada 3 Januari pukul 14.00 WIB, menuju surut pada 3 Januari pukul 18.00 WIB, surut pada 3 Januari pukul 21.00 WIB, dan menuju pasang pada 4 Januari pukul 00.00 WIB. Ketinggian air maksimum terjadi pada saat pasang yaitu sebesar 1,314 m dan ketinggian air minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar -1,295 m.

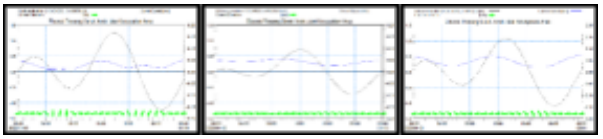
3.4. *Time Series* Pasang Surut



Gambar 16. Time series pasang surut pada Januari 2022



Gambar 17. Validasi data pasang surut model mike 21 dengan data BIG

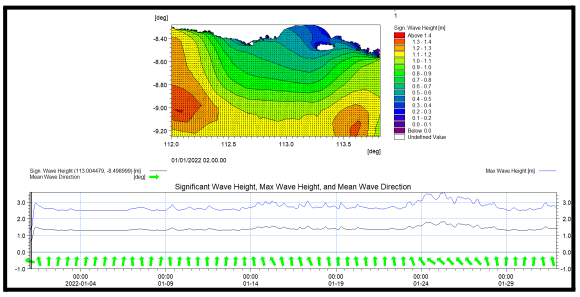


Gambar 18. Elevasi pasut pada 1 Januari, 15 Januari, dan 31 Januari 2022

Gambar 16 menunjukkan elevasi muka air laut hasil model di perairan Tanjung Mulang hingga Teluk Meru selama 1 bulan Januari 2022. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan pasang tertinggi terjadi pada 3 Jan 2022 pukul 14.00 WIB dengan nilai 1,276 m dan surut terendah pada 3 Jan 2022 pukul 23.00 WIB dengan nilai -1,237 m. Hasil elevasi tersebut kemudian divalidasi menggunakan data prediksi pasang surut dari BIG (Badan Informasi Geospasial) seperti pada Gambar 17 untuk melihat keakuratan hasil. Berdasarkan hasil perhitungan nilai RMSE, didapatkan nilai RMSE antara hasil model dengan data BIG sebesar 0,05879 m.

Dari Gambar 18 terlihat bahwa kecendrungan pasang surut yang terjadi dalam 1 hari adalah terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dengan amplitudo yang berbeda-beda. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Lubis (2006) dimana dinyatakan bahwa Pantai Selatan Jawa memiliki kondisi pasang surut yang dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan dengan tinggi dan periode yang berbeda.

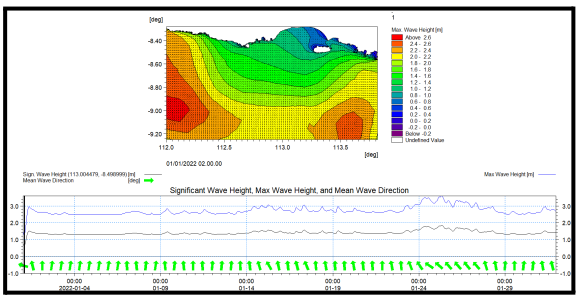
3.5 Significant Wave Height



Gambar 19. Tinggi gelombang signfikan di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru pada Januari 2022

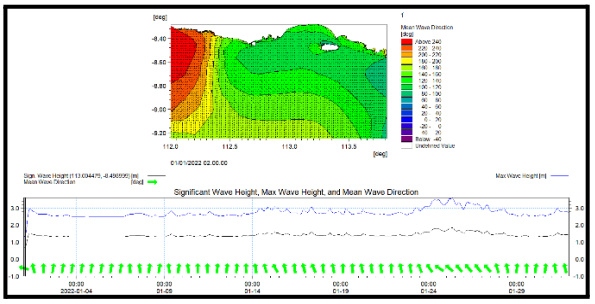
Berdasarkan Gambar 19, tinggi gelombang signifikan dalam sebulan memiliki nilai maksimum pada tanggal 25 Januari 2022 pukul 07.00 WIB dengan nilai 1,8570 m, sedangkan nilai minimum tinggi gelombang signifikan terjadi pada 1 Januari 2022 pukul 02.00 WIB dengan nilai 0,6020 m.

3.6 Maximum Wave Height



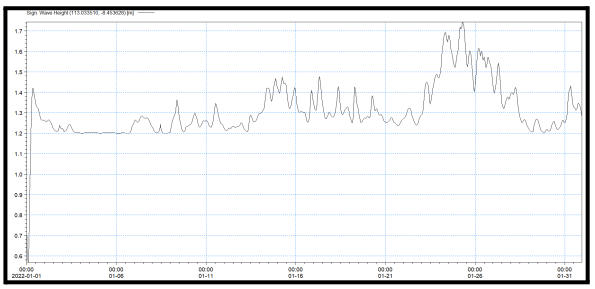
Gambar 20. Tinggi gelombang maksimum di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru pada Januari 2022

3.7 Mean Wave Direction

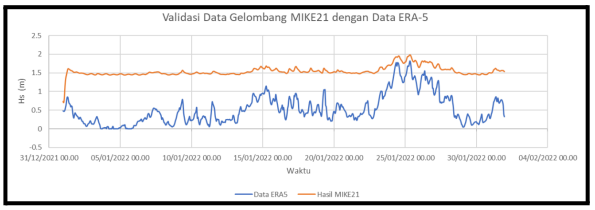


Gambar 21. Mean *wave direction* di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru pada Januari 2022

3.8 Time Series Significant Wave Height



Gambar 22. Time *series significant wave height* pada Januari 2022



Gambar 23. Validasi data tinggi gelombang signifikan model Mike 21 dengan data ERA-5

Gambar 22 menunjukkan *time series* tinggi gelombang signifikan hasil model di perairan Tanjung Mulang hingga Teluk Meru selama bulan Januari 2022. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan tinggi gelombang signifikan bernilai maksimum 1,986 m pada 25 Januari 2022 pukul 08.00 WIB dan bernilai minimum 0,707 m pada 1 Januari 2022 pukul 01.00 WIB. Hasil model tersebut kemudian divalidasi menggunakan data ECMWF seperti pada gambar 23 untuk melihat keakuratan hasil. Berdasarkan hasil perhitungan nilai RMSE, didapatkan nilai

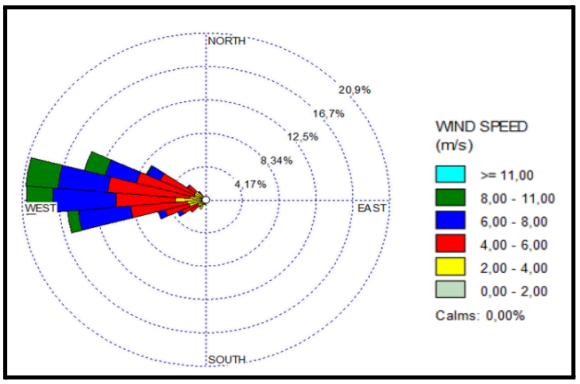
RMSE antara hasil model dengan data ECMWF sebesar 1,072 m.

Perbedaan tersebut terlalu jauh untuk dapat dikatakan akurat. Dinyatakan dalam penelitian Habibie dkk (2016) yang menyatakan bahwa perbandingan data observasi dengan luaran model cenderung *underestimate*, hal tersebut menunjukkan bahwa model ini tidak akurat. Hal ini juga memungkinkan terjadi karena sifat tinggi gelombang yang tidak periodik seperti pasang surut sehingga tidak akurat apabila dilakukan verifikasi.

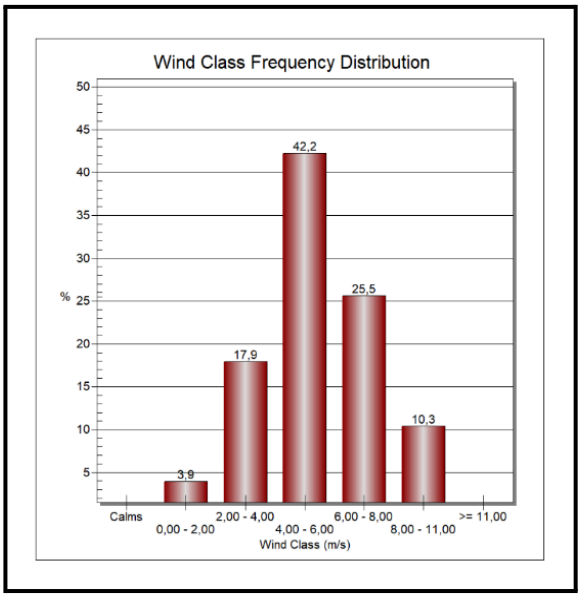
3.9 Wind Rose

Gambar 24 dan 25 menunjukkan plot grafik *wind rose* dan distribusi frekuensi banyaknya kejadian angin. Dari kedua gambar tersebut terlihat arah angin dominan bergerak dari Barat dengan kecepatan angin dominan berada direntang 4-6 m/s yaitu sebanyak 42%.

Hal ini sesuai dengan hasil model yang menunjukkan pergerakan angin dari Barat pada saat bulan Januari 2022. Sistem angin muson ini berpengaruh terhadap fluktuasi karakteristik perairan seperti angin, arus, serta sebaran suhu.

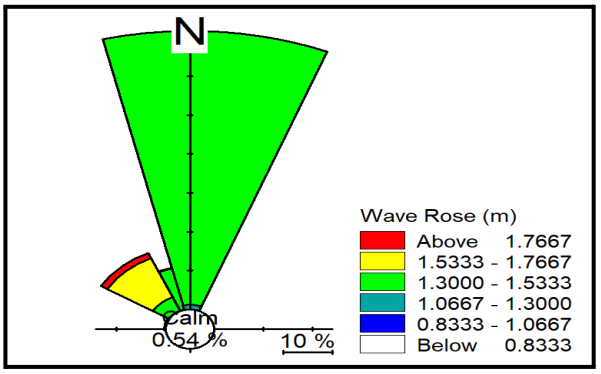


Gambar 24. *Current rose* (*blowing to*) di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru Januari 2022



Gambar **25**. *Wind class frequency distribution*

3.10 Wave Rose



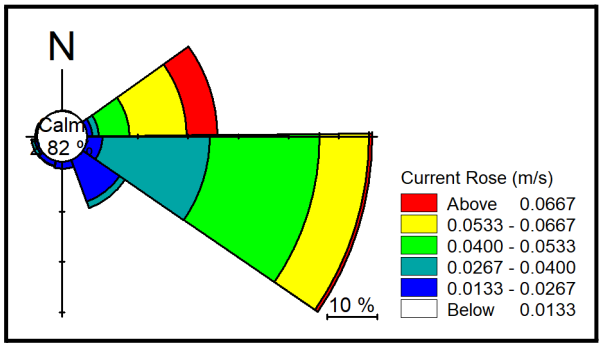
Gambar 26. *Wave rose* di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru Januari 2022

Berdasarkan gambar *wave rose,* arah gelombang didominasi oleh arah ke Utara dengan persentase tingkat kejadian sebesar 60% dan tinggi gelombang signifikan dominannya bernilai 1,3-1,53 m. Apabila dikaitkan dengan angin, seharusnya arah penjalaran gelombang 180° berbalik dengan arah datangnya angin. Namun, hal ini tidak terjadi untuk kasus ini akibat arah dominan penjalaran gelombang yang berbeda.

3.11 Current Rose

Berdasarkan gambar *current rose,* arah arus pasut didominasi oleh arah ke Timur dengan persentase tingkat kejadian

sebesar 50% dan kecepatan arus dominannya bernilai 0,04-0,053 m/s. Apabila dikaitkan dengan pasang surut, seharusnya arah dominan dari arus pasut ini memiliki arah bolak-balik sesuai dengan pasut yang terjadi.



Gambar 27. *Current rose* di Tanjung Mulang hingga Teluk Meru Januari 2022

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini didapatkan keseimpulan sebagai berikut:

1. Model numerik dengan MIKE 21 dapat digunakan untuk memodelkan interaksi arus pasang surut dan gelombang di perairan Tanjung Mulang hingga Teluk Meru.
2. Arus pasut di perairan Tanjung Mulang hingga Teluk Meru memiliki arah dominan menuju Timur dengan kecepatan 0,04-0,053 m/s.
3. Tinggi gelombang signifikan di perairan Tanjung Mulang hingga Teluk Meru memiliki arah dominan menuju Utara dengan nilai 1,3-1,53 m.
4. Nilai RMSE hasil model pasang surut dengan data BIG sebesar 0,05879 m dan dapat dikatakan akurat.
5. Nilai RMSE hasil model tinggi gelombang signifikan dengan data ECMWF sebesar 1,072 m dan dan tidak dapat dikatakan akurat.

5. DAFTAR PUSTAKA

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

Fadika U. Rifai A. Rochaddi B. (2014). Arah dan Kecepatan Angin Musiman Serta Kaitannya dengan Sebaran Suhu Permukaan Laut di Selatan Pangandaran Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi,* 3(3):429-437.

Hadi, S. dan Radjawane, I. (2009). Arus Laut. ITB Press, Bandung.

Jansen, T. (2018). Tinjauan Pengaruh Pasang Surut Terhadap Pola Arus di Teluk Amurang, Sulawesi Utara. *Jurnal Tekno.* 16(70):67-70.

Kasim M. R. (2020). Pemodelan Arus dan Gelombang di Muara Sungai Jeneberang dengan Aplikasi MIKE 21. Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Moriasi D. Arnold J. *et al*. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* 50(3):885-900.

Putri A. Diansyah G. & Putri W. (2022). Analisis Tinggi Gelombang Signifikan Berdasarkan *Model Wavewatch-III* di Pantai Alau-Alau, Kalianda, Lampung Selatan. *Buletin Oseanografi Mariana.* 11(2):123-130.