

**PEMODELAN ARUS PASANG SURUT DAN GELOMBANG 2D MENGGUNAKAN
METODE NUMERIK DENGAN *FLOW MODEL* DAN *SPECTRAL WAVE*
SOFTWARE MIKE 21 DI PERAIRAN PULAU ROTE PADA BULAN JUNI 2023**

***2D TIDAL AND WAVE MODELING USING NUMERICAL METHODS WITH FLOW
MODEL AND SPECTRAL WAVE SOFTWARE MIKE 21 IN THE WATERS OF
ROTE ISLAND IN JUNE 2023***

¹Anindya Retno Pramesti*, ²Nadia Zahrina W, ²Billy Yanfeto, ²Rifqi Noval Agassi

¹Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

²Pusat Hidro-oseanografi TNI Angkatan Laut

*Koresponden Penulis: anindyaretno09@gmail.com

Abstrak

Pendekatan model hidrodinamik dengan menggunakan software MIKE 21 *Flow Model* FM diharapkan dapat memberikan gambaran pola arus laut yang efisien dan efektif di perairan sekitar Pulau Rote. Kondisi hidrooseanografi yang ditinjau meliputi arus pasang surut, gelombang, dan pengaruhnya satu sama lain. Pendekatan model hidrodinamik menggunakan software MIKE 21 *Flow Model* (FM) dan *Spectral Wave* (SW). Studi literatur terkait software MIKE 21, parameter dan fenomena oseanografi, data masukan yang digunakan, dan penelitian terdahulu. Kondisi arus akan meningkat pada saat kondisi air surut dan air pasang. Pada saat monsun Asia Timur, arah angin berasal dari benua Australia yang sedang mengalami musim dingin, karena adanya perbedaan tekanan udara maka udara akan bergerak dari benua Australia menuju Indonesia. Pemodelan 2D arus pasang surut dan gelombang menggunakan software MIKE 21 merupakan contoh hasil sistem model coupled yaitu menggunakan data keluaran model lain (FM) untuk digunakan pada pemodelan selanjutnya (SW) (ketinggian air, kecepatan arus). Pada bulan Juni atau musim timur, gelombang yang terbentuk cenderung bergerak ke arah barat laut karena angin (pembangkitnya) bertiup dari arah tenggara.

Kata Kunci: Mike 21, arus pasang surut, gelombang angin, monsun asia timur, Model Aliran

Abstract

The hydrodynamic model approach using MIKE 21 Flow Model FM software is expected to provide an efficient and effective depiction of ocean current patterns in the waters around Rote Island. The hydro-oceanographic conditions reviewed include tidal currents, waves, and their influence on each other. The hydrodynamic model approach uses MIKE 21 Flow Model (FM) and Spectral Wave (SW) software. Literature study related to MIKE 21 software, oceanographic parameters and phenomena, input data used, and previous research. Current conditions will increase when conditions are low tide and high tide. During the East Asian monsoon, the wind direction comes from the Australian continent which is experiencing winter, because of the difference in air pressure the air will move from the Australian continent towards Indonesia. 2D modeling of tidal currents and waves using MIKE 21 software is an example of the results of a coupled model system, namely using the output data of another model (FM) for use in subsequent modeling (SW) (water level, current speed). In June or the east monsoon, the waves that form tend to move northwest because the wind (its generator) blows from the southeast.

Keywords: Mike 21, tidal current, wind waves, east asian monsoon, Flow Model

1. PENDAHULUAN

Salah satu alternatif untuk mengkaji pola arus laut adalah dengan menggunakan pendekatan model hidrodinamika, memanfaatkan teknologi komputer yang mampu memberikan gambaran pola arus laut pada suatu perairan. Pendekatan model hidrodinamika dengan menggunakan software MIKE 21 *Flow Model FM* diharapkan dapat memberikan penggambaran pola arus laut di perairan sekitar Pulau Rote secara efisien dan efektif, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi bidang yang terkait dengan kelautan, terutama untuk kepentingan pengembangan Pulau Rote. Pulau Rote merupakan salah satu dari pulau-pulau kecil dan terluar di Indonesia yang seharusnya memiliki sistem pertahanan dan kajian ilmu yang melimpah.

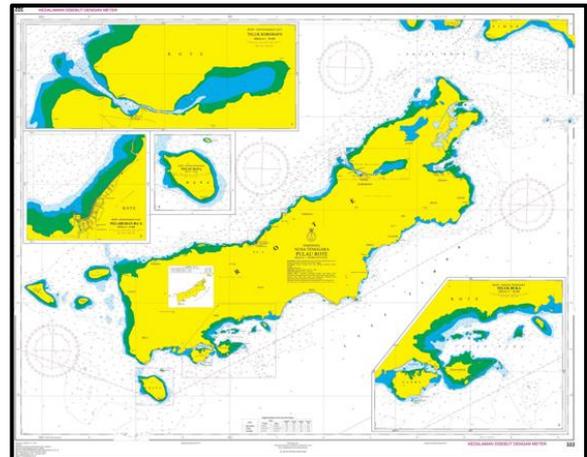
Kondisi Hidro-Oseanografi sangat penting di dalam pembangunan dan pengembangan suatu kawasan pesisir. Kondisi Hidro-Oseanografi yang ditinjau meliputi arus pasang surut, gelombang, dan pengaruhnya terhadap terhadap satu sama lain.

Arus laut merupakan pergerakan horizontal dari air laut (Pinet, 2006) yang disebabkan oleh gaya penggerak yang bekerja pada air laut, seperti stres tekanan angin, gradien tekanan, gelombang laut, dan pasang surut (Hadi dan Radjawane, 2009). Selain itu, faktor yang memengaruhi arus laut secara umum dapat dibagi menjadi dua yaitu arus pasang surut dan arus non-pasang surut. Nabila (2022) menyatakan bahwa pengetahuan mengenai dinamika arus laut pada suatu wilayah perairan sangat penting untuk kajian mengenai dinamika dan kualitas perairan. Azis (2006) menyatakan bahwa fenomena gelombang laut menggambarkan transmisi dari energi dan momentum. Adanya gelombang laut akan menimbulkan sebuah ayunan air yang bergerak tanpa henti pada lapisan permukaan dan jarang dalam keadaan diam sama sekali. Gelombang laut dibedakan berdasarkan gaya pembangkitnya

yaitu gelombang angin yang dibangkitkan tiupan angin, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit, gelombang tsunami akibat letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya (Triatmodjo, 1999 dalam Ansyari, 2020). Salah satu cara membedakan gelombang dari berbagai faktor pembangkit adalah berdasarkan karakteristik gelombangnya yaitu: tinggi gelombang (*wave height*), panjang gelombang (*wave length*), dan periode gelombangnya. Ketiga parameter tersebut secara umum dapat menggambarkan karakteristik gelombang yang dominan di suatu perairan, energi, serta jenis gelombangnya (Pinet, 2006 dan Ansyari, 2020).

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Materi Penelitian



Gambar 1 Peta Laut Indonesia no. 322
(Sumber: Pushidrosal)

Tabel 1. Data yang Digunakan Dalam Memodelkan.

No	Jenis	Sumber
1	Peta Laut no. 322	Pusat Hidro-Oceanografi TNI Angkatan Laut
2	Data angin 1-30 Juni 2023	ECMWF <i>reanalysis data</i>
3	Data pasang surut 1-30 Juni 2023	DHI's <i>Global Tidal Database</i>
4	Data validasi pasang surut	Prediksi pasang surut BIG (stasiun pasut/satelit altimetri)
5	Data validasi gelombang	Data tinggi gelombang signifikan ECMWF <i>reanalysis data</i>

Persamaan Kontinuitas (Sumber : DHI, 2017) :

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

Persamaan Momentum komponen-x (Sumber : DHI, 2017) :

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

Persamaan Momentum, komponen-y (Sumber : DHI, 2017) :

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

Berikut merupakan keterangan dari persamaan 1 – 3 :

Tabel 2. Keterangan simbol persamaan hidrodinamika (DHI, 2017)

Simbol	Keterangan
$h(x, y, t)$	Kedalaman air (ζ -d, m)
$d(x, y, t)$	Waktu yang bervariasi terhadap kedalaman (m)
$\xi(x, y, t)$	Elevasi muka air laut (m)
$p, q(x, y, t)$	<i>Flux densities</i> ($m^3/s/m$)
$C(x, y)$	<i>Chezy resistance</i> ($m^{1/3}/s$)
g	Percepatan gravitasi (m/s^2)
$f(V)$	Faktor gesekan angin
$V, V_x, V_y(x, y, t)$	Kecepatan angin (m/s)
$\Omega(x, y)$	Parameter koriolis (s^{-1})
$p_a(x, y, t)$	Tekanan atmosfer (kg/m^2)
ρ_w	Densitas air (kg/m^3)
x, y	Koordinat (m)
t	Waktu (s)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	<i>Effective shear stress</i>

Gelombang dalam kasus *action density* memiliki dua parameter penting, yaitu dalam arah, dan magnitudo. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

Action Density in Cartesian Coordinates (DHI, 2017) :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma} \dots \dots \dots (4)$$

Source Function (DHI, 2017) :

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

Berikut merupakan keterangan dari persamaan 4 – 5:

Tabel 3. Keterangan simbol persamaan *spectral wave* (DHI, 2017)

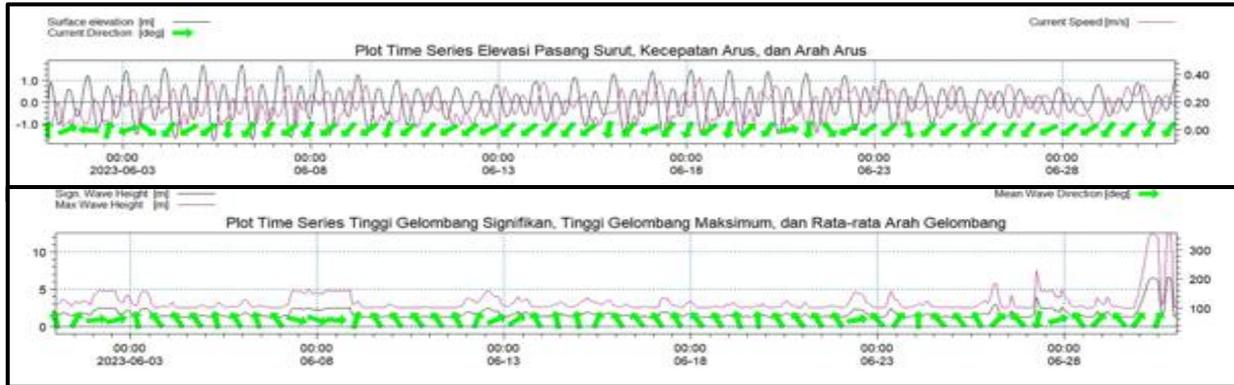
Simbol	Keterangan
$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$	Action density
t	Waktu
$\vec{x}(x, y)$	Koordinat kartesian
\bar{v}	Velocity group
S	Source (Sumber energi gelombang)
S_{in}	Energi dari angin
S_{nl}	Energi hasil interaksi gelombang dalam suku non-linear
S_{ds}	Energi yang terdisipasi
S_{bot}	Energi yang hilang akibat gaya gesek dasar laut
S_{surf}	Energi yang hilang akibat gaya gesek permukaan laut

Tabel 4. tingkat kesalahan berdasarkan RMSE (Sumber : Chai dan Dexler, 2004)

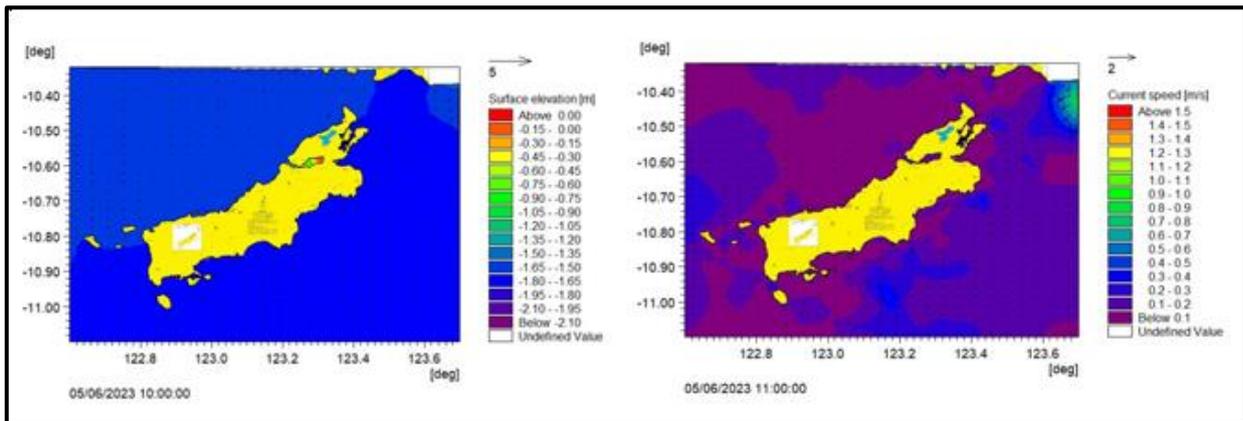
RMSE	Tingkat Kesalahan
0,00 - 0,299 (0% - 29,9%)	Kecil
0,30 - 0,599 (30% - 59,9%)	Sedang
0,60 - 0,899 (60% - 89,9%)	Besar
> 0,9 (>90%)	Sangat Besar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

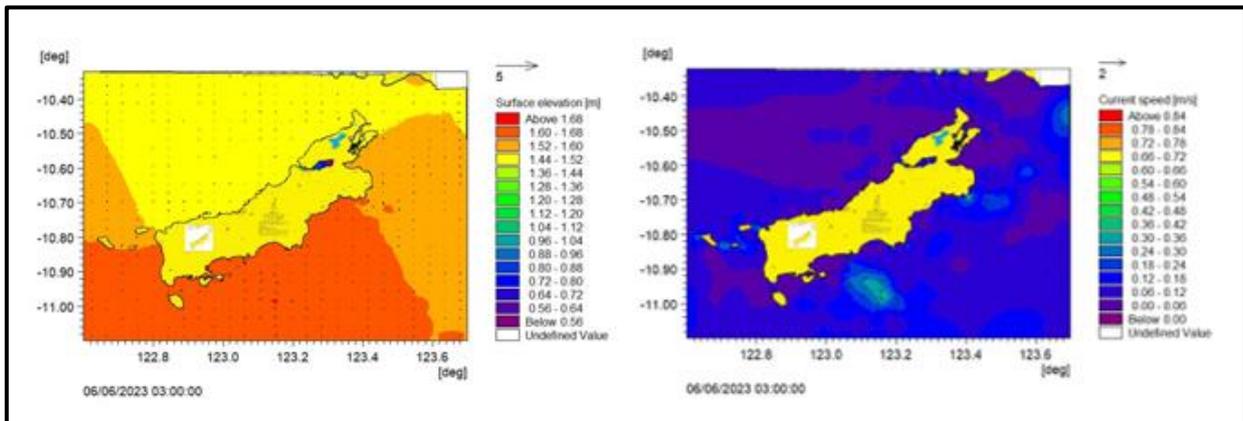
Dari *time series* arus pasang surut kita dapat mengetahui bagaimana kondisi kecepatan arus dan arahnya jika kita hubungkan dengan kondisi pasang surut karena hasil model arus yang dibuat menggunakan input data pasang surut



Gambar 2. Plot time series elevasi pasang surut, kecepatan arus, dan arah arus (atas), plot time series tinggi gelombang signifikan, tinggi gelombang maksimum, dan rata-rata arah gelombang (bawah)



Gambar 3. Elevasi muka air laut saat kondisi surut terendah pada 5 Juni 2023 pukul 11:00 WITA (kiri), kecepatan arus pasut saat kondisi surut terendah pada 5 Juni 2023 pukul 11:00 WITA (kanan)



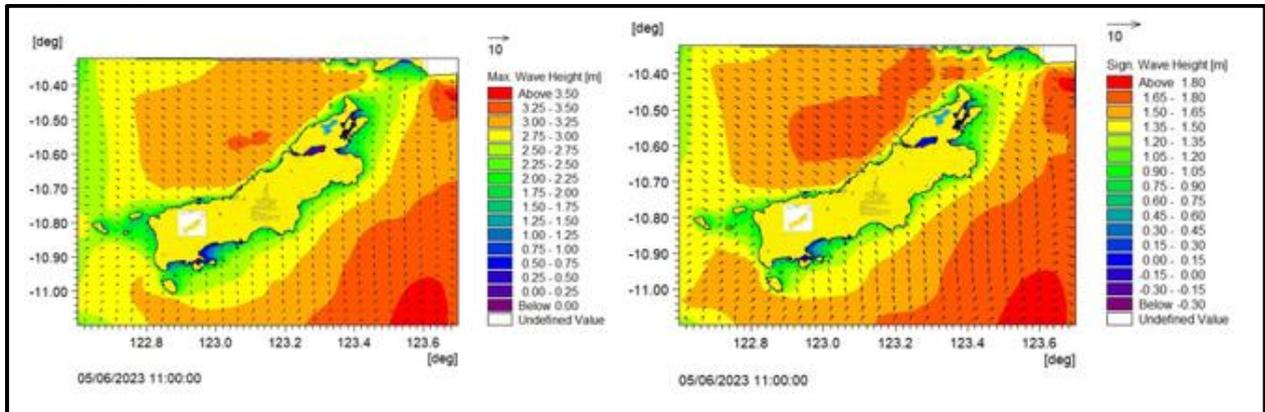
Gambar 4. Elevasi muka air laut saat kondisi pasang tertinggi pada 6 Juni 2023 pukul 03:00 WITA (kiri), kecepatan arus pasut saat kondisi pasang tertinggi pada 6 Juni 2023 pukul 03:00 WITA (kanan)

Dari hasil plot kita ketahui bahwa elevasi muka air laut terendah terjadi saat surut terendah dan elevasi muka air laut

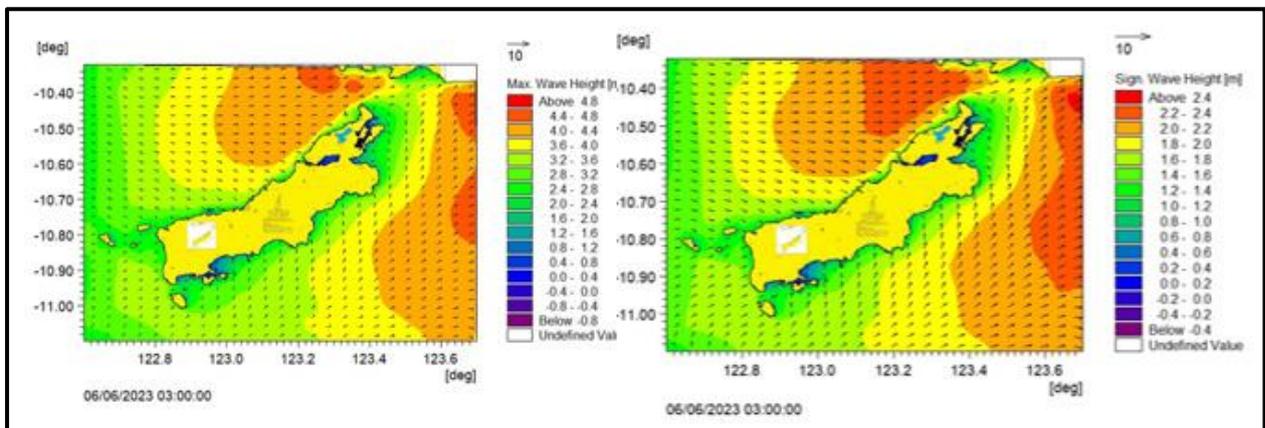
tertinggi terjadi pada saat pasang tertinggi. Kondisi arus akan mengalami peningkatan pada saat kondisi menuju surut dan menuju

pasang. Pada saat kondisi surut terendah dan pasang tertinggi, kondisi arus cenderung berada pada kecepatan yang sangat rendah. Pada Gambar 4 dapat terlihat bahwa elevasi yang tinggi berada di daerah selatan Pulau

Rote. Hal ini terjadi karena bagian selatan dari Pulau Rote berhadapan langsung dengan Samudra Hindia dengan batimetri yang lebih dalam dari daerah lainnya.



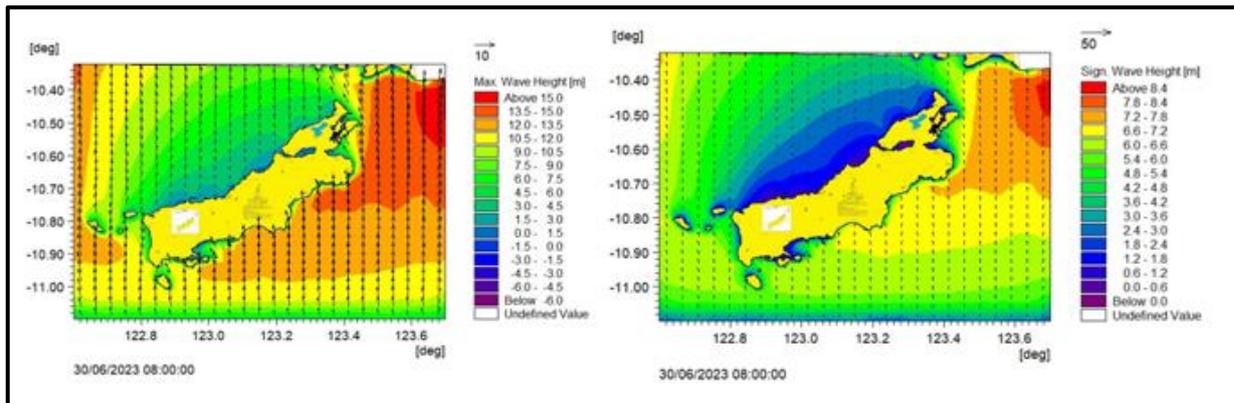
Gambar 5. Tinggi gelombang maksimum saat kondisi surut terendah pada 5 Juni 2023 pukul 11:00 WITA (kiri), tinggi gelombang signifikan saat kondisi surut terendah pada 5 Juni 2023 pukul 11:00 WITA (kanan)



Gambar 6. Tinggi gelombang maksimum saat kondisi pasang tertinggi terendah pada 6 Juni 2023 pukul 03:00 WITA (kiri), tinggi gelombang signifikan saat kondisi pasang tertinggi pada 6 Juni 2023 pukul 03:00 WITA (kanan)

Kondisi tinggi gelombang maksimum dan tinggi gelombang signifikan memiliki pola yang sama. Hal ini disebabkan oleh hasil perhitungan tinggi gelombang signifikan yang merupakan hasil rerata dari 1/3 nilai tinggi gelombang tertinggi. Pada bagian utara Pulau Rote pola arah datang gelombang

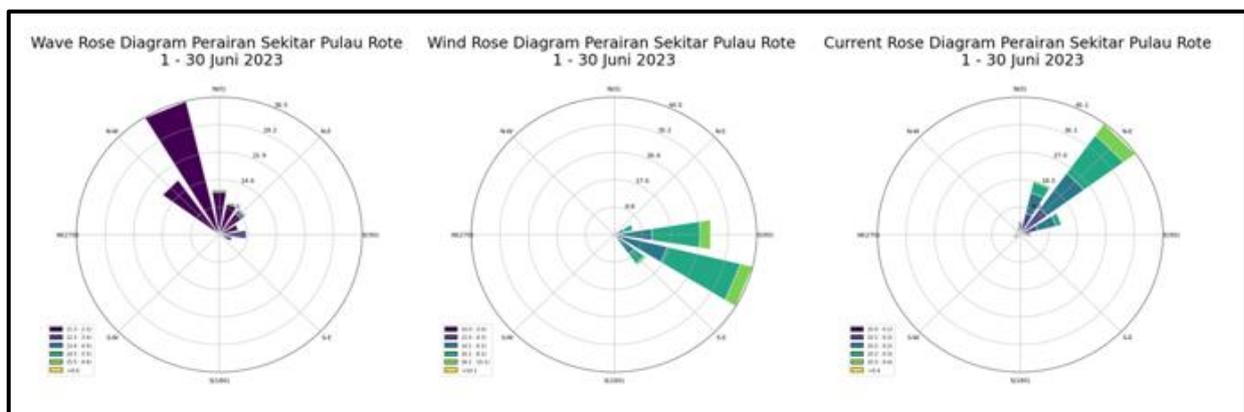
cenderung sama, yakni bergerak dari arah barat laut menuju daratan. Saat kondisi surut (Gambar 4.), gelombang cenderung bergerak ke arah laut lepas dan saat kondisi pasang (Gambar 5.) gelombang akan sedikit berputar dan bergerak menuju daratan.



Gambar 7. Anomali tinggi gelombang maksimum pada 30 Juni 2023 pukul 08:00 WITA (kiri), anomali tinggi gelombang signifikan pada 30 Juni 2023 pukul 08:00 WITA(kanan)

Pada tanggal 30 Juni pukul 08:00 WITA tinggi gelombang mengalami perubahan secara signifikan, yakni tinggi maksimumnya mencapai 15 m. Hal tersebut dapat terjadi karena pengaruh angin pada input data yang cukup besar juga dan mengakibatkan gelombang yang terbentuk sangat besar.

Pulau Rote terletak di bagian Selatan Indonesia dan berada di bagian Indonesia Timur yang mengakibatkan daerah sekitar Pulau Rote sangat terpengaruh dengan kondisi musim timur sehingga saat mulai memasuki bulan Juli, intensitas angin yang bertiup semakin besar



Gambar 8 Wave rose diagram perairan sekitar pulau rote 1-30 Juni 2023 (kiri), wind rose diagram perairan sekitar pulau rote 1-30 Juni 2023 (tengah), current rose diagram perairan sekitar pulau rote 1-30 Juni 2023

Waktu kajian adalah bulan Juni yang merupakan bagian dari musim Juni-Juli-Agustus (JJA) atau musim Timur. Saat musim Timur, arah angin berasal dari benua Australia yang sedang mengalami musim dingin, akibat adanya perbedaan tekanan udara, udara akan bergerak dari benua Australia menuju Indonesia. Dengan lokasi daerah kajian yang berada di bagian timur Indonesia, Pulau Rote akan mendapat pengaruh angin yang cukup kuat dari Australia, sehingga sesuai dengan wind rose, angin bertiup dari arah Tenggara.

Dari hasil plot current rose kita ketahui bahwa arah penjalaran arus adalah ke arah timur laut. Titik sampel pada daerah kajian yang saya ambil berada di selatan Pulau Rote yang berarti di bagian selatan pulau Rote, arus cenderung bergerak menyusuri bagian selatan Pulau Rote. Kecepatan angin dominan berada pada rentang 6,1-8,1 m/s, sedangkan kecepatan gelombang dominan berada pada rentang 1,3-2,3 m/s. Kecepatan arus dominan berada pada rentang 0,2-0,3 m/s.

Tabel 5. Nilai *error* komponen pasang surut dan gelombang

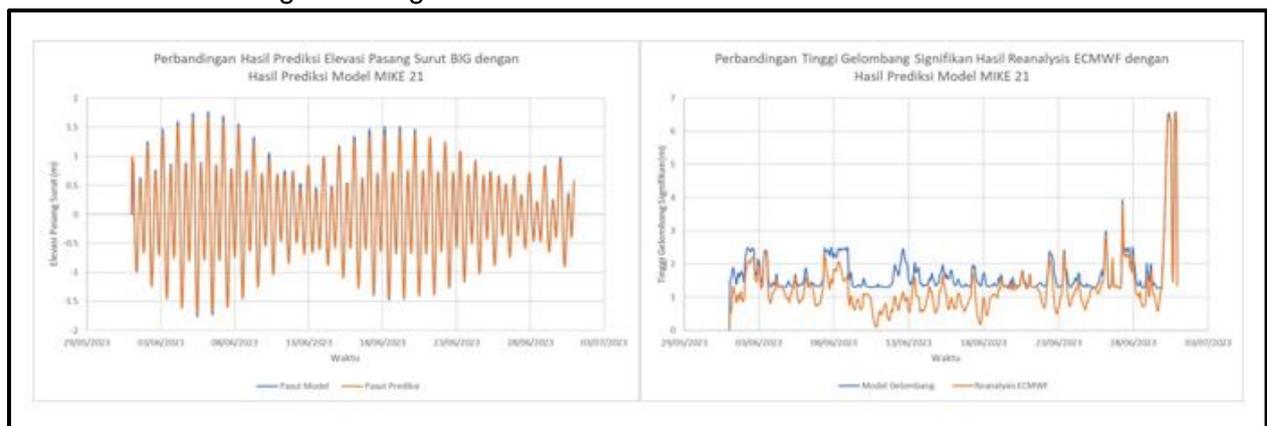
Komponen	Nilai <i>Error</i>
Pasang Surut	6,893%
Gelombang	53,530%

Berdasarkan grafik perbandingan dapat kita ketahui bahwa pasut model dan prediksi BIG sefase, tetapi hasil model menghasilkan data yang sedikit *overestimate* dibandingkan prediksi BIG. Hasil perhitungan RMSE menghasilkan nilai *error* sebesar 6,893% yang jika berdasarkan klasifikasi tingkat kesalahan Chai dan Daxler (2004), menyatakan bahwa *error* tersebut berada dalam kelas tingkat kesalahan kecil. Dari grafik dapat diketahui juga bahwa nilai pasang maksimum berada pada ketinggian 1,763 m, yakni pada tanggal 6 Juni 2023 dan surut minimum berada pada ketinggian -1,763 m pada tanggal 5 Juni 2023.

Berdasarkan grafik perbandingan dapat kita ketahui bahwa gelombang hasil model

dan data *reanalysis* ECMWF sefase, tetapi hasil model menghasilkan data yang *overestimate* dibandingkan data *reanalysis* ECMWF. Hasil perhitungan RMSE menghasilkan nilai *error* sebesar 53,530% yang jika berdasarkan klasifikasi tingkat kesalahan.

Chai dan Daxler (2004), menyatakan bahwa *error* tersebut berada dalam kelas tingkat kesalahan sedang. Dari grafik dapat diketahui juga bahwa nilai gelombang maksimum berada pada ketinggian 6,575 m, yakni pada tanggal 30 Juni 2023 dan tinggi gelombang minimum berada pada 1,27 m pada tanggal 29 Juni 2023. Nilai gelombang maksimum merupakan nilai gelombang yang anomali, tetapi kedua data dari hasil model dan data *reanalysis* ECMWF menunjukkan grafik yang kurang lebih sama



Gambar 9. Perbandingan hasil model elevasi pasang surut Mike 21 dengan data prediksi big (kiri), perbandingan hasil model tinggi gelombang signifikan Mike 21 dengan data *reanalysis* ECMWF (kanan)

4. KESIMPULAN

Pemodelan arus pasang surut dan gelombang 2D menggunakan *software* MIKE 21 merupakan contoh hasil *coupled model system*, yakni menunggunakan hasil data *output* model lainnya (FM) untuk digunakan dalam pemodelan selanjutnya (SW) (*water level, current velocity*) Pada bulan Juni atau musim Timur, gelombang yang terbentuk

cenderung bergerak ke arah barat laut akibat angin (pembangkitnya) yang berhembus dari arah tenggara. Elevasi pasut maksimum = 1,76365 m dan minimum = -1,76336 m, tinggi gelombang signifikan maksimum = 6,57599 m dan minimum = 1,27163 m, serta kecepatan arus maksimum = 0,378415 m/s dan minimum = 0,0025866 m/s.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ansyari, M. R. (2020). Modul Pengukuran Gelombang Laut Survei Hidro-Oceanografi (OS3203), Program Studi S1 Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung. (*unpublished*).
- Atmodjo, W., Lahopang, V.R.A., dan Widada, S., 2023, Sebaran Ukuran Butik Sedimen di Muara Sungai Sragi Baru-Wonokerto, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah, *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(1) : 18-27
- Hadi, S. dan Radjawane, I. M. (2009). Arus Laut. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 88.
- Holthuijsen, L.H. (2010). *Waves In Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press.
- Nabila, S. G. (2022) Survei Hidro-Oceanografi (OS3203) Modul Pengukuran Arus dan Gelombang Laut, Program Studi S1 Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung. (*unpublished*).
- Pinet, P. R. (2006). *Invitation to oceanography*, Jones & Bartlett Learning.
- Poerbandono dan Djunarsjah, E. (2005). Survei Hidrografi, PT. Refika Aditama, Bandung.https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/06measure5.html#:~:text=An%20ADCP%20follows%20the%20premise,is%20at%20a%20lower%20frequency. (diakses pada 1 Agustus 2023).
- Sistem Referensi Geospasial Indonesia, Model Pasang Surut, <https://srgi.big.go.id/page/model-pasut>, diakses pada 27 Juni 2023

