

ANALISIS GELOMBANG DAN ARUS LAUT MENGGUNAKAN KOMBINASI MODEL NUMERIK DUA DIMENSI DAN DATA ECWMF DI SELAT RUPAT, RIAU, Indonesia

Alvin Yesaya^{1*}, Mikhael Mangopo², Ni Nyoman Pujianiki¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Badung, Bali

²PT Geovaruna Teknologi Indonesia, Jl. Dakota No.42e, Sukaraja, Cicendo, Bandung, Indonesia

*Corresponding author: alvinyesaya@unud.ac.id

ABSTRAK

Informasi tinggi gelombang dan kecepatan arus merupakan salah satu faktor terpenting dalam melakukan pengembangan fasilitas Pelabuhan. Salah satu contoh adalah PT. Pertamina Refinery Unit II, Dumai, ingin mengembangkan dermaga eksisting yang terletak Selat Rupa, Dumai, Riau. Ketiadaan rekaman data gelombang dan arus laut menyebabkan analisis pengembangan dermaga menjadi sulit. Salah satu solusinya adalah menggunakan data sekunder yaitu data satelit. ERA-5 adalah salah satu data reanalisis yang cukup. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari tinggi gelombang dan arus laut di daerah dermaga untuk keperluan perencanaan pengembangan dermaga. Metode yang digunakan menggunakan kombinasi antara model numerik dua dimensi dengan data ERA-5 untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat di lokasi tinjauan. Pengumpulan data yang dilakukan menjadi dua bagian, yaitu data primer dengan mengambil data secara langsung arus, batimetri, dan pasang surut secara singkat dan data sekunder yaitu mengekstrak data satelit gelombang dan pasang surut selama satu tahun. Data sekunder akan digunakan sebagian *input data* untuk simulasi model numerik dan data primer akan digunakan untuk validasi. Validasi model numerik dua dimensi dengan elevasi muka air didapatkan nilai *R-squared* dan *Root Mean Square error* sebesar 0.9 dan 20,4%. sehingga gelombang yang didapat dapat terhitung valid. Hasil gelombang menunjukkan selama satu tahun, gelombang yang terjadi di wilayah tinjauan bervariasi dengan <0,1m sebesar 35%, 0,1-0,2m sebanyak 41,6%, 0,2-0,3m sebanyak 3,5%. Untuk arus didapatkan nilai besar tahunan bervariasi antara 0,1 m/s sampai 0,35 m/s. Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi antara data satelit dan simulasi model numerik dapat merepresentasikan tinggi gelombang dan besar arus laut yang terjadi sebagai *input data* dalam melakukan kajian pengembangan pelabuhan.

Kata kunci: Analisis Gelombang, Arus Laut, Pemodelan Numerik, Pengembangan Pelabuhan, ECWMF

PENDAHULUAN

PT. PERTAMINA (Persero) bermaksud untuk mengembangkan dermaga eksisting *Refinery Unit* (RU) II, Dumai, Riau. Studi Pengembangan dan Kajian Lokasi Lepas Pantai diperlukan di area rencana pengembangan dermaga RU II untuk mendapatkan data batimetri dan oseanografi terbaru yang bertujuan untuk mengembangkan area tersebut. Analisis hidro-oseanografi selama satu tahun diperlukan sebagai data yang mendukung dalam rencana pengembangan. Akan tetapi, kurangnya data yang berlanjut menyebabkan kesulitan dalam mengetahui tinggi gelombang dan arus laut. Salah satu alasan adalah mahalnya mengambil data di laut yang menyebabkan sulitnya pengambilan data dalam jangka waktu yang panjang. Menurut Triatmodjo (2009) gelombang dan arus merupakan salah satu faktor yang terpenting dalam mendesain dan mengembangkan pelabuhan. Gelombang akan merambat dari kedalaman laut dalam menuju dangkal dan mengalami refraksi dan difraksi di daerah pantai sehingga perlu dihitung dengan pasti tinggi gelombang yang terjadi di area tinjauan (Triatmodjo, 1999). Prediksi tinggi gelombang harus dianalisis dapat diketahui kondisi tinggi gelombang tahunan karena dalam beberapa kasus gelombang dapat menyebabkan kerusakan seperti studi yang dilakukan di Pantai Pebuahan, Bali (Pujianiki, 2022) sehingga perlu dibuat bangunan pemecah gelombang. Konsiderasi ini dapat dilakukan bila gelombang di lokasi dapat diprediksi dengan tepat. Dermaga



harus dilindungi oleh pemecah gelombang bila gelombang yang terjadi cukup tinggi (Nyoman Budiarta, 2015). Selain arus dan gelombang, pengaruh pasang surut juga harus diketahui dalam perencanaan gelombang sehingga data pasang surut dibutuhkan dengan melakukan observasi lapangan.

Umumnya data gelombang merupakan data yang sangat sulit dicari di Indonesia. Keterbatasan stasiun pengamatan menyebabkan data satelit menjadi salah satu data alternatif dalam membuat analisis. Salah satu yang sering digunakan oleh para ilmuwan di seluruh dunia yaitu data reanalisis ERA-5 yang dikeluarkan oleh *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECWMF). Data ini meliputi data klimatologi secara lengkap dengan skala global seperti curah hujan, angin, gelombang *swell*, etc. Pesatnya perkembangan satelit dan sistem informasi geospasial sudah banyak digunakan oleh para peneliti di dunia untuk mengatasi kendala kekurangan data. Beberapa contoh penggunaan data satelit ECWMF di Indonesia misalnya studi yang dilakukan di Sulawesi Tengah yaitu data temperatur (Alfiandy et al, 2022), studi tentang curah hujan di Pulau Jawa (Muharsyah et al, 2021), maupun studi tentang tinggi gelombang di perairan Lampung (Ali et al, 2021).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tinggi gelombang dan arus laut yang berada di dermaga eksisting yang terletak di Selat Rupert, Riau. Metode penelitian digunakan gabungan antara model numerik dan data satelit ERA-5 untuk mendapatkan hasil detail arus dan gelombang simulasi selama setahun. Model numerik dapat membantu mendapatkan hasil yang cukup signifikan dalam jangka waktu yang panjang seperti studi arus laut di Lombok-Nusa Penida (Sri Suharyo, O. & Adrianto, D. 2018). Beberapa penelitian tentang prediksi arus dan gelombang laut hanyalah dengan mengambil data lapangan atau melakukan simulasi masing-masing yaitu simulasi arus dan *hindcasting* gelombang. Beberapa penelitian bahkan tidak memiliki validasi data lapangan sehingga hasil simulasi yang dilakukan kurang valid.

Dalam penelitian ini, simulasi menggunakan model interaksi *couple* antara gelombang-elevasi muka air sehingga arus yang terbentuk dipengaruhi oleh gelombang dan pasang surut. Selain itu adanya *source* di daerah tersebut yaitu sungai sehingga simulasi tersebut ditambah juga dengan *input discharge*. Hal ini agar besar dan arus gelombang di lokasi yang ingin ditinjau mendekati representasi secara kondisi nyata. Hasil simulasi numerik kemudian dilakukan validasi dengan data arus dan pasang surut yang diukur di lapangan. Apabila nilai *R-squared* sudah diatas 0,8 dan *root mean squared error* (RMSE) di bawah 20% dapat disimpulkan bahwa model numerik yang dibuat adalah valid. Hal ini berarti model yang dibuat sudah mendekati kondisi nyata sehingga data hasil pemodelan dapat digunakan dalam melakukan analisis pengembangan pelabuhan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan gabungan antara data primer dengan melakukan observasi lapangan dan data sekunder yang nantinya akan menjadi data *input* dalam pemodelan numerik.

Data Primer

Observasi yang dilaksanakan di lapangan adalah pengukuran batimetri di daerah jetty, pasang surut, dan arus. Pengukuran batimetri dilakukan dengan menggunakan *echo sounder multibeam* sehingga menghasilkan akurasi kedalaman yang sangat baik. Observasi pasang surut selama 20 hari secara jam-jaman yang diukur secara otomatis menggunakan alat *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Pengukuran arus menggunakan alat *DRCM current meter* Kemudian pada Gambar 1 menunjukkan dokumentasi pengambilan data lapangan pasang surut, arus, dan batimetri di area lokasi tinjauan.



Gambar 1. Pengambilan Data Lapangan Pasang Surut, Arus, dan Batimetri

Data hasil pengukuran observasi akan digunakan dalam melakukan validasi model numerik yang akan dilakukan simulasi selama satu tahun agar dapat memastikan model yang dibuat sudah sesuai dengan kondisi nyata di lapangan sehingga hasil model numerik dapat dianggap valid. Gambar 2 menunjukkan lokasi titik pengambilan observasi data lapangan yang terletak di daerah tinjauan dermaga yang dimiliki oleh PT. Pertamina Refinery Unit II, Dumai.



Gambar 2. Lokasi titik pengambilan observasi data lapangan untuk pasang surut dan arus

Tabel 1 menunjukkan detail titik lokasi pengukuran pasang surut dan arus laut. Pengukuran arus dilakukan di dua lokasi sampel arus yang berbeda, satu di dekat sungai dan satu lagi di dekat jetty. Dua titik arus diambil untuk mengetahui kecepatan arus yang berasal dari sungai dan dari selat. Dikarenakan keterbatasan alat, pengukuran arus dilakukan selama satu hari penuh jam pengukuran arus selama satu harian penuh dengan pengambilan jam-jaman. Pengukuran arus ini dilakukan 3 kali agar didapatkan data arus representatif selama satu bulan penuh. Untuk pasang surut diletakkan di dekat dermaga dan diukur selama kurang lebih 20 hari dengan data yang diambil merupakan jam-jaman.

Tabel 1. Lokasi observasi pengukuran data lapangan

	Pasang Surut	Arus Lokasi -1	Arus Lokasi -2
Longitude	101.483°	101.488	101.486
Latitude	1.683 °	1.682	1.678
Periode	9 Sept – 31 Sept 2022	18 Sept -19 Sept 2022	18 Sept -19 Sept 2022
Validasi		26 Sept -27 Sept 2022	26 Sept -27 Sept 2022
Parameter	Elevasi Muka Air	Kecepatan dan Arah Arus	Kecepatan dan Arah Arus

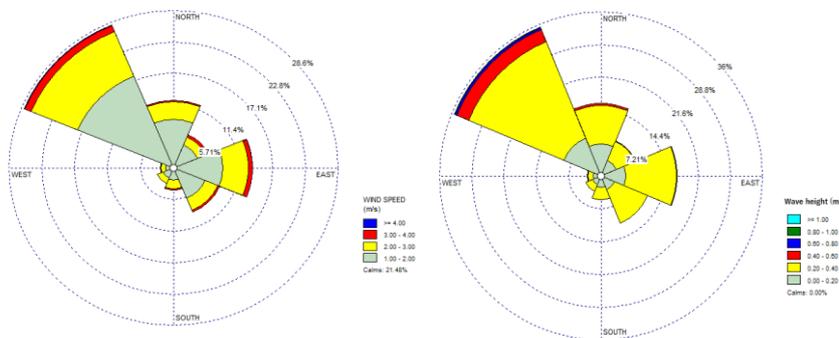
Data Sekunder

Data sekunder diperlukan karena keterbatasan pengambilan data lapangan yang cukup mahal apabila ingin diamati secara terus-menerus (*continues*). Analisis met-ocean diperlukan jangka waktu paling sedikit satu tahun sehingga dapat diamati besar arus dan tinggi gelombang yang terjadi selama setahun penuh mengikuti periode musiman. Diasumsikan musim akan terjadi pengulangan dalam satu tahun

sehingga dapat diprediksi tinggi gelombang dan arus memiliki besar dan arah yang sama dalam satu tahun.

Data ERA-5 ini merupakan data reanalisis dengan spasial wilayah sebesar $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ atau sekitar 25 km x 25 km. Mengingat cukup besarnya wilayah cakupan data ECWMF dan daerah tinjauan yang cukup sempit yang berada di selat, maka data yang didapatkan dari ECWMF tidak dapat mempresentasikan secara langsung gelombang di wilayah tinjauan. Oleh karena itu data ERA-5 ini akan menjadi *input* dalam melakukan simulasi numerik.

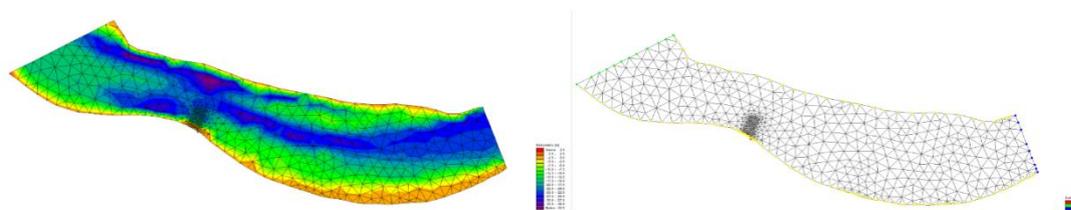
Gambar 2 menunjukkan mawar angin dan mawar gelombang selama satu tahun. Fasa angin dan gelombang sama karena gelombang *swell* dibangkitkan dari angin. Terlihat besarnya angin didominasi dari arah barat laut dengan besar antara 1-2 m/s dan beberapa angin berasal dari arah timur dengan besar 2-3 m/s. Data gelombang juga diperoleh dari ECWMF untuk mengetahui kondisi perairan di laut utara Riau. Akan tetapi dikarenakan data spasial ERA-5 cukup besar yaitu 25 km, data tersebut tidak dapat dipakai langsung untuk mengukur data gelombang di selat Rupa. Data gelombang dari ECWMF akan digunakan



Gambar 3. Mawar Angin dan Mawar Gelombang Setahun ERA-5 ECWMF

Model Numerik

Salah satu metode untuk mengetahui besar prediksi gelombang dan arus laut adalah dengan melakukan model numerik. Dalam penelitian ini, digunakan model numerik dua dimensi untuk mendapatkan tinggi gelombang dan kecepatan arus laut. Gambar 3 menunjukkan area *mesh* model yang akan dilakukan simulasi. Model *mesh* pada daerah tinjauan dibuat lebih rapat agar didapatkan hasil yang cukup detail dan bagus di wilayah tersebut. *Mesh* yang detail tersebut adalah lokasi pembangunan *jetty*. Batimetri yang di *input* merupakan gabungan antara data Batimetri Nasional (BATNAS) dan batimetri hasil pengukuran di lapangan. Pada gambar terlihat bahwa batimetri di daerah tengah selat cukup dalam sekitar -20 m dan area *jetty* sekitar -10 meter. Kondisi Batas (*Boundary Condition*) berada di sisi timur dan barat dengan penginputan nilai pasang surut prediksi dari satelit POSEIDON dan gelombang dari ECWMF. Terdapat satu sungai di dekat area tinjauan yang akan menjadi kondisi batas dalam menginput debit sungai. Hasil simulasi ini nantinya akan dianalisis untuk didapatkan besaran arus dan tinggi gelombang di wilayah tinjauan.



Gambar 4. *Mesh* Model Numerik 2-Dimensi Wilayah Tinjauan

Simulasi pada studi ini menggunakan *Couple Flow Model Hydrodynamic-Spectral Wave (HD-SW)* yaitu kombinasi antara tinggi gelombang dan elevasi muka air yang mempengaruhi satu sama lain dalam mencari tinggi gelombang dan kecepatan arus. Persamaan pengatur pada model ini dapat dilihat pada persamaan (1) sampai (4) berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial t} \right) + u_x S \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial t} \right) + v_x S \quad (3)$$

$$\sigma = gk \tanh kd \quad (4)$$

Persamaan (1) merupakan persamaan kontinuitas dan persamaan (2) dan (3) merupakan persamaan momentum yang akan diproses dalam simulasi *hydrodynamic* sedangkan untuk persamaan (4) merupakan persamaan dispersi yang diproses dalam simulasi *spectral wave*. Kemudian dari 4 persamaan ini akan dirunning secara *couple* sehingga hasil proses dari simulasi hidrodinamika akan memengaruhi ke gelombang dan simulasi gelombang akan memengaruhi nilai arus.

Tabel 2 menunjukkan deskripsi detail *setup* dalam melakukan analisis simulasi model numerik. Simulasi dilakukan selama satu tahun dengan periode simulasi dari 1 Oktober 2021 - 30 September 2022. *Time step* simulasi yaitu dilakukan 3600 detik atau setiap jam dengan *low order fast algorithm*. Nilai koefisien manning yang digunakan adalah konstan sebesar 32 dengan nilai *eddy viscosity* konstan sebesar 0.28. Gaya angin yang digunakan yaitu nilai kecepatan angin jam-jaman yang didapatkan dari data ERA-5 ECWMF selama satu tahun. Untuk input data yang digunakan pada kondisi batas timur dan barat, untuk elevasi muka air digunakan *tidal prediction* yang didapatkan dari *tidal constituent* dari satelit POSEIDON dan untuk Spectral Wave diinput data gelombang jam-jaman yang diperlihatkan pada mawar gelombang pada gambar 3. Untuk debit sungai di daerah wilayah tinjauan diambil secara konstan sebesar 2,98 m³/jam.

Tabel 2. Deskripsi *setup* detail simulasi model numerik

Parameter	Deskripsi	
Perangkat lunak	DHI Mike 21	
	Modul	Couple Flow Model HD-SW
Periode simulasi	October 1, 2021 – September 30, 2022 (1 year)	
<i>Time step</i>	3600 second	
<i>Solution technique</i> (<i>Shallow water equations</i>)	<i>Time</i>	<i>Low order, fast algorithm</i>
	<i>Space</i>	<i>Low order, fast algorithm</i>
	<i>Minimum Time</i>	0.01 s
	<i>Maximum Time</i>	30 sk
<i>Flood and dry</i>	<i>Critical CFL</i>	0.8
	<i>Drying depth</i>	0.005 meter
	<i>Flooding depth</i>	0.05 meter
<i>Wetting depth</i>	<i>Wetting depth</i>	0.1 meter
	<i>Density</i>	<i>Barotropic</i>
	<i>Eddy Viscosity</i>	Formulasi Smargorinsky with contant 0.28
<i>Bed resistance</i>	Manning Constant 32	

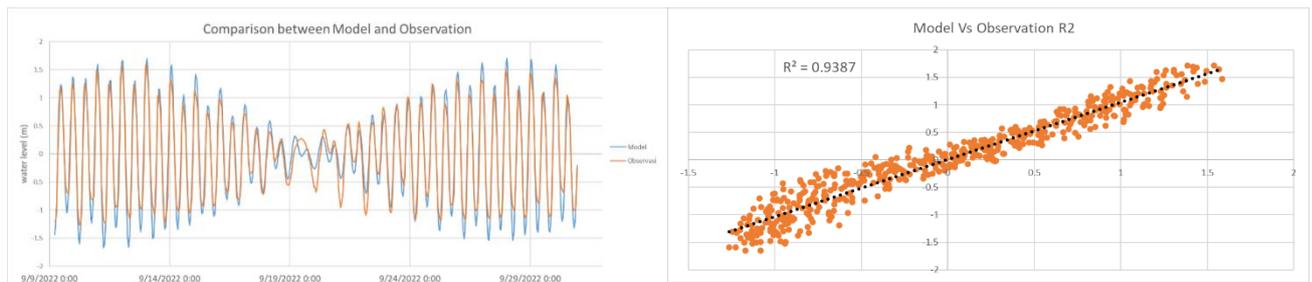
<i>Wind forcing</i>	<i>Wind speed and direction Varying in time, constant in domain from ECWMF Data</i>
<i>Boundary Condition</i>	<p>Hydrodynamic</p> <p><i>East & West: 1 year prediction from tidal constituents</i> <i>River : River discharge constant hourly 2.98 m³</i></p> <p>Spectral Wave</p> <p><i>East & West: Wave height and Direction hourly from ECWMF</i> <i>River : River discharge constant hourly 2.98 m³</i></p>

PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Sebelum mendiskusikan hasil analisis model, maka diperlukan melakukan validasi model numerik terhadap observasi lapangan. Setelah dilakukan perhitungan validasi dan mendapatkan nilai yang cukup baik, maka hasil simulasi model numerik dapat diolah untuk melihat besar dan arah gelombang serta arus laut selama satu tahun.

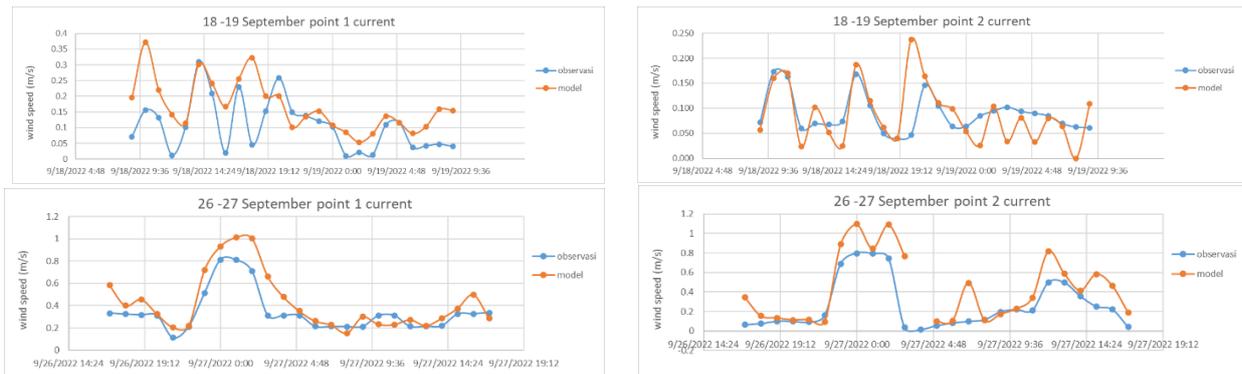
Validasi simulasi numerik

Dalam melakukan simulasi numerik, validasi diperlukan agar hasil simulasi model yang dilakukan dapat dinyatakan sesuai dengan kondisi di lapangan. Gambar 5 menunjukkan perbandingan nilai elevasi muka air antara model dengan pengukuran pasang surut yang dilakukan di lapangan selama 21 hari setiap jam. Perbandingan ini kemudian dicari kesesuaiannya dengan mencari nilai R-squared dan *Root Mean Square Error* (RMSE) dengan mengakarkan hasil selisih kuadrat prediksi dan observasi dibagi jumlah data (Yesaya, 2023). Didapatkan hasil R-squared adalah sebesar 0,9387 dan RMSE sebesar 20,4%. Berdasarkan hasil kedua uji validasi ini, dapat dibilang bahwa model numerik yang dibuat sesuai dengan kondisi pengukuran di lapangan sehingga hasil simulasi model dapat digunakan.



Gambar 5. Perbandingan Elevasi Muka Air Antara Model dan Observasi Pasang Surut

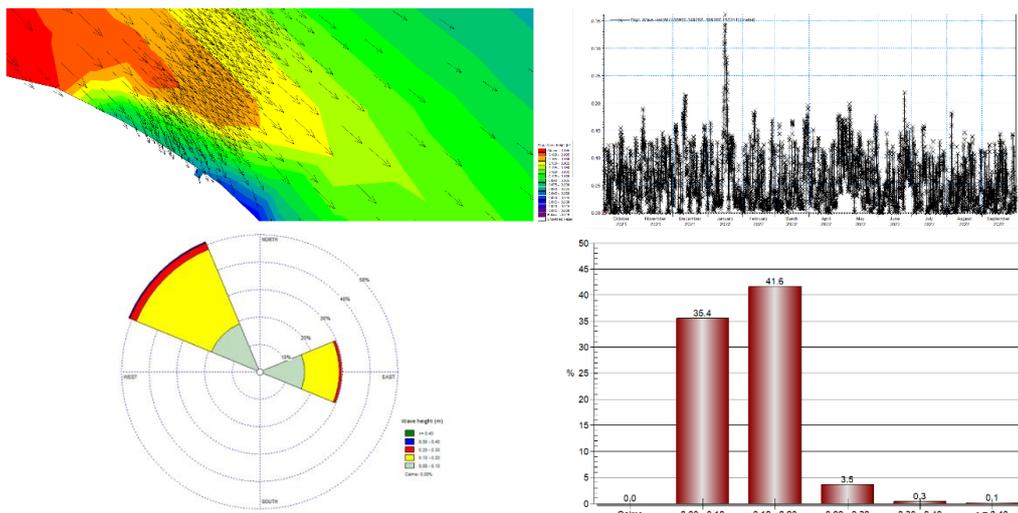
Selain elevasi muka air, hasil model juga dibandingkan dengan kecepatan arus yang diukur di lapangan pada lokasi 1 dan lokasi 2. Karena pengukuran arus di lapangan hanya singkat, maka nilai R-squared dan RMSE tidak dapat dihitung sehingga sifat perbandingan arus hanyalah berupa verifikasi. Gambar 6 menunjukkan hasil verifikasi kecepatan arus pada model dan observasi. Seperti terlihat hasil kecepatan arus yang ditunjukkan model sedikit lebih besar dibandingkan dengan hasil observasi. Akan tetapi, terlihat bahwa pola kecepatan arus mirip dengan pengukuran di lapangan sehingga dapat disimpulkan model yang digunakan dalam menyimulasikan arus laut.



Gambar 6. Verifikasi Kecepatan Arus Laut Pada Model Dan Hasil Observasi

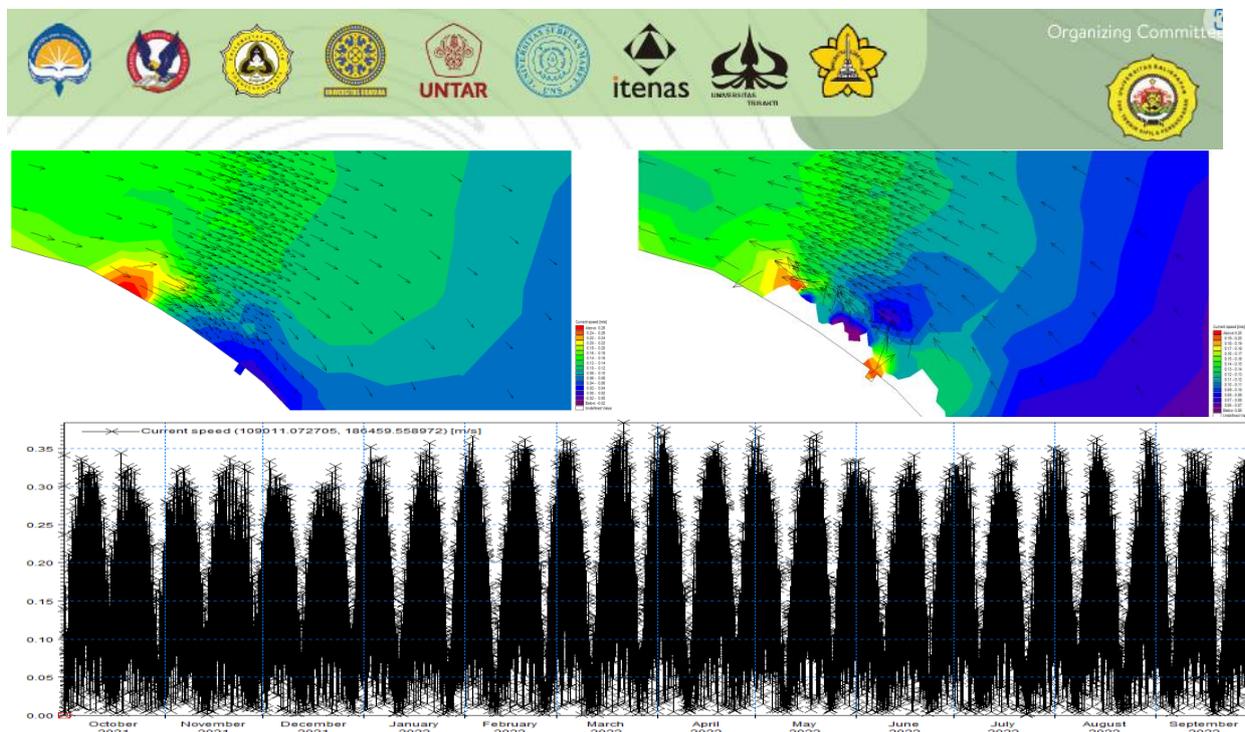
Hasil Simulasi Gelombang dan Arus

Simulasi numerik dilakukan selama satu tahun sesuai dengan tabel 2 yaitu pada bulan Oktober 2021-September 2022. Berdasarkan hasil simulasi gelombang yang dapat dilihat pada gambar 7. Terlihat pada gambar bahwa gelombang berpropagasi dari arah barat laut ke area pantai dengan tinggi gelombang sekitar 0,15 meter. Berdasarkan mawar gelombang, terlihat bahwa gelombang dominan datang dari arah Barat Laut dan dari arah barat dengan besar nilai yang fluktuatif sepanjang tahun. berdasarkan hasil dari analisis frekuensi tahunan gelombang, di wilayah dermaga Pertamina memiliki tinggi gelombang sebesar 0,1 sampai 0,2 meter dengan banyak gelombang yang muncul sebesar 41,6%, lalu gelombang tinggi <0,1 sebanyak 35,4% , lalu tinggi gelombang antara 0,2 -0,3 meter dengan besar 3,5%, tinggi gelombang 0,3-0,4 m sebanyak 0,3%, dan tinggi gelombang 0,4 m sebanyak 0,1%. Dapat disimpulkan, tinggi gelombang laut dalam setahun di wilayah selat Rupert yaitu sebesar 0,1-0,2 meter. Gelombang yang dihasilkan tidak terlalu besar karena area tinjauan berada di dalam selat sehingga luas *fetch* dalam pembangkitan gelombang tidak besar.



Gambar 7. Hasil Simulasi Gelombang

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi arus saat pasang tertinggi, pasang terendah, dan tahunan pada titik tinjauan. Terlihat pada saat pasang tertinggi, arus bergerak dari arah barat ke timur dengan kecepatan bervariasi antara 0,15 - 0,25 m/s. Pada saat pasang terendah, arus bergerak dari timur ke barat dengan besar arus laut di area tinjauan sebesar 0,05 - 0,15 m/s. Hasil simulasi selama satu tahun (Oktober 2021 - September 2022) menunjukkan nilai arus bervariasi di antara 0 - 0,35 m/s dengan rata-rata besar arus mencapai 0,2 m/s. Hal ini menunjukkan arus yang terjadi di wilayah tinjauan cukup konstan sebesar 0,2 m/s ditambah dengan arus yang masuk melalui sungai dari debit sungai.



Gambar 8. Hasil simulasi Arus di Selat Rupat Dumai Selama 1 tahun

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan penelitian ini adalah metode gabungan data satelit dan numerik dapat menunjukkan hasil simulasi yang cukup akurat. Hal ini ditunjukkan dengan nilai validasi yang cukup baik dengan melihat perbandingan nilai elevasi muka air dan kecepatan arus model dengan observasi. Berdasarkan hasil simulasi model numerik, Tinggi gelombang dominan yang terjadi di Selat Rupat yaitu hanya sebesar 0,1-0,2 meter dan kecepatan arus rata-rata yaitu sebesar 0,2 m/s. Dari hasil simulasi selama setahun, hasil ini dapat menjadi input data untuk pengembangan pelabuhan dengan mempertimbangkan kondisi gelombang dan arus yang terjadi tahunan.

Saran dalam melakukan penelitian selanjutnya adalah melakukan pengukuran gelombang dengan menggunakan alat ukur *wave gauge* sehingga hasil simulasi untuk gelombang dapat divalidasi lebih akurat agar mendapatkan hasil gelombang prediksi yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiandy, et al. (2022). "Pola Peningkatan Suhu Udara Berdasarkan Data BMKG dan ERA5 di Provinsi Sulawesi Tengah / Pattern of Increasing Air Temperature Based on BMKG and ERA5 Data in Central Sulawesi Province". *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, Vol 19, 63-70.
- Ali, Ismail A. H. A., et al. (2021). "Pemodelan Tinggi Gelombang untuk Kajian Energi Gelombang Laut di Perairan Barat Provinsi Lampung". *Journal Ilmiah Teknologi Maritim (Wave)*, Vol. 15(2), 75-84
- Nyoman Budiarta. (2015). *Perencanaan dan Perancangan Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai*. Arti Foundation.
- Muharsyah, Robi & Ratri, Dian. (2021). "Meningkatkan Kualitas Prediksi Curah Hujan Musiman saat Fase ENSO Menggunakan Metode Bayesian Model Averaging (BMA), Studi Kasus: Pulau Jawa". *Jurnal Tanah dan Iklim*, Vol 45(1), 13-25.
- Pujianiki, N. (2022). "A Revitalization Of Pebuahan Beach, Jembrana Regency". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol 26(2), 92-102.
- Sri Suharyo, O., & Adrianto, D. (2018). "Studi Hasil Running Model Arus Permukaan Dengan Software Numerik Mike 21/3 (Guna Penentuan Lokasi Penempatan Stasiun Energi Arus Selat Lombok - Nusapenida)". *Applied Technology and Computing Science Journal*, Vol 1(1), 30-38.

KoNTekS17

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset, Yogyakarta

Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.

Wahidatik Nurfaida & Takenori Shimozono. (2019) .“Intensifying swells and their impacts on the south coast of Java, Indonesia”. *Coastal Engineering Journal*, Vol 61 (3), 267-277

Yesaya, A., & Wintoro, B. (2023).“Analisis Kajian Gelombang, Arus, Dan Sedimentasi Dalam Upaya Merestorasi Pantai Sisi Timur Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Jakarta”. *Jurnal Spektran*, Vol 11 (1), 72-82.