

# MODEL NUMERIK HIDRODINAMIKA ARUS DAN GELOMBANG DENGAN PENDEKATAN *FULLY SPECTRAL FORMULATION* UNTUK PENGEMBANGAN KAWASAN DERMAGA PERIKANAN BANDA ACEH

## *WAVE AND CURRENT NUMERICAL HYDRODYNAMIC MODELING USING A FULLY SPECTRAL FORMULATION APPROACH APPLIED TO FISHERY PORT DEVELOPMENT IN BANDA ACEH CITY, INDONESIA*

Koko Ondara<sup>1</sup>, Ulung Jantama Wisna<sup>1</sup>, Guntur Adhi Rahmawan<sup>2</sup>, & Syahrul Purnawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta 14430, Indonesia

<sup>2</sup>Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, KKP, Padang 25245, Indonesia

<sup>3</sup>Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Syah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

e-mail : kornkoko@yahoo.com

Diterima tanggal: 04 April 2022 ; diterima setelah perbaikan: 26 Mei 2023 ; Disetujui tanggal: 30 Mei 2023

### ABSTRAK

Salah satu potensi wilayah perairan Banda Aceh adalah di bidang perikanan, baik itu perikanan tangkap ataupun perikanan budidaya. Dermaga perikanan di wilayah pesisir Kota Banda Aceh adalah dermaga yang terletak di Pelabuhan pendaratan Ikan (PPI) Ulee Lheue. Kondisi arus dan gelombang menyulitkan proses bongkar muat dan banyaknya kapal yang rusak pada saat bersandar merupakan permasalahan yang terjadi di perairan sekitar dermaga tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi morfologi, arus dan gelombang di perairan tersebut sehingga hasil dari penelitian ini dapat menjadi masukan dalam melakukan revitalisasi dan pengembangan kawasan tersebut. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi dan pemodelan hidrodinamika dengan menggunakan data batimetri, pasang surut, arah dan kecepatan angin serta morfologi garis pantai. Hasil menunjukkan bahwa tinggi gelombang maksimum di perairan dermaga perikanan Ulee Lheue 0,33 meter, energi gelombang 46,6 w/m dan periode maksimum 3,68 detik. Arah arus permukaan disekitar pesisir pantai di sekitar dermaga terlihat menyusuri bentuk morfologi pantai

**Kata Kunci:** Model numerik hidrodinamika, *fully spectral*, arus, gelombang, dermaga perikanan, banda aceh.

### ABSTRACT

The primary sector developed in Banda Aceh City is fishery resources, including increasing fish catch and implementing aquaculture techniques. This city's most well-known harbor managing the fishery sector is Ulee Lheue fishing port, where the states of local currents and waves complicate the loading and unloading of fishery products. Furthermore, many anchored ships are often damaged due to the extreme oceanographic conditions that become the primary issue in the study area. This study aimed to determine the bottom morphological characteristics of the surrounding Ulee Lheue Port and its influence on generated waves and current circulations as a basis for decision-making to revitalize and develop the port area. This study applied hydrodynamic modeling simulations with bathymetry, tides, winds, and coastline digitation as the principal inputs. The result showed that the maximum wave height in the Ulee Lheue Port was 0.33 meters, with a wave energy of about 46.6 w/m and a maximum wave period of 3.68 seconds. The coastal morphology generally shaped the longshore-current motions in the study area.

**Keywords:** Numerical hydrodynamic model, *fully spectral*, currents, waves, fishery port, Banda Aceh.

## PENDAHULUAN

Banda Aceh merupakan kota terbesar dibagian utara Pulau Sumatera yang terletak di provinsi Aceh. Salah satu potensi wilayah perairan adalah di bidang perikanan, baik itu perikanan tangkap ataupun perikanan budidaya. Jumlah unit penangkapan perikanan laut sebanyak 460 unit, produksi perikanan budidaya 244 ton dan produksi perikanan tangkap 340 ton (Kota Banda Aceh, 2021). Pengembangan potensi perikanan perairan memerlukan dukungan dari pemerintah dan masyarakat setempat serta didukung oleh infrastruktur yang sesuai dengan kebutuhan. Salah satu jenis infrastruktur tersebut adalah dermaga perikanan sebagai salah satu lokasi distribusi hasil perikanan. Salah satu dermaga perikanan di wilayah pesisir Kota Banda Aceh adalah dermaga yang terletak di Pelabuhan pendaratan Ikan (PPI) Ulee Lheue.

Kondisi arus dan gelombang menyulitkan proses bongkar muat dan banyaknya kapal yang rusak pada saat bersandar merupakan permasalahan yang terjadi di perairan sekitar dermaga tersebut (Fridhian, 2014). Salah satu faktor penyebab tinggi nya arus dan gelombang di kawasan dermaga tersebut adalah bentuk topografi dasar perairan (Hasriyanti *et al.*, 2015) yang diperoleh melalui data kedalaman. Kedalaman kolam dermaga tersebut berkisar antara 0-7,7 meter dengan volume sedimen berkisar 250.117,15 m<sup>3</sup> (Rahmawan *et al.*, 2021). Arah arus dominan berasal dari arah utara dan tenggara (Munir, 2019) dan akan menyulitkan dalam alur transportasi kapal pada musim barat dan musim timur (Fatimah & Fauzi, 2021).

Analisa arus dan gelombang perairan menggunakan model numerik untuk menyederhanakan perhitungan kompleks yang sulit dilakukan dengan perhitungan numerik biasa (Abbott *et al.*, 1978; Matt Folley, 2016). Penggunaan perhitungan numerik formulasi fully spectral untuk analisa model (Azhar *et al.*, 2011; Johnson, 2006; Kirezci *et al.*, 2021; Ondara & Wisna, 2016; Ris *et al.*, 1995) didasarkan pada persamaan gelombang dimana spektrum directional frequency wave action sebagai dependent variabel (Komen *et al.*, 1994; Young, 1999). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kondisi arus, pasang surut dan gelombang eksisting sehingga data tersebut dapat digunakan sebagai data masukan untuk revitalisasi dermaga PPI Ulee Lheue. Pengembangan kawasan dermaga tersebut diharapkan dapat meningkatkan potensi sektor perikanan dan kelautan Kota Banda Aceh.

## BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian berada di kawasan perairan dermaga perikanan PPI Ulee Lheue, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh (Gambar 1). Analisa kecepatan dan arah arus permukaan serta tinggi gelombang selama 1 tahun pada bulan Januari hingga Desember 2016 menggunakan metode *flexible mesh* dengan persamaan kontinuitas dan momentum (Navier-Stokes dan Reynolds) yang merupakan representasi matematik fenomena fisik aliran air. Masukan data angin tiap jam diperoleh dari BMKG di kordinat 5.52244LS; 95.41700BT, data pengukuran kedalaman hasil pengukuran menggunakan echosounder single beam dual frequency, data pasang surut *predicted* dan data citra satelit.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.  
*Figure 1. Study site.*

Tabel 1. Tabel konfigurasi input model  
 Table 1. Model input configuration table

Parameter	Keterangan
<b>Input model arus</b>	
<i>Time</i>	No of time step= 365 Interval = 86400 s
<i>Simulation Period</i>	1/1/2016 0:00:00 to 31/12/2016 23:00:00)
<i>Density type</i>	Barotropic
<i>Equation</i>	- High order - CFL = 0,8 - Viscosity = Constant Smagorinsky formulation 0,28
<i>Wind Forcing</i>	- per 3600 s (1/1/2016 0:00:00 to 31/12/2016 23:00:00) - Constant friction 0,001255 - Predicted
<i>Tidal</i>	- Analysis of input tidal potential - Varying in time and along boundary - per 3600 s (1/1/2016 0:00:00 to 31/12/2016 23:00:00)
<b>Input model gelombang</b>	
<i>Basic Equations</i>	- Fully spectral formulation - Instationary formulation
<i>Equation</i>	- Low order geographical - Logarithmic discretization - No diffraction - Quadruplet wave interaction - gamma form wave breaking
<i>Initial conditions</i>	- Jonswap fetch growth
<i>Current</i>	- Hydrodynamic model (u,v) - Varying in time and domain
<i>Wind forcing</i>	- per 3600 s (1/1/2016 0:00:00 to 31/12/2016 23:00:00) - Varying in time and constant domain - Coupled air sea - Background Charnock = 0,01
<i>Tidal</i>	- Predicted - varying in time and domain - per 3600 s (1/1/2016 0:00:00 to 31/12/2016 23:00:00)

Data pasang surut yang diperoleh secara in situ digunakan dalam pengolahan data sebagai koreksi terhadap pengukuran batimetri terhadap mean sea level (Yosep Wiratama *et al.*, 2021). Data batimetri harus dikoreksi terlebih dahulu sebelum dapat diaplikasikan untuk analisis lebih lanjut. Koreksi yang dimaksud adalah dengan mempertimbangkan data elevasi pasang surut dan juga dikoreksi terhadap kedalaman transduser saat pengukuran batimetri di lapangan (Rahmawan *et al.*, 2019) sebagai berikut:

$$D = Dt - rt$$

$$rt = TWLt - (msl + z_0)$$

dimana,

D = Kedalaman perairan setelah dikoreksi

Dt = Kedalaman transduser saat survei

rt = Pengurangan level muka air saat pengukuran pada waktu (t)

TWLt = Elevasi muka air pada waktu t

msl = Muka air rata-rata

$z_0$  = elevasi permukaan dibawah surut terendah

Pemodelan arus dan gelombang menggunakan pendekatan model hidrodinamika yang menggunakan persamaan kekekalan massa dan momentum, persamaan tersebut dapat menjelaskan variasi aliran dan ketinggian muka air (DHI, 2012). Keluaran dari simulasi pemodelan ini adalah arah dan kecepatan arus, tinggi, periode dan energi gelombang dia area boundary yang telah ditentukan. Data garis pantai diperoleh melalui data citra *google earth* guna

mendukung pengolahan data pembangunan domain model. Domain yang digunakan dalam simulasi ini menggunakan *boundary unstructured triangulate mesh* (Gambar 2) dengan pendekatan mapped element approach sehingga jumlah maksimum area dapat diatur sedemikian rupa hingga kerapatan dari domain bisa ditentukan (Mahardika *et al.*, 2015).

Pengamatan tinggi dan energi gelombang di dermaga Ulee Lheue di simulasikan dalam rentang waktu 1 Januari hingga 31 Desember 2016 menggunakan spectral wind-wave yang memperhitungkan angin di wilayah pesisir sebagai gaya pembangkit gelombang (DHI, 2012).

Pengukuran data pasang surut menggunakan Tide Master dilakukan pada 30 Maret – 20 April 2021 dan hasil yang diperoleh digunakan untuk menentukan komponen konstanta harmonik, chart datum, grafik pasut hingga prediksi pasang surut air laut (Denafiar *et al.*, 2017). Selain itu, penelitian ini juga menggunakan data pasang surut sekunder dari data altimetri Topex/Poseidon dengan resolusi 0,250 x 0,250 (Matsumoto *et al.*, 1995) dan periode 60 menit dari 1 Januari hingga 31 Desember 2016 sebagai input model simulasi.

Pengamatan parameter arus dan gelombang dilakukan di depan dermaga perikanan yaitu di koordinat 95,28309; 5.55749. Analisa pasang surut, arah dan kecepatan arus serta tinggi dan energi gelombang dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting wilayah perairan dermaga perikanan sehingga diharapkan

hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi teknis dalam pembangunan struktur pelindung yang tepat untuk merevitalisasi dermaga perikanan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

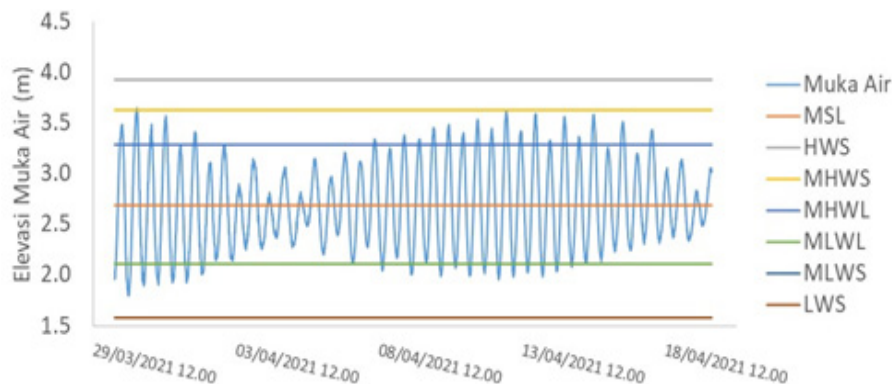
Perhitungan menggunakan metode *least square* diketahui bahwa jenis pasang surut di perairan ini adalah jenis pasang surut harian ganda, dimana dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan dan teratur dengan pasang surut rata-rata selama 12 jam 24 menit. Nilai *forecasting* elevasi muka air tertinggi (HWS) selama 20 tahun kedepan diperkirakan sebesar 1,24 meter (Gambar 3) dari tinggi muka air rata-rata (MSL). Sedangkan nilai surut terendah (LWS) selama 20 tahun kedepan dari tinggi muka air rata-rata (MSL) sebesar 1,1 meter. Perairan Banda Aceh yang berada di bagian utara Pulau Sumatera berbatasan langsung dengan Samudera Hindia memiliki tipe pasang surut dominan campuran ganda (Sidabutar *et al.*, 2016).

Data pasang surut dikoreksi terhadap nilai *Mean Sea Level* (MSL) yang didapatkan dari pengukuran menggunakan alat ukur pasang yang dipasang selama 30 hari di koordinat 5.5575; 95.2832 dan dianalisa menggunakan perhitungan metode admiralty yang menghasilkan 9 komponen utama pasang surut. Kedalaman perairan di ulee-lhuee berkisar antara 0-4,5 meter yang terdapat pada wilayah pesisir sampai dengan jarak 370



Gambar 2. Domain dan *grid mesh area model* simulasi.  
Figure 2. Domain and *grid mesh area of the model simulation*.





Gambar 3. *Initial condition model* dari pengukuran in situ elevasi muka air perairan Banda Aceh.  
 Figure 3. *Initial condition model of in situ measurement of Banda Aceh waters elevation.*

meter ke laut lepas. Sementara di dalam wilayah sungai mempunyai kedalaman maksimal 6,75 m (Gambar 4).

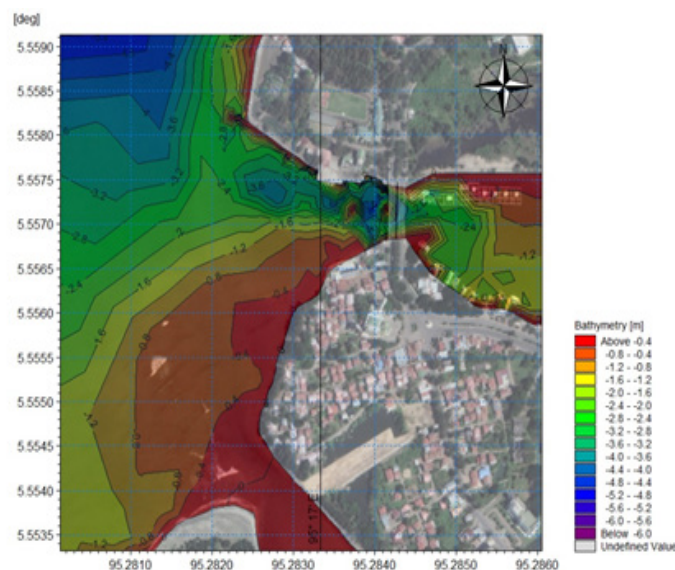
Kedalaman di bawah jembatan sebesar 2,5-4,5 meter, semakin gelap warna dari perairan menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah yang mempunyai kedalaman lebih dalam diantara warna yang lain.

Hasil pemodelan menunjukkan pada saat kecepatan maksimum arus sebesar 9,3 cm/s dan kondisi ketika menuju pasang, arus dari arah utara akan menuju ke arah dermaga dan sebagian lagi akan menuju arah selatan sejajar dengan garis pantai. Arus menuju muara sungai akan mengalami pembelokan ke arah dermaga lalu akan bergerak mengikuti morfologi garis pantai menuju ke arah utara (Gambar 5).

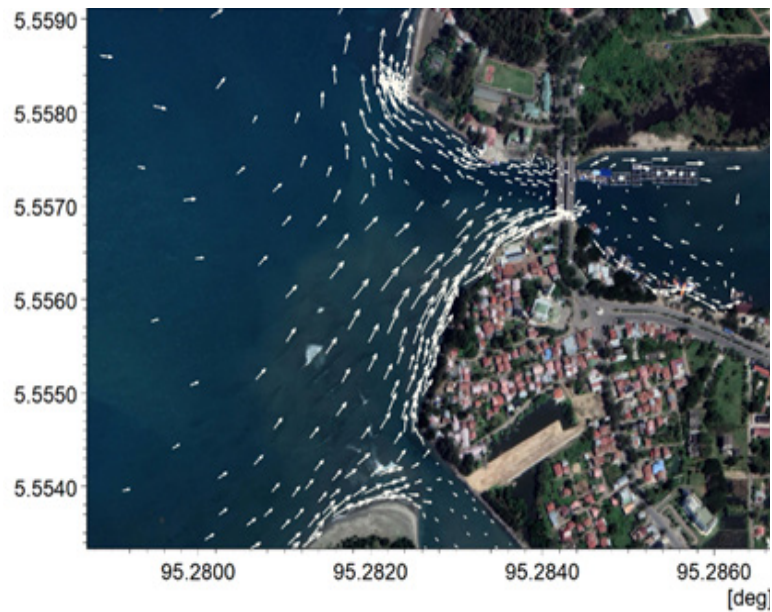
Saat kondisi tinggi gelombang signifikan maksimum (Gambar 6), nilai tinggi gelombang di depan dermaga perikanan berkisar antara 0,21 hingga 0,34 m dengan

rata-rata tinggi gelombang sebesar 0,27 meter. Nilai tinggi gelombang akan semakin besar menuju kerah laut dan akan semakin rendah ketika memasuki muara sungai (Vieira *et al.*, 2020). Arah arus permukaan disekitar pesisir pantai disekitar dermaga terlihat menyusuri bentuk morfologi pantai (*offshore current*) dan berpotensi terjadi perpindahan sedimen ke arah muara sungai dan laut. Kondisi tersebut menyebabkan rawan terjadi abrasi di pesisir pantai dan potensi sedimentasi di depan dermaga perikanan.

Nilai energi gelombang dan tinggi gelombang terlihat dinamis dan bervariasi (Gambar 7). Energi gelombang maksimum 46,6 W/m pada saat tinggi gelombang 0,33 meter dan energi gelombang minimum 21,9 W/m pada saat tinggi gelombang signifikan 0,21 meter dengan rata-rata energi gelombang signifikan 34,4 W/m. Proses bongkar muat ataupun sandar kapal berukuran kecil di dermaga perikanan tersebut, saat ini mengalami kesulitan dikarenakan kombinasi antara

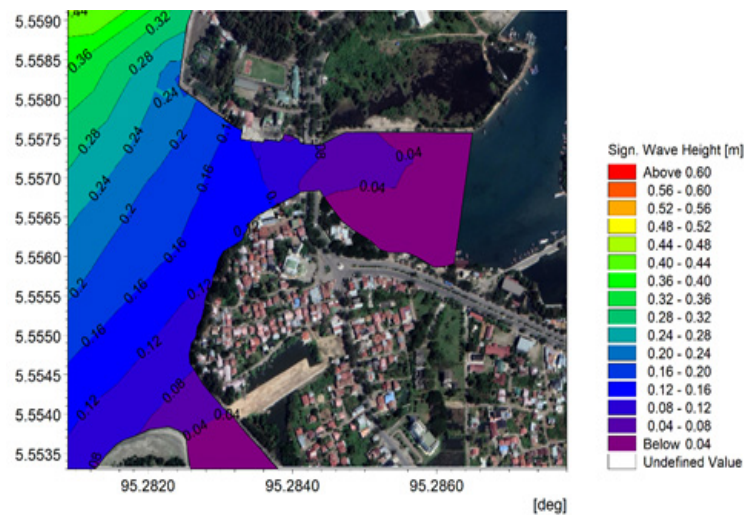


Gambar 4. Peta kontur 2D hasil koreksi di perairan dermaga perikanan Ulee Lheue. (Data Lapangan, 2021)  
 Figure 4. *Corrected 2D contour map in the Ulee Lheue fishing port. (Field survey, 2021).*



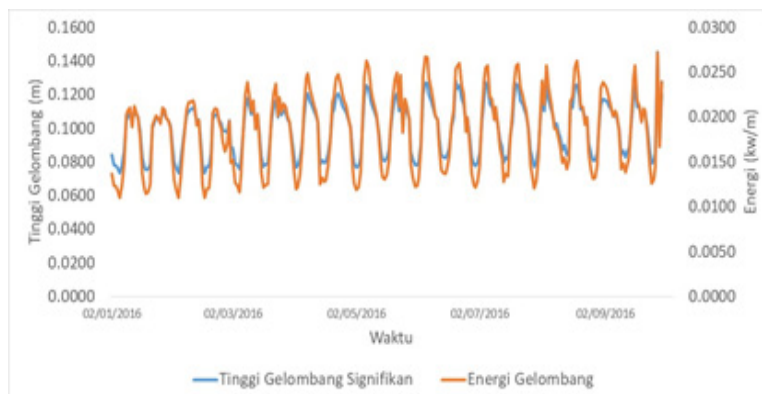
Gambar 5. Dinamika arus disekitar dermaga Ulee Lheue pada saat menuju pasang dan kondisi arus maksimum di depan dermaga, 28 September 2016

Figure 5: The current patterns in surrounding Ulee Lheue Fishery Port toward the flood tide, September 26, 2016.



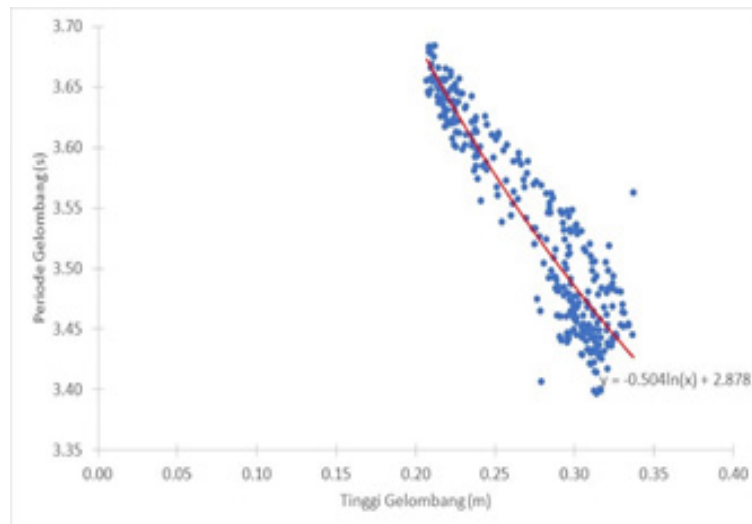
Gambar 6. Dinamika tinggi gelombang signifikan saat menuju pasang di depan dermaga, 26 September 2016

Figure 6. Significant wave height pattern in surrounding Ulee Lheue Port toward the flood tide, September 26, 2016



Gambar 7. Tinggi dan energi gelombang perairan dermaga PPI Ulee Lheue.

Figure 7. Wave height and energy within the Ulee Lheue Port.



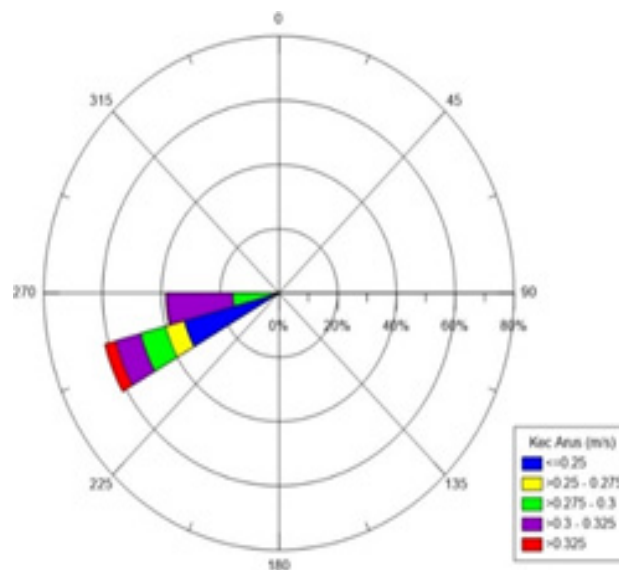
Gambar 8: Tinggi terhadap periode gelombang signifikan kondisi eksisting di koordinat 95,28309; 5,55749.  
 Figure 8. Comparison between wave height and period yielded from model simulation at coordinates 95,28309; 5,55749.

tinggi gelombang dan kecepatan arus di perairan tersebut (Japan, 2009; Syarifuddin, 2021).

Pada gambar 8 ditampilkan hubungan antara tinggi gelombang dan periode gelombang di koordinat 95,28309; 5,55749. Periode gelombang maksimum sebesar 3,68 detik pada saat tinggi gelombang 0,21 meter dan periode gelombang minimum sebesar 3,40 detik pada saat tinggi gelombang 0,31 meter. Semakin tinggi tinggi gelombang, maka terlihat periode akan semakin menurun dan sebaliknya periode akan semakin besar ketika tinggi gelombang semakin rendah. Tinggi dan energi gelombang terlihat akan semakin melemah ketika berada di dalam muara sungai dimana di daerah tersebut banyak digunakan sebagai lokasi sandar kapal

bila dibandingkan di lokasi dermaga perikanan yang ada saat ini. Tinggi gelombang tersebut dapat proses bongkar muat kapal berukuran kecil sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan (Japan, 2009).

Kecepatan angin dominan berasal dari arah barat dan barat daya, arah tersebut berasal dari laut terbuka dimana tempat terjadinya daerah pembangkitan gelombang (Ondara *et al.*, 2018). Bentuk morfologi pantai di sekitar dermaga mempengaruhi arah dan tinggi gelombang (S.Suwardi *et al.*, 2015), terlihat (Gambar 9) bahwa di bagian barat laut dan utara dermaga perikanan terlindungi oleh pesisir pantai sehingga gelombang dari arah tersebut mampu diredam oleh material penyusun batu yang sebagian



Gambar 9. Diagram arah gelombang signifikan Januari - Desember 2016 (lat 5.52244; lon 95.4170).  
 Figure 9. Wave rose diagram yielded from January to December 2016 (lat 5.52244; lon 95.4170).

besar melindungi pesisir pantai Kota Banda Aceh.

Arah gelombang di depan dermaga (lat 5.52244; lon 95.41700) selama simulasi tahun 2016, dominan berasal dari arah barat sebanyak 60 % kejadian dan dari arah barat daya sebanyak 40 % kejadian (Gambar 8). Tinggi gelombang signifikan, dominan memiliki kecepatan lebih kecil dari 0.2 m dari setiap arah gelombang yang datang di depan dermaga perikanan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Arah arus permukaan disekitar pesisir pantai disekitar dermaga terlihat menyusuri bentuk morfologi pantai (offshore current). Tinggi gelombang maksimum di perairan dermaga perikanan Ulee Lheue 0,33 meter, energi gelombang 46,6 w/m dan periode maksimum 3,68 detik. Kondisi tersebut menyebabkan rawan terjadi abrasi di pesisir pantai dan potensi sedimentasi di depan dermaga perikanan. Proses bongkar muat ataupun sandar kapal di dermaga perikanan tersebut, saat ini mengalami kesulitan dikarenakan kombinasi antara tinggi gelombang dan kecepatan arus di perairan tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir – Kementerian Kelautan dan Perikanan untuk DIPA kegiatan riset yang telah dilaksanakan, Dinas Pangan Pertanian Kelautan dan Perikanan Kota Banda Aceh, Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Syah Kuala serta masyarakat dan pihak yang telah membantu pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Koko Ondara sebagai kontributor utama bekerja sama dengan Ulung Jantama Wisna, Guntur Adhi Rahmawan dan Syahrul Purnawan sebagai kontributor anggota dalam penulisan artikel ini..

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, M. B., Petersen, H. M., & Skovgaard, O. (1978). On The Numerical Modelling Of Short Waves In Shallow Water. *Journal of Hydraulic Research*, 16(3), 173–204. <https://doi.org/10.1080/00221687809499616>
- Azhar, R. M., Wurjanto, A., & Yuanita, N. (2011). *Studi pengamanan pantai tipe pemecah gelombang tenggelam di pantai tanjung kait*. Tesis Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air, 10, 1–24.
- Denafiar, F., Nugraha, A., & Awaluddin, M. (2017). Pembuatan Program Penentuan Konstanta Harmonik Dan Prediksi Data Pasang Surut Dengan Menggunakan Visual Basic For Application (VBA) MS. Excell. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 295.
- DHI. (2012). Mike 21 Flow Model FM, Hydrodynamics Module. Scientific Document.
- Fatimah, E., & Fauzi, A. (2021). Analisis Pergerakan Arus Pasang Surut Terhadap Perubahan Perletakan Pemecah Ombak Di Pelabuhan Ulee Lheue. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.24815/jts.v10i1.18980>
- Fridhian. (2014). Analisis Perencanaan Dan Pelaksanaan Pada Proyek Revitalisasi/ Rehabilitasi Dermaga Ulee Lheue Banda Aceh. Universitas Syah Kuala.
- Hasriyanti., Erman, S., & Maddatuang. (2015). Analisis Karakteristik Kedalaman Perairan, Arus dan Gelombang di Pulau Dutungan Kabupaten Barru. *Jurnal Scientific Pinisi*, 1(1), 44–54.
- Japan, O. C. A. D. I. of. (2009). Technical Standart for Port and Harbour Facilities in Japan (J. P. and A. R. Institute (ed.)).
- Johnson, H. K. (2006). Wave modelling in the vicinity of submerged breakwaters. *Coastal Engineering*, 53(1), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.09.018>
- Kirezci, C., Babanin, A. V., & Chalikov, D. V. (2021). Modelling rogue waves in 1D wave trains with the JONSWAP spectrum, by means of the High Order Spectral Method and a fully nonlinear numerical model. *Ocean Engineering*, 231, 1 July 2021, 108715. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108715>
- Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., & Janssen, P. A. E. M. (1994). *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. In Cambridge University Press. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511628955>
- Kota Banda Aceh, P. (2021). Dataset of Maritim. <http://data.bandaacehkota.go.id/index.php/categories/maritim>



- Mahardika, R. W., Ismanto, A., & Purwanto, P. (2015). Studi perbandingan simulasi flow model FM dan ADCIRC terhadap pola arus pasut perairan Teluk Lembar Lombok. *Journal of Oceanography*, 4(1).
- Matsumoto, K., Ooe, M., Sato, T., & Segawa, J. (1995). Ocean tide model obtained from TOPEX/POSEIDON altimetry data. *Journal of Geophysical Research*, 100(C12). <https://doi.org/10.1029/95jc02777>
- Matt Folley. (2016). Numerical Modelling of Wave Energy Converters. In Associate. Press. Joe Hayton. <https://doi.org/10.1016/c2014-0-04006-3>
- Munir, A. N. (2019). *Karakteristik Arus Pasang Surut Menggunakan Data Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) Di Teluk Ulee Lheue Aceh Besar*. Universitas Syah Kuala.
- Ondara, K., Rahmawan, G. A., Gemilang, W. A., Wisna, U. J., & Dhiauddin, R. (2018). Numerical hydrodynamic wave modelling using spatial discretization in Brebes waters, Central Java, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(1), 257-263. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.1.4166>
- Ondara, K., & Wisna, U. J. (2016). Simulasi Numerik Gelombang (Spectral Waves) Dan Bencana Rob Menggunakan Flexible Mesh Dan Data Elevation Model Di Perairan Kecamatan Sayung, Demak. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 164-174. <https://doi.org/10.21107/jk.v9i2.1694>
- Rahmawan, G. A., Ondara, K., & Adnan, I. (2021). Pemetaan Morfologi Dasar Perairan Untuk Pemantauan Sedimentasi Di Dermaga Perikanan Ulee Lheue Menggunakan Single Beam Odometer Dua Frekuensi. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(2), 143-148. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i2.10317>
- Ris, R. C., Holthuijsen, L. H., & Booij, N. (1995). Spectral model for waves in the near shore zone. *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, 1, 68-78. <https://doi.org/10.1061/9780784400890.006>
- S.Suwardi, B., W. Pandoe, W., Adrianto, D., & S. Widodo, K. (2015). Analisa Gelombang pada Dermaga Kolam Pelabuhan Pondokdayung di Tanjungpriok Jakarta. *Jurnal Chart Datum*, 1(2), 93-106. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v1i2.107>
- Sidabutar, Y., Sasmito, B., & Amarrohman, F. (2016). Analisis Sea Level Rise Dan Komponen Pasang Surut Dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 243-252.
- Syarifuddin, A. (2021). Interview: Aktifitas Pelabuhan Pendaratan Ikan Ulee Lheue. DPPKP Kota Banda Aceh.
- Vieira, F., Cavalcante, G., Campos, E., & Taveira-Pinto, F. (2020). Wave Energy Flux Variability and Trend Along The United Arab Emirates Coastline Based on a 40-Year Hindcast. *Renewable Energy*, 160, 1194-1205. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.072>
- Yosep Wiratama, E., Guruh, D., & Prasetya Adi, A. (2021). Analisis Efektivitas Lajur Overlap dan Lajur Silang Sebagai Kontrol Kualitas Data Batimetri Multibeam Echosounder. *Jurnal Chart Datum*, 6(1), 36-51. [https://doi.org/10.37875/chartdatum.v6i1.172semenjak\\_anggara](https://doi.org/10.37875/chartdatum.v6i1.172semenjak_anggara)
- Young, I. R. (1999). Wind generated ocean waves. *In Elsevier Ocean Engineering Series*, 2.

