



PEMODELAN TINGGI GELOMBANG UNTUK KAJIAN ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN BARAT PROVINSI LAMPUNG

Modelling of Wave Height for the Study of Ocean Wave Energy in the West of Lampung Province

Ismail Ali Hajar Aswad^{1,a}, Haryo Dwito Armono¹, Shade Rahmawati¹, Asfarur Ridlwan² dan Rizki Mendung Ariefianto¹

¹Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Kampus ITS Sukolilo, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung, Indonesia

e-mail: ^aismailalihajaraswad@gmail.com

Diterima: 11 November 2021; Direvisi: 24 November 2021; Disetujui: 07 Desember 2021

Abstrak

Perairan barat Provinsi Lampung merupakan salah satu lokasi yang diperkirakan memiliki potensi energi gelombang yang cukup besar. Namun, minimnya informasi tentang titik potensial energi gelombang laut yang lebih rinci membuat kawasan ini belum dapat dieksplorasi dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan tinggi gelombang signifikan (H_s) yang merupakan salah satu variabel utama dalam menentukan energi gelombang laut di perairan barat Provinsi Lampung. Studi ini dilakukan melalui pemodelan numerik menggunakan model SWAN pada *software* Delft3D-WAVE dengan input model gelombang yang bersumber dari data ECMWF-Era 5 di laut lepas. Hasil pemodelan numerik menunjukkan gelombang signifikan terbesar terjadi pada musim barat dengan nilai 1,25-2,975 m. Sedangkan tinggi gelombang signifikan terkecil terjadi pada musim timur dengan nilai 0,941-2,079 m. Verifikasi hasil tersebut terhadap data AVISO menghasilkan nilai MAPE sebesar 16,355%, koefisien korelasi sebesar 0,8691, RMSE berkisar 0,277 m yang menunjukkan validasi yang baik dan memuaskan.

Kata kunci: gelombang; signifikan; ECMWF Era 5; AVISO; Delft3D-WAVE

Abstract

The western waters of Lampung Province are one of the locations that are estimated to have a large enough potential for wave energy. However, the lack of information about the potential points of wave energy in more detail makes this area not yet well explored. This study aims to obtain significant wave height (H_s), which is one of the main variables in determining wave energy in the western waters of Lampung Province. This study was conducted through numerical modeling using the SWAN model in Delft3D-WAVE software with the input of the wave model sourced from ECMWF-Era 5 offshore data. The numerical modeling results show that the highest significant wave occurs in the West Season with a value of 1,25-2,975 m. In contrast, the smallest significant wave height occurred in the East Season with a value of 0,941-2,079 m. Verifying these results against AVISO data produces a MAPE value of 16,355%, a correlation coefficient of 0,8691, an RMSE of 0,277 m which indicates a good and satisfactory validation.

Keywords: wave; significant; ECMWF Era 5; AVISO; Delft3D

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki potensi energi gelombang laut sangat besar sehingga eksplorasi energi tersebut untuk pemenuhan energi di masa depan penting dilakukan. Selain melimpah, energi ini juga merupakan energi yang bersih, aman, dan *sustainable* (Ariefianto, et al., 2021). Salah satu langkah awal untuk memanfaatkan energi gelombang laut adalah dengan membuat suatu pemetaan sehingga dapat diketahui titik-titik potensial yang dapat dikembangkan menjadi sebuah pembangkit listrik.

Langkah awal pemetaan energi gelombang laut tersebut telah diinisiasi salah satunya oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) pada tahun 2014. Meskipun pemetaan tersebut sudah mencakup seluruh wilayah Indonesia, tetapi pemetaan tersebut masih sebatas pemetaan yang bersifat umum. Penelitian potensi energi gelombang di berbagai wilayah Indonesia yang bersifat khusus masih sangat terbatas sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan titik-titik potensial yang lebih detail. Hal ini menjadi penting karena penelitian potensi di setiap detail kawasan laut dapat menjadi sebuah rekomendasi dan percepatan informasi terkait seberapa besar potensi energi gelombang laut yang tersedia.

Salah satu metode untuk memetakan potensi energi laut adalah dengan mengetahui tinggi gelombang signifikan yang memiliki data insitu sangat terbatas (Pramita, dkk., 2020). Beberapa kajian terkait karakteristik tinggi gelombang signifikan di beberapa wilayah spesifik Indonesia telah dilakukan. Safitri, dkk. (2016) meneliti potensi tinggi gelombang signifikan di pesisir Kalimantan Barat dengan hasil tinggi gelombang signifikan antara 0,069-0,513 m mampu menghasilkan daya tertinggi yaitu 831,37 kW. Penelitian lain dari Rahman, dkk. (2016) di 12 titik lokasi pulau-pulau terluar Indonesia dilakukan dengan mengonversi data angin EMCWF menjadi data gelombang.

Hasilnya, dengan tinggi gelombang signifikan dominan antara 0,20-1,75 m diperoleh daya gelombang berkisar antara 10,01-14,13 kW/m. Penelitian lebih luas dilakukan oleh Rizal and Ningsih (2019) yang menganalisis potensi energi gelombang laut di sepanjang bagian selatan Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara menggunakan WAVEWATCH III dengan data input selama 25 tahun. Hasilnya, tinggi gelombang signifikan berkisar antara 1,03-1,95 m dengan daya tertinggi diperoleh di sekitar perairan Bali sebesar 55 kW/m. Potensi daya gelombang laut terbesar lainnya di Indonesia berada di perairan barat Pulau Sumatera yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia dengan perkiraan daya gelombang laut dapat mencapai 30-40 kW/m (Cornett, 2009). Bahkan penelitian sejenis berupa investigasi lebih detail di sepanjang pantai sebelah barat Pulau Sumatera dilakukan oleh Rizal and Ningsih (2020) dengan hasil tinggi gelombang signifikan mampu mencapai 2,33 m dengan daya gelombang sebesar 67,29 kW/m.

Mengacu pada penelitian tersebut bahwa di pesisir barat Pulau Sumatera memiliki potensi daya gelombang laut yang sangat besar. Oleh karena itu perlu adanya investigasi lebih detail di lokasi-lokasi khusus sepanjang pesisir barat Pulau Sumatera. Salah satu kawasan yang diperkirakan sangat potensial adalah di perairan barat Provinsi Lampung. Hal ini dikarenakan wilayah tersebut merupakan bagian dari Samudera Hindia yang memiliki potensi tinggi gelombang diperkirakan mencapai 2,0-4,0 meter (Nurisman dan Tarigan, 2021). Selain itu, penelitian Rizal and Ningsih (2020) menyatakan bahwa di perairan sekitar Pulau Enggano yang memiliki jarak relatif dekat dengan Provinsi Lampung termasuk kawasan yang memiliki daya gelombang laut terbesar.

Untuk mendapatkan perkiraan dan karakteristik tinggi gelombang signifikan di lokasi tersebut, maka dapat digunakan suatu pemodelan numerik menggunakan *software*. Delft3D-WAVE merupakan *software* berbasis SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) yang banyak digunakan untuk

memodelkan gelombang laut khususnya di perairan dekat pesisir pantai (Mirzaei, et al., 2015). Beberapa penelitian yang menggunakan Delft3D-WAVE untuk memodelkan tinggi gelombang laut yaitu Lai and Liu (2017), Lyddon, et al. (2019), dan Pimentel, et al. (2021).

Pada simulasi Delft3D-WAVE diperlukan suatu data input gelombang laut yang dapat berasal dari data sekunder. Data yang valid dan sering digunakan dapat berasal dari ECMWF-Era 5 seperti pada penelitian Stopa and Cheung (2014) serta Bruno, et al. (2020). Selanjutnya, hasil pemodelan dapat diverifikasi menggunakan data dari satelit altimetri AVISO seperti pada penelitian (Bento, et al., 2014; Liang, et al., 2014; dan Zhou, et al., 2015). Verifikasi tersebut dapat dilakukan berdasarkan nilai *RMSE*, *MAPE*, dan koefisien korelasinya. Pada penelitian Rizal and Ningsih (2019) dengan data luaran dari *Navy Global Environmental Model* (NAVGEM), verifikasi berbasis data satelit altimetri AVISO diperoleh hasil yang lebih baik karena menghasilkan nilai *RMSE* sebesar 0,39 dan koefisien korelasi sebesar 0,85 dibandingkan data perbandingan terhadap satelit Poseidon yang menghasilkan nilai *RMSE* sebesar 0,49 dan koefisien korelasi sebesar 0,79.

Oleh karena itu, pada penelitian difokuskan pada analisis perkiraan tinggi gelombang laut signifikan yang merupakan salah satu variabel utama dalam penentuan perkiraan potensi daya gelombang laut di sekitar perairan barat Provinsi Lampung. Selain itu, juga dipertimbangkan perkiraan arah penjalaran gelombang di setiap musim agar diketahui karakteristik gelombang di setiap perubahan waktunya. Kemudian untuk pemodelan numerik dilakukan dengan input data yang berasal dari data gelombang ECMWF-Era 5 yang hasilnya diverifikasi dengan data satelit altimetri AVISO agar dapat menghasilkan perbandingan yang lebih akurat.

METODE

Data tinggi gelombang laut didapatkan dari ECMWF-Era 5 dan AVISO. Data dari ECMWF-Era

5 berupa data reanalisis generasi terbaru Era 5. Data altimetri dengan ukuran $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ *merged altimetry* didapatkan dari Aviso.com. Data ECMWF-Era 5 akan dievaluasi dan digunakan sebagai input pemodelan gelombang. Kemudian, data satelit altimetri AVISO digunakan sebagai data pembanding. Pada Tabel 1 berikut ini menunjukkan interval data yang dapat diambil dari ECMWF-Era 5 dan AVISO.

Tabel 1. Informasi sumber data gelombang

Sumber Data	Parameter	Interval	Tahun
ECMWF-Era 5	Hs, Tp	Per jam	2016
Aviso	Hs, U^{10}	Per hari	

Kemudian, untuk data batimetri yang digunakan adalah data Batimetri Nasional 6×6 *arc-second* (185×185 m) yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sedangkan data pasang surut yang digunakan adalah data prediksi elevasi pasang surut dari lembaga yang sama.

SETTING MODEL GELOMBANG

Model numerik Delft3D-WAVE dilakukan pada domain komputasi pada area seluas ± 11.734 km² dengan panjang dan lebar domain berturut-turut adalah 154,4 km dan 76 km (Gambar 2). Pertimbangan pemilihan penggunaan luasan domain pemodelan adalah jarak yang tidak terlalu jauh antara lokasi sumber data (6° LS, 104° BT) terhadap garis pantai.

Domain didefinisikan dengan *grid* reguler untuk mewakili batimetri yang diperoleh dari BIG sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. *Time frame* untuk tahap evaluasi untuk setiap sumber data gelombang, simulasi dilakukan selama 1 tahun, sesuai dengan ketersediaan data. *Time step* yang digunakan dalam simulasi adalah 0,5 menit. Input parameter fisik yang digunakan mengikuti pengaturan rekomendasi (Deltares, 2014) yaitu berupa *bottom roughness* seragam sebesar

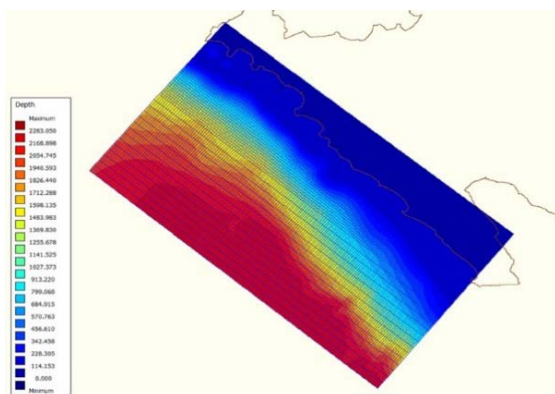
$0,02 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ dalam arah u maupun v . Kemudian untuk nilai *horizontal eddy viscosity* sebesar $1 \text{ m}^2/\text{s}$, percepatan gravitasi sebesar $9,82 \text{ m/s}^2$, dan densitas air laut 1.025 kg/m^3 .



Gambar 1. Data batimetri nasional dengan resolusi 6x6 arc-second (185x185 m)



Gambar 2. Peta luasan area penelitian di perairan barat provinsi Lampung



Gambar 3. Tipikal grid dengan tampilan QUICKIN depth generator

VERIFIKASI PEMODELAN GELOMBANG

Validasi pemodelan dilakukan dengan mengevaluasi luaran Delft3D-WAVE terhadap data AVISO pada ukuran *grid* yang sama. Evaluasi dilakukan dengan menghitung persentase rata-rata kesalahan absolut atau *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* serta mempertimbangkan koefisien

korelasi (R) dan *Root Mean Square Error (RMSE)* yang lazim digunakan (Williams and Esteves, 2017). *MAPE* diperoleh dari selisih absolut antara selisih data hasil simulasi dibandingkan dengan data AVISO yang merupakan data pembanding kemudian dikali seratus persen (Chang, et al., 2007). *MAPE* memiliki kriteria tertentu apakah data yang dievaluasi dapat dipertimbangkan. Adapun kriteria interpretasi *MAPE* tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 2 (Ridlwan, dkk., 2021).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{|y_i - x_i|}{y_i} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2. Kriteria MAPE

MAPE	Interpretasi
<10%	Sangat Baik
10%-20%	Baik
20%-50%	Cukup
>50%	Buruk

Sedangkan persamaan statistik yang lain yaitu koefisien korelasi dan *RMSE* masing-masing dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (3)$$

x_i = data hasil simulasi; y_i = data pembanding; \bar{x} = nilai rata-rata data hasil simulasi; \bar{y} = nilai rata-rata data pembanding; n = jumlah data.

Koefisien korelasi dapat bernilai positif ataupun negatif. Nilai negatif berarti kedua variabel memiliki asosiasi negatif atau berlawanan, sedangkan nilai positif berarti kedua variabel memiliki hubungan yang positif atau selaras (Singpurwalla, 2013). Pada Tabel 3 ditampilkan kriteria koefisien korelasi menurut (Asuero, et al., 2006). Sedangkan *RMSE* biasanya digunakan untuk mengukur tingkat keakuratan kesalahan. Semakin

kecil nilai *RMSE* maka hubungan data hasil simulasi tinggi gelombang terhadap data pembandingan semakin akurat (Adyanti, et al., 2018).

Tabel 3. Kriteria Koefisien Korelasi

R	Interpretasi
0.90 -1	Sangat Tinggi
0.70 - 089	Tinggi
0.50 – 0.69	Menengah
0.30 – 0.49	Rendah
0.00 – 0.29	Sangat Rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

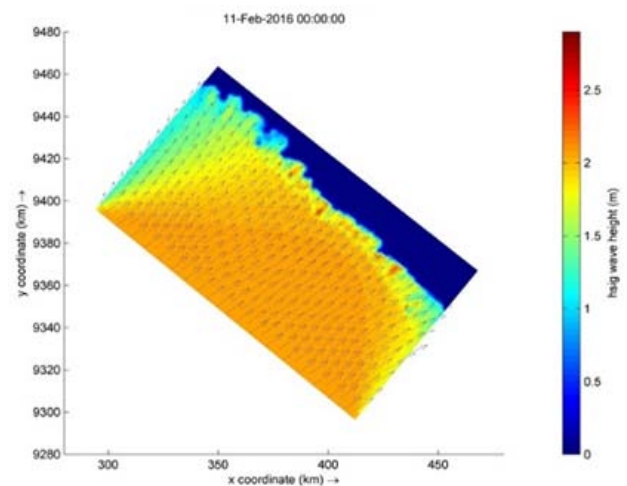
Permodelan Tinggi Gelombang Signifikan

Pemodelan penjalaran gelombang dilakukan dengan menggunakan *software* Delft3D-WAVE yang menampilkan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan arah penjalaran gelombang. Tinggi gelombang signifikan ditampilkan dalam bentuk gradasi warna, sedangkan arah penjalaran gelombang ditunjukkan dalam vektor. Inputan model yang digunakan yaitu data gelombang ECMWF-Era 5, data batimetri, dan data prediksi pasang surut BIG. Data gelombang signifikan yang digunakan dikelompokkan menjadi empat musim agar dapat diperoleh karakteristik tinggi gelombang di setiap musimnya. Setting *time step* yang digunakan pada model yaitu setiap 0,5 menit.

Pada skenario pembuatan model gelombang, arah datangnya gelombang signifikan ditentukan berdasarkan nilai inputan sesuai arah rata-rata gelombang pada data ECMWF-Era 5. Hasilnya, berdasarkan rata-rata musiman kondisi H_s pada tahun 2016 ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 7 dan secara ringkas ditampilkan pada Tabel 4. Pola arah keseluruhan gelombang musiman tampaknya tidak mengikuti pola angin muson secara linier. Arah gelombang pada semua musim cenderung bergerak dari arah barat daya menuju ke arah timur laut. Meskipun demikian hasil ini sangat sesuai dengan penelitian Rizal and Ningsih (2020)

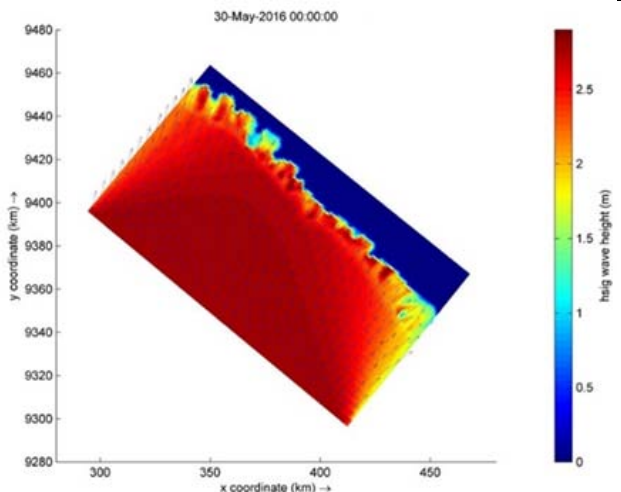
yaitu arah penjalaran gelombang memiliki arah yang sama pada seluruh musim di perairan barat Pulau Sumatera.

Kemudian, untuk nilai H_s tertinggi terjadi pada Musim Timur (Juni-Juli-Agustus) dengan nilai tinggi gelombang berkisar 1,250-2,975 m dan nilai H_s terendah terjadi selama pada Musim Barat (Desember-Januari-Februari) dengan nilai berkisar 0,941-2,079 m. Kemudian, nilai H_s saat Musim Peralihan 1 (Maret-April-Mei) dan Musim Peralihan 2 (September-Oktober-November), mencapai hampir 2,5 m terutama di laut lepas pantai yaitu Samudera Hindia. Pada daerah di belakang pulau-pulau kecil dan mendekati pantai mempunyai nilai H_s yang cukup rendah di bawah 1 m di setiap musimnya karena efek perlindungan (*shadow effect*) dari pulau-pulau kecil terdekat (Sierra, et al., 2016).

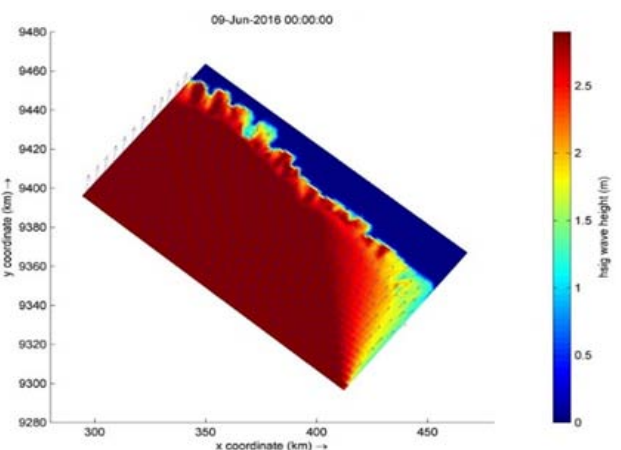


Gambar 4. Model penjalaran gelombang musim barat perairan bagian barat Provinsi Lampung

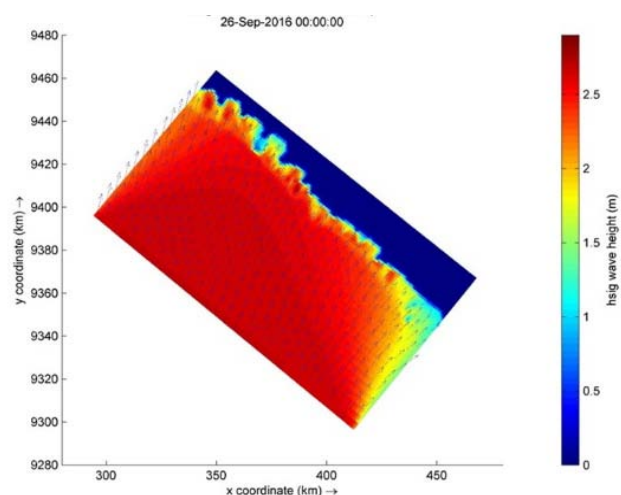
Karakteristik tinggi gelombang ini juga sesuai dengan penelitian Rizal and Ningsih (2020) dimana pada sepanjang musim di perairan barat Pulau Sumatera, khususnya di wilayah spesifik perairan barat Lampung, nilai H_s berkisar antara 1,25-2,75 m. Dari hasil lokasi lain seperti Pulau Enggano dinyatakan bahwa nilai H_s pada bulan Juli-Agustus (Musim Timur) dari satelit altimetri adalah 1,3779 m sedangkan hasil pengukuran di lapangan tercatat sebesar 2,04 m (Usmaya dan Muliati, 2018). Hasil ini menegaskan bahwa kisaran tinggi gelombang signifikan yang ada telah sesuai.



Gambar 5. Model penjarangan gelombang musim peralihan 1 perairan bagian barat Provinsi Lampung



Gambar 6. Model penjarangan gelombang musim timur perairan bagian barat Provinsi Lampung



Gambar 7. Model penjarangan gelombang musim peralihan 2 perairan bagian barat Provinsi Lampung

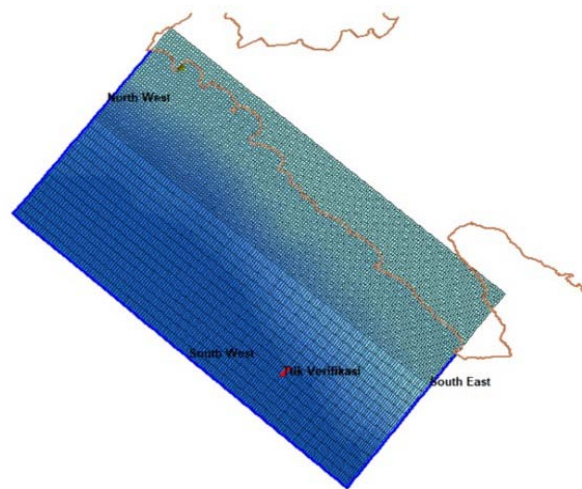
Selain itu, gelombang yang menjalar dari perairan dalam (*deep water*) menuju perairan

dangkal (*shallow water*) akan mengalami proses pendangkalan (*shoaling*) yang berupa pengurangan tinggi gelombang seiring perubahan kedalaman. Proses *shoaling* ini dapat dilihat dari efek model yang mengalami perubahan warna, yang berarti tinggi gelombang juga akan berubah seiring berkurangnya kedalaman.

Tabel 4. Tinggi gelombang per musim

Musim	Tinggi Gelombang Signifikan (H_s)	
	Maksimum	Min
Barat	2,079	0,941
Peralihan 1	2,791	1,010
Timur	2,975	1,250
Peralihan II	2,561	1,250

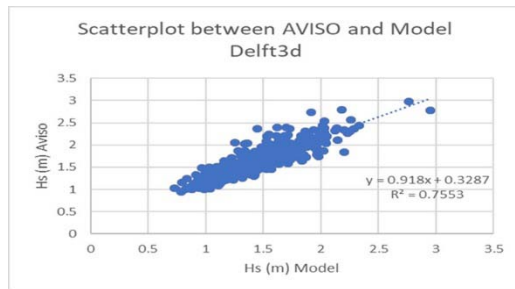
Verifikasi Hasil Model



Gambar 8. Grid dan letak titik verifikasi dari koordinat cartesian di Delft3D-WAVE

Tinggi gelombang signifikan (H_s) Delft3D-WAVE dengan inputan data ECMWF-Era 5 yang dibandingkan dengan data satelit altimetri AVISO menunjukkan hasil yang baik. Luaran Delft3D-WAVE yang dievaluasi adalah data luaran domain model dari *grid* dengan koordinat Cartesian X sebesar 389323.2 dan koordinat Cartesian Y sebesar 9336683 dengan *range M* dan *N* yaitu 50 dan 115, dan data AVISO berada pada lokasi

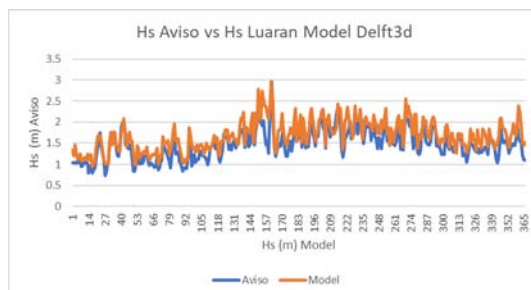
tersebut. Domain *grid* tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Data luaran Delft3D-WAVE dievaluasi sesuai dengan data harian AVISO. Selanjutnya, evaluasi data dilihat dari nilai *MAPE*, *R*, dan *RMSE* yang merupakan alat statistik representatif untuk menggambarkan hubungan antar data.



Gambar 9. Statistik verifikasi antara H_s model luaran Delft3D-WAVE terhadap H_s AVISO

Tabel 5. Rangkuman statistik hubungan luaran Delft3D-WAVE dengan AVISO

Tahun	Jumlah Data	MAPE	R	RMSE
2016	366	16,355%	0,8691	0,2777 m



Gambar 10. Grafik Luaran H_s Aviso dengan H_s Luaran Model Delft3D-WAVE

Nilai H_s luaran Delft3D-WAVE dengan masukan ECMWF-Era 5 menunjukkan hasil yang baik karena nilai *MAPE* yang dihasilkan yaitu 16,355%, nilai tersebut termasuk dalam kategori baik. Untuk nilai *R* sebesar 0.8691 secara visual ditunjukkan pada Gambar 9 yang menunjukkan tren selaras antara H_s luaran Delft3D-WAVE dengan masukan ECMWF-Era 5 dengan H_s data AVISO. Nilai *R* ini termasuk memiliki korelasi yang tinggi (Asuero, et al., 2006). Selanjutnya, untuk *RMSE* yang dihasilkan yaitu sebesar 0,277 m. Nilai ini terbilang baik karena pada penelitian sebelumnya

(Kumar and Naseef, 2015) secara umum menunjukkan nilai *RMSE* sekitar 0,18-0,4 m. Secara umum hasil simulasi H_s telah menghasilkan luaran yang sesuai karena berdasarkan evaluasi statistik menghasilkan nilai yang memuaskan. Sebagai perbandingan, luaran H_s antara Delft3D-WAVE dengan inputan data dari ECMWF-Era 5 dan H_s dari AVISO dapat dibandingkan secara jelas melalui data *time series* dalam satu tahun penuh yang ditunjukkan pada Gambar 10. Terlihat bahwa luaran Delft3D-WAVE memiliki tren yang cukup sesuai dengan nilai yang sedikit lebih besar dibandingkan data AVISO. Hal ini menegaskan bahwa pemodelan yang dilakukan menunjukkan hasil yang baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan numerik diperoleh tinggi gelombang signifikan terbesar terjadi pada Musim Barat dengan nilai berkisar 1,25-2,975 m. Sedangkan tinggi gelombang signifikan terkecil terjadi pada Musim Timur dengan nilai sebesar 0,941-2,079 m. Arah penjarangan gelombang pada semua musim adalah sama yaitu dari arah barat daya menuju timur laut. Hasil tersebut menunjukkan karakteristik yang sama dengan penelitian lain. Secara umum, hasil pemodelan Delft3D-WAVE yang diverifikasi dengan data gelombang dari satelit altimetri AVISO memiliki karakteristik statistik nilai *MAPE* sebesar 16,355%, koefisien korelasi sebesar 0,8691, dan *RMSE* sebesar 0,277 m. Berdasarkan kriteria interpretasi yang ada, data statistik tersebut menunjukkan nilai yang baik dan memuaskan. Oleh karena itu, hasil ini dapat menjadi rujukan yang dapat dipertimbangkan untuk menganalisis lebih lanjut terkait potensi energi gelombang laut di perairan barat Provinsi Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyanti, D., Rini Novitasar, D. C., Asyhar, A. H. and Setiawan, F. (2018). Optimal ANFIS Model for Forecasting System Using Different FIS. *Proceeding of the Electrical*

- Engineering Computer Science and Informatics*, Vol. 5(5): 16-18.
- Ariefianto, R. M., Hadiwidodo, Y. S. and Rahmawati, S. (2021). Modelling of Unidirectional Oscillating Buoy Wave Energy Converter Based on Direct Mechanical Drive System under Irregular Wave. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 698, pp. 1-12.
- Asuero, A. G., Sayago, A. and Gonz, A. G. (2006). The Correlation Coefficient An Overview . *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, Vol. 36(10): 41-59.
- Bento, A. R., Rusu, E., Martinho, P. and Soares, C. G. (2014). Assessment of the Changes Induced by a Wave Energy Farm in the Nearshore Wave. *Computers and Geosciences*, Vol. 14: 1–31.
- Bruno, M. F., Molfetta, M. G., Totaro, V. and Mossa, M. (2020). Performance Assessment of ERA5 Wave Data in a Swell Dominated Region. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 8(3): 1-19.
- Chang, P., Wang, Y. and Liu, C. (2007). The Development of a Weighted Evolving Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting. *Expert Systems with Applications*, Vol. 32: 86-96.
- Cornett, A. (2009). A Global Wave Energy Resource Assessment. *Sea Technology*, Vol. 50(4): 59-64.
- Deltares. (2014). *Delft3D-WAVE Simulation of Short-Crested Waves with SWAN User Manual*. 3.05.34160. Edited by Deltares. Netherlands: Boussinesqweg.
- Kumar, V. S. and Naseef, T. M. (2015). Performance of ERA-Interim Wave Data in the Nearshore Waters Around India. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 32(6): 1257–1269.
- Lai, F. and Liu, H. (2017). Wave Setup Properties in the Surge-Wave Coupled Simulation: A Case Study of Typhoon Khanun. *Procedia IUTAM*, Vol. 25: 111-118.
- Liang, B., Fan, F., Liu, F., Gao, S. and Zuo, H. (2014). 22-Year Wave Energy Hindcast for the China East Adjacent Seas. *Renewable Energy Journal*, Vol. 71: 200-207.
- Lyddon, C. E., Brown, J. M., Leonardi, N. and Plater, A. J. (2019). Increased Coastal Wave Hazard Generated by Differential Wind and Wave Direction in Hyper-Tidal Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 220: 131-141.
- Mirzaei, A., Tangang, F. and Juneng, L. (2015). Wave Energy Potential Assessment in the Central and Southern Regions of the South China Sea. *Renewable Energy Journal*, Vol. 80: 454-470.
- Nurisman, N. dan Tarigan, T. A. br. (2021). Kajian Awal Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Labuhan Jukung, Krui, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. *Maspari Journal*, Vol. 13(1): 25-40.
- Pimentel, R., Guzman, E. and Ramos, C. (2021). Modeling Normal and Extreme Wave Conditions in Callao Bay, Peru using Reanalysis Data. *Proceedings of the 7th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM 2021)*, pp. 195-202.
- Pramita, A. W., Sugianto, D. N., Prasetyawan, I. B., Kurniawan, R. dan Praja, A. S. (2020). Pola Tinggi Gelombang di Laut Jawa Menggunakan Model Wavewatch-III. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 21(1): 21-28.
- Rahman, S., Baeda, A. Y. dan Umar, H. (2016). Potensi Energi Gelombang sebagai Sumber Energi Alternatif di Pulau-Pulau Terluar Wilayah NKRI. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, Vol. 20(2): 32-38.
- Ridlwan, A., Armono, H. D., Rahmawati, S. dan Tuswan, T. (2021). Transmission Coefficient Analysis of Notched Shape Floating Breakwater using Volume of Fluid Method: A Numerical Study. *Kapal: Jurnal Ilmu*



- Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, Vol. 18(1): 41-50.
- Rizal, A. M. and Ningsih, N. S. (2019). Preliminary Study of Wave Energy Resource Assessment and its Seasonal Variation Along the Southern Coasts of Java, Bali, and Nusa Tenggara Waters. *Journal Renewable Sustainable Energy* 11, pp. 1-13.
- Rizal, A. M. and Ningsih, N. S. (2020). Ocean Wave Energy Potential Along the West Coast of the Sumatra Island, Indonesia. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, Vol. 6(2): 137-154.
- Safitri, L. E., Muhammad, I. J. dan Apriansyah. (2016). Studi Potensi Energi Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Oscillating Water Column (OWC) di Perairan Pesisir Kalimantan Barat. *POSITRON*, Vol, 6(1): 8-16.
- Sierra, J. P., Martín, C., Mosso, C., Mestres, M. and Jebbad, R. (2016). Wave Energy Potential along the Atlantic Coast of Morocco. *Renewable Energy*, Vol. 96: 20-32.
- Singpurwalla, D. (2013). *A Handbook of Statistics An Overview of Statistical Methods*. Diakses pada 15 Oktober 2021. <https://bookboon.com/ fi/a-handbook-of-statistics-ebook>.
- Stopa, J. E. and Cheung, K. F. (2014). Intercomparison of Wind and Wave Data from the ECMWF Reanalysis Interim and the NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Ocean Modelling*, Vol. 75: 65-83.
- Usmaya, A. H. dan Muliati, Y. (2018). Analisis Karakteristik Gelombang di Perairan Pulau Enggano, Bengkulu. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 4(2): 94.
- Williams, J. J. and Esteves, L. S. (2017). Guidance on Setup, Calibration, and Validation of Hydrodynamic, Wave, and Sediment Models for Shelf Seas and Estuaries. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2017: 1-25.
- Zhou, G., Huang, J., Yue, T., Luo, Q. and Zhang, G. (2015). Temporal-Spatial Distribution of Wave Energy: A case Study of Beibu. *Renewable Energy*, Vol. 74: 344-356.

HALAMAN KOSONG