

**Article Info:**

Received 27 February 2024

Revised 11 November 2024

Accepted 10 March 2025

Corresponding Author:

Ayu Libiaty Ahmad
Department of Ocean Engineering,
Faculty of Infrastructure and
Regional Technology, Institut
Teknologi Sumatera
E-mail: ayu.ahmad@kl.itera.ac.id

© 2025 Author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) license, allowing unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided proper credit is given to the original authors.



Study of Wave Characteristics in the Waters of Batang Bay, West Kalimantan

Ayu Libiaty Ahmad^a, Trika Agnestasia Br Tarigana^{a,b}, Nada Luthfia Fajrin^a

^a Department of Ocean Engineering, Faculty of Infrastructure and Regional Technology, Institut Teknologi Sumatera, South Lampung, 35365, Indonesia

^b Department of Water Resources and Environmental Engineering (WREE) Water Engineering and Management Program, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, 12120, Thailand

Abstract

Teluk Batang Port is the economic gateway for the North Kayong Regency region and its surroundings. The port is a national asset of strategic value, so security factors from a shipping perspective need to be considered. This research was conducted to determine the characteristics of waves in the waters of Batang Bay as information in the field of sailing safety. The wind data used ECMWF (European Center For Medium-Range Weather Forecasting) data for wave hindcasting. Wave model simulation using 2D numerical model. The results of the wave model simulation based on the wind season with three observation location points were obtained, the highest H_s in the four seasons occurred at observation point 1. The highest H_s in the west season occurred in 2015 at 0.77 meters and T_s 3.17 seconds. The highest H_s transition season 1 occurred in 2021 at 0.74 meters and T_s 3.30 seconds. The highest east monsoon H_s occurred in 2018 at 0.57 meters and T_s 2.76 seconds. The highest H_s transition season 2 occurred in 2018 at 0.50 meters and T_s 2.97 seconds. The pattern of wave propagation in Batang Bay, the wave spreads from outside the bay into the bay. In the wave propagation process, the wave height will become smaller due to changes in water depth. The waves in the waters of Batang Bay are safe for sailing throughout the year.

Keywords: Batang Bay, hindcasting, model simulation, propagation, waves

Kajian Karakteristik Gelombang di Perairan Teluk Batang, Kalimantan Barat

Abstrak

Pelabuhan Teluk Batang merupakan gerbang ekonomi penting bagi Kabupaten Kayong Utara dan sekitarnya. Sebagai aset nasional strategis, aspek keselamatan pelayaran di wilayah ini perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelombang di perairan Teluk Batang sebagai informasi pendukung keselamatan pelayaran. Data angin yang digunakan berasal dari ECMWF (*European Center For Medium-Range Weather Forecasting*) dan digunakan untuk melakukan *hindcasting* gelombang. Simulasi dilakukan menggunakan model numerik dua dimensi (2D) dengan pendekatan berdasarkan musim angin. Tiga titik lokasi pengamatan dipilih untuk menganalisis variasi musiman gelombang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa titik pengamatan 1 mencatat H_s (tinggi gelombang signifikan) tertinggi pada semua musim. Pada musim barat, H_s tertinggi tercatat sebesar 0,77 meter dan T_s (periode gelombang) 3,17 detik (2015). Musim peralihan I mencatat H_s sebesar 0,74 meter dan T_s 3,30 detik (2021), sementara musim timur menunjukkan H_s sebesar 0,57 meter dan T_s 2,76 detik (2018). Pada musim peralihan II, H_s tertinggi sebesar 0,50 meter dan T_s 2,97 detik (2018). Pola penjarangan gelombang menunjukkan arah dari luar teluk menuju ke dalam, dengan penurunan tinggi gelombang seiring perubahan kedalaman. Secara umum, kondisi gelombang di Teluk Batang dinyatakan aman untuk aktivitas pelayaran sepanjang tahun.

Kata kunci: gelombang, *hindcasting*, penjarangan, simulasi model, Teluk Batang

1. Pendahuluan

Gelombang merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi kegiatan operasional transportasi kapal (Wulandari, 2022). Gelombang laut terbentuk akibat interaksi antara angin dan permukaan air laut, di mana energi dari angin ditransfer ke air sehingga menyebabkan partikel-partikel air bergerak dalam pola gelombang. Faktor seperti kecepatan dan arah angin serta lamanya angin bertiup sangat menentukan ukuran dan kekuatan gelombang yang terbentuk (Garisson, 2020). Selain angin, gelombang juga dapat disebabkan oleh aktivitas lain di laut seperti pergerakan kapal (Kurniawan et al., 2011; Nurisman dan Tarigan, 2018; Suhana et al., 2018). Beberapa faktor penting yang memengaruhi karakteristik gelombang laut antara lain durasi, kecepatan angin, *fetch*, dan kondisi laut (*sea state*). Durasi mengacu pada lamanya angin bertiup dengan kekuatan konsisten, sedangkan *fetch* adalah jarak tempuh angin di atas permukaan laut sebelum membentuk gelombang. Semakin panjang *fetch* dan semakin cepat angin, maka semakin besar potensi gelombang yang terbentuk. *Sea state* menggambarkan kondisi permukaan laut dari tenang hingga sangat bergelombang, sebagai hasil kombinasi dari faktor-faktor tersebut (Holthuijsen, 2007; Garrity, 2018; Tarigan dan Nurisman, 2018).

Salah satu wilayah pesisir yang penting untuk dikaji kondisi gelombangnya adalah Teluk Batang, yang terletak di Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat. Dengan luas area mencapai 654,77 km² dan jarak 52 km dari pusat kota, Teluk Batang memiliki tiga pelabuhan utama yaitu Pelabuhan Penyeberangan ASDP, Pelabuhan Perikanan Indonesia, dan Pelabuhan Umum Teluk Batang. Peran strategis Teluk Batang sebagai gerbang perekonomian wilayah terlihat dari alur pelayaran yang melewati Teluk Nuri dan Perairan Sukadana, yang masing-masing menjadi akses kapal dari Pontianak dan Laut China Selatan, serta dari Pulau Karimata. Di sisi lain, masih banyak kecamatan di wilayah ini yang mengandalkan sungai sebagai sarana transportasi utama (Sofitra et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa pelabuhan di Teluk Batang merupakan aset nasional yang strategis, sehingga pengamanan pelayaran menjadi aspek yang perlu diperhatikan secara serius.

Namun demikian, hingga kini belum tersedia informasi atau kajian mendalam mengenai kondisi gelombang di wilayah perairan ini. Berdasarkan Peraturan Kepala BMKG No. Kep. 009 Tahun 2010, gelombang laut signifikan dengan tinggi ≥ 2 meter dikategorikan sebagai gelombang ekstrim (Ahmad et al., 2022). Sementara itu, BNPB (2014) mencatat bahwa hampir 10 juta penduduk pesisir Indonesia berisiko terhadap ancaman gelombang ekstrim dan abrasi. Oleh karena itu, kajian mengenai karakteristik gelombang di perairan Teluk Batang menjadi penting sebagai dasar informasi untuk keselamatan pelayaran serta bahan pertimbangan dalam perencanaan pengembangan wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tinggi dan periode gelombang signifikan berdasarkan musim, menganalisis pola penjalaran gelombang, dan menentukan klasifikasi gelombang di perairan Teluk Batang.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di perairan Teluk Batang, Provinsi Kalimantan Barat (**Gambar 1**). Perairan Teluk Batang berada pada Titik Koordinat 0°58'59.884"S dan 109°46'47.053"T dengan batas-batas administrasi. Sebelah utara perairan Teluk Batang berbatasan dengan Kecamatan Seponti. Sebelah selatan perairan Teluk Batang berbatasan dengan Kecamatan Simpang Hilir. Sebelah timur perairan Teluk Batang berbatasan dengan Kecamatan Simpang Hilir. Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Pulau Maya. Pengambilan data gelombang dilakukan oleh tim survei Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL menggunakan KRI Rigel-26 pada tanggal 16 November hingga 16 Desember 2015.

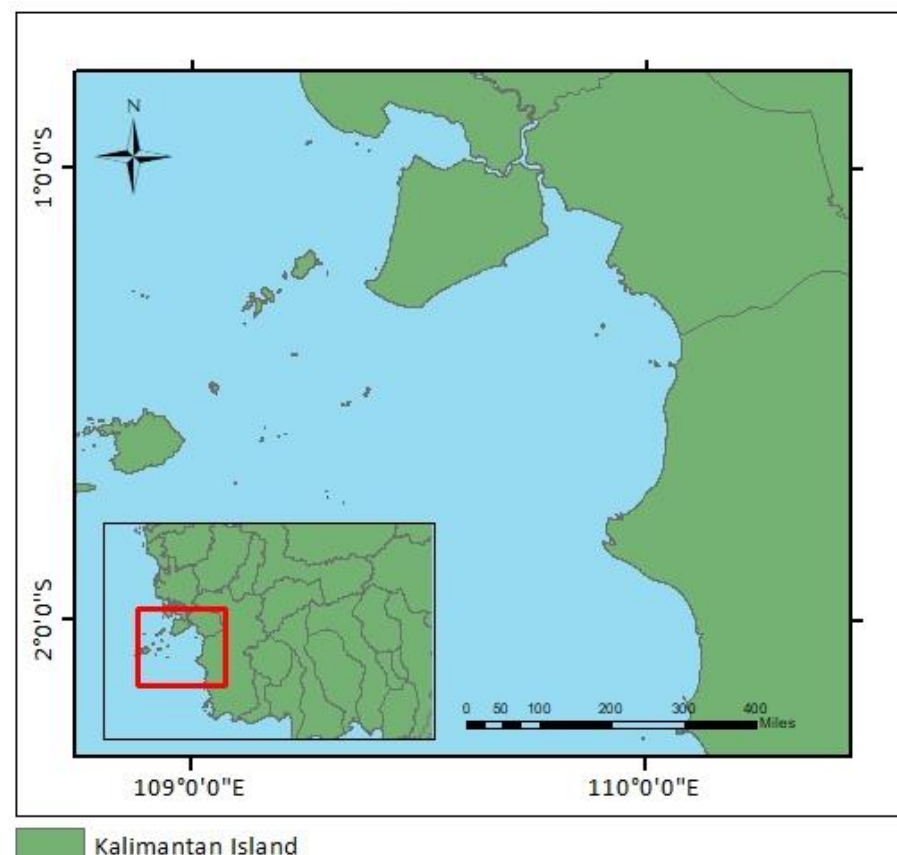


Figure 1. The research location in Batang Bay Waters includes modeling points and observation points. Batang Bay Waters are located in West Kalimantan Province.

Gambar 1. Lokasi Penelitian di perairan Teluk Batang yang mencakup titik pemodelan dan titik pengamatan. Perairan Teluk Batang berada di Provinsi Kalimantan Barat.

2.2. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dari studi literatur sampai dengan analisis berdasarkan musim angin. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.

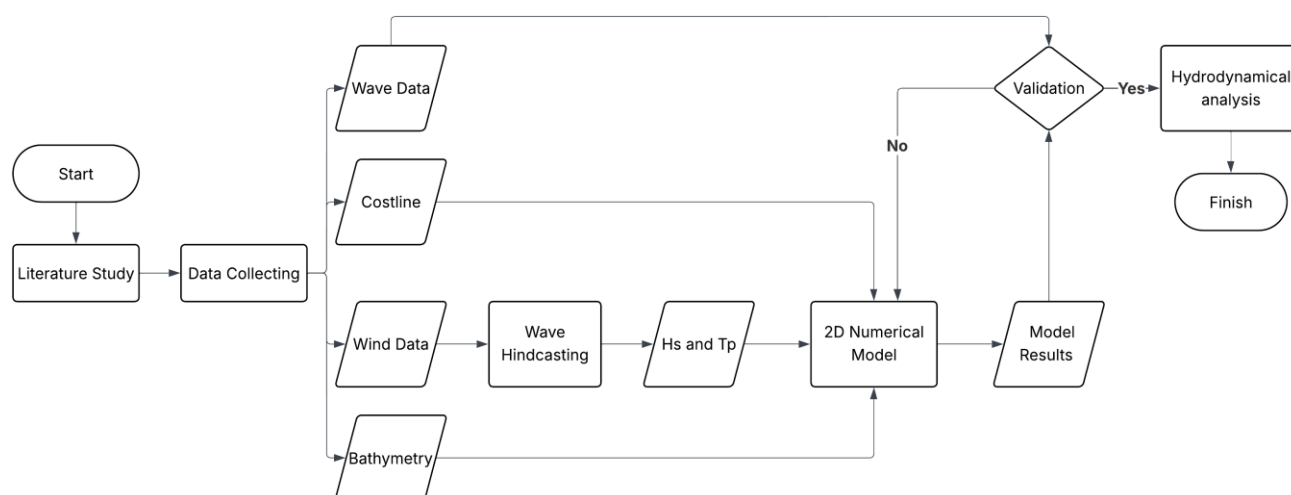


Figure 2. Flowchart of research on the study of wave characteristics in Batang Bay waters. The research uses 2D numerical modeling.

Gambar 2. Diagram alir penelitian pada pengkajian karakteristik gelombang di perairan Teluk Batang. Penelitian menggunakan pemodelan numerik 2D.

2.3. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari berbagai sumber baik primer maupun sekunder. Parameter dan sumber data penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter dan sumber data yang digunakan pada penelitian. Tabel mencakup tipe data, sumber data, dan periode data.

Table 1. Parameters and data sources used in the study. The table includes data types, data sources, and data periods.

No	Data Type	Data Source	Data Period
1	Wind Data	ECMWF	2013-2022
2	Indonesian Map No. 284B	Pushidrosal	2015
3	Bathymetry	Pushidrosal	2015
4	Shoreline	Pushidrosal	2015
5	Wave Data	Pushidrosal	16 Nov-16 Dec 2015

Description: PUSHIDROSAL is an abbreviation for Naval Hydro Oceanographic Center and ECMWF is an abbreviation for European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

2.4. Pengolahan Data

2.4.1 Peramalan Gelombang

Data angin yang telah diperoleh dari ECMWF (*European Center For Medium-Range Weather Forecasting*) dengan format (.nc) kemudian di *export* dengan menggunakan *software* ODV untuk menghasilkan nilai kecepatan angin, arah datang angin dan arah angin bertiup. Data angin tersebut diinput pada *software* WRPlot untuk memperoleh arah angin dominan. Kondisi arah angin dominan akan disajikan dalam bentuk *windrose* (mawar angin).

Titik koordinat *fetch* yaitu $X = 109,71$ dan $Y = -1,53$. Pembuatan garis *fetch* yaitu dengan membuat garis yang ditarik dari titik koordinat *fetch* dengan interval 5° pada sudut 45° pada setiap arahnya sampai mencapai daratan, sehingga dalam satu arah mata angin terdapat 9 buah garis *fetch*. Pada penelitian ini *fetch* dibuat pada arah tenggara, selatan, barat daya, barat dan barat laut. Setelah membuat garis *fetch* selanjutnya yaitu menghitung panjang nilai *fetch* efektif dengan menggunakan persamaan berikut (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984) (Triatmodjo, 1999):

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (1)$$

F_{eff} merupakan *Fetch* rerata efektif, X_i merupakan Panjang *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*, dan α merupakan sudut antara arah yang diukur dengan garis *fetch* ($^\circ$). Proses peramalan gelombang membutuhkan nilai panjang *fetch* efektif yang telah didapatkan dari Persamaan 1. Setelah mendapatkan nilai panjang *fetch* efektif, proses peramalan gelombang dapat dilakukan dengan tahapan pertama yaitu mengetahui kondisi pembentukan gelombang termasuk sempurna (*fully developed sea*) atau tidak sempurna (*non fully developed sea*) dengan menggunakan persamaan berikut (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984):

$$\frac{g t_d}{c_A} = 68,8 \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7,15 \times 10^4 \quad (2)$$

Apabila perhitungan menunjukkan nilai lebih dari $7,15 \times 10^4$, maka dapat dikatakan gelombang terbentuk dengan sempurna, sehingga selanjutnya dapat dilakukan perhitungan tinggi gelombang serta periode gelombang menggunakan persamaan berikut (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984):

$$H_{mo} = \frac{0,23433 \times U_A}{g} \quad (3)$$

$$T_p = 8,134 \frac{U_A}{g} \quad (4)$$

Apabila perhitungan menunjukkan nilai kurang dari $7,15 \times 10^4$, maka dapat dikatakan gelombang terbentuk dengan tidak sempurna, sehingga perlu diketahui kondisi gelombang terbatas *fetch* (*fetch limited*) atau terbatas durasi (*duration limited*). Persamaan yang digunakan untuk menentukan adalah berikut (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984):

$$\frac{gt_c}{U_A} = 68,8 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{2/3} \frac{U_A}{g} \leq t_d \quad (5)$$

Apabila $t_d < t_c$ maka gelombang terbatas durasi, dan apabila $t_d > t_c$ maka gelombang terbatas *fetch*. Selanjutnya, apabila gelombang terbatas durasi, perhitungan tinggi dan periode gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984):

$$F_{min} = \frac{U_A}{g} \left(\frac{gt_d}{68,8 \times U_A} \right)^{3/2} \quad (6)$$

$$H_{mo} = 0,0016 \left(\frac{gF_{min}}{U_A^2} \right)^{1/2} \frac{U_A^2}{g} \quad (7)$$

$$T_p = 0,2857 \left(\frac{gF_{min}}{U_A^2} \right)^{1/3} \frac{U_A}{g} \quad (8)$$

Apabila gelombang terbatas *fetch*, perhitungan tinggi dan periode gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984):

$$H_{mo} = 0,0016 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{1/2} \frac{U_A^2}{g} \quad (9)$$

$$T_p = 0,2857 \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{1/3} \frac{U_A}{g} \quad (10)$$

2.4.2. Simulasi Model Gelombang

Equations Simulasi model gelombang dilakukan selama 10 tahun yaitu tahun 2013-2022. Hasil simulasi model gelombang divalidasi dengan data lapangan PUSHIDROSAL untuk mengetahui nilai *RMSE* (*root mean square error*). Selanjutnya hasil simulasi model gelombang akan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan. Simulasi model gelombang terbagi menjadi 3 tahap, yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

Pre-processing adalah tahap awal dalam melakukan simulasi model gelombang. Pada tahap ini dilakukan pembuatan *Mesh*. *Mesh* adalah batasan area dari simulasi model gelombang dengan fungsi yaitu membaca data garis pantai, batimetri dan *open boundary* yang menjadi inputan dalam pemodelan. Dalam proses pembuatan *mesh* diperlukan inputan data garis pantai, batimetri dan *open boundary* dalam bentuk format (.xyz).

Processing merupakan tahap saat melakukan simulasi model gelombang. Pada tahap ini modul yang digunakan adalah modul *spectral wave*. *Output* dari simulasi model gelombang dengan modul *spectral wave* adalah Model gelombang tahun 2013-2022, Tinggi gelombang signifikan tahun 2013-2022, Periode gelombang tahun 2013-2022, dan Arah gelombang tahun 2013-2022.

Post-processing merupakan tahap akhir dalam melakukan simulasi model gelombang. Tahap ini dilakukan setelah mendapatkan hasil dari tahap *processing*.

2.4.3. Validasi Data Gelombang

Validasi data hasil simulasi model gelombang dengan data PUSHIDROSAL dilakukan untuk mengetahui akurasi dari kedua data tersebut. Validasi data pada penelitian ini yaitu menggunakan metode *RMSE* (*root mean square error*). *RMSE* adalah metode yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi dari prediksi suatu model. Hasil nilai dari *RMSE* merupakan nilai rata-rata kuadrat dari jumlah kesalahan pada model prediksi. Metode *RMSE* memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan nilai absolut seperti *MAE* (*mean absolute error*) dan memperhitungkan bobot seperti *MSE* (*mean square error*) sehingga metode evaluasi yang paling banyak digunakan dalam penelitian dan studi yang berkaitan dengan prediksi. Hasil nilai *RMSE* diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Khotimah et al., 2020).

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - x_i)^2}{N}} \quad (11)$$

X_i merupakan data hasil pengukuran, x_i merupakan data hasil simulasi numerik, dan N merupakan banyak data yang digunakan. Klasifikasi nilai *RMSE* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai *RMSE* untuk validasi hasil model dan data lapangan (Putra dan Danar, 2019). Dibagi menjadi 4 klasifikasi yaitu kecil, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

Table 2. Classification of RMSE Values for validation of model results and field data (Putra and Danar, 2019). Divided into 4 classifications, namely small, medium, high, and very high.

<i>RMSE</i>	<i>Presentasian (%)</i>	<i>Error Rate</i>
0.00-0.299	0-29	<i>Small</i>
0.30-0.599	30-59	<i>Moderate</i>
0.60-0.899	60-89	<i>High</i>
>0.9	>90	<i>Very High</i>

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Peramalan Gelombang

Simulasi model gelombang membutuhkan data berupa tinggi gelombang signifikan (H_s), periode gelombang (T_s), dan arah gelombang yang seluruhnya didapatkan dari hasil peramalan gelombang. Proses peramalan gelombang ini sendiri memerlukan input data angin dan *fetch* efektif. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai *fetch* efektif teridentifikasi pada arah tenggara sepanjang 8,43 kilometer, arah selatan sepanjang 200 kilometer, arah barat daya sepanjang 196,41 kilometer, arah barat sepanjang 112,65 kilometer, dan arah barat laut sepanjang 11,18 kilometer (**Gambar 3**).

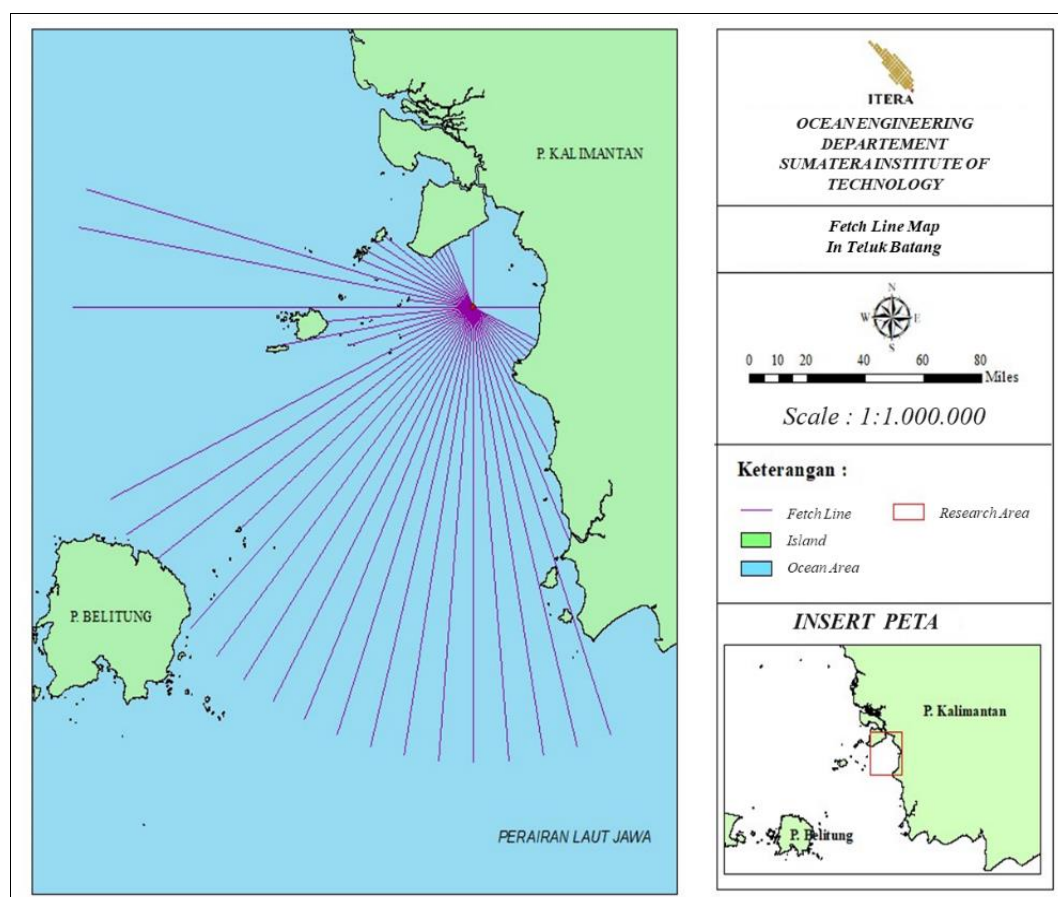


Figure 3. Fetch line map in Batang Bay Waters. Fetch lines are used for wave forecasting.

Gambar 3. Peta garis *fetch* di perairan Teluk Batang. Garis *fetch* digunakan untuk peramalan gelombang.

3.2. Simulasi Model Gelombang

Dalam simulasi model gelombang menggunakan pemodelan numerik dua dimensi tahap pertama yang dilakukan yaitu membuat batasan area pemodelan (domain model). Pembuatan batasan area pemodelan yaitu dengan memasukkan data batimetri, garis pantai serta *boundary* dengan format (.xyz). Pada penelitian ini, data batimetri, garis pantai dan *boundary* diperoleh melalui proses digitasi pada Peta Indonesia Nomor 284B Tahun 2015. Peta batimetri perairan Teluk Batang dalam bentuk *mesh* dan *boundary* model ditunjukkan pada **Gambar 4**, dengan kedalaman area pemodelan antara 0 hingga 10,4 meter. Sedangkan hasil pemodelan gelombang di perairan Teluk Batang (**Gambar 5**) menunjukkan nilai tinggi gelombang signifikan dari 2013–2022, berkisar antara 0,025 m di pantai hingga 0,325 m menuju lepas pantai.

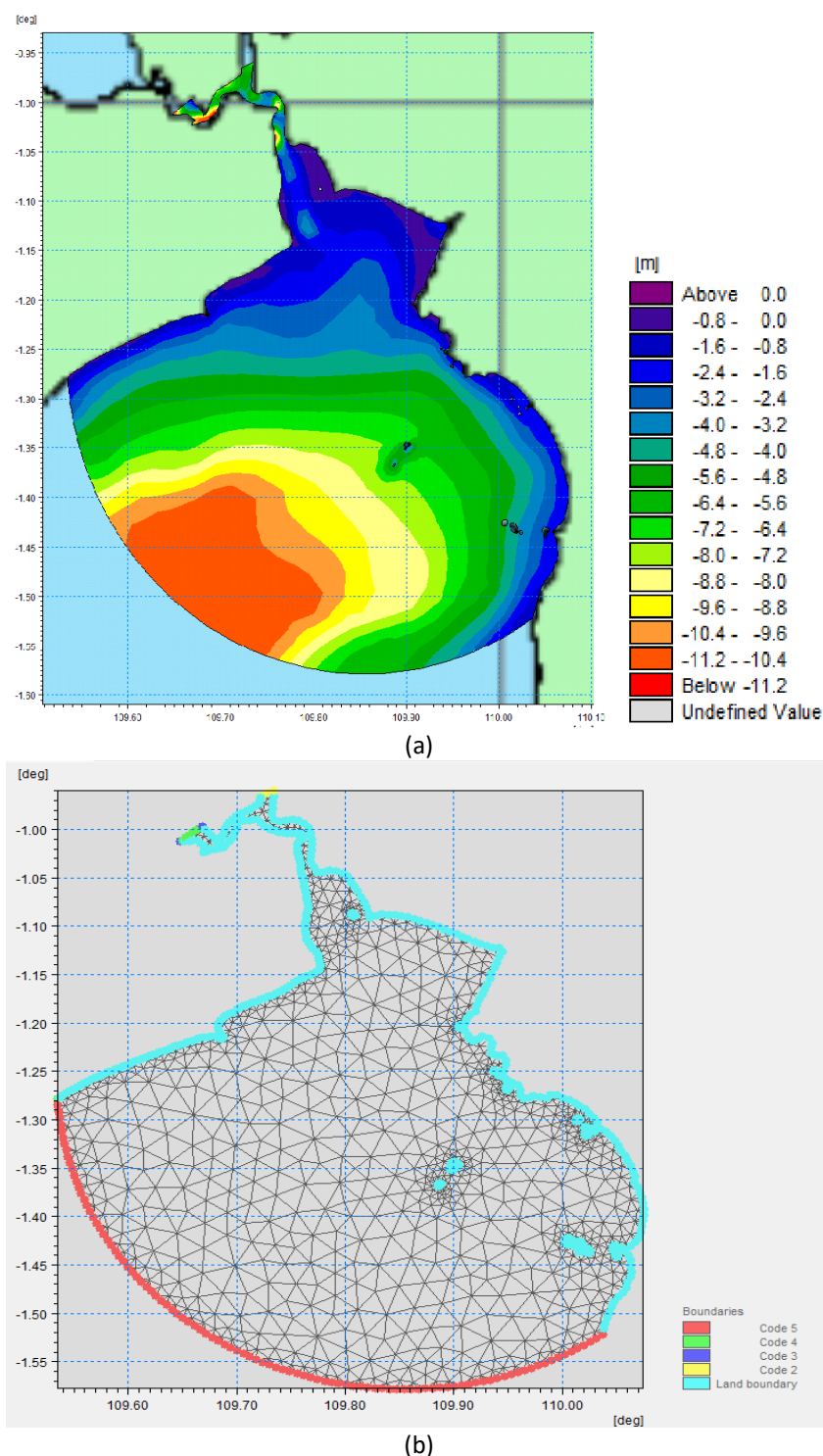
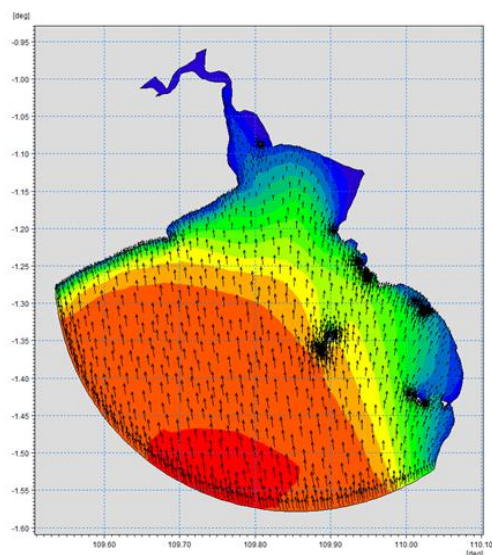


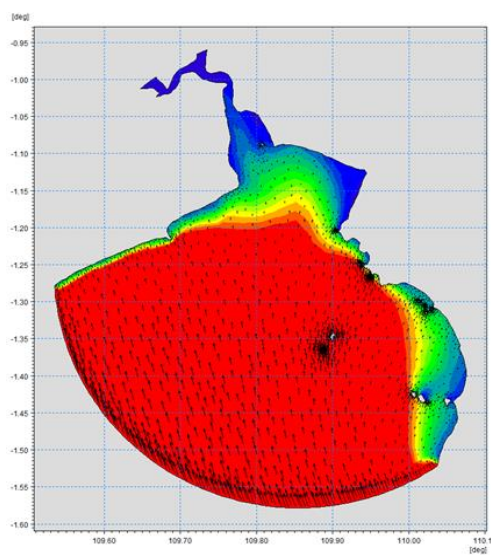
Figure 4. (a) Bathymetry of Batang Bay Waters in 2015 and (b) Mesh and boundary model. Both are used as model parameters.

Gambar 4. (a) Batimetri perairan Teluk Batang tahun 2015 dan (b) Mesh dan boundary model. Keduanya digunakan sebagai parameter model.

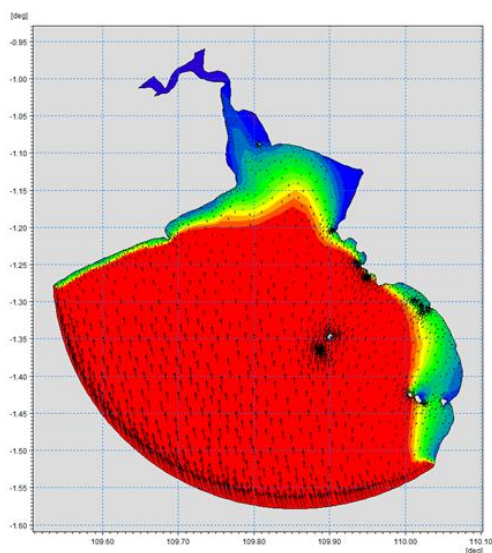
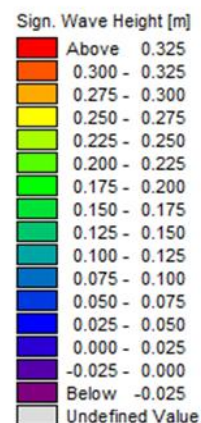
Gambar 5 dan **Gambar 6** menunjukkan pada musim barat arah gelombang dominan tahun 2015 dan 2022 di titik pengamatan 1 yaitu berasal dari tenggara. Pada musim peralihan 1 arah gelombang dominan tahun 2015 berasal dari barat laut sedangkan tahun 2022 berasal dari tenggara. Pada musim timur arah gelombang dominan 2015 dan 2022 yaitu berasal dari barat laut. Pada musim peralihan 2 arah gelombang dominan tahun 2015 dan 2022 yaitu berasal dari tenggara. Hal ini telah sesuai dengan arah angin dominan yang berhembus di perairan Teluk Batang yaitu dari arah barat laut dan tenggara.



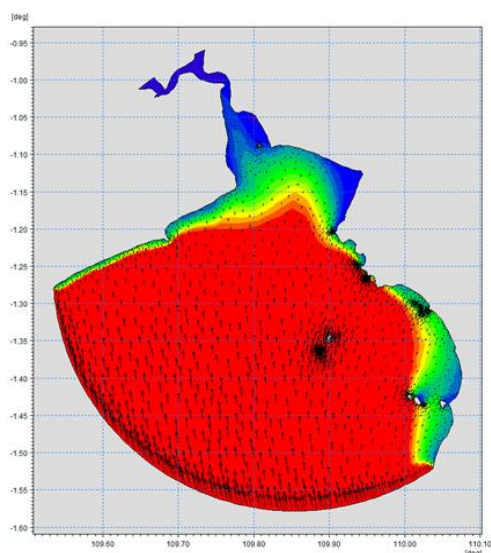
(a)



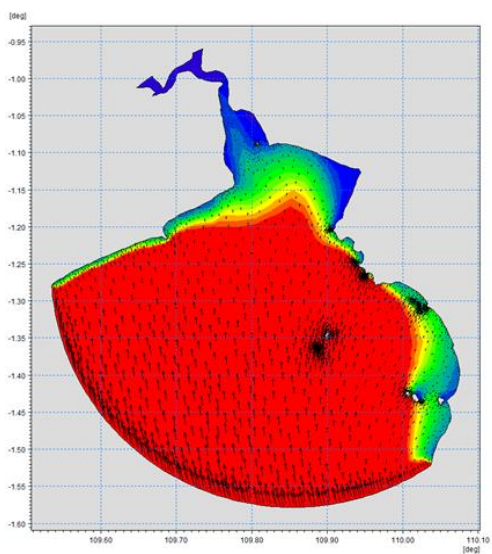
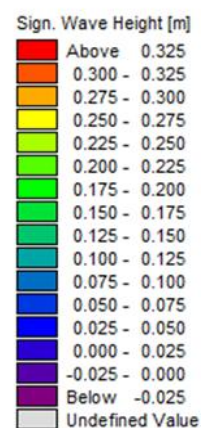
(b)



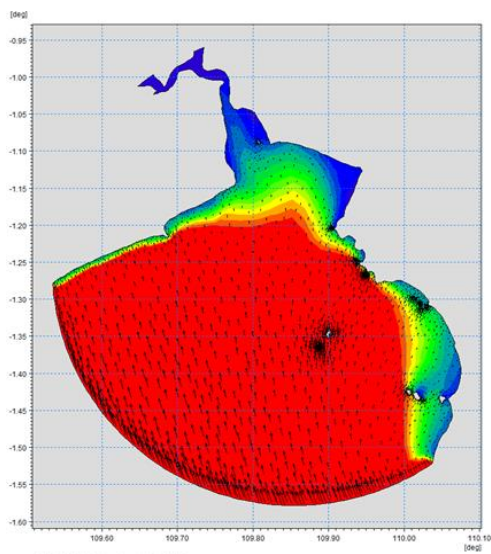
(c)



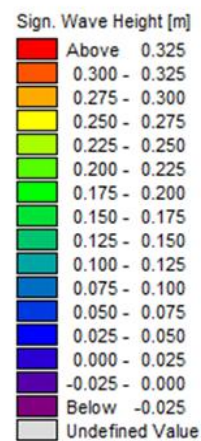
(d)



(e)



(f)



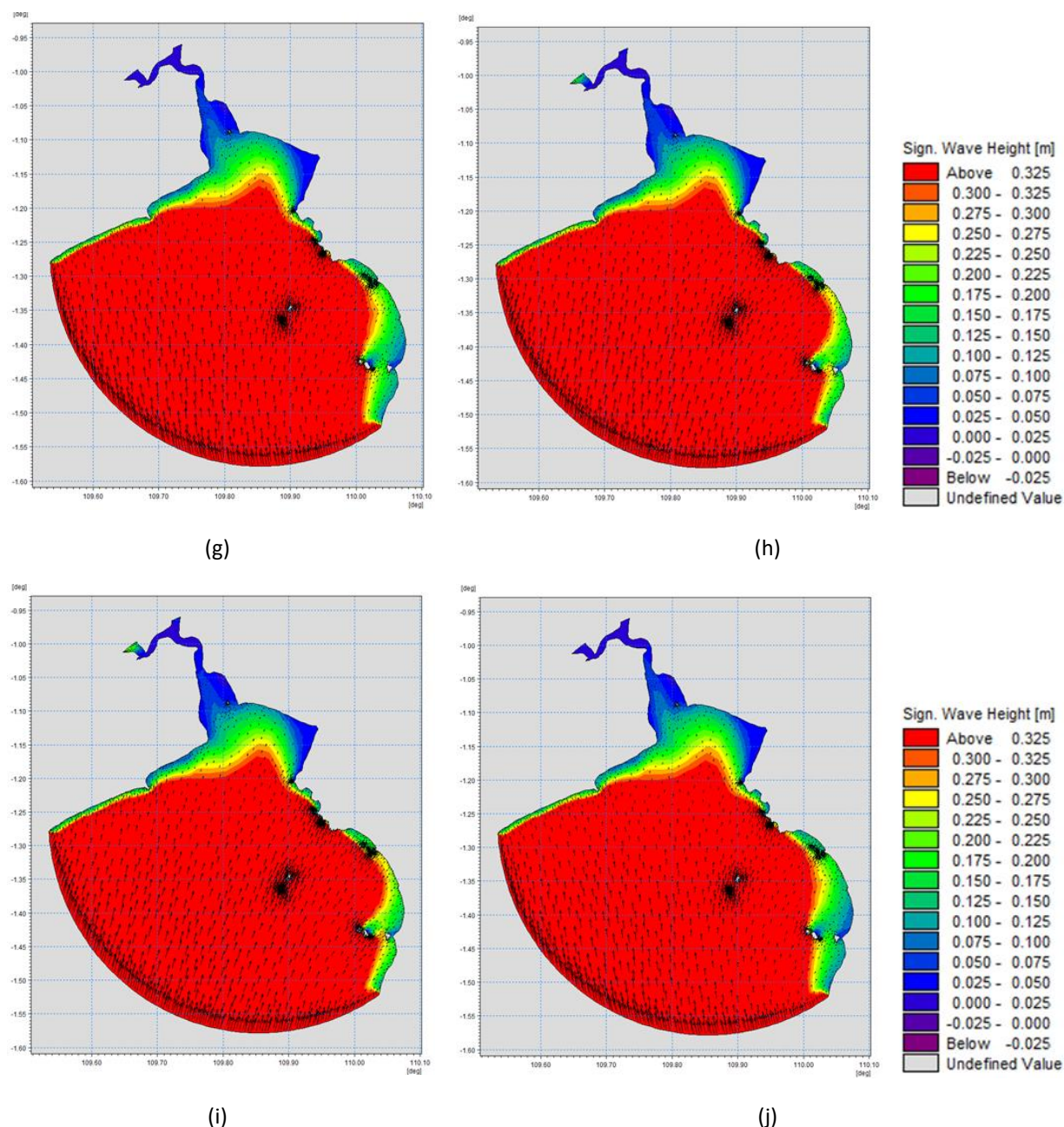


Figure 5. H_{max} of Batang Bay Waters (a) 2013, (b) 2014, (c) 2015 (d) 2016, (e) 2017, (f) 2018, (g) 2019, (h) 2020, (i) 2021, and (j) 2022.

Gambar 5. H_{max} perairan Teluk Batang (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2014, (c) Tahun 2015 (d) Tahun 2016, (e) Tahun 2017, (f) Tahun 2018, (g) Tahun 2019, (h) Tahun 2020, (i) Tahun 2021, dan (j) Tahun 2022.

Gambar 6, menunjukkan bahwa nilai H_s akan semakin rendah seiring dengan kedalaman perairan yang semakin dangkal. Perbedaan H_s disebabkan karena lokasi penelitian berada di perairan teluk. Semakin kedalam teluk, kedalaman perairan semakin dangkal. Hal ini sama seperti penelitian yang dilakukan Arianty et al (2017) pada tahun 2017 di perairan Teluk Palu, bahwa tinggi gelombang akan semakin rendah seiring dengan kedalaman perairan yang semakin dangkal.

Hasil simulasi gelombang per-tahun berdasarkan musim angin, yaitu musim barat pada bulan Desember, Januari, Februari, musim peralihan 1 yaitu bulan Maret, April, Mei, musim timur yaitu Juni, Juli, Agustus dan musim peralihan 2 yaitu September, Oktober, November. Nilai H_s tertinggi dan T_s pada setiap musim dapat dilihat pada **Tabel 3**. Tabel menunjukkan bahwa musim Barat

memiliki gelombang tertinggi (0,77 meter) dan periode gelombang relatif panjang, sementara musim Peralihan II memiliki gelombang terendah (0,50 meter). Secara umum, tinggi gelombang cenderung menurun dari musim Barat ke musim Timur dan Peralihan, dengan periode gelombang bervariasi tanpa tren yang konsisten.

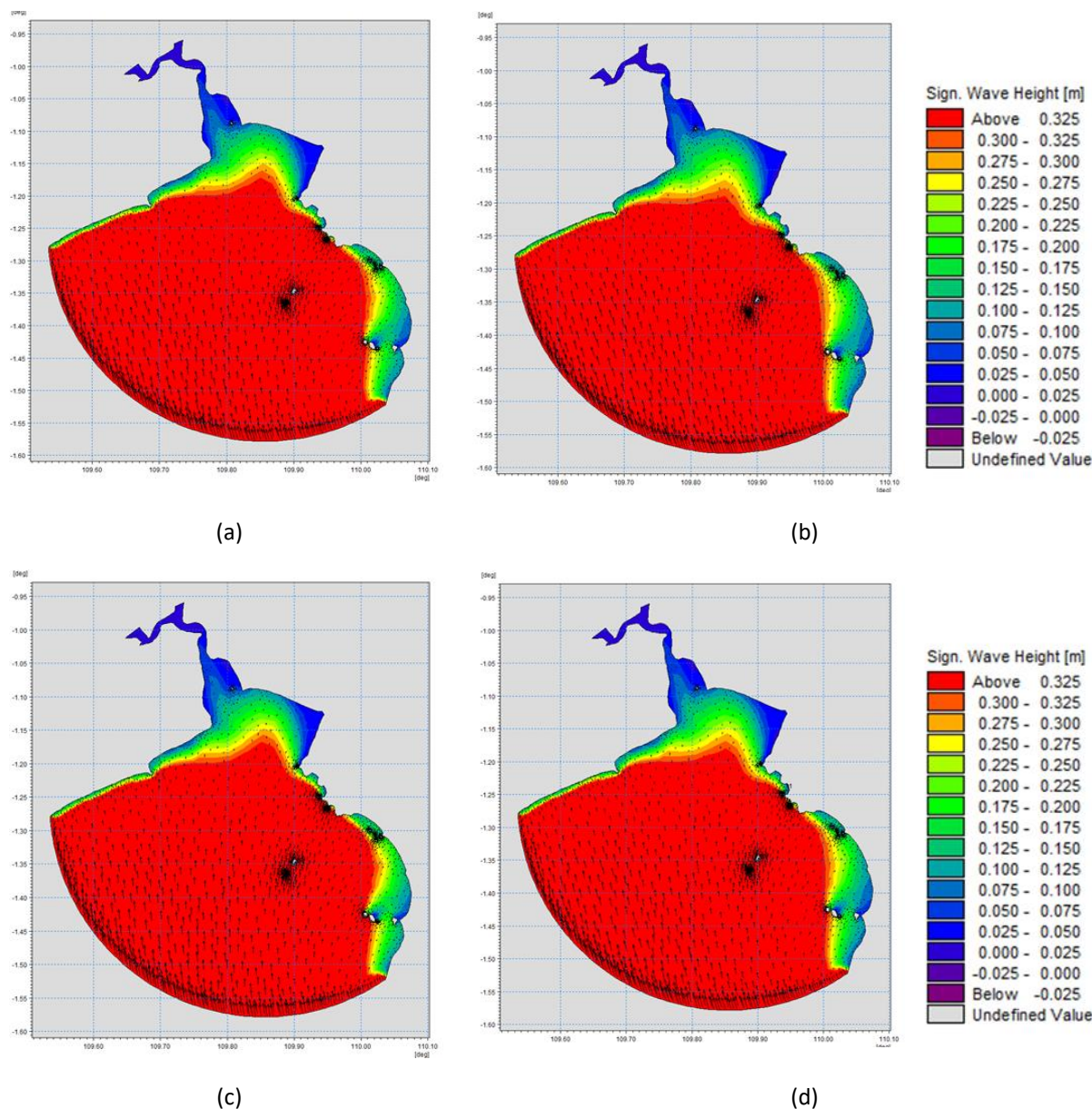


Figure 6. H_{max} average over ten years (a) west season, (b) transition season i, (c) east season, and (d) transition season ii.

Gambar 6. H_{max} rata-rata dalam sepuluh tahun (a) musim barat, (b) musim peralihan i, (c) musim timur, dan (d) musim peralihan ii.

Tabel 3. Nilai H_s di Teluk Batang berdasarkan musim. Klasifikasi musim yang digunakan pada analisis adalah Barat, Peralihan I, Timur, dan Peralihan II.

Table 3. The H_s value in Batang Bay is based on the season. The season classification used in the analysis is West, Transition I, East, and Transition II.

Season	H_s (meter)	T_s (second)	Year
West	0.77	3.17	2015
Transitional I	0.74	3.3	2021
East	0.57	2.76	2018
Transitional II	0.50	2.97	2018

Nilai H_s berdasarkan titik pengamatan dan berdasarkan musim, menunjukkan pada titik pengamatan 1 yaitu titik *fetch* nilai H_s lebih besar dibandingkan pada titik pengamatan 2 dan 3. Hal ini dikarenakan posisi titik pengamatan 1 berada pada mulut teluk sedangkan titik pengamatan 2 dan 3 berada di dalam teluk. Ketiga titik pengamatan memiliki kedalaman yang berbeda, pada titik pengamatan 1 kedalaman perairan yaitu 11 meter, titik pengamatan 2 yaitu 5,3 meter dan titik pengamatan 3 yaitu 2,6 meter.

Hasil penelitian menunjukkan pola penjalaran gelombang di perairan Teluk Batang pada setiap musim, gelombang menjalar dari luar teluk yaitu arah selatan kemudian masuk ke dalam teluk yaitu ke arah utara dan diduga mengalami pembelokkan arah gelombang akibat terhalang gugusan pulau di sebelah timur laut yaitu Pulau Juante dan Pulau Katung, lalu pada sebelah timur yaitu Pulau Sempadi Laut, Pulau Sempadi Besar, Pulau Sempadi Kecil dan Pulau Cempedak. Pada proses penjalaran gelombang, ketinggian gelombang akan semakin kecil karena perubahan kedalaman perairan.

Tipe gelombang perairan Teluk Batang mengacu pada H_s dan T_s tertinggi pada empat musim selama 10 tahun (2013-2022) dapat dilihat pada **Tabel 4**. Tabel tersebut menunjukkan tipe gelombang di perairan Teluk Batang pada empat musim yaitu musim barat, peralihan 1, timur dan musim peralihan 2 pada tahun 2013-2022 yaitu termasuk kedalam tipe gelombang perairan dalam. Berikut merupakan klasifikasi gelombang berdasarkan nilai H_s tertinggi dari tahun 2013-2022.

Berdasarkan klasifikasi BMKG, gelombang di perairan Teluk Batang dari tahun 2013-2022 termasuk kedalam klasifikasi gelombang tenang dan gelombang rendah dengan presentase gelombang tenang 60% dan gelombang rendah 40% dari keseluruhan data yang ada. Berdasarkan hasil pemodelan dan pengklasifikasian BMKG tersebut, perairan Teluk Batang aman untuk dilakukan aktivitas pelayaran sepanjang tahun dan perahu nelayan (kapal berukuran kecil) dapat melakukan aktivitas pelayaran karena tinggi gelombangnya kurang dr 1,25m (BMKG, 2019). Disamping itu **Tabel 5** menginformasikan klasifikasi gelombang perairan Teluk Batang berdasarkan klasifikasi gelombang menurut BMKG.

Tabel 4. Tipe gelombang perairan Teluk Batang berdasarkan kedalaman relatif. Analisis berdasarkan musim yaitu musim barat, Peralihan I, timur, dan Peralihan II.

Table 4. Batang Bay Water wave types based on relative depth. Analysis based on seasons, west, transition i, east, and transition ii seasons.

Season	Year	Wave Parameter					Wave type
		H_s (m)	T_s (s)	d (m)	L (m)	d/L	
West	2015	0.77	3.17	11	15.685	0.701	Deep water wave
Transitional I	2021	0.74	3.30	11	16.993	0.647	Deep water wave
East	2018	0.57	276	11	11.893	0.924	Deep water wave
Transitional II	2020	0.54	2.97	11	13.771	0.798	Deep water wave

Description: H_s is the significant wave height, T_s is the significant wave period, d is the water depth, and L is the wavelength.

Tabel 5. Klasifikasi gelombang perairan Teluk Batang berdasarkan (BMKG, 2019). Analisis dilaksanakan pertahun dari tahun 2013-2022.

Table 5. Classification of waves in Batang Bay waters based on BMKG (2019). The analysis was carried out annually from 2013-2022.

Year	H_s	T_s	Season	Wave Classification
2013	0.21	2.02	Transitional I	Calm Waves
2014	0.37	2.53	East	Calm Waves
2015	0.77	3.17	West	Calm Waves
2016	0.49	2.70	West	Calm Waves
2017	0.47	2.64	Transitional II	Calm Waves
2018	0.57	2.76	East	Calm Waves
2019	0.46	0.46	Transitional II	Calm Waves
2020	0.50	2.81	Transitional I	Calm Waves
2021	0.74	3.30	Transitional II	Calm Waves
2022	0.42	2.77	East	Calm Waves

3.3. Validasi Data Gelombang

Data yang digunakan untuk validasi gelombang merupakan data gelombang hasil survei oleh PUSHIDROSAL menggunakan KRI Rigel-26 dan alat RBR Duo, Data Validasi memuat data gelombang pada tanggal 16 November pukul 00,00 hingga 16 Desember pukul 10:00 tahun 2015 sejumlah 731 data dengan interval data 1 jam di perairan Teluk Batang, Kalimantan Barat (**Gambar 7**). Titik lokasi validasi berada pada koordinat $X = 109,9241^\circ$ dan $Y = -1,2731^\circ$. Hasil perhitungan menggunakan metode RMSE menunjukkan nilai *error* sebesar 0,1661 (16%), Sesuai dengan klasifikasi nilai RMSE pada **Tabel 2**, tingkat kesalahan 0-29% termasuk ke dalam kesalahan yang kecil sehingga hasil pemodelan gelombang dapat digunakan.

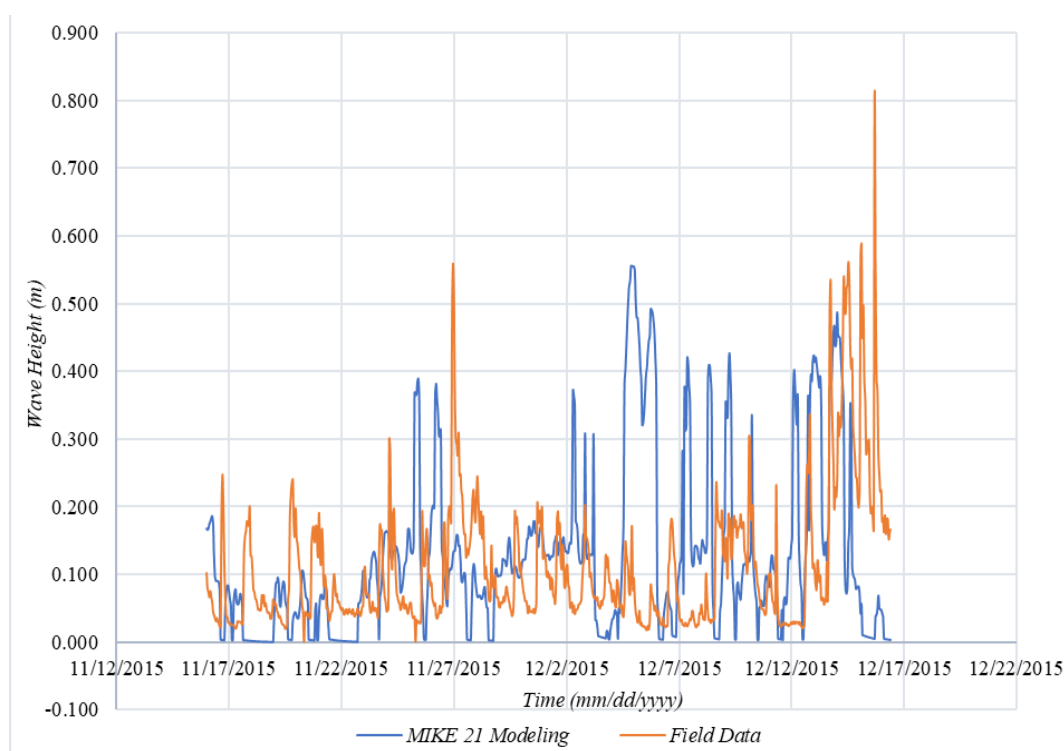


Figure 7. Comparison chart of wave height data from field measurements and model result data. The blue line shows the model results and the orange line shows the field results.

Gambar 7. Grafik perbandingan data tinggi gelombang dari pengukuran lapangan dan data hasil model. Garis biru menunjukkan hasil model dan garis jingga menunjukkan data lapangan.

4. Kesimpulan

Perairan Teluk Batang menunjukkan karakteristik gelombang yang relatif tenang, ditandai dengan nilai tinggi dan periode gelombang yang rendah sepanjang tahun. Analisis musiman menunjukkan adanya peningkatan tinggi dan periode gelombang selama musim Barat dan musim Timur dibandingkan dengan musim Peralihan I dan II, meskipun peningkatan tersebut tetap berada dalam kategori gelombang rendah. Selama periode pengamatan dari tahun 2013 hingga 2022, pola penjalaran gelombang di wilayah ini terpantau stabil tanpa menunjukkan perubahan yang signifikan. Berdasarkan klasifikasi, gelombang di perairan Teluk Batang termasuk dalam kategori gelombang tenang (*calm waves*), yang menjadikan wilayah ini memiliki potensi besar untuk mendukung berbagai aktivitas kelautan. Kondisi perairan yang stabil sangat mendukung keberlanjutan kegiatan seperti perikanan, transportasi laut berskala kecil, serta pengembangan sektor wisata bahari.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola Pusat Hidro Oseanografi TNI AL atas bantuan dan kerjasamanya dalam membimbing penelitian dan penggunaan data lapangan sebagai data validasi pemodelan.

Daftar Pustaka

- Ahmad, A. L., Nurisman, N., Achiari, H., & Setiawati, E. (2022). Kajian karakteristik gelombang di Kecamatan Bumi Waras, Lampung. *Marine and Fisheries Science Technology Journal*, 3, 55–67. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/marlin>
- Arianty, N., Yutdam, M., & Rahman, A. (2017). Pemodelan refraksi gelombang dan analisis karakteristik gelombang laut di perairan Teluk. *Jurnal Oseanografi*, 16(2), 23–30.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019). *Katalog tsunami Indonesia*.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2014). *Rencana nasional penanggulangan bencana*.
- Garrison, T. (2020). *Oceanography: An invitation to marine science* (9th ed.). Wadsworth Publishing Company.
- Garrrity, C. (2018). *Introduction to oceanography*. Pearson.
- Holthuijsen, L. H. (2007). *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press.
- Khotimah, K., Sadik, K., & Rizki, A. (2020). Kajian regresi kekar menggunakan metode penduga-MM dan kuadrat median terkecil. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, 4(1), 97–115. <https://doi.org/10.29244/ijsa.v4i1.502>
- Kurniawan, R., Habibie, M., & Suratno. (2011). Variasi bulanan gelombang laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3), 221–232. <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i3.104>
- Nurisman, N., & Tarigan, T. A. (2018). Study of protection structures planning for Krui Beach, Pesisir Barat Regency, Lampung Province. *Journal of Science and Applicative Technology*, 2(1), 162–168. <https://doi.org/10.35472/281420>
- Putra, H., & Danar, G. (2019). Analisis arus dan transpor sedimen menggunakan pemodelan hidrodinamika 3 dimensi (Studi kasus: Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku). *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 124–129.
- Sofitra, M., Hidayat, D. N., Pepy, A., Ribuwansyah, M. F., & Dedi, W. (2017). Sistem logistik sungai dan laut di wilayah pesisir: Studi kasus Kab. Kubu Raya dan Kab. Kayong Utara. *Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi 2017*, Universitas Tanjungpura.
- Suhana, M. P., Nurjaya, I. W., & Natih, N. M. (2018). Karakteristik gelombang laut Pantai Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau tahun 2005–2014. *Dinamika Maritim*, 6(2), 16–19. <https://ojs.umrah.ac.id/index.php/dinamikamaritim/article/view/317>
- Tarigan, T. A., & Nurisman, N. (2018). Coastal processes and longshore transport along Krui Coast, Pesisir Barat of Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 2(1), 71–76. <https://doi.org/10.35472/281471>
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik pantai*. Beta Offset.
- United States Army Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center. (1984). *Shore protection manual*. U.S. Government Printing Office.
- Wulandari, S. (2022). Pengaruh gelombang dan angin terhadap analisis alur pelayaran di Selat Bali pada bulan Mei dan Juni tahun 2016. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 33–37.