

Studi Penjalaran Gelombang Laut di Pulau Panjang, Kabupaten Jepara

Tri Widya Laksana Putra*, Muhammad Zainuri, Denny Nugroho Sugianto

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, 50275
Email: laksana.putra24@gmail.com

Abstrak

Pulau Panjang terletak di sebelah barat pantai Kota Jepara memiliki luas wilayah teritorial 30 Ha dan dimanfaatkan sebagai wisata pulau, wisata ziarah, dan lokasi penangkapan ikan. Kombinasi kondisi gelombang ekstrim dan air pasang mengakibatkan tekanan kuat di pesisir Pulau Panjang sehingga menimbulkan kerusakan pada fasilitas wisata. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan adanya analisis mengenai karakteristik penjalaran gelombang laut untuk menunjang segala jenis kegiatan masyarakat. Analisis penjalaran gelombang dilakukan melalui pendekatan pemodelan numerik hidrodinamika dua dimensi (*two-dimensional hydrodynamic model*). Data primer yang digunakan adalah data pengukuran langsung nilai gelombang menggunakan instrument *Acoustic Doppler Current Profiler* dan pengukuran langsung data batimetri menggunakan instrument *single-beam echosounder*. Data sekunder meliputi data angin (1999 – 2019) yang didapatkan dari portal unduh data di www.ogimet.com, data pasang surut BMKG dan data batimetri dari Badan Informasi Geospasial. Tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode signifikan (T_s) didapatkan dari konversi data angin menjadi nilai H_s dan T_s dengan metode DNS. Nilai H_s dan T_s maksimal setiap arah mata angin mmenjadi input perhitungan model hidrodinamika. Hasil spasial penjalaran gelombang tertinggi terjadi pada arah datang gelombang dari arah timur laut, tenggara dan barat. Penjalaran gelombang di Pulau Panjang menciptakan daerah terlindung di sisi seberang dari arah datang gelombang dan saat gelombang endekati pantai penjalaran gelombang mengikuti kontur garis pantai diikuti dengan melemahnya kecepatan rambat gelombang.

Kata kunci: Pulau Panjang, Penjalaran gelombang, Pemodelan numerik.

Abstract

Wave Propagation Study in Panjang Island, Jepara Regency

Panjang Island is located on the west coast of Jepara City and has a territorial area of 30 hectares and is used as island tourism, pilgrimage tours, and fishing locations. The combination of extreme wave conditions and high tide resulted in strong force on the coast of Panjang Island causing damage to tourist facilities. Based on this, it is necessary to have an characteristics analysis of the sea waves propagation to support all types of community activities. Analysis of the propagation of the waves was carried out using a two-dimensional hydrodynamic model approach. The primary data used are direct measurement data of wave values using the Acoustic Doppler Current Profiler instrument and direct measurement of bathymetric data using a single-beam echosounder instrument. Secondary data includes wind data (1999 - 2019) obtained from the data download portal at www.ogimet.com, BMKG tidal data and bathymetry data from the Geospatial Information Agency. Significant wave height (H_s) and significant period (T_s) are obtained from the conversion of wind data into H_s and T_s values using the DNS method. The maximum H_s and T_s values for each cardinal direction are the input for calculating the hydrodynamic model. The highest spatial results of wave propagation occur in the coming direction of waves from the northeast, southeast and west. The wave propagation in Panjang Island creates a protected area on the opposite side from the direction of the waves coming and when the waves approach the coast the propagation of the waves follow the contours of the coastline followed by a weakening of the wave propagation speed.

Keywords: Panjang Island, Wave Propagation, Numerical Modelling

PENDAHULUAN

Pulau Panjang merupakan pulau kecil yang terletak 2 mil sebelah barat pantai Kota Jepara (Indarjo dan Wijatmoko, 2004) dengan batas koordinat $05^{\circ}40' - 05^{\circ}57'$ LS dan $110^{\circ}04' - 110^{\circ}40'$ dan memiliki luas wilayah teritorial 30 Ha (Suryono *et al.*, 2017). Ekosistem di Pulau Panjang meliputi ekosistem terumbu karang, lamun, dan mangrove dengan substrat dasar pasir, lumpur dan pecahan karang yang menjadikan Pulau Panjang sebagai destinasi wisata bahari (Sugianto *et al.*, 2019). Pendapat tersebut di perkuat oleh Suryono *et al.* (2017) mengungkapkan pemanfaatan Pulau Panjang telah berkembang ke arah wisata pulau, wisata ziarah, dan lokasi penangkapan ikan. Pulau Panjang ditetapkan sebagai kawasan Taman Pesisir, atau Taman Pulau – Pulau Kecil dengan nama kawasan Taman Pulau Kecil Pulau Panjang Kabupaten Jepara melalui SK Bupati Jepara No. 522.5.2/728 tahun 2013.

Komposisi garis pantai Pulau Panjang terdiri atas pantai berpasir di sebelah timur dan selatan. Pantai berpasir dengan batuan di sebelah barat dan utara. Garis pantai dengan komposisi pantai berpasir di sisi timur Pulau Panjang lebih rentan mengalami abrasi saat gelombang ekstrem dari arah timur (Sugianto *et al.*, 2019). Hal ini dapat diperparah saat kondisi air pasang. Permukaan air Pulau Panjang dikategorikan dalam jenis pasang surut condong harian tunggal yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Menurut Ismanto *et al.* (2009), pasang surut merupakan salah satu parameter yang dapat mempengaruhi proses sirkulasi air di daerah pantai.

Kombinasi kondisi gelombang ekstrim dan air pasang dapat mengakibatkan tekanan kuat pada pantai. Kondisi saat gelombang laut yang tinggi mengakibatkan tekanan kuat di pesisir Pulau Panjang yang dibuktikan dengan erosi garis pantai sehingga menimbulkan kerusakan pada fasilitas wisata. Beberapa bangunan (gazebo) di dekat pantai tersebut memperlihatkan kondisi kemiringan bangunan akibat terkikisnya tanah sebagai pondasi bangunan (Putra *et al.*, 2020). Pengikisan tanah atau abrasi di Pulau Panjang lebih diakibatkan oleh gaya tekan gelombang laut (Sugianto *et al.*, 2019).

Pemanfaatan Pulau Panjang sebagai daerah wisata bahari dan kegiatan ekonomi masyarakat pesisir Jepara diperlukan adanya analisis mengenai

daya dukung lingkungan dalam menunjang segala jenis kegiatan masyarakat. Daya dukung lingkungan yang dikaji dalam penelitian ini adalah karakteristik gelombang laut di Pulau Panjang. Karakteristik gelombang laut dikaji pada arah datang gelombang (arah utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, dan barat). Analisis penjalaran gelombang dilakukan melalui pendekatan pemodelan numerik hidrodinamika dua dimensi (*two-dimensional hydrodynamic model*). Simulasi pemodelan penjalaran gelombang dilakukan sebagai langkah untuk mengetahui distribusi tinggi gelombang dan arah gelombang pada lokasi kajian (Putra *et al.*, 2020). Hasil analisis penjalaran gelombang diharapkan dapat menjadi pertimbangan pihak – pihak terkait dalam merencanakan pembangunan dan atau mitigasi bencana di Pulau Panjang.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan dengan pendekatan metode kuantitatif yang dilakukan dengan langkah pengumpulan data dalam bentuk angka (numeric) dan analisis menggunakan metode perhitungan matematika (Apuke, 2017). Data kuantitatif meliputi data skunder dan data primer. Data skunder meliputi data angin yang didapatkan dari portal unduh data di www.ogimet.com, data pasang surut BMKG dan data batimetri dari Badan Informasi Geospasial. Data primer meliputi data pengukuran langsung nilai gelombang menggunakan instrument *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) dan pengukuran langsung data batimetri menggunakan instrument *single-beam echosounder*.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Pulau Panjang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah (koordinat $110^{\circ}37'30''$ Bujur Timur sampai $110^{\circ}38'0''$ Bujur Timur dan $6^{\circ}34'15''$ Lintang Selatan sampai $6^{\circ}34'45''$ Lintang Selatan (Gambar 1).

Pengukuran Gelombang ADCP

Perekaman data gelombang dilakukan dengan menggunakan instrument *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) Sontek Argonaut XR 0,75 MHz. Perekaman gelombang musim barat dilakukan pada tanggal 06 Maret hingga 10 Maret 2018 dan musim timur dilakukan pada tanggal 04 Oktober 2017 hingga 08 Oktober 2017. Penentuan lokasi peletakan alat ukur ADCP

berdasarkan pada arah datang gelombang dominan yaitu sisi timur (gelombang timur) dan sisi barat (gelombang barat). ADCP diletakan pada kedalaman 12 m yaitu pada daerah laut dibelakang gelombang pecah (Gambar 1) berdasarkan hasil pemodelan oleh Sugianto *et al.* (2019). Waktu pengukuran dilakukan pada saat kondisi gelombang maksimum dan durasi pengukuran 5 hari dengan interval perekaman 10 menit.

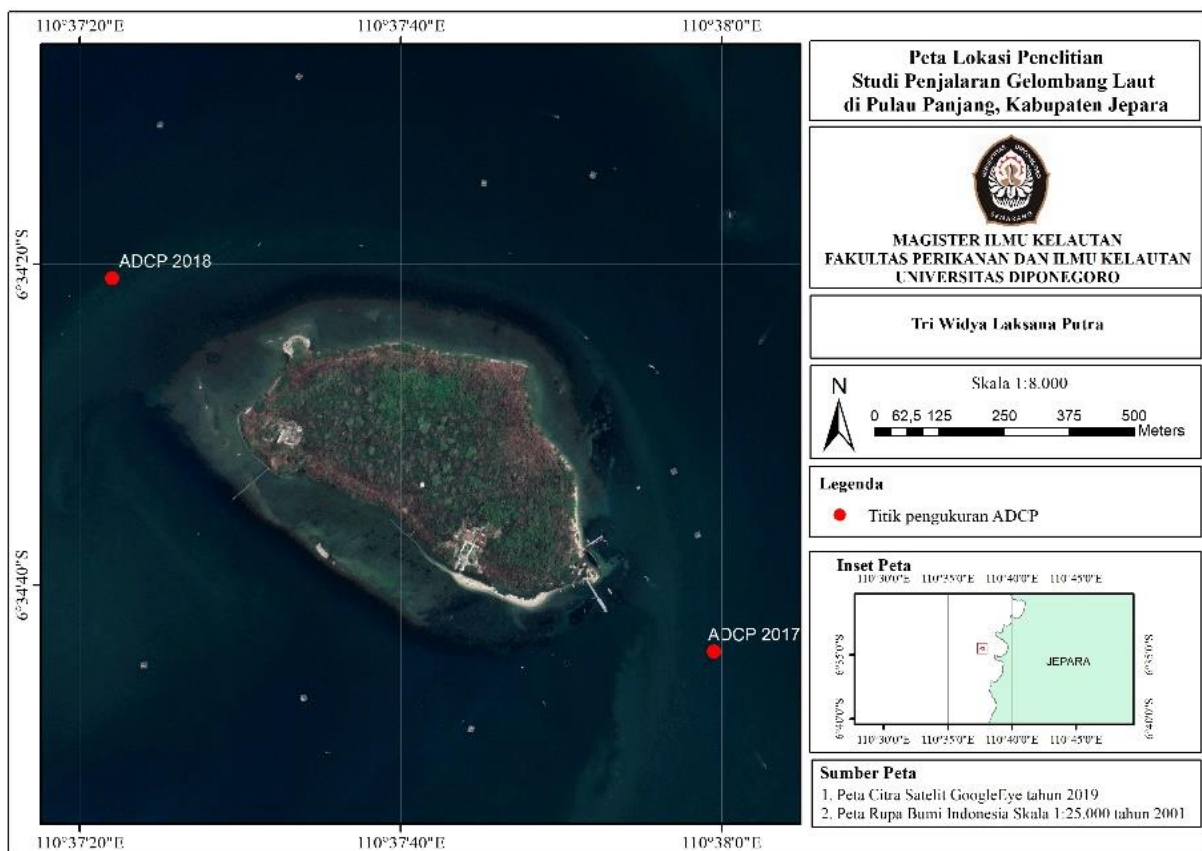
Data Batimetri

Pengambilan data kedalaman laut (batimetri) dilakukan dengan menggunakan instrument *Single-beam Echosounder* Garmin 585. Pengukuran kedalaman laut (batimetri) pada area seluas 4 x 3 km dengan jarak lajur pemeruman yaitu 20 meter dan interval pengambilan data kedalaman setiap 10 meter. Menurut Harsono dan Hartoyo (2018), jarak antar lajur perum harus ditetapkan dengan memperhatikan pentingnya daerah tersebut, topografi dasar lautnya, daerah yang diliputi (*cover*), alat perum yang digunakan serta penelitian yang ada untuk penelitian antar dua

lajur perum (Gambar 2). Pada prinsipnya jarak antar lajur perum utama harus tidak melebihi 10 mm pada skala survei.

Data Angin

Data angin diperoleh dengan mengunduh data angin melalui portal data OGIMET di *website* www.ogimet.com. Data angin diunduh 11 tahun (2009-2019) dengan rentang waktu harian per tiga jam. Data angin yang diunduh melalui portal data OGIMET merupakan data perekaman stasiun data angin di Bandara Ahmad Yani, Semarang. Keterbatasan pengukuran data angin secara langsung dapat dilengkapi dengan data angin yang diperoleh dari stasiun perekaman data angin oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) (Kurniawan dan Najib, 2011). Penggunaan data angin sebagai prediksi tinggi dan periode gelombang pada penelitian oleh Sugianto *et al.* (2017) di Laut Jawa menggunakan data angin 10 tahun dengan interval perekaman setiap 1 jam oleh stasiun perekaman BMKG di beberapa kota di Pulau Jawa.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan lokasi pengukuran ADCP

Peramalan Nilai Gelombang

Karakteristik gelombang di Pulau Panjang yang secara geografis terletak di perairan Laut Jawa, sehingga dipengaruhi oleh karakteristik gelombang Laut Jawa. Menurut Sugianto *et al.* (2020), gelombang Laut Jawa memiliki keunikan yang terbentuk oleh pengaruh angin dan dibatasi oleh pulau Jawa, Sumatra dan Kalimantan. Analisis karakteristik nilai gelombang dapat dilakukan dengan data angin.

Analisis peramalan nilai gelombang (H dan T) digunakan metode peramalan gelombang DNS yang dikembangkan oleh Sugianto *et al.* (2017). Proses analisis peramalan nilai gelombang dilakukan dengan cara mengalihragamkan data angin untuk mendapatkan nilai transformasi gelombang dengan menggunakan rumus (Sugianto *et al.*, 2017):

$$H_s = 0,0016 U^2 + 0,0406 U$$

$$T_s = 0,15 U + 2,892$$

Keterangan : H_s = Tinggi gelombang signifikan (m); T_s = Periode gelombang signifikan (s).

Nilai H_s dan T_s tertinggi dari hasil analisis peramalan nilai gelombang dengan metode DNS selanjutnya digunakan dalam analisis pembangkitan gelombang (*Wave Generation*) dan sebagai data masukan dalam perhitungan model hidrodinamika.

Pemodelan Hidrodinamika

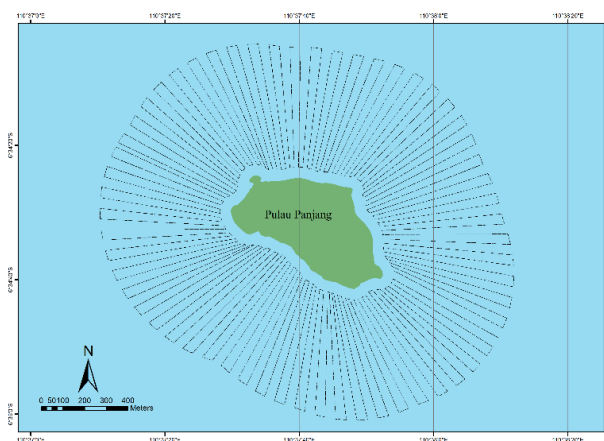
Pemodelan karakteristik gelombang dilakukan melalui pendekatan perhitungan model

hidrodinamika dua dimensi. Simulasi model gelombang dilakukan pada arah datang gelombang yaitu pada arah utara, timur laut, timur, tenggara, selatan dan barat. Luas area model adalah 2 km x 1,4 km. Pembangunan *mesh* didasarkan pada data batimetri dan data garis pantai. *Mesh model* dibangun dalam bentuk *triangular mesh*.

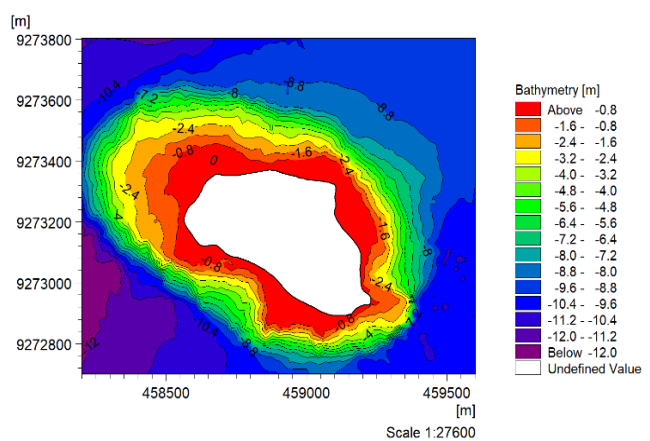
Analisis pemodelan hidrodinamika dilakukan dengan menggunakan analisis *spectral wave model*. Data gelombang hasil peramalan dengan metode DNS digunakan sebagai data masukan nilai gelombang. Data tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan ditentukan 8 kondisi arah datang gelombang.

Tabel 1. Tabel nilai gelombang pada setiap arah datang gelombang hasil peramalan gelombang metode DNS

No.	Arah	H _s (m)	T _s (s)	Sudut
1	Utara	1,25	5.6	360°
2	Timur laut	1,89	6,5	45°
3	Timur	2,13	6,79	90°
4	Tenggara	2,52	7,24	135°
5	Selatan	1,25	5,6	180°
6	Barat daya	1,66	6,2	225°
7	Barat	2,65	7.39	270°
8	Barat laut	1,78	6,34	315°

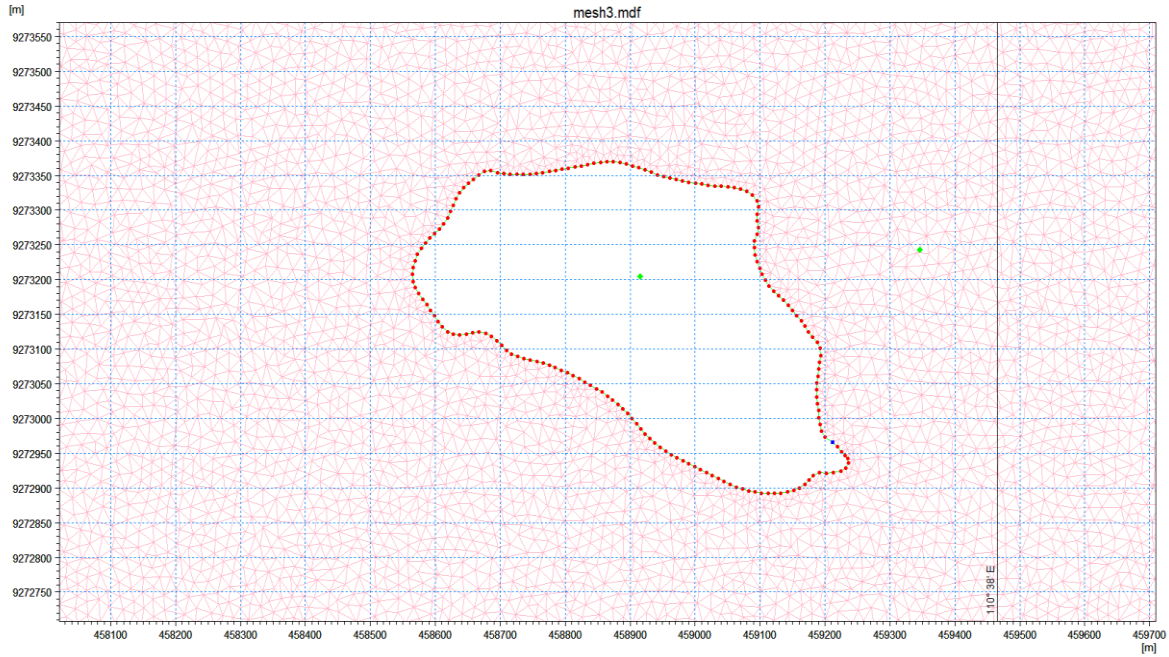


(a)



(b)

Gambar 2. Peta jalur pemeruman kedalaman laut (a); hasil interpolasi profil kedalaman laut Pulau Panjang, Kabupaten Jepara (b)



Gambar 3. Pembangunan *triangular mesh model* pada area kajian.

Dasar perhitungan model adalah persamaan keseimbangan gaya gelombang baik dalam sistem koordinat cartesian dan koordinat spherical yang dirumuskan sebagai berikut (Komen *et al.*, 1994):
Koordinat cartesian:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \vec{v} \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

Keterangan: $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ = rapat massa; t = waktu; $\vec{x}(x, y)$ = koordinat cartesian; $\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ = kecepatan rambat gelombang 4 dimensi; S = *source*.

Koordinat *spherical*

$$\hat{N} = NR^2 \cos \phi = \frac{ER^2 \cos \phi}{\sigma}$$

Keterangan: $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ = rapat massa; $\vec{x}(\phi, \lambda)$ = koordinat *spherical* (ϕ : latitude dan λ : longitude); E = Rapat energi normal; R = radian bumi.

Pada koordinat kutub, persamaan keseimbangan gaya gelombang dapat ditulis sebagai:

$$\frac{\partial \hat{N}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \phi} c_\phi \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta \hat{N} = \frac{\hat{S}}{\sigma}$$

Keterangan: $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t) = SR^2 =$ jumlah sumber dan fungsi *sink*.

Sumber energi, S , menunjukkan fungsi sumber superposisi dari berbagai fenomena fisika.

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$$

Keterangan: S_{in} = Energi angin; S_{nl} = Transfer energi gelombang disebabkan oleh interaksi antar gelombang non-linier; S_{ds} = Disipasi energi gelombang disebabkan oleh whitecapping; S_{bot} = disipasi oleh gesekan dasar; S_{surf} = disipasi energi gelombang karena gelombang pecah yang dipengaruhi kedalaman air.

Validasi Data

Validasi data diperlukan untuk mengetahui tingkat akurasi data hasil analisis dengan data hasil pengukuran di lapangan. Data hasil analisis peramalan gelombang dengan metode DNS divalidasi dengan data hasil pengukuran lapangan. Proses validasi data dapat dilakukan dengan menghitung nilai *cost function* dan *Mean Relative Error* (MRE). Menurut George *et al.* (2010), validasi dengan perhitungan *cost function* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$CF = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|Dn - Mn|}{\sigma D}, \quad \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Dn - \bar{D})^2}$$

Keterangan: N = Jumlah data pengamatan; n = data ke- n ; D = data hasil pengamatan; M = data hasil model; σ = standar deviasi; \bar{D} = nilai rata-rata pengamatan.

Nilai *cost function* yang dihasilkan selanjutnya dapat dikategorikan kedalam 4 jenis kategori, yaitu: 1). $CF < 1$, kategori sangat bagus; 2). CF 1-2, kategori bagus; 3). CF 2-3, kategori masuk akal; 4). $CF > 3$, kategori buruk. Validasi dengan MRE dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$RE = \frac{|x-c|}{x} \times 100 \%$$

$$MRE = \sum^n 0 \left| \frac{RE}{N} \right|$$

Keterangan: RE = Kesalahan relatif; MRE = Rata-rata kesalahan relatif; x = Data lapangan; c = Data hasil simulasi; N = Jumlah data.

Validasi data hasil pemodelan dilakukan dengan metode Root Mean Square (RMS) menurut Evans (1993). Perhitungan nilai RMS dapat dilakukan dengan rumus:

$$X_{rms} = \left(\frac{\sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}}{n} \right)$$

dengan $\Delta x_n = b_n - a_n$.

Keterangan : a_n = Hasil pengukuran lapangan; b_n = Hasil model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Angin

Analisis distribusi angin hasil perekaman 11 tahun dari stasiun klimatologi Bandara Ahmad Yani Semarang ditampilkan dalam bentuk grafik mawar angin (*Wind Rose*). Distribusi angin dibagi dalam 4 periode musim (musim barat, musim peralihan 1, musim timur dan musim peralihan 2). Pembagian angin didasarkan pada pola periode musim yang terjadi di wilayah Indonesia.

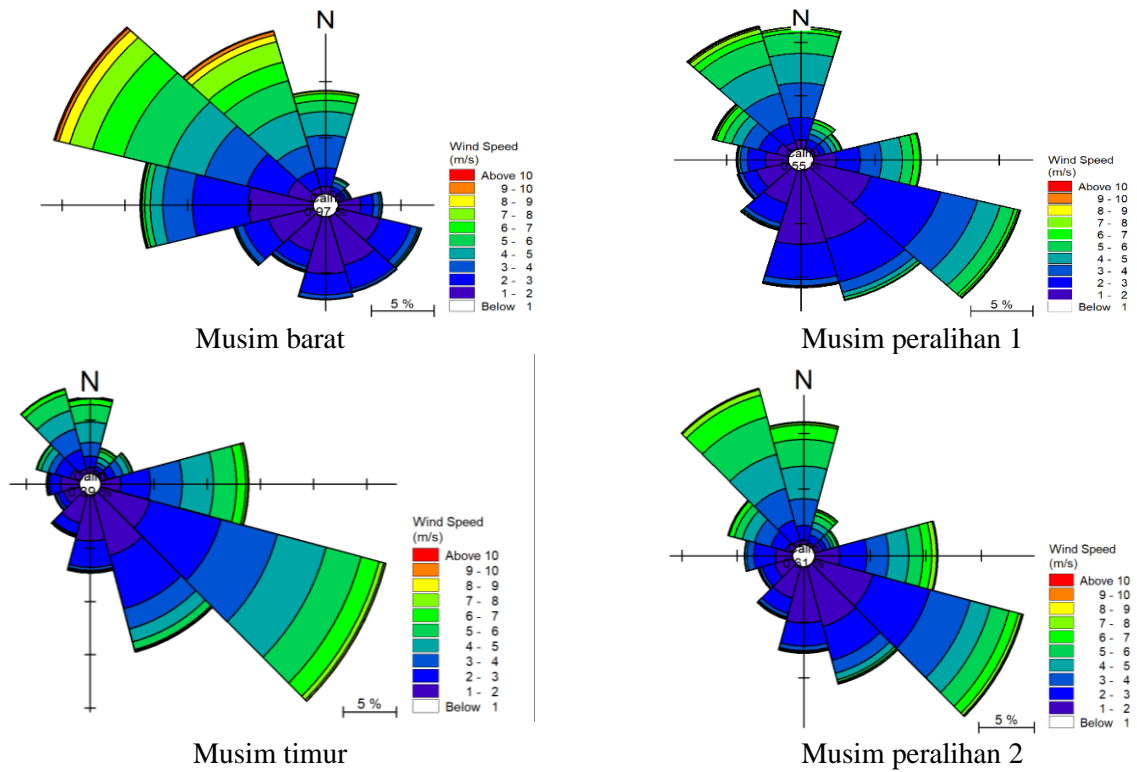
Distribusi angin musim barat ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan gambar, frekuensi kecepatan angin terbesar pada musim barat dengan kecepatan 6 – 15 m/s didominasi oleh angin dari arah barat laut (sudut 315°). Frekuensi kejadian kecepatan angin terbesar pada musim peralihan 1 dengan kecepatan 6 – 13 m/s didominasi angin yang datang dari arah barat laut dan utara (sudut 330° hingga 360°). Musim peralihan 1 distribusi arah angin didominasi pada arah angin barat laut dan arah angin timur. Frekuensi kejadian kecepatan angin terbesar pada musim timur dengan kecepatan 6 – 13 m/s didominasi oleh angin yang datang dari

arah timur laut (sudut 135°). Musim peralihan 2, frekuensi kejadian kecepatan angin terbesar dengan kecepatan angin 6 – 15 m/s didominasi angin yang datang dari arah timur laut dan barat laut (sudut 135° dan 330°). Karakteristik angin di Laut Jawa dipengaruhi oleh gradien horizontal tekanan udara di Benua Australia dan Benua Asia bagian selatan. Menurut Najid *et al.*, (2012) pada saat Musim Timur (Juni – September), Benua Asia mengalami pemanasan lebih intensif sehingga menjadi daerah dengan pusat tekanan rendah sedangkan di Benua Australia menjadi daerah dengan pusat tekanan lebih tinggi. Perbedaan ini mengakibatkan terbentuknya gradien tekanan horizontal yang mempengaruhi arah angin bertiup dari Benua Australia ke Benua Asia (dari tenggara menuju barat laut).

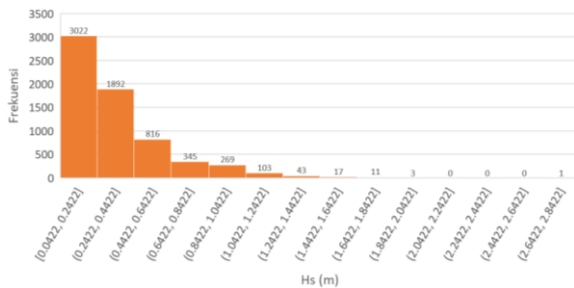
Peramalan Gelombang

Data angin hasil perekaman 11 tahun dikonversi dengan metode perhitungan nilai gelombang DNS dihasilkan sebaran nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s). Hasil analisis tersebut ditampilkan dengan grafik histogram untuk mengetahui frekuensi kejadian setiap nilai gelombang. Histogram frekuensi kejadian gelombang dibagi dalam 4 perbedaan musim (musim barat, musim peralihan 1, musim timur dan musim peralihan 2).

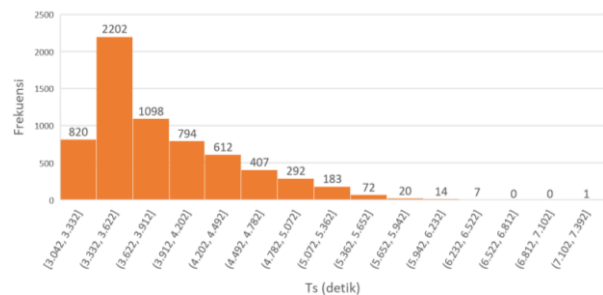
Grafik histogram frekuensi kejadian gelombang pada musim barat didapatkan nilai H_s 0,04–0,24 m memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 3022 kejadian dan nilai T_s 3,33–3,62 detik memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 2202 kejadian (Gambar 5). Frekuensi kejadian nilai gelombang musim peralihan 1 didapatkan H_s 0,04–0,24 m memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 3069 kejadian dan nilai T_s 3,3–3,56 detik memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 2302 kejadian (Gambar 6). Pada musim timur, frekuensi kejadian nilai H_s 0,04–0,24 m memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 2680 kejadian dan nilai T_s 3,44–3,64 detik memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 1655 kejadian (Gambar 7). Pada musim peralihan 2, frekuensi kejadian nilai H_s 0,04–0,24 m memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 2433 kejadian dan nilai T_s 3,32–3,6 detik memiliki frekuensi kejadian tertinggi sebesar 1803 kejadian (Gambar 8). Nilai H_s dan T_s tertinggi pada setiap musim selanjutnya menjadi nilai input gelombang dalam pemodelan hidrodinamika dua dimensi.



Gambar 4. Mawar angin

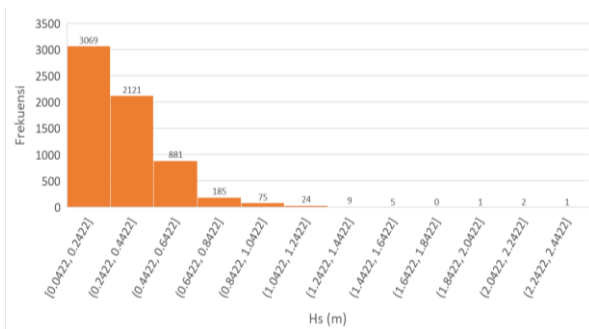


Frekuensi Kejadian Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Perhitungan DNS Musim Barat

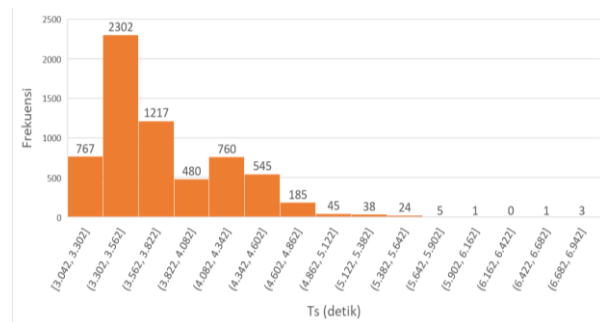


Frekuensi Kejadian Periode Gelombang Signifikan (Ts) Perhitungan DNS Musim Barat

Gambar 5. Histogram frekuensi kejadian Hs dan Ts pada musim barat.

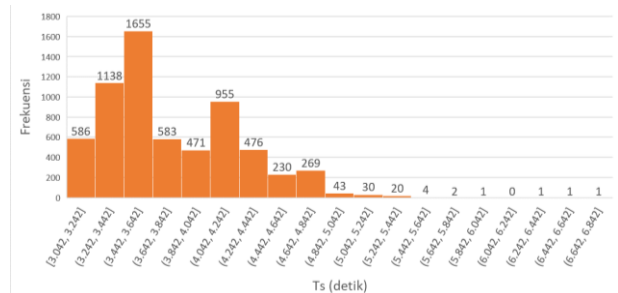
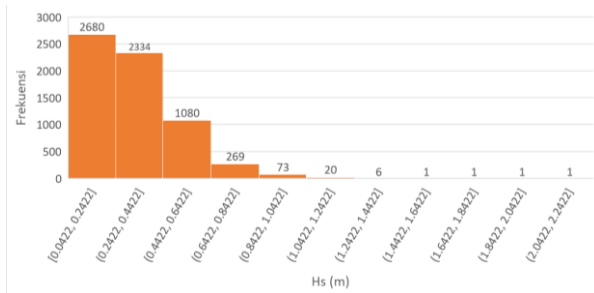


Frekuensi Kejadian Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Perhitungan DNS Musim Peralihan 1



Frekuensi Kejadian Periode Gelombang Signifikan (Ts) Perhitungan DNS Musim Peralihan 2

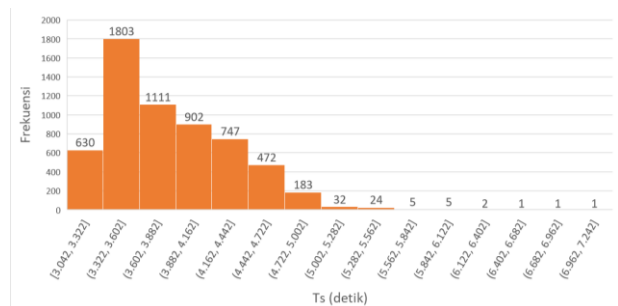
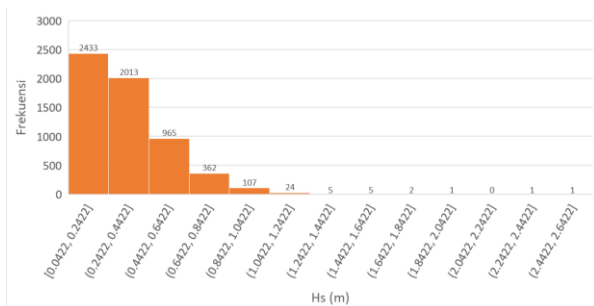
Gambar 6. Histogram frekuensi kejadian Hs dan Ts pada musim peralihan 1.



Frekuensi Kejadian Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Perhitungan DNS Musim Timur

Frekuensi Kejadian Periode Gelombang Signifikan (Ts) Perhitungan DNS Musim Timur

Gambar 7. Histogram frekuensi kejadian Hs dan Ts pada musim timur.



Frekuensi Kejadian Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Perhitungan DNS Musim Peralihan 2

Frekuensi Kejadian Periode Gelombang Signifikan (Ts) Perhitungan DNS Musim Peralihan 2

Gambar 8. Histogram frekuensi kejadian Hs dan Ts pada musim peralihan 2.

Tabel 2. Nilai validasi data peramalan gelombang DNS dan data pemodelan dengan data gelombang ADCP

Hs ADCP	Metode Validasi		
	CF	MRE	RMS
Hs ADCP 2017	0,86	35,58 %	0,07
Hs ADCP 2018	0,71	27,89 %	0,06

Validasi Data

Validasi data dilakukan pada data gelombang hasil perhitungan dengan metode DNS dengan data gelombang dua kali pengukuran langsung di lapangan (gelombang ADCP pengukuran tahun 2017 dan 2018). Hasil validasi data dengan metode *cost function* sebesar 0,86 dan 0,71 yang dikategorikan dalam kategori sangat bagus (kurang dari 1). Validasi data dengan metode MRE didapatkan hasil sebesar 35,55 % dan 27,89 % yang dikategorikan sebagai nilai yang dapat digunakan sebagai input model karena nilai *error* tidak melebihi 50%. Validasi data hasil pemodelan hidrodinamika gelombang dengan data gelombang ADCP didapatkan hasil RMS sebesar 0,07 dan 0,06 yang dikategorikan sebagai nilai yang dapat diterima dalam validasi *water level*.

Pemodelan Hidrodinamika Gelombang

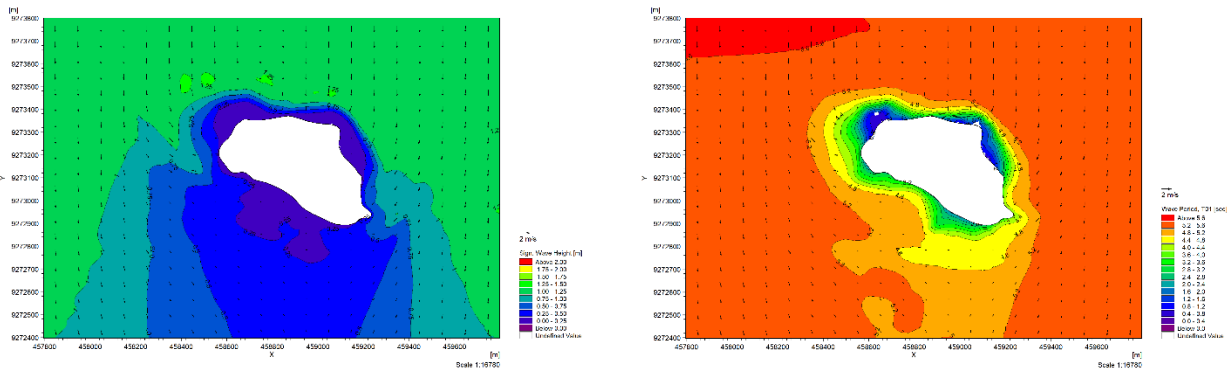
Nilai gelombang (Hs dan Ts) hasil analisis peramalan gelombang metode DNS (Tabel 1) digunakan sebagai nilai masukan (input) dalam simulasi pemodelan hidrodinamika sehingga didapatkan distribusi spasial nilai gelombang. Hasil simulasi pemodelan dibagi dalam 8 arah gelombang untuk mendapatkan gambaran pola penjarangan dan besarnya nilai gelombang pada semua sisi pulau. Hasil pemodelan gelombang yang datang dari arah utara (sudut 0°) menunjukkan distribusi nilai Hs 1 – 1,25 m dan Ts 5,2 – 5,6 detik (gelombang lebih tinggi) pada daerah sisi utara pulau sehingga memunculkan nilai Hs 0,25 – 0,5 m dan Ts 4,4 – 4,8 detik (gelombang lebih rendah) pada daerah sisi selatan pulau sehingga sisi selatan merupakan daerah terlindung.

Hasil pemodelan gelombang dari arah timur laut (sudut 45°) menunjukkan nilai Hs 1,75 – 2 m dan Ts 5,6 – 6 detik (gelombang lebih tinggi) pada daerah pulau yang menghadap sisi utara, timur laut dan timur (Gambar 10). Daerah terlindung terdapat pada sisi barat daya pulau dengan distribusi nilai Hs 0,25 – 0,5 m dan Ts 4,4 – 4,8 detik (gelombang lebih rendah).

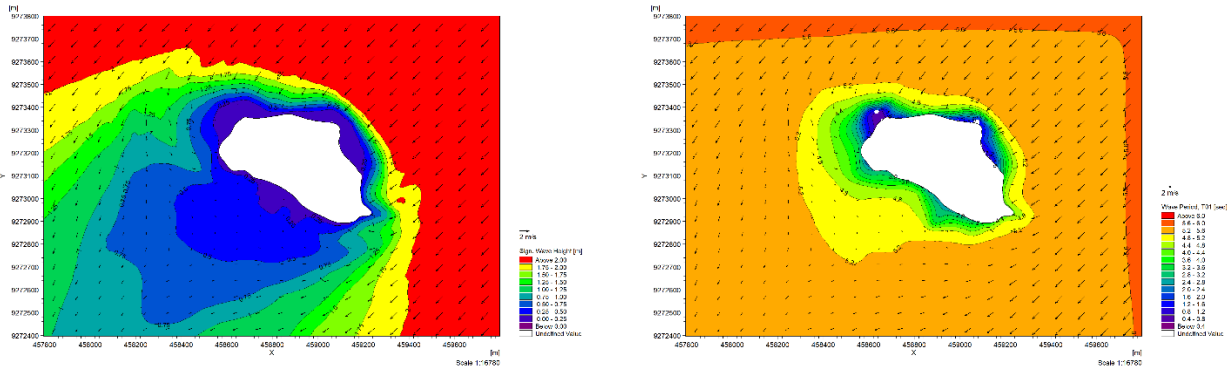
Hasil pemodelan gelombang dari arah timur (sudut 90°) menunjukkan distribusi nilai Hs 1,75 – 2 m dan Ts 5,2 – 6 detik (gelombang lebih tinggi) pada sisi timur pulau dan daerah terlindung

(gelombang lebih rendah) pada sisi barat pulau dengan nilai Hs 0,5 – 0,75 m dan Ts 4 – 4,4 detik (Gambar 11).

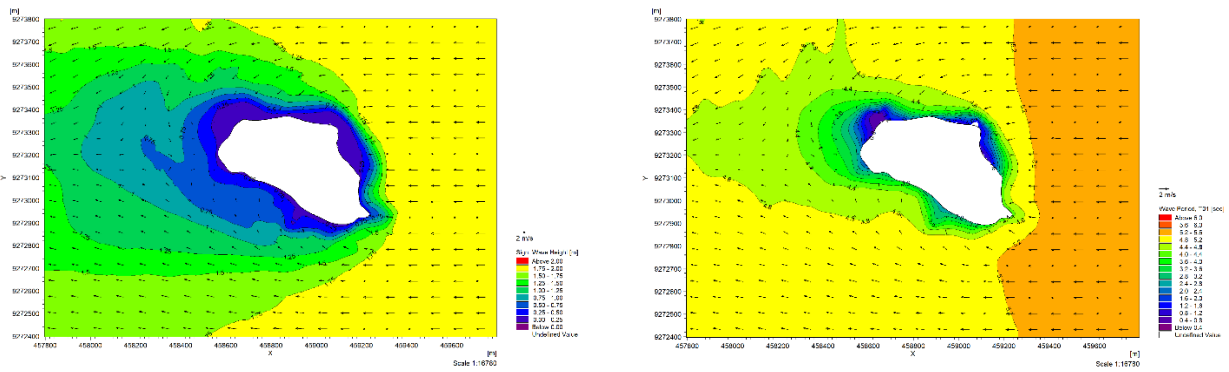
Pemodelan hidrodinamika terhadap nilai gelombang pada arah penjalaran dari arah tenggara (sudut 135°) menunjukkan distribusi nilai Hs 2 – 2,25 m dan Ts 5,6 – 6 detik (gelombang lebih tinggi) terdapat di daerah timur, tenggara dan selatan pulau (Gambar 12). Daerah terlindung terdapat di daerah barat laut pulau dengan sebaran nilai Hs antara 0,5 – 0,75 m dan Ts antara 4,4 – 4,8 detik (gelombang lebih rendah).



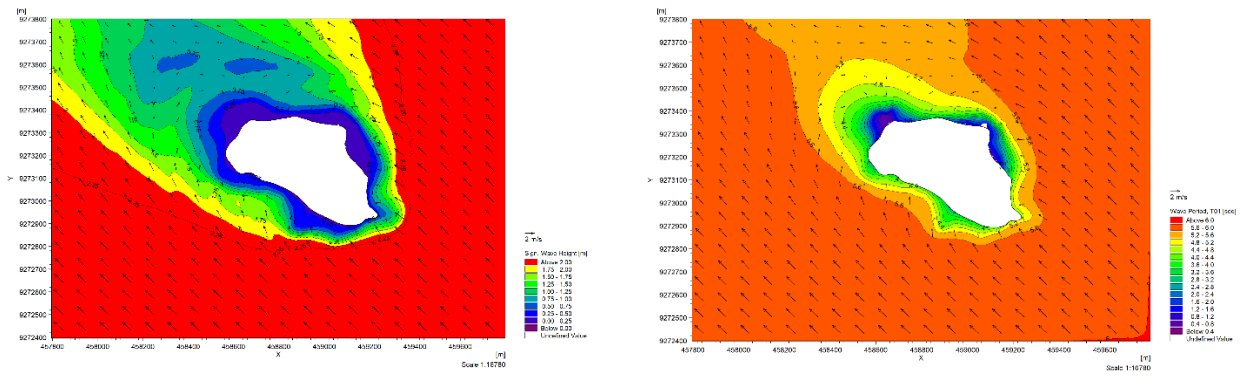
Gambar 9. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang utara



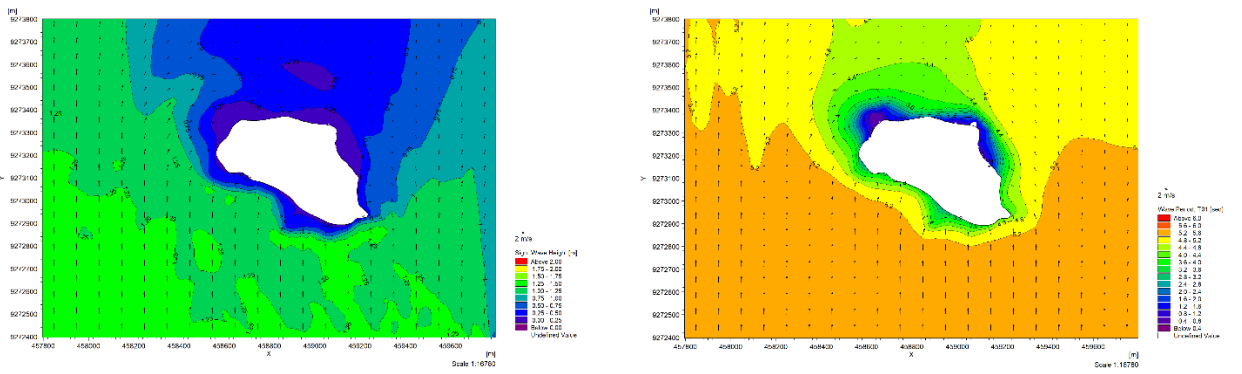
Gambar 10. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang timur laut.



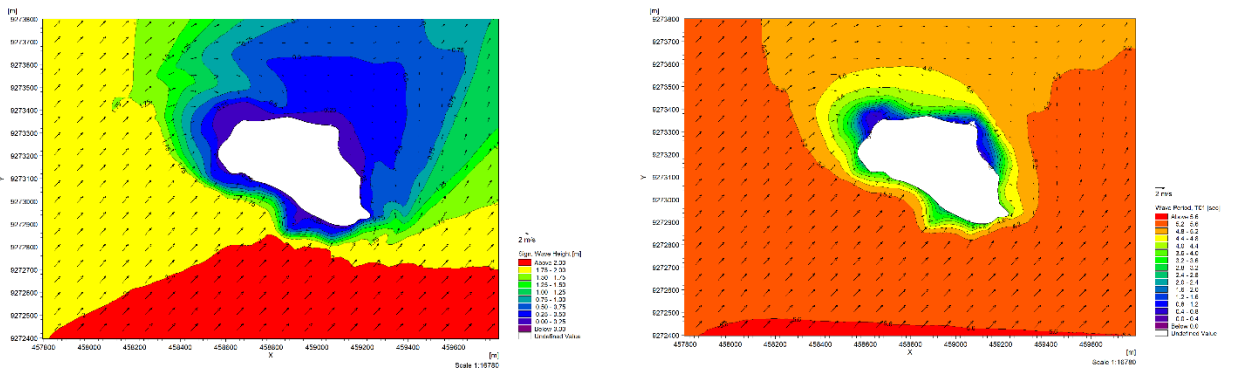
Gambar 11. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang timur.



Gambar 12. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang tenggara.



Gambar 13. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang selatan.



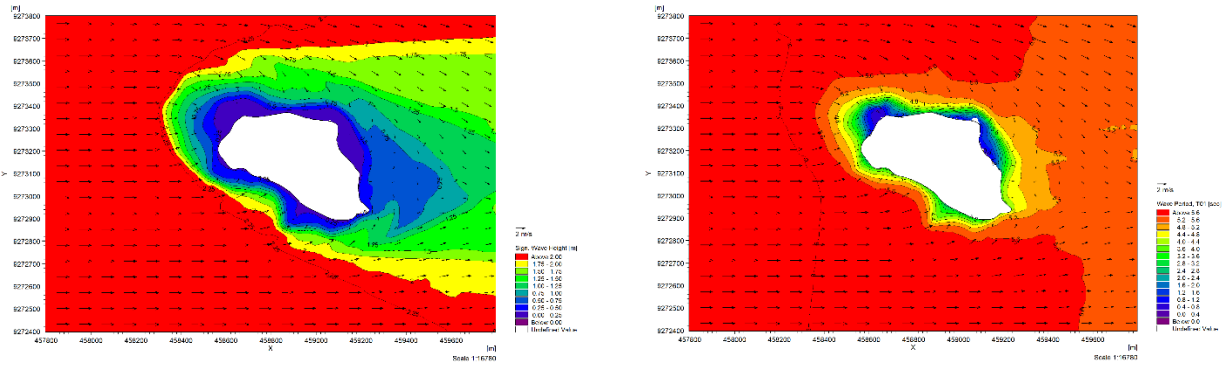
Gambar 14. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang barat daya.

Hasil pemodelan gelombang dari arah selatan (sudut 180°) menunjukkan nilai Hs 1 – 1,25 m dan Ts 5,2 – 5,6 detik (gelombang lebih tinggi) di daerah selatan pulau dan daerah terlindung dengan gelombang lebih kecil pada daerah utara pulau dengan distribusi nilai Hs 0,25 – 0,5 m dan Ts 4 – 4,4 detik (Gambar 13).

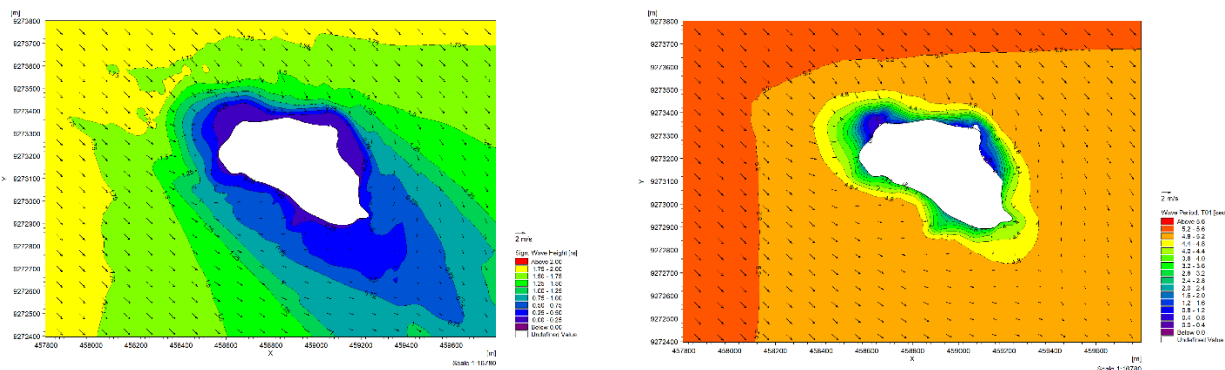
Distribusi nilai gelombang datang pada arah barat daya (sudut 225°) menunjukkan nilai Hs 1,75 – 2 m dan Ts 5,2 – 5,6 detik terdapat di daerah selatan, barat daya hingga sisi barat pulau (Gambar

14). Daerah terlindung terdapat di sisi utara hingga timur laut pulau dengan distribusi nilai Hs 0,25–0,5 m dan Ts 4,4–4,8 detik.

Hasil pemodelan hidrodinamika gelombang pada arah penjalaran gelombang barat (sudut 270°) dengan nilai Hs 2 – 2,25 m dan Ts 5,6 – 6 detik (gelombang lebih tinggi) terdapat di sisi utara, barat hingga selatan pulau sehingga daerah terlindung muncul di sisi timur pulau (Gambar 15) dengan Hs 0,5 – 0,75 m dan Ts 4,4 – 4,8 detik (gelombang lebih rendah).



Gambar 15. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang barat.



Gambar 16. Distribusi spasial nilai Hs dan Ts pada kondisi arah datang gelombang barat laut.

Hasil pemodelan pada arah datang gelombang yang terakhir yaitu pada arah barat laut (sudut 315°) yang ditampilkan Gambar 16, daerah dengan gelombang lebih tinggi terdapat di sisi barat, barat laut dan utara pulau dengan distribusi nilai Hs 1,75 – 2 m dan Ts 5,2 – 5,6 detik. Daerah terlindung muncul di sisi tenggara pulau dengan nilai Hs 0,5 – 0,75 m dan Ts 4 – 4,4 detik (gelombang lebih rendah).

Simulasi pemodelan hidrodinamika terhadap nilai gelombang yang diberikan pada 8 arah mata angin telah memberikan hasil distribusi spasial tinggi gelombang signifikan, periode signifikan, kecepatan dan arah penjalaran gelombang. Berdasarkan dari keseluruhan hasil distribusi gelombang, penjalaran gelombang pada suatu pulau menunjukkan pola difraksi gelombang karena suatu penghalang dalam kasus ini pulau sebagai penghalang. Gelombang menjalar mendekati garis pantai suatu pulau, puncak gelombang akan berputar terhadap ujung penghalang suatu pulau dan bergerak ke daerah terlindung (Pratikto *et al.*, 2014). Difraksi gelombang laut ditandai dengan energi gelombang laut dibawa ke daerah terlindung pada suatu

rintangan walaupun intensitas gelombang di belakang rintangan jauh lebih sedikit daripada di depan rintangan (Jian *et al.*, 2006). Gangguan terhadap gelombang ditransmisikan ke daerah terlindung di belakang pemecah gelombang, dan karena energi gelombang merambat sejajar dengan puncak gelombang, energi per satuan panjang puncak gelombang direduksi. Bagian gelombang yang dipantulkan oleh pemecah gelombang cenderung membentuk sistem gelombang tetap, dengan ketinggian gelombang dua kali lipat dari gelombang datang (Fenton, 2013).

Simulasi pemodelan hidrodinamika terhadap nilai tinggi gelombang signifikan menunjukkan nilai Hs lebih besar terjadi pada arah datang gelombang dari arah barat, timur laut dan tenggara. Tinggi dan rendahnya gelombang selain dipengaruhi oleh kecepatan angin juga dipengaruhi oleh persistensi arah tiupan angin. Semakin seragam arah tiupan angin maka akan semakin besar gelombang. Angin dengan arah yang sama akan mengakibatkan terbentuknya gelombang konstruktif yang saling menguatkan.

Hasil distribusi kecepatan rambat dan arah penjalaran gelombang menunjukkan saat

gelombang mendekati pantai arah penjalaran gelombang tegak lurus dengan garis pantai diikuti dengan melemahnya kecepatan rambat gelombang. Fenomena ini hanya dapat dijelaskan dengan proses refraksi gelombang. Saat gelombang mendekati garis pantai, gelombang masuk ke dalam daerah kedalaman transisi dimana gelombang dipengaruhi oleh dasar perairan. Efek yang ditimbulkan adalah reduksi kecepatan gelombang dan panjang gelombang dan perubahan arah puncak gelombang (refraksi) dan tinggi gelombang (pendangkalan) dengan disipasi energi gelombang karena gesekan dasar dan akhirnya gelombang pecah (Reeve *et al.*, 2004). Menurut (Gamito dan Musgrave, 2002), menjelaskan bahwa berkurangnya kedalaman, pengaruh dasar perairan menjadi signifikan terhadap penjalaran gelombang, menyebabkan gelombang menjalar melambat seperti proses perambatan gelombang cahaya pada media peningkatan indeks refraksi.

KESIMPULAN

Analisis pemodelan hidrodinamika terhadap nilai gelombang sebagai langkah mendapatkan gambaran spasial penjalaran gelombang di Pulau Panjang, Kabupaten Jepara telah dilakukan. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa penjalaran gelombang di Pulau Panjang menciptakan daerah terlindung di sisi seberang dari arah datang gelombang karena proses difraksi gelombang oleh penghalang pulau. Saat mendekati garis pantai, arah penjalaran gelombang mengikuti kontur garis pantai diikuti dengan melemahnya kecepatan rambat gelombang karena terjadinya proses refraksi gelombang oleh perubahan kedalaman yang semakin dangkal. Nilai H_s lebih tinggi terjadi pada kondisi arah datang gelombang dari arah barat, timur laut dan tenggara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Magister Ilmu Kelautan, Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Center for Coastal Rehabilitation and Disaster Mitigation Studies (CoRem-PKMBRP) - Center of Excellence Science and Technology (PUI), LPPM Universitas Diponegoro dan Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (RisTekDikti) Republik Indonesia untuk pendanaan penelitian ini, dengan nomor hibah 385-26/UN7.P4.3/PP/2019.

DAFTAR REFERENSI

- Apuke, O.D. 2017. Quantitative Research Methods: A Synopsis Approach. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*, 6(11):40–47. doi: 10.12816/0040336
- Ismanto, A., Wirasatriya, A., Helmi, M., Hartoko, A. & Prayogi. 2009. Model Sebaran Penurunan Tanah di Wilayah Pesisir Semarang. *Ilmu Kelautan*, 14(4): 21-28.
- Evans, G P. 1993. Foundation for Water Resource, UK, 58 hlm.
- Fenton, J. 2013. Coastal and Ocean Engineering. TU Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, 84 p.
- Gamito, M.N. & Musgrave, F.K. 2002. An accurate model of wave refraction over shallow water. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 26(2):291–307. doi : 10.1016/S0097-8493(01)00181-9
- George, M.S., Bertino, L., Johannessen, O.M. & A. Samuelsen. 2010. Validation of a hybrid Coordinate Ocean Model for Indian Ocean. *Journal of Operational Oceanography*, 3(2): 25-38.
- Harsono, G. & Hartoyo. 2018. Dasar - Dasar Survei Hidro-Oseanografi. IPB Press, Bogor, Indonesia, 138 hlm.
- Jian, S., Changlong, G., & Bin, L. 2006. Ocean wave diffraction in near-shore regions observed by Synthetic Aperture Radar. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 24(1):48–56.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K. & Janssen, P.A.E.M. 1994. Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press, UK, 556 hlm.
- Kurniawan, R. & Habibie, N.M. 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut Di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 12(3): 221–232.
- Najid A., Pariwono J.I., Bengen, D.G., Nurhakim, S. & Atmadipoera, A. S. 2012. Pola musiman dan antar tahunan salinitas permukaan laut di perairan utara Jawa-Madura. *Maspari Journal*, 4(2):168-177.
- Putra, T.W.L., Sugianto, D.N. & Siagian H. 2020. Submerged Breakwater Effectiveness Based On Wave Spectrum Changes in Panjang Island, Jepara. *The 5th International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development, IOP Conf. Series: Earth*

- and Environmental Science*, 530:012033. doi: 10.1088/1755-1315/530/1/012033
- Praktikto, W.A., Suntoyo, Solikhin & Sambodho. 2014. *Stuktur Pelindung Pantai*. PT. Media Saptakarya, Jakarta, 264 hlm.
- Reeve, D., Chadwick A. & Fleming C. 2006. *Coastal Engineering : Processes, Theory and Design Practice*. Spon Press, New York, USA, 453 p.
- Sugianto D.N., Widada, S., Wirastraya, A., Ismanto, A., Hartati, R., Widianingsih, Indarjo, A., & Suripin. 2020. A Framework for Plans Permeable Breakwater Eco-Friendly Building Identification and Characteristics Materials Construction Study Case at Demak Village. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(2):235-240.
- Sugianto, D.N., Handoyo, G., Oktaviani, A., Zainuri, M., & Indarjo, A. 2019. Determination of Submerged Breakwater Location for Coastal Protection in Panjang Island Waters Jepara. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 4(5): 346–351.
- Sugianto, D.N., Zainuri, M., Darari, A., Suripin, S. D., dan Yuwono, N. 2017. Wave height forecasting using measurement wind speed distribution equation in Java Sea, Indonesia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(5):604–619.
- Suryono, Munasik, Ario, R. & Handoyo, G. 2017. Inventarisasi Bio-Ekologi Terumbu Karang di Pulau Panjang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1):60-64.