

STUDI REFRAKSI DAN DIFRAKSI GELOMBANG UNTUK ANALISA EFEKTIVITAS LAYOUT BREAKWATER DI PELABUHAN PENDARATAN IKAN LARANGAN, KABUPATEN TEGAL

Rina Oktaviani Dzokrurianti. Gentur Handoyo. Sugeng Widada

Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang Telp/Fax (024) 7474698 Semarang – 50276
gentur.handoyo@yahoo.com
sugengwidada@undip.ac.id

Abstrak

Gelombang memiliki peran penting dalam dinamika pantai dan pengelolaan wilayah pesisir seperti pembangunan pelabuhan dan bangunan pantai. Desain perlindungan kolam labuh terhadap gelombang menggunakan breakwater untuk menghasilkan perairan yang tenang dan aman bagi kapal berdasarkan sifat penjaran gelombang. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 19-22 Mei 2013 di Pantai Larangan. Data yang digunakan yaitu tinggi gelombang, periode gelombang, kedalaman, angin dan peta RBI Tegal. Penelitian menggunakan metode deskriptif. Peramalan gelombang dari data angin menggunakan metode SMB. Model gelombang menggunakan perangkat lunak SMS modul CMS-Wave. Gelombang di Pantai Larangan memiliki tinggi signifikan 0.17 meter dan periode signifikan 4.55 detik. Refraksi gelombang terjadi karena perubahan kedalaman mengakibatkan konvergensi gelombang. Difraksi terjadi ketika gelombang terhalang breakwater di mulut Pelabuhan Pendaratan Ikan Larangan. Breakwater dengan kedua ujung berbelok dan sedikit menutup kolam pelabuhan menghasilkan gelombang terkecil di pelabuhan.

Kata kunci : Gelombang, Refraksi, Difraksi, Layout Breakwater, PPI Larangan

Abstract

Wave have important role in coastal dynamics and coastal area development such as harbour and coastal building construction. Harbour protection design toward high wave condition using breakwater to make a calm and save water for vessel based on wave propagation. Research was done in 19-22 May 2013 in Pantai Larangan. The used data were wave height, wave periode, depth, wind, and RBI Tegal map. Research used descriptive method. Wave hindcasting from wind data used SMB method. Wave propagation model used CMS-Wave module in SMS software. Pantai Larangan has 0.17 meter of significant wave height and 4.55 second of significant wave periode. Wave refraction as result of shoaling effect cause wave convergency. Wave diffraction happens as wave propagate and obstructed by breakwater in Pelabuhan Pendaratan Ikan Larangan's inlet. Second scenario breakwater produce the smallest wave inside the harbour.

Keywords : Wave, Refraction, Diffraction, Breakwater Layout, PPI Larangan

1. Pendahuluan

Kabupaten Tegal termasuk dalam wilayah provinsi Jawa Tengah dan terletak antara 108°57'6" BT - 109°21'30" BT dan 6°50'41" LS - 7°15'30" LS. Kabupaten Tegal berbatasan dengan Kabupaten Pemalang di sebelah timur, Kabupaten Brebes di sebelah barat, Kabupaten Brebes dan Banyumas di sebelah selatan, dan Laut Jawa di sebelah utara. Kabupaten Tegal memiliki wilayah pantai di Kecamatan Kramat, Suradadi dan Warureja. Pembangunan sektor perikanan laut dilakukan dengan membangun 3 tempat pelelangan ikan (TPI), yaitu TPI Larangan, TPI Suradadi I dan TPI Suradadi II. TPI Larangan terletak di Kecamatan Kramat dengan Pelabuhan Pendaratan Ikan (PPI) Larangan sebagai tempat

melabuh dan bongkar muat kapal nelayan. Produksi perikanan TPI Larangan yang mencapai 953,519 kg per tahun 2013, yang paling besar dari semua TPI di Kabupaten Tegal (BPS Kabupaten Tegal, 2013).

Permasalahan yang dihadapi nelayan untuk melaut adalah cuaca dan gelombang tinggi. Purnomo (2005) telah meneliti gelombang di Pantai Purwahamba Kabupaten Tegal dan memperoleh tinggi gelombang 0,5 hingga 2 meter. Gelombang ini dapat mengganggu pelayaran, proses melabuh dan bongkar muat kapal di pelabuhan. Sehubungan dengan hal ini maka direncanakan pembangunan *breakwater* sambung pantai yang dibangun pada kedua sisi muara sungai untuk melindungi kapal yang akan masuk dan berada di kolam labuh.

Breakwater yang dibangun di PPI Larangan saat ini memiliki mulut pelabuhan yang cukup lebar. Gelombang tinggi masih mampu memasuki mulut pelabuhan dan menciptakan gangguan terhadap kapal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan analisa *layoutbreakwater* yang mampu menghasilkan alur pelayaran dengan pengaruh gelombang minimum dalam waktu yang lama. Triatmodjo (2009) menjelaskan bahwa salah satu tinjauan yang diperlukan untuk pembangunan *breakwater* di pelabuhan adalah tinjauan gelombang. *Breakwater* dan mulut pelabuhan harus dibangun sedemikian rupa sehingga gelombang tidak langsung masuk ke perairan pelabuhan. Pengaruh *breakwater* terhadap tinggi gelombang dapat diketahui dengan analisa refraksi dan difraksi gelombang. Oleh karena itu dilakukan studi refraksi dan difraksi gelombang pada *breakwater* alur masuk pelabuhan untuk mengetahui perubahan tinggi dan arah gelombang. Nilai perubahan tinggi gelombang digunakan untuk mengetahui efektivitas *layoutbreakwater* dengan mengetahui tinggi gelombang terkecil.

2. Materi dan Metode

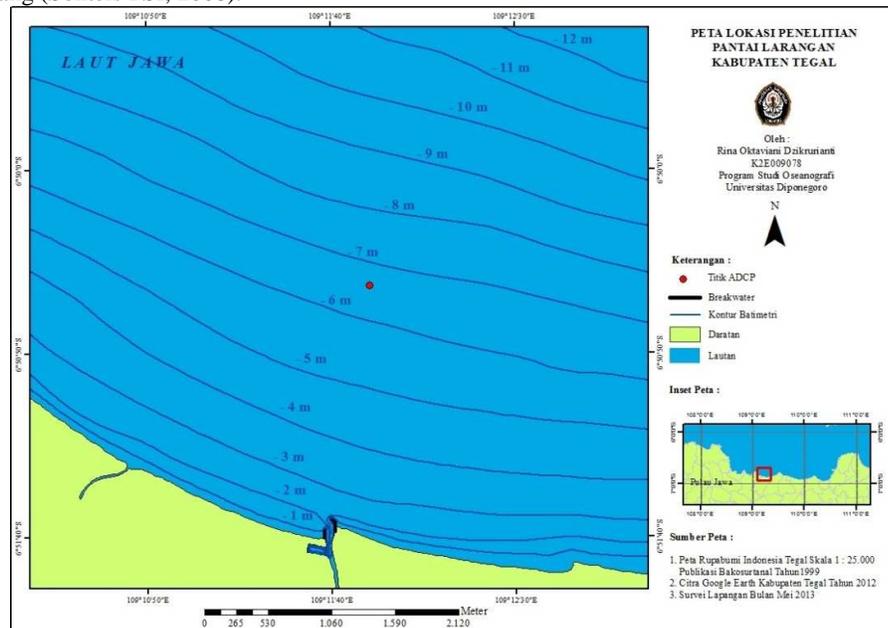
a. Materi

Materi yang digunakan dalam penelitian ini berupa data gelombang pengukuran lapangan yang terdiri dari tinggi (H) dan periode (T) gelombang, batimetri, data angin selama 5 tahun (2009-2013) yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Tegal, citra Google Earth Pantai Larangan tahun 2012 dan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Tegal skala 1:25.000 tahun 1999 dari Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal).

b. Metode

Metode Pengukuran Data

Pengukuran gelombang dilakukan tanggal 19 – 22 Mei 2013 di Pantai Larangan, Kabupaten Tegal menggunakan Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Alat ini diletakkan di dasar laut dengan transducer yang mengarah vertikal sehingga dapat mengukur elevasi muka laut (Emery dan Thompson, 1998). ADCP yang digunakan adalah merek SonTek Argonaut Extended Range (XR). Argonaut termasuk alat pengukur arus monostatik, dengan sistem seperti tersebut dapat mengukur kecepatan dan periode gelombang (Sontek/YSI, 2008).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Metode Pengolahan Data

Karakteristik gelombang laut sebenarnya dapat diwakili oleh tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s). Tinggi gelombang signifikan merupakan tinggi rata-rata dari sepertiga tinggi gelombang terbesar (CERC, 1984). Periode gelombang signifikan merupakan periode rata-rata dari sepertiga periode gelombang terbesar (Sorensen, 1991). Perubahan arah dan kecepatan angin pada suatu waktu dan lokasi tertentu dapat ditampilkan dalam bentuk mawar angin (Tjasyono, 2004).

CERC (1984) menjelaskan bahwa untuk mengkonversi data angin darat menjadi data angin laut diperlukan koreksi elevasi, lokasi, stabilitas, durasi dan faktor gesekan angin. Pembentukan fetch sesuai gambaran fetch dalam Triatmodjo (1999), yaitu dengan membuat garis utama ditarik dari lokasi penelitian dan garis-garis di sisi kanan dan kiri garis utama dengan selang 6° . Perhitungan fetch efektif menggunakan persamaan:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Peramalan gelombang dilakukan untuk memperoleh nilai tinggi dan periode gelombang dari data angin yang telah dikoreksi. Peramalan gelombang menggunakan metode Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) yang telah diperbaiki oleh Hasselman dalam CERC (1984). Peramalan gelombang membutuhkan perkiraan kondisi gelombang *fetch limited* atau *duration limited* menggunakan persamaan :

$$\frac{gt}{U_A} = 6,88 \cdot 10^1 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Jika menghasilkan nilai $> 7,15 \cdot 10^4$ maka kondisi gelombang *fully developed* dan perhitungan tinggi dan periode gelombang menggunakan persamaan :

$$\frac{gH}{U_A^2} = 2,433 \cdot 10^{-1}$$

$$\frac{gT}{U_A} = 8,134$$

Dengan g = percepatan gravitasi (m/s^2), t = durasi angin (dtk), U_A = faktor gesekan angin, F = fetch efektif (m), H = tinggi gelombang (m), T = periode gelombang (dtk).

Jika hasil $< 7,15 \cdot 10^4$, maka kondisi gelombang *non fully developed*. Oleh karena itu perlu diketahui kondisi gelombang *fetch limited* atau *duration limited* dengan mencari nilai batas durasi (t_c):

$$t_c = 6,88 \cdot 10^1 \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{2/3} \frac{U_A}{g}$$

Jika hasil $t_c <$ durasi angin maka kondisi gelombang *fetch limited* dan perhitungan tinggi dan periode gelombang menggunakan persamaan :

$$\frac{gH}{U_A^2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{gT}{U_A} = 2,857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Jika nilai $t_c >$ durasi angin, maka kondisi gelombang *duration limited*. Kondisi *duration limited* perhitungan tinggi dan periode gelombang membutuhkan perhitungan fetch minimum (F_{min}) menggunakan persamaan :

$$F_{min} = \left[\frac{gt}{68,8 U_A} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{U_A^2}{g}$$

$$\frac{gH}{U_A^2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF_{min}}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{gT}{U_A} = 2,857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{gF_{min}}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Pemodelan gelombang menggunakan perangkat lunak Surface Water Modeling System (SMS) versi 10.1 modul Coastal Modeling System-Wave (CMS-Wave). Penjalaran gelombang dimodelkan dalam 2 skenario *layoutbreakwater* selama 4 perubahan musim. Skenario 1 merupakan *layoutbreakwater* sebenarnya di Pelabuhan Pendaratan Ikan (PPI) Larangan. Pada skenario 2 dilakukan modifikasi *layoutbreakwater* sisi barat, yaitu dengan penambahan panjang dan ujung *breakwater* berbelok ke arah timur. Topografi dasar perairan yang digunakan dalam model didapatkan dari data kedalaman yang diolah menjadi peta batimetri. Masukan model terdiri dari tinggi dan periode gelombang berdasarkan hasil peramalan gelombang dan arah gelombang berdasarkan arah angin dominan pada tiap musim yang ditunjukkan oleh mawar angin.

Peramalan dan model gelombang membutuhkan verifikasi untuk validasi data. Triatmodjo (2002) menjelaskan bahwa kesalahan antara nilai perkiraan dan nilai eksak dapat dinyatakan dalam bentuk kesalahan relatif menggunakan persamaan:

$$RE = \frac{p - p^*}{p} 100\%$$

Dengan RE = relatif error, p = nilai eksak, p* = nilai perkiraan.

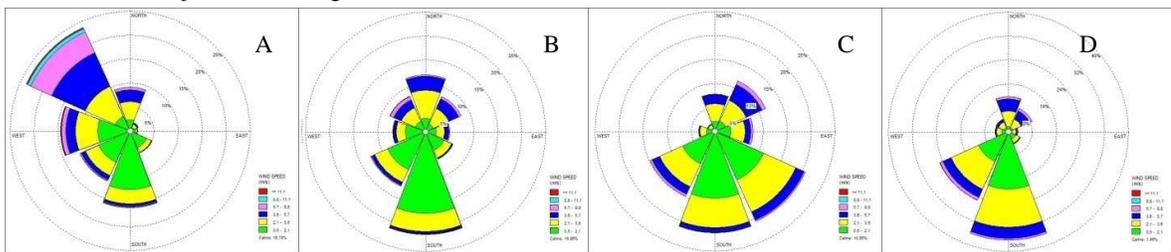
3. Hasil dan Pembahasan

Tinggi dan periode gelombang signifikan dan hasil pengukuran ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran gelombang lapangan

Keterangan	Tinggi gelombang (m)	Periode gelombang (dtk)
Maksimum	0.27	5.6
Signifikan	0.17	4.55
Minimum	0.03	3.5

Hasil kajian menunjukkan bahwa mawar angin musim barat menunjukkan arah angin dominan dari barat, sesuai dengan penjelasan Tjasyono dkk (2008) bahwa pada bulan Desember-Januari-Februari bertiup angin muson barat dari Asia menuju Australia. Mawar angin musim timur menampilkan arah angin dominan dari selatan dan tenggara seiring dengan angin muson timur yang bertiup dari benua Australia pada bulan Juni-Juli-Agustus (Tjasyono dkk, 2008). Sedangkan mawar angin musim peralihan I dan II menunjukkan arah angin dominan dari arah selatan.



Gambar 2. Mawar angin: A. Musim barat; B. Musim peralihan 1; C. Musim timur; D. Musim Peralihan 2

Peramalan gelombang dari data angin menghasilkan data gelombang sebagaimana ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil peramalan gelombang

Musim	Hmaks (m)	Hs (m)	Hmin (m)	Tmaks (dtk)	Ts (dtk)	Tmin (dtk)
Barat	0.78	0.27	0.004	6.05	3.86	0.68
Peralihan I	0.59	0.23	0.02	6.05	4.38	0.48
Timur	0.38	0.20	0.004	6.05	4.39	0.68
Peralihan II	0.63	0.25	0.004	6.05	4.65	0.47

Tinggi gelombang signifikan pada musim barat merupakan yang paling besar.

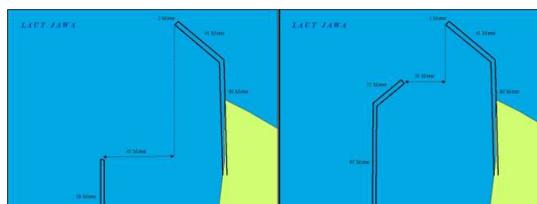
Data gelombang lapangan yang diperoleh dari 19-22 Mei 2013 digunakan untuk verifikasi hasil peramalan gelombang dari data angin. Hasil peramalan yang digunakan untuk verifikasi adalah hasil peramalan pada waktu yang sama dengan pengambilan data gelombang. Hasil verifikasi nilai tinggi dan periode gelombang signifikan ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Nilai verifikasi gelombang peramalan dengan gelombang lapangan.

Gelombang	Hs (m)	Ts (dtk)
Pengukuran lapangan	0.17	4.55
Hasil peramalan	0.21	4.85
Kesalahan relatif	26.44 %	6.57 %

Verifikasi hasil model dilakukan dengan data lapangan yang diukur pada tanggal 19 – 22 Mei 2013. Model dijalankan dengan masukan nilai tinggi gelombang signifikan (Hs) dan periode gelombang signifikan (Ts) hasil peramalan gelombang tanggal 19 – 22 Mei 2013. Nilai tinggi gelombang hasil model yang diambil untuk verifikasi merupakan nilai tinggi gelombang di titik yang sama dengan titik pengambilan data lapangan. Nilai Hs lapangan adalah 0,17 meter sedangkan nilai Hs model adalah 0,2 meter. Nilai relatif error yang didapatkan adalah 20,42 %.

Model gelombang dijalankan pada 2 skenario *layoutbreakwater*. Skenario pertama merupakan *layout* sebenarnya *breakwater* di Pelabuhan Pendaratan Ikan Larangan. *Breakwater* dibangun di kedua sisi muara Sungai Bongkok yang menjadi alur masuk ke pelabuhan. *Breakwater* di sisi barat berbentuk tegak lurus garis pantai dan *breakwater* di sisi timur berbentuk tegak lurus pantai dengan ujung berbelok ke arah barat.

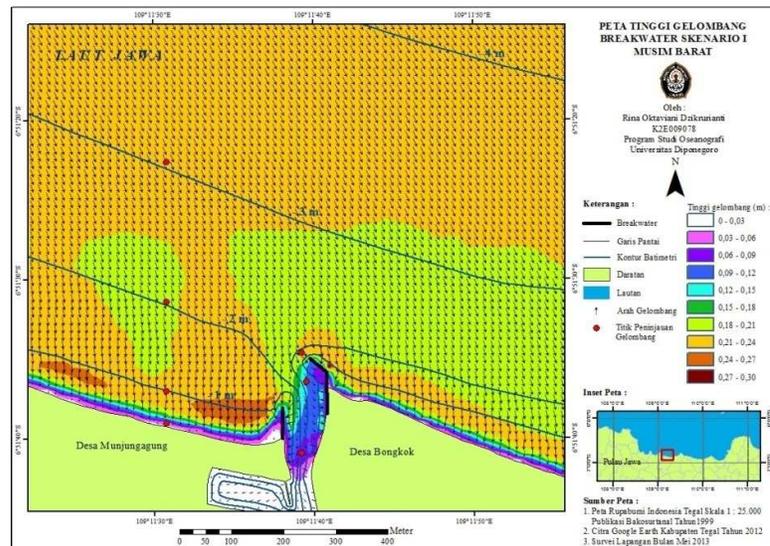


Gambar 3. Breakwater skenario 1 dan 2

Pada skenario kedua dilakukan modifikasi *layout breakwater* sisi barat dengan penambahan panjang dan pembelokan ujung *breakwater* ke arah timur. Pemilihan *layout* modifikasi berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Stratigaki et al (2010). Stratigaki et al (2010) melakukan penelitian penjalaran gelombang selama pembangunan *breakwater* baru di Pelabuhan Ostend. *Breakwater* baru dengan ujung berbelok di kedua sisinya mampu menghalangi gelombang yang masuk ke pelabuhan dengan lebih baik. Oleh karena itu, *layout breakwater* dengan ujung berbelok di kedua sisinya dipilih dengan harapan mampu menghalangi gelombang dengan lebih baik.

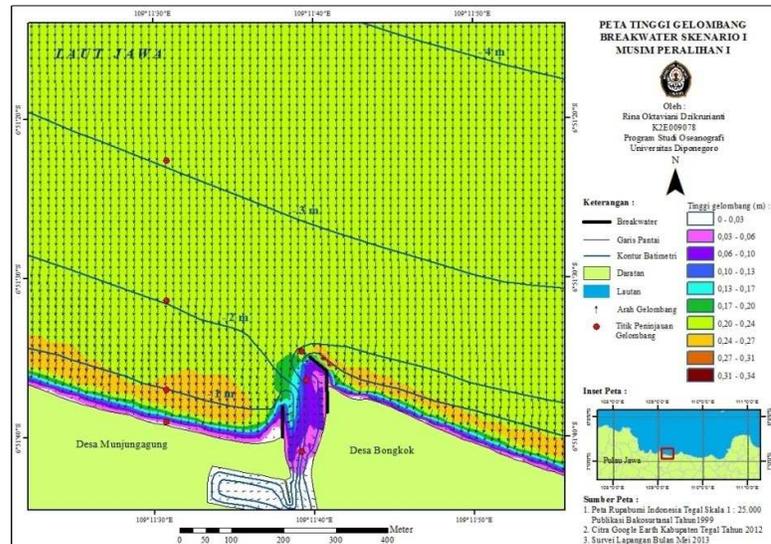
Pemodelan gelombang yang dilakukan bertujuan untuk menggambarkan pola refraksi dan difraksi yang terjadi akibat perubahan kedalaman dan bangunan pantai. Hasil model berupa gambaran penjalaran gelombang dalam bentuk vektor untuk menunjukkan arah gelombang dan perubahan warna untuk menggambarkan tinggi gelombang. Hasil model skenario 1 dengan *breakwater* membelok sisi timur ditunjukkan oleh gambar 4-7, sedangkan model skenario 2 dengan kedua *breakwater* membelok ditunjukkan oleh gambar 8-11.

Hasil model penjalaran gelombang (gambar 4-11) menunjukkan penjalaran gelombang dari laut lebih dalam menuju daerah pantai yang lebih dangkal. Tinggi gelombang ditunjukkan oleh perubahan warna sedangkan arah gelombang ditunjukkan oleh vektor anak panah yang ukurannya bergantung pada tinggi gelombang. Gelombang ditinjau dalam 4 titik yaitu di kedalaman 3 meter, 2 meter, 1 meter, dan di dekat pantai. Peninjauan gelombang juga dilakukan di dalam muara sungai setelah gelombang melewati *breakwater*.



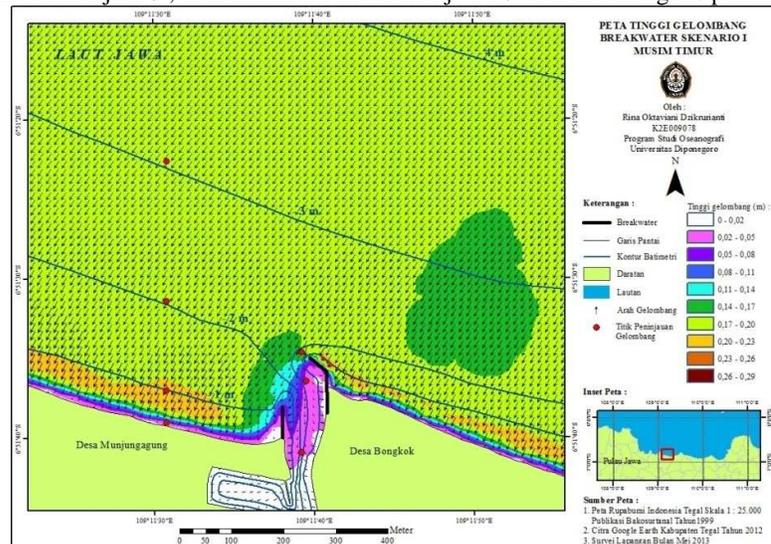
Gambar 4. Peta tinggi gelombang skenario 1 pada musim barat

Gelombang skenario 1 pada musim barat menjalar dari arah barat laut (315°) dengan tinggi maksimum 0,3 meter dan tinggi minimum 0,03 meter. Gelombang di kedalaman 3 dan 2 meter memiliki tinggi 0,22 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,26 meter. Selanjutnya gelombang mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,03. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 315° , di kedalaman 3 meter menjadi 338° , di kedalaman 2 meter menjadi 347° , di kedalaman 1 meter menjadi 357° dan di dekat garis pantai menjadi 4° .



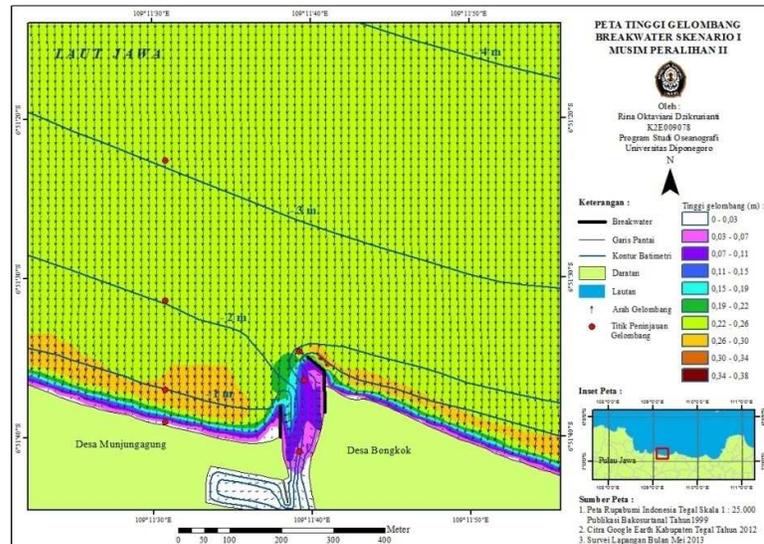
Gambar 5. Peta tinggi gelombang skenario 1 pada musim peralihan I

Gelombang skenario 1 pada musim peralihan I menjalar dari arah utara (0°) dengan tinggi maksimum 0,34 meter dan tinggi minimum 0,03 meter. Gelombang di kedalaman 3 meter memiliki tinggi 0,22 meter dan di kedalaman 2 meter memiliki tinggi 0,23 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,28 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,03 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 0° , di kedalaman 3 meter menjadi 6° , di kedalaman 2 meter menjadi 8° , di kedalaman 1 meter menjadi 10° dan di dekat garis pantai menjadi 10° .



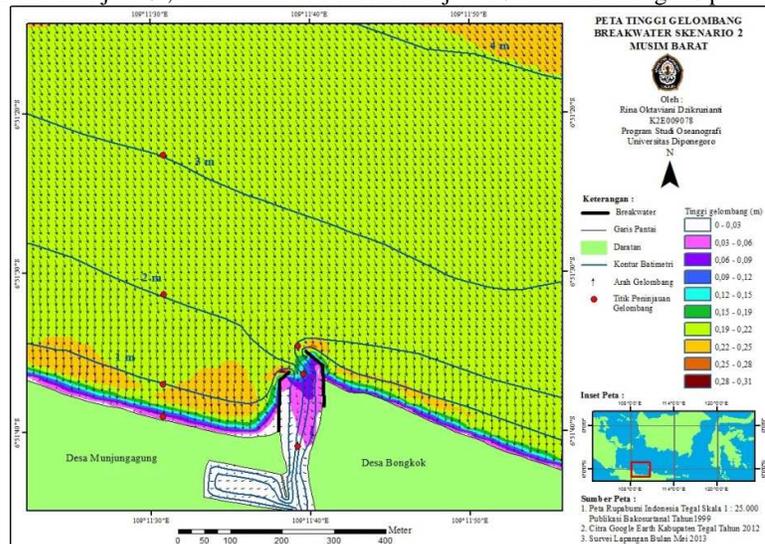
Gambar 6. Peta tinggi gelombang skenario 1 pada musim timur

Gelombang skenario 1 pada musim timur menjalar dari arah timur laut (45°) dengan tinggi maksimum 0,29 meter dan tinggi minimum 0,02 meter. Gelombang di kedalaman 3 meter memiliki tinggi 0,18 meter dan di kedalaman 2 meter memiliki tinggi 0,19 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,22 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,04 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 45° , di kedalaman 3 meter menjadi 33° , di kedalaman 2 meter menjadi 30° , di kedalaman 1 meter menjadi 23° dan di dekat garis pantai menjadi 16° .



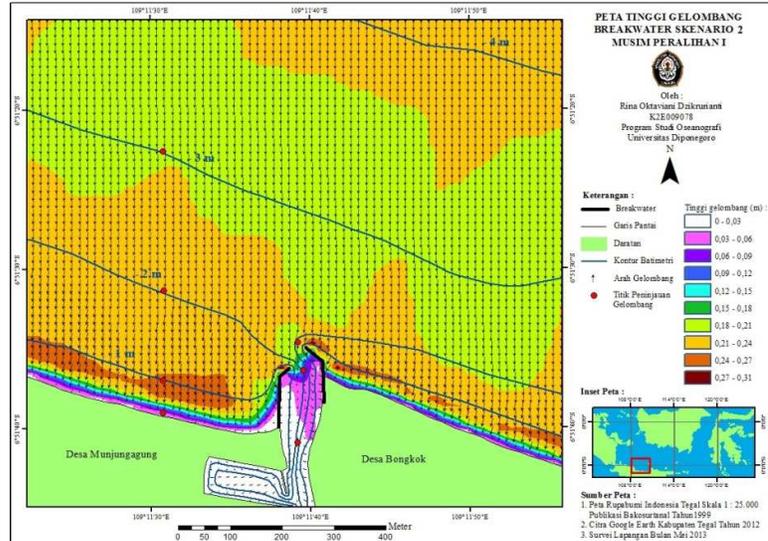
Gambar 7. Peta tinggi gelombang skenario 1 pada musim peralihan II

Gelombang skenario 1 pada musim peralihan II menjalar dari arah utara (0°) dengan tinggi maksimum 0,38 meter dan tinggi minimum 0,03 meter. Gelombang di kedalaman 3 meter memiliki tinggi 0,24 meter dan di kedalaman 2 meter memiliki tinggi 0,25 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,3 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,02 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 0° , di kedalaman 3 meter menjadi 6° , di kedalaman 2 meter menjadi 8° , di kedalaman 1 meter menjadi 10° dan di dekat garis pantai menjadi 10° .



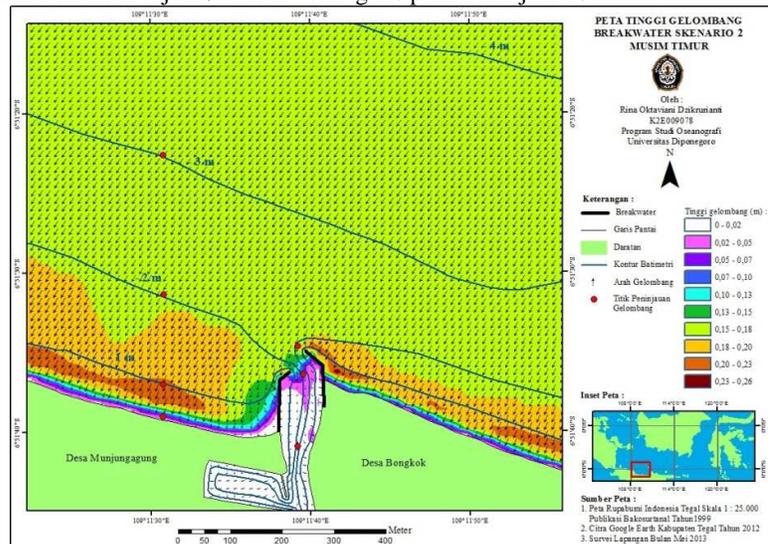
Gambar 8. Peta tinggi gelombang skenario 2 pada musim barat

Gelombang skenario 2 pada musim barat menjalar dari arah barat laut (315°) dengan tinggi maksimum 0,31 meter dan tinggi minimum 0,03 meter. Gelombang di kedalaman 3 meter memiliki tinggi 0,21 meter dan di kedalaman 2 meter memiliki tinggi 0,22 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,25 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,02 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 315° , di kedalaman 3 meter menjadi 339° , di kedalaman 2 meter menjadi 347° , di kedalaman 1 meter menjadi 356° dan di dekat garis pantai menjadi 4° .



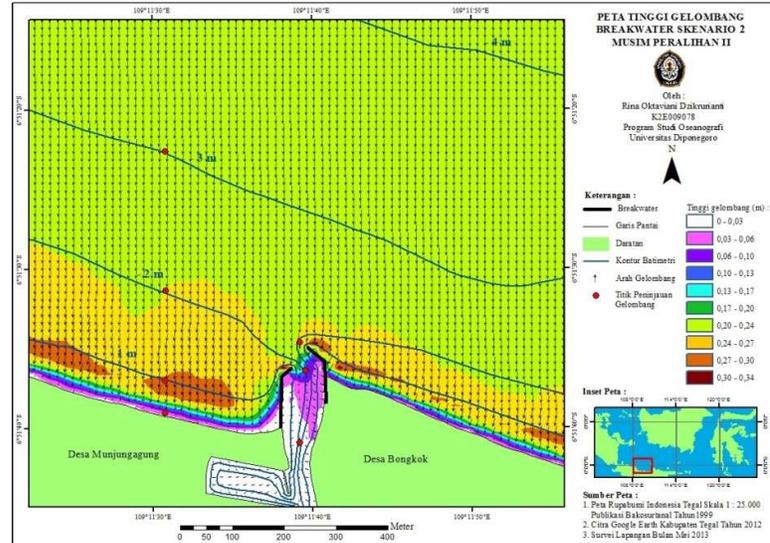
Gambar 9. Peta tinggi gelombang skenario 2 pada musim peralihan I

Gelombang skenario 2 pada musim peralihan I menjalar dari arah utara (0°) dengan tinggi maksimum 0,31 meter dan tinggi minimum 0,03 meter. Gelombang di kedalaman 3 meter memiliki tinggi 0,21 meter dan di kedalaman 2 meter memiliki tinggi 0,23 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,26 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,02 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 0° , di kedalaman 3 meter menjadi 6° , di kedalaman 2 dan 1 meter menjadi 9° dan di dekat garis pantai menjadi 10° .



Gambar 10. Peta tinggi gelombang skenario 2 pada musim timur

Gelombang skenario 2 pada musim timur menjalar dari arah timur laut (45°) dengan tinggi maksimum 0,26 meter dan tinggi minimum 0,02 meter. Gelombang di kedalaman 3 dan 2 meter memiliki tinggi 0,18 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,19 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,03 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah yang semula 45° , di kedalaman 3 meter menjadi 33° , di kedalaman 2 meter menjadi 30° , di kedalaman 1 meter menjadi 23° dan di dekat garis pantai menjadi 16° .



Gambar 11. Peta tinggi gelombang skenario 2 pada musim peralihan II

Gelombang skenario 2 pada musim peralihan II menjalar dari arah utara (0°) dengan tinggi maksimum 0,34 meter dan tinggi minimum 0,03 meter. Gelombang di kedalaman 3 meter memiliki tinggi 0,24 meter dan di kedalaman 2 meter memiliki tinggi 0,25 meter. Gelombang mencapai kedalaman 1 meter dengan tinggi 0,29 meter dan mengalami penurunan tinggi hingga di dekat pantai mencapai 0,02 meter. Gelombang juga mengalami perubahan arah semula 0° , di kedalaman 3 meter menjadi 6° , di kedalaman 2 meter menjadi 9° , di kedalaman 1 meter menjadi 10° dan di dekat garis pantai menjadi 10° .

Perubahan arah gelombang yang membelok dari arah asalnya menjadi semakin menyerupai kontur garis pantai dan tinggi gelombang yang semakin besar saat menjalar mendekati pantai menunjukkan terjadinya refraksi sesuai dengan penjelasan Stewart (2008) dan CERC (1984) tentang refraksi. Stewart (2008) menjelaskan bahwa perubahan kedalaman mengakibatkan kecepatan gelombang berkurang di perairan lebih dangkal, sementara periode dan frekuensi gelombang tidak berubah ketika gelombang menuju pantai. Tinggi gelombang bertambah dengan berkurangnya kecepatan gelombang, panjang gelombang berkurang dan arah gelombang berubah. Dalam CERC (1984) dijelaskan bahwa variasi kecepatan gelombang yang terjadi di sepanjang garis puncak gelombang akibat gelombang di laut yang lebih dalam bergerak lebih cepat akan membentuk sudut terhadap kontur kedalaman. Variasi kecepatan ini mengakibatkan puncak gelombang membelok mengikuti garis pantai yang disebut refraksi.

Penjalaran gelombang menuju alur masuk pelayaran pelabuhan terhalang oleh *breakwater* yang dibangun di kedua sisi muara sungai dan mengalami difraksi. Difraksi gelombang pada skenario 1 terlihat jelas di *breakwater* sisi timur dengan ujung membelok. Sedangkan difraksi gelombang pada skenario 2 tampak jelas di kedua sisi *breakwater* yang ujungnya membelok. Gelombang di ujung *breakwater* akan membelok ke bagian terlindung di belakang *breakwater*. Hal ini sesuai dengan penjelasan Triatmodjo (1999) bahwa apabila gelombang datang terhalang oleh pemecah gelombang maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung di belakang rintangan.

Breakwater pada skenario 1 memiliki mulut pelabuhan lebar yang menghadap ke arah barat laut, sehingga gelombang tinggi pada musim barat yang berasal dari arah barat laut dapat langsung memasuki mulut pelabuhan. Pada musim peralihan 1 dan 2, gelombang datang dari arah utara dan masih mampu memasuki mulut pelabuhan yang terbuka ke arah barat laut. Gelombang pada musim timur yang berasal dari arah timur laut dihalangi dengan baik oleh *breakwater* sisi timur yang lebih panjang dengan ujung membelok dan menutupi mulut pelabuhan. Kedua *breakwater* pada skenario 2 memiliki ujung yang membelok. Mulut pelabuhan menjadi lebih kecil dan menghadap ke arah barat laut. Gelombang yang menuju mulut pelabuhan dihalangi oleh kedua *breakwater* dan mengalami difraksi di kedua ujung *breakwater*.

Peninjauan gelombang setelah melewati *breakwater* dilakukan di tiga titik, yaitu sebelum *breakwater*, di mulut *breakwater*, dan di muara sungai. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tinggi gelombang setelah mengalami difraksi di ujung *breakwater*. Perbandingan gelombang dilakukan antara tinggi gelombang dari dua skenario pada tiap musim.

Pada musim barat, tinggi gelombang semula 0,21 meter di depan *breakwater* setelah melewati mulut pelabuhan berubah menjadi 0,12 meter untuk skenario 1 dan 0,09 meter untuk skenario 2. Gelombang di muara sungai pada skenario 1 memiliki tinggi 0,08 meter, sedangkan pada skenario 2 memiliki tinggi 0,02 meter. Tinggi gelombang sebelum *breakwater* pada musim peralihan 1 adalah 0,21 meter. Setelah

mengalami difraksi di ujung *breakwater*, gelombang di mulut pelabuhan memiliki tinggi 0,09 meter untuk skenario 1 dan 0,07 meter untuk skenario 2. Tinggi gelombang di muara sungai pada skenario 1 sebesar 0,05 meter dan pada skenario 2 sebesar 0,02 meter. Gelombang pada musim timur sebelum *breakwater* memiliki tinggi 0,17 meter, selanjutnya gelombang di mulut pelabuhan memiliki tinggi 0,05 meter untuk skenario 1 dan 0,04 meter untuk skenario 2. Sedangkan tinggi gelombang di muara sungai sebesar 0,03 meter untuk skenario 1 dan 0,01 meter untuk skenario 2. Tinggi gelombang sebelum *breakwater* pada musim peralihan 2 adalah 0,21 meter, tinggi gelombang berubah di mulut pelabuhan pada skenario 1 menjadi 0,1 meter dan pada skenario 2 menjadi 0,08 meter. Gelombang di muara sungai pada skenario 1 memiliki tinggi 0,06 meter, sedangkan pada skenario 2 memiliki tinggi 0,02 meter.

Tinggi gelombang setelah mengalami difraksi di ujung *breakwater* menjadi lebih kecil. Hal ini didukung oleh CHL (2008) yang menjelaskan bahwa difraksi mampu mengurangi efek konsentrasi energi di daerah konvergensi akibat refraksi. Difraksi mengakibatkan transfer energi gelombang tegak lurus arah penjarangan gelombang (daerah konvergensi) sehingga tinggi gelombang menjadi semakin kecil.

Gelombang setelah mengalami difraksi di *breakwater* skenario 2 cenderung memiliki tinggi yang lebih kecil daripada gelombang pada skenario 1. *Breakwater* skenario 2 memberikan perlindungan dari gelombang lebih baik daripada *breakwater* skenario 1. *Layoutbreakwater* seperti skenario 2 telah dipakai untuk pelabuhan-pelabuhan lain seperti pelabuhan Zeebrugge di Belgia (Van Damme, 1982), pelabuhan Samalaju di Sarawak (Chemsain Konsultant, 2010), dan pelabuhan Tanjung Priok (PM Perhubungan No. 38 Tahun 2012).

4. Kesimpulan

Gelombang yang menjalar menuju pelabuhan mengalami penambahan tinggi gelombang dan pembelokan arah gelombang (refraksi). Gelombang terhalang *breakwater* di mulut pelabuhan dan mengalami pembelokan di ujung *breakwater* kemudian bergerak ke daerah terlindung di belakang *breakwater* (difraksi). *Layout* skenario II dengan *breakwater* membelok sisi timur dan barat menghasilkan gelombang yang lebih kecil dengan layout skenario I yang menggunakan desain sebenarnya *breakwater* di Pelabuhan Pendaratan Ikan (PPI) Larangan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Tegal. 2013. Kabupaten Tegal dalam Angka 2013. Badan Pusat Statistik Kabupaten Tegal, Kabupaten Tegal.
- Chemsain Konsultant. 2010. *Preliminary Environmental Impact Assessment (PEIA) Study for The Proposed New Samalaju Port*. Chemsain Konsultant SDN. BHD., Sarawak.
- Coastal and Hydraulic Laboratory (CHL). 2008. *Coastal Engineering Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington.
- Coastal Engineering Research Center (CERC). 1984. *Shore Protection Manual*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Coastal Engineering Research Center, Mississippi.
- Emery, W.J. and R.E. Thompson. 1997. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Pergamon Elsevier Science, Oxford.
- Kurniawan, R., M.N. Habibie, Suratno. 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 12 No. 3.
- Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 38 Tahun 2012 tentang Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Priok.
- Tjasyono, B., R.Gernowo, Sri Woro B.H., dan Ina J. 2008. *The Character of Rainfall in the Indonesian Monsoon*. Submitted to the International Symposium on Equatorial Monsoon System. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.
- _____. 2002. *Metode Numerik*. Beta Offset, Yogyakarta.
- _____. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- SonTek/YSI. 2008. *The Argonaut-XR Expanded Description*. SonTek/YSI Incorporated, California.
- Sorensen, Robert M. 1991. *Basic Coastal Engineering*. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Virginia.
- Stewart, Robert H. 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas A&M University, Texas.
- Stratigaki, V., D. Vanneste, P. Troch, S. Gysens, and M. Willems. 2010. *Numerical Modeling of Wave Penetration in Ostend Harbour*. Coastal Engineering presented in 32nd International Conference on Coastal Engineering (ICCE), Shanghai.
- Van Damme, L.V. 1982. *Zeebrugge's Main Breakwater*. Coastal Engineering presented in 18th International Conference on Coastal Engineering (ICCE), Cape Town.