

Transformasi Gelombang untuk Perencanaan Pelabuhan Hub Internasional

Denny Nugroho Sugianto*, Purwanto dan Andika B Candra

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Indonesia
 Telp/Fax (024) 7474698; Email: dennysugianto@yahoo.com

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia sehingga peran pelabuhan sangat vital dalam pembangunan ekonomi. Pelabuhan bukan hanya sekedar sebagai pelengkap infrastruktur, melainkan harus direncanakan dan dikelola dengan baik serta memperhatikan fenomena dinamika perairan laut seperti pola gelombang laut. Data gelombang laut menjadi faktor penting dalam perencanaan tata letak dan tipe bangunan pantai karena dipengaruhi oleh tinggi gelombang signifikan, tunggang pasang surut dan transformasi gelombang. Penelitian ini menganalisis karakteristik dan bentuk transformasi gelombang untuk perencanaan Pelabuhan Hub Internasional, sebagai studi kasus adalah pelabuhan di Kuala Tanjung, Kabupaten Batu Bara. Pelabuhan di Kuala Tanjung merupakan salah satu dari 2 pelabuhan hub internasional yang direncanakan akan dibangun oleh pemerintah Indonesia. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif yang dilakukan dengan perhitungan statistik dan pemodelan matematik dengan modul hydrodinamic dan spectral wave untuk mengetahui arah penjalaran dan transformasi gelombang. Hasil dari data ECMWF selama 1999–Juni 2014, diketahui tinggi gelombang signifikan (H_s) maksimum mencapai 1,69 m dan periode maksimum 8 detik. Karakteristik gelombang termasuk klasifikasi gelombang laut transisi dengan nilai $d.L^{-1}$ berkisar antara 0,27–0,48 dan berdasarkan periodenya diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi. Transformasi gelombang terjadi akibat pendangkalan dengan koefisien pendangkalan K_s 0,93–0,98 dan proses refraksi gelombang dengan koefisien K_r 0,97–0,99. Tinggi gelombang pecah H_b sebesar 1,24 meter dengan kedalaman gelombang pecah d_b sebesar 1,82 meter. Efektifitas desain bangunan terminal di Pelabuhan Kuala Tanjung secara keseluruhan untuk sepanjang musim sebesar 79,8% atau dapat dikatakan cukup efektif dalam meredam gelombang.

Kata kunci: transformasi gelombang, tinggi dan periode gelombang, pelabuhan

Abstract

Wave Transformation for International Hub Port Planning

Indonesia is one of the largest archipelagic countries in the world, therefore port has vital role in economic development. Port is not just as a complement to the infrastructure, but it must be planned and managed properly and attention to the dynamics of marine phenomena such as ocean wave patterns. Ocean wave data become important factors in planning coastal building, since it is influenced by wave height, tides and waves transformation. The purpose of this study was to analyse characteristic and forms wave transformations for planning of international hub port at Kuala Tanjung, Baru Bara District North Sumatra. This port is one of two Indonesian government's plan in the development of international hub port. Quantitative method was used in this study by statistical calculations and mathematical modeling with hydrodinamic modules and spectral wave to determine the direction of wave propagation and transformation. Results show that based on ECMWF data during 1999–June 2014, known significant wave height (H_s) maximum of 1.69 m and maximum period (T_s) of 8 secs. The classification wave characteristics is wave transition ($d.L^{-1}$: 0.27–0.48) and by the period are classified as gravitational waves. Wave transformation occurs due to the soaling, with K_s 0.93–0.98 and the wave refraction K_r 0.97–0.99. Whereas H_b of 1.24 meters and d_b 1.82 meters. The effectiveness of the design of the terminal building at the Port of Kuala Tanjung overall for the season amounted to 79.8%, which is quite effective in reducing the wave.

Keywords: wave transformation, wave height and period, Port of Kuala Tanjung

Pendahuluan

Sebagai salah satu negara kepulauan terbesar Indonesia memiliki berbagai sumberdaya

baik hayati maupun non hayati. Pada kondisi demikian pelabuhan berperan penting khususnya dalam pemanfaatan sumberdaya dan pembangunan ekonomi (Lasabuda, 2013). Keberadaan pelabuhan

yang baik sangat diperlukan dan bukan hanya sekedar untuk sebagai bangunan pelengkap infrastruktur, dan harus direncanakan serta dikelola dengan baik, memperhatikan fenomena dinamika perairan laut termasuk pola gelombang laut. Data gelombang laut menjadi faktor penting dalam perencanaan tata letak dan tipe bangunan pantai karena dipengaruhi tinggi dan periode gelombang signifikan, pasang surut dan transformasi gelombang (Triatmodjo, 2008; Sugianto, 2010).

Pemerintah Indonesia telah menetapkan Pelabuhan Kuala Tanjung di Provinsi Sumatera Utara sebagai pelabuhan pengumpul (hub port) internasional wilayah barat (Bappenas, 2014). Penetapan hub port internasional dapat dilakukan dengan beberapa faktor antara lain letak geografis, berada pada alur pelayaran yang menguntungkan, potensi transshipment serta faktor hidro-oseanografi lainnya (Investor Daily, 2012). Rencana Induk Pelabuhan (RIP) Kuala Tanjung, akan dibangun Terminal (Container Yard) yang dilengkapi bangunan pemecah gelombang, dermaga, reklamasi, dan reventment (PT. Pelabuhan Indonesia I, 2014). Terminal ini berfungsi untuk tempat bersandar kapal dan tempat penampungan peti kemas, daerah perairan terminal harus terhindar dari gangguan gelombang dan agar kapal dapat melakukan bongkar muat dengan mudah. Pembangunan pemecah gelombang yang berada di lepas pantai akan menyebabkan perubahan karakteristik gelombang yaitu arah penjalaran dan tinggi gelombang serta proses refraksi dan difraksi gelombang (Triatmodjo, 2010). Desain bangunan yang cocok untuk pelabuhan harus dapat meredam tinggi gelombang besar (Kramadibrata, 1985).

Pembangunan pelabuhan atau bangunan pantai yang menjorok ke arah laut akan memunculkan sedimentasi dan erosi (CHL, 2006) sehingga diperlukan penelitian agar pembangunan berjalan efektif dan efisien. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik dan transformasi gelombang untuk perencanaan Pelabuhan Hub Internasional Kuala Tanjung, Kabupaten Batu Bara. Sehingga diketahui proses karakteristik, pola penjalaran, refraksi dan difraksi serta untuk mengetahui tinggi elevasi bangunan pantai dan nilai efektifitas dari desain bangunan pemecah gelombang.

Materi and Metode

Data primer yang akan digunakan sebagai pembandingan dengan hasil peramalan (verifikasi data) berupa data tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) dan pasang surut. Data sekunder berupa Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) publikasi BIG tahun 2013 sebagai peta dasar, peta

kedalaman laut (bathimetri) publikasi DISHIDROS TNI AL tahun 2003, Layout desain Pelabuhan Kuala Tanjung dan data angin dan gelombang selama 15 tahun (1999-2014) yang diperoleh dari European Center for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif (Sugiyono, 2009)

Pengukuran gelombang laut

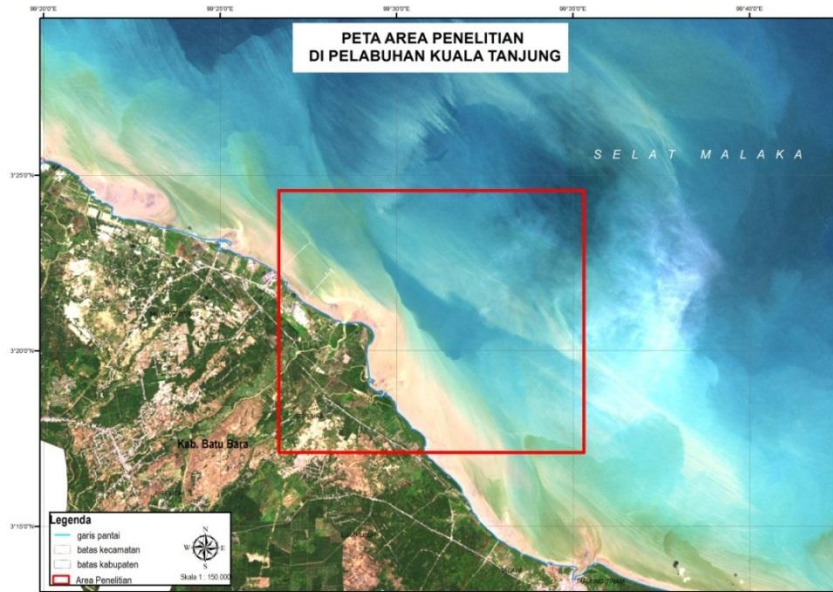
Menurut WMO (1998) terdapat tiga tipe pengukuran gelombang laut yakni (i) pengukuran dibawah permukaan laut; (ii) pengukuran pada permukaan laut; dan (iii) pengukuran diatas permukaan laut. Pengukuran gelombang laut dengan *Wave Recorder ADP Sontek Argonaut - XR* berada pada koordinat 99°40'10.128"BT dan 3°18'52.01"LU dengan kedalaman 15 m dan jarak terdekat dari garis pantai sebesar 11 km, menggunakan metode mooring dititik lokasi pengukuran (Sontek/YSI, 2006). Pengukuran gelombang laut dilaksanakan di Perairan Kuala Tanjung, Kabupaten Batu Bara Sumatera Utara pada tanggal 14-17 Juni 2014.

Pemodelan transformasi gelombang

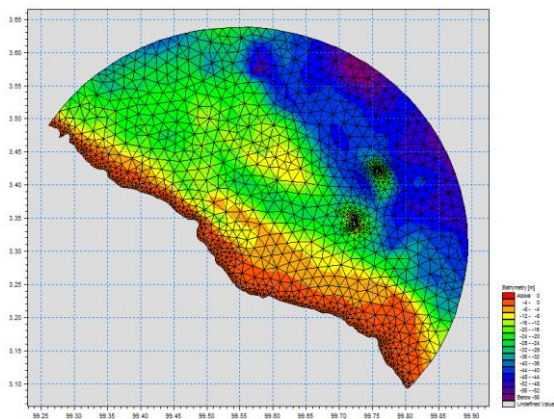
Proses pemodelan dimulai dengan pengumpulan data, sebagai input pemodelan. Peta bathimetri pada lokasi penelitian diperoleh dari peta laut DISHIDROS TNI AL dan desain pemecah gelombang Pelabuhan Kuala Tanjung yang kemudian dilakukan digitasi pada software pemetaan. Selanjutnya dilakukan pengaturan konfigurasi model yaitu penyusunan mesh/grid dan bathimetri pemodelan. Tahapan dalam pembentukan mesh ini adalah mengimpor batas-batas model; mengedit batas daratan; spesifikasi batas-batas; pembentukan mesh/grid; memperhalus batas-batas daratan; interpolasi bathimetri terhadap mesh; dan memperhalus mesh/grid.

Tahap selanjutnya adalah persiapan input data *hydrodynamic module* dan *spectral wave module*. Data untuk *hydrodynamic module* (HD) adalah syarat batas berupa data pasang surut dari *Global Tide*. Sedangkan *spectral wave module* (SW) disiapkan data tinggi dan periode gelombang dari lapangan yang sebelumnya dilakukan kalibrasi.

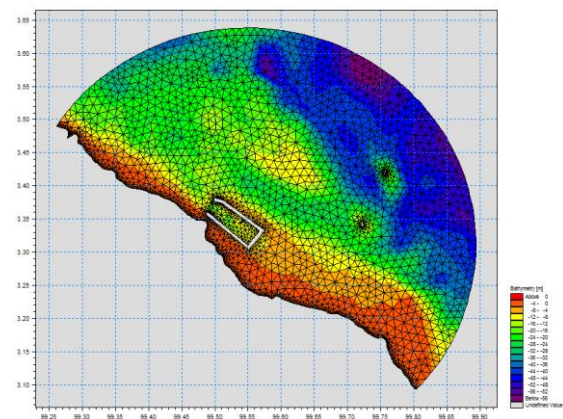
Hasil dari modul HD berupa elevasi muka air dan arus dijadikan input di modul SW. Hasil dari pemodelan modul SW berupa tinggi, periode, arah gelombang serta dapat mengetahui penjalaran gelombang. Dalam modul ini, persamaan pengaturannya adalah persamaan keseimbangan gaya gelombang baik dalam koordinat kartesian maupun *spherical* yang dirumuskan oleh Komen *et al.* (1994) dalam Young (1999).



Gambar 1. Peta Area Penelitian Pelabuhan Kuala Tanjung Batu Bara



Gambar 2. Desain Grid (Mesh) Sebelum Pembaguan Pemecah Gelombang Pelabuhan



Gambar 3. Desain Grid (Mesh) Setelah Pembaguan Pemecah Gelombang Pelabuhan

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

dimana:

- $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ = rapat gaya
- t = waktu
- $\vec{x}(x, y)$ = koordinat Cartesian
- $\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ = kecepatan propagasi grup gelombang 4D
- S = source

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

dimana:

- $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ = rapat gaya
- $\vec{x}(\phi, \lambda)$ = koordinat spherical,
- ϕ = latitude

- λ = longitude
- E = rapat energi normal
- R = jari-jari bumi

Dalam koordinat polar persamaan keseimbangan gaya gelombang dapat ditulis sebagai berikut:

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

dimana:

$\hat{S}(\vec{x}, \sigma, \theta, t) = SR^2 = \text{total source dan sink function}$

Energi source, S, menunjukkan superposisi source function dari berbagai macam fenomena fisik.

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

dimana:

- S_{in} = pembentukan energi oleh angin
- S_{nl} = transfer energi gelombang akibat *non linear wave-wave interaction*
- S_{ds} = disipasi energi gelombang akibat *whitecapping*
- S_{bot} = disipasi akibat *bottom friction*
- S_{surf} = disipasi energi gelombang akibat *depth-induced breaking*

Terdapat dua skenario pemodelan yang digunakan yaitu skenario sebelum dan setelah dilakukan pembangunan pemecah gelombang pelabuhan. Skenario tersebut menunjukkan gambaran pola penjalaran dan transformasi gelombang, serta proses terjadinya difraksi, refraksi konvergensi dan divergensi akibat efek *shoaling* pada musim barat dengan inputan angin dari arah barat laut, musim peralihan I dengan inputan angin dari arah utara, musim timur dengan inputan angin dari arah timur dan musim peralihan II dengan inputan angin dari arah tenggara.

Verifikasi hasil

Data hasil peramalan terdiri dari data tinggi gelombang (H), dan periode gelombang (T). Data dari ECMWF di verifikasi terhadap data lapangan. Verifikasi juga dilakukan terhadap hasil lapangan dengan hasil model berupa tinggi gelombang signifikan (Hmax) dan periode signifikansi (Tmax). Koreksi kesalahan *relative* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Riyanto, 2004):

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

$$MRE = \sum_0^n \frac{|RE|}{|n|}$$

Menurut Azhar (2012) nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dapat dihitung dengan persamaan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N [\hat{X}_i - X_i]^2 \right]}$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran gelombang

Hasil pengukuran diketahui bahwa tinggi gelombang perairan Pelabuhan Kuala Tanjung berkisar antara 0,097-0,823 mdengan periode antara 4,5-6,2 detik. Sedangkan tinggi gelombang signifikan (*Hs*) dan periode gelombang signifikan

(*Ts*) adalah 0,3876 m dan 5,15 detik. Gambar 4. Tinggi gelombang maksimum adalah 0,823 m. Hal ini terjadi karena penelitian berlangsung pada saat musim timur sehingga gelombang yang terbentuk relatif kecil, pada saat musim timur angin yang berhembus di Perairan Pelabuhan Kuala Tanjung relatif kecil jika dibandingkan musim barat dan musim peralihan

Gelombang yang terbentuk di lokasi pengukuran berdasarkan gaya pembangkitnya, merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin termasuk jenis gelombang sea. Hal ini didukung klasifikasi gelombang berdasarkan periodenya menurut Houlthutjen (2007) yang menyatakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin mempunyai periode antara 1-10 detik. Sedangkan berdasarkan kedalaman relatif, gelombang yang terbentuk termasuk dalam gelombang laut transisi untuk gelombang maksimum, gelombang signifikan dan gelombang minimum dimana untuk gelombang laut transisi $0,05 < d/L < 0,5$. Menurut Triatmodjo (2008) berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman perairan *d* dan panjang gelombang *L* dengan nilai $0,05 < d/L < 0,5$ dikategorikan dalam gelombang laut transisi dan kedalaman perairan *d* dan panjang gelombang *L* dengan nilai $d/L > 0,5$ dikategorikan sebagai gelombang laut dalam.

Berdasarkan periodenya, gelombang hasil pengamatan di Perairan Pelabuhan Kuala Tanjung Batu Bara diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi untuk periode gelombang maksimum, gelombang signifikan dan periode gelombang. Hal ini sesuai dengan klasifikasi gelombang berdasarkan periodenya menurut Triatmodjo (2008), dimana untuk gelombang gravitasi memiliki periode antara 1-30 detik.

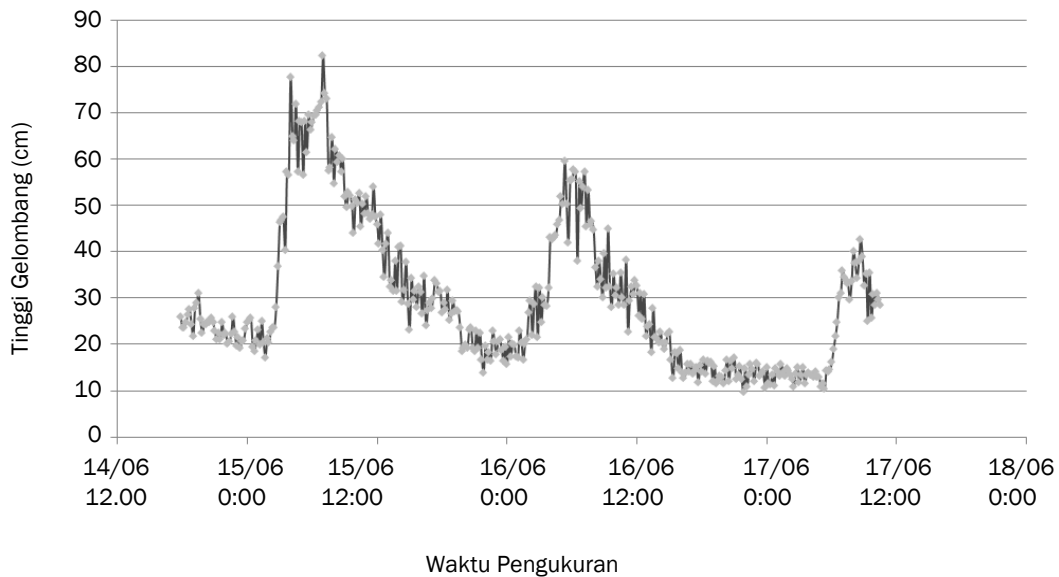
Berdasarkan kondisi dari kedalaman daerah pengukuran gelombang, tinggi gelombang, dan periode gelombang maka dapat dilakukan perhitungan mengenai parameter gelombang yang lain, dari perhitungan Tabel 3 didapatkan bahwa gelombang pada saat tinggi gelombang maksimum dan periode maksimum akan pecah pada kedalaman 1,82m dengan tinggi gelombang pecah 1,24 m. Gelombang pecah ini disebabkan oleh perbedaan kedalaman pada daerah penjalaran gelombang yang mengakibatkan gelombang tidak dapat mempertahankan kestabilannya dan kemudian gelombang pecah (Dauhan et al., 2013).

Hasil pengolahan angin ECMWF

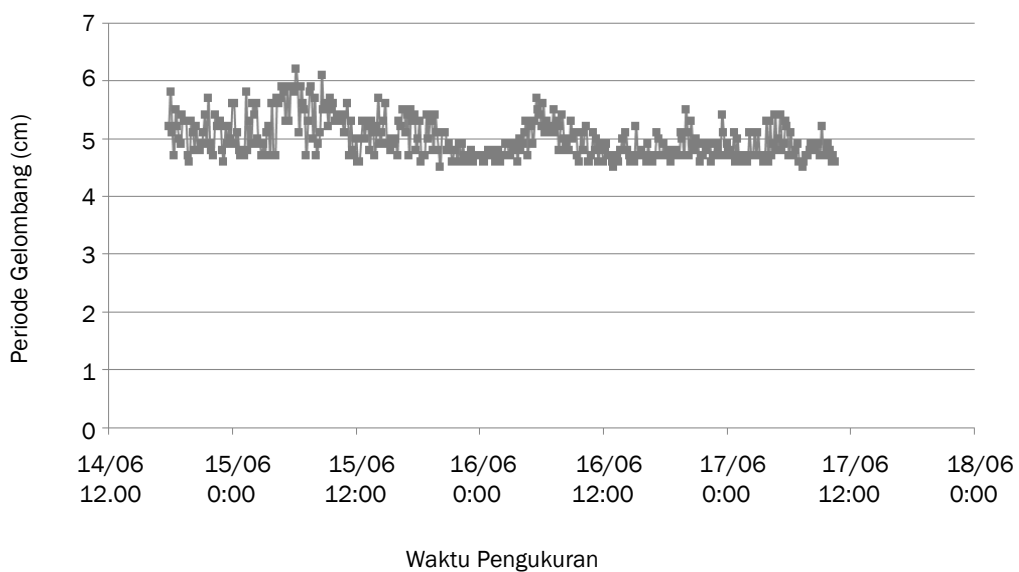
Pada musim barat arah angin sebagian besar berasal dari arah barat laut dan barat ($247,5^\circ$ -

337,5°). Lihat Gambar 6. Arah barat kecepatan angin dominan berkisar antara 1-3 m.det⁻¹ dengan persentase sebesar 7,24%, untuk arah barat laut kecepatan angin dominannya adalah 3-5 m.det⁻¹ dengan persentase sebesar 11,29%. Gambar 6 menyajikan mawar angin untuk kondisi musim peralihan I, terlihat bahwa arah angin dominan berasal dari tenggara dan barat laut dengan persentase 16,08% dan 27,05% dengan kecepatan angin dominan berkisar antara 1-3 m.det⁻¹ dengan

persentase sebesar 54,71%. Hal ini sesuai dengan pola angin musiman menurut Prawirowardoyo (1996) bahwa sistem sirkulasi angin di Indonesia merupakan bagian dari sistem monsun di Asia Timur dan Asia Tenggara dimana pada musim panas di belahan bumi utara (BBU), terjadi sebaliknya, angin monsun berhembus dari benua Australia menuju ke benua Asia. Di daerah Sumatera bagian utara dan Kalimantan Barat angin monsun bertiup dari arah barat daya, barat dan barat laut.



Gambar 4. Tinggi Gelombang Perairan Pelabuhan Kuala Tanjung Batu Bara Tanggal 14 - 17 Juni 2014
 —◆— = Tinggi Gelombang (cm)



Gambar 5. Periode Gelombang Perairan Pelabuhan Kuala Tanjung Batu Bara Tanggal 14-17 Juni 2014
 —■— = Periode Gelombang (cm)

Tabel 1. Karakteristik Gelombang Perairan Pelabuhan Kuala Tanjung Batu Bara

	d (m)	H(m)	T (s)	d.L ⁻¹	L (m)	C (m.det ⁻¹)	Ks	Kr
Gelombang Maksimum	15	0.823	6.2	0.27	55.995	9.031	0.9321	0.9703
Gelombang Signifikan	15	0.387	5.2	0.37	40.539	7.872	0.9680	0.9904
Gelombang Minimum	15	0.097	4.5	0.48	31.422	6.982	0.9888	0.9974

Tabel 2. Gelombang Pecah Perairan Pelabuhan Kuala Tanjung Batu Bara

	Tinggi gelombang pecah			Kedalaman gelombang pecah		
	H'o/gT ²	Hb/H'o	Hb (m)	Hb/gT ²	db/Hb	db (m)
Gelombang Maksimum	0.0021	1.5556	1.2422	0.0033	0.9571	1.8190
Gelombang Signifikan	0.0015	1.7222	0.6610	0.0025	0.9357	0.6185
Gelombang Minimum	0.0005	2.2639	0.2196	0.0011	0.9000	0.1976

Gambar 7 menyajikan mawar angin untuk kondisi musim timur, pada musim timur arah angin dominan berasal dari tenggara dan selatan (112,5° - 202,5°) dengan kecepatan angin dominan yang terjadi berkisar antara 1-3 m.det⁻¹ dengan persentase sebesar 56,11%. Gambar 7 menyajikan kondisi mawar angin pada musim peralihan II, menunjukkan arah angin dominan berasal dari barat laut dengan persentase sebesar 31,04% dan kecepatan angin dominan berkisar 3-5 m.det⁻¹. Hal ini sesuai dengan pola angin musiman menurut Prawirowardoyo (1996) bahwa sistem sirkulasi angin di Indonesia merupakan bagian dari sistem monsun di Asia Timur dan Asia Tenggara dimana pada musim dingin di belahan bumi utara (BBU), yaitu pada bulan Desember, Januari, dan Februari, angin monsun bertiup dari daerah Siberia menuju ke benua Australia. Selama periode ini di daerah yang mencakup sebagian besar Sumatra bagian utara dan Kalimantan Barat angin monsun datang dari arah timur laut dan tenggara.

Hasil kalibrasi dan verifikasi model

Hasil perbandingan diatas merupakan perbandingan dengan nilai *error* terkecil antara simulasi model matematik dengan data lapangan hasil pengukuran lapangan sebesar 15% dengan demikian *setting* yang digunakan untuk pemodelan penjalaran, transformasi gelombang, serta refraksi dan difraksi menggunakan kalibrasi dengan menggunakan nilai tipe *bed resistance* adalah *manning number* 28 m.det⁻¹. Gambar 8 yang menyajikan grafik perbandingan elevasi muka air atau pasang surut hasil simulasi dengan data pasang surut hasil pengukuran lapangan.

Sedangkan verifikasi menggunakan inputan tinggi dan periode maksimum dari pengolahan data

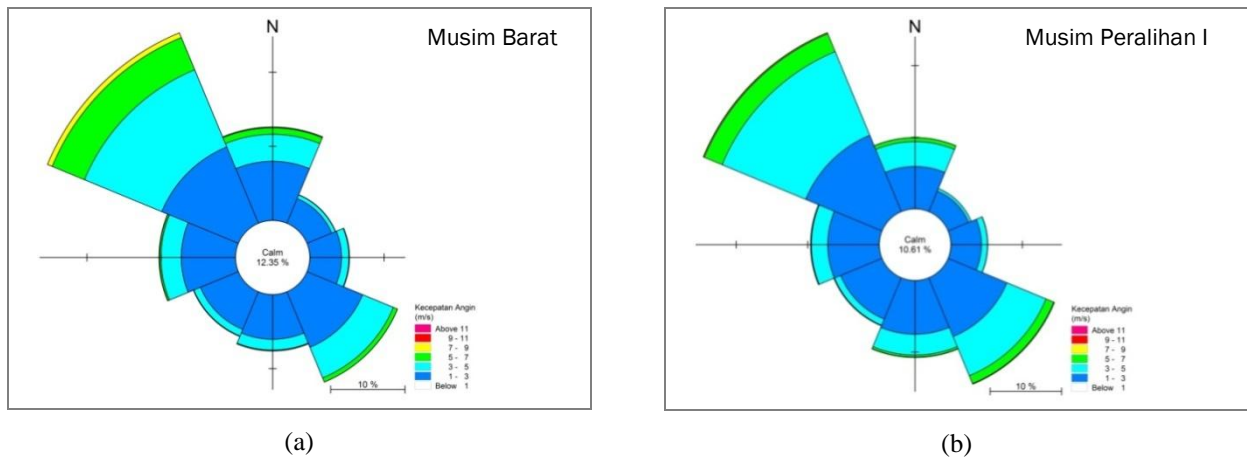
gelombang lapangan dengan tinggi dan periode gelombang hasil simulasi model (Agustino, 2014). Sehingga diketahui *relative error* yang dihasilkannya untuk menggambarkan gelombang maksimum yang akan terjadi. Inputan hasil pengolahan data gelombang lapangan adalah tinggi gelombang maksimum (Hmax) mencapai 0,823 m dan periode gelombang maksimum (Tmax) 5,8 detik. Tinggi gelombang maksimum (Hmax) hasil simulasi adalah 0,54 m dan periode gelombang maksimum (Tmax) adalah 6,06 detik.

Mean Relatif Error (MRE) yang diperoleh untuk tinggi gelombang maksimum adalah 34,67% dan 4,56% untuk periode maksimum. Hasil menunjukkan bahwa data hasil pemodelan hasilnya masih berdekatan dan dapat digunakan.

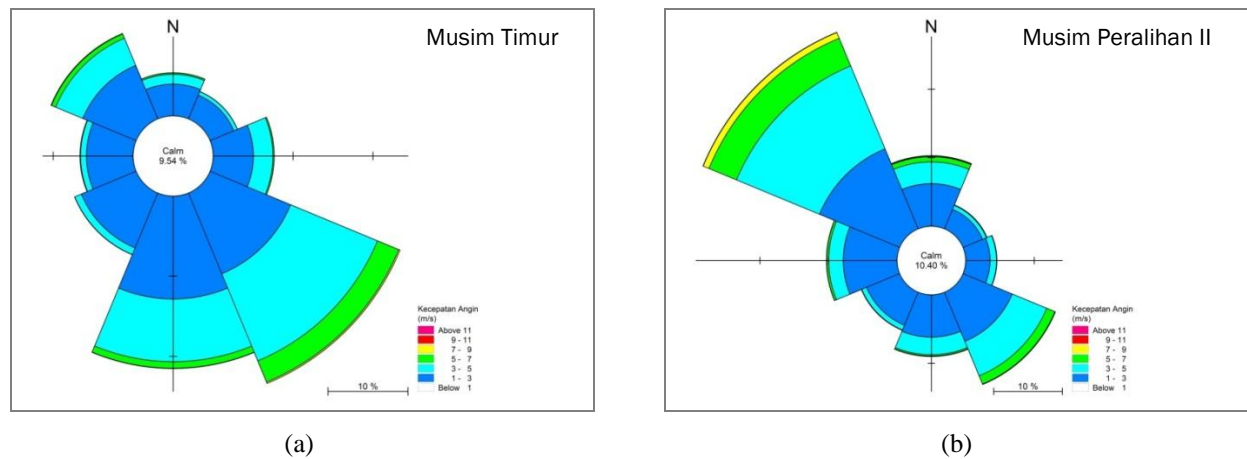
Hasil simulasi model

Skenario pemodelan sebelum pembangunan terminal (*container yard*) dan pemecah gelombang digambarkan dalam bentuk vektor seperti yang terlihat dalam Gambar 9 dan untuk setelah pembangunan (*container yard*) dan pemecah gelombang digambarkan dalam bentuk vektor seperti yang terlihat dalam Gambar 10.

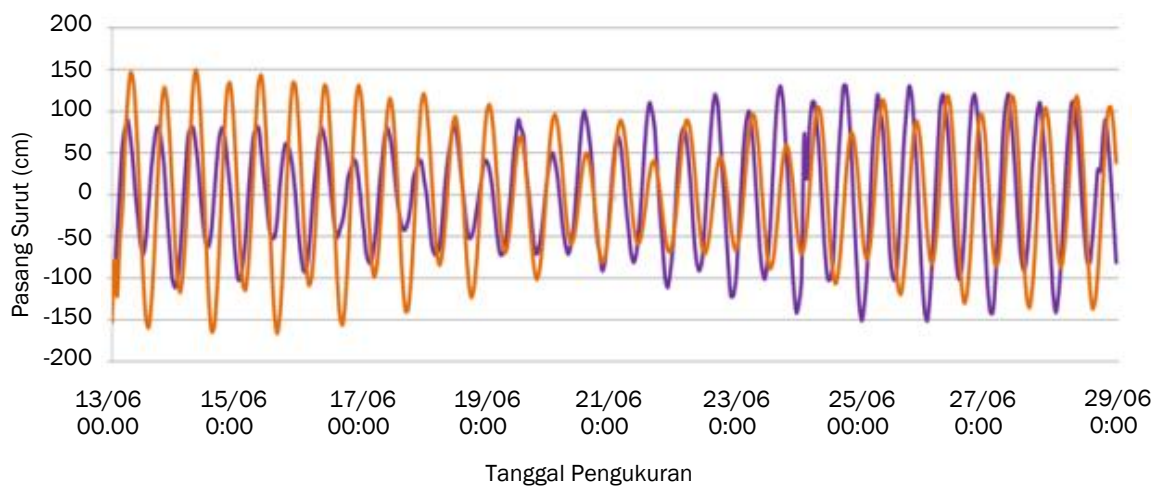
Perubahan kedalaman perairan atau keberadaan struktur bangunan pantai mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah penjalaran gelombang (Ramdani, 2014). Hasil simulasi model penjalaran gelombang menunjukan bahwa gelombang menjalar dari perairan dalam menuju perairan dangkal. Pada saat gelombang mendekati pantai terjadi refraksi karena perubahan kedalaman perairan (Prima, 2013) dan difraksi ketika gelombang membentur ujung dari suatu penghalang seperti pulau dan struktur bangunan pantai (Wibowo, 2012).



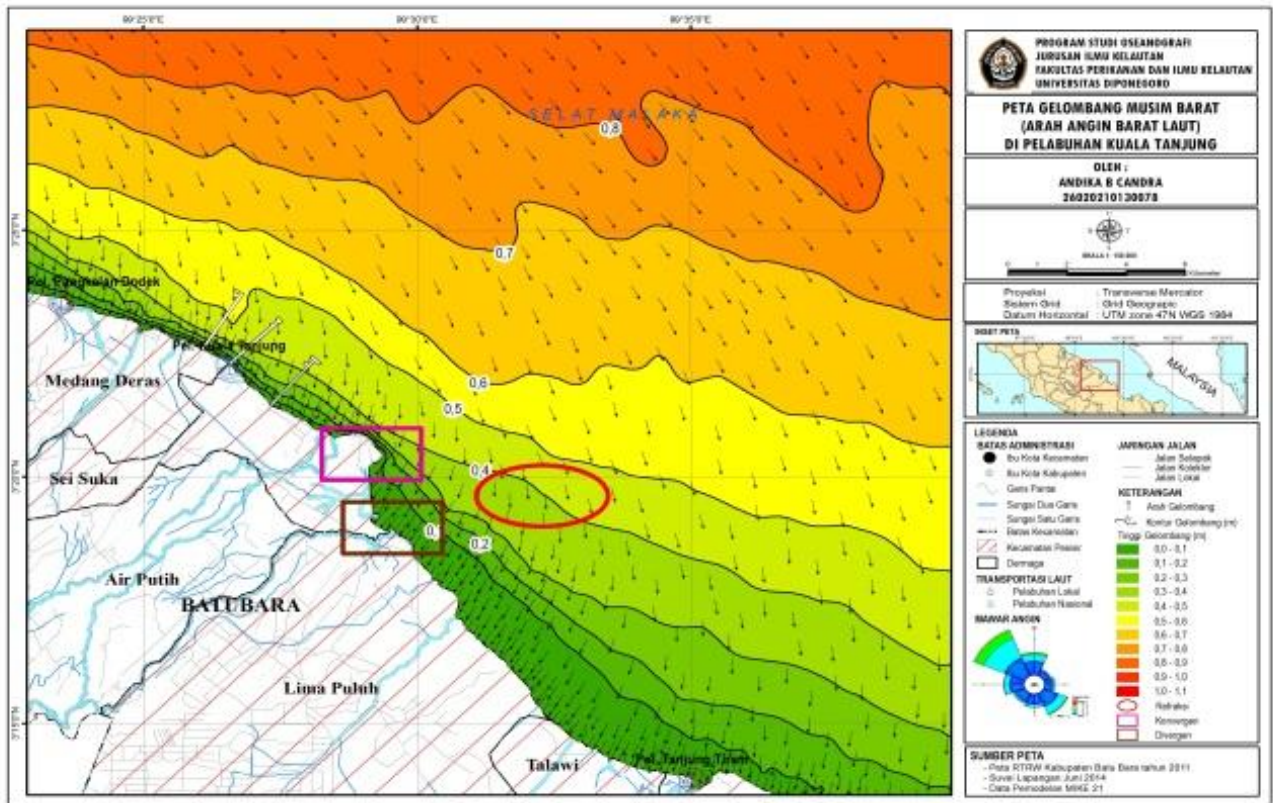
Gambar 6. a) Mawar Angin Musim Barat Tahun 1999 - Juni 2014, b) Mawar Angin Musim Peralihan I Tahun 1999 - Juni 2014



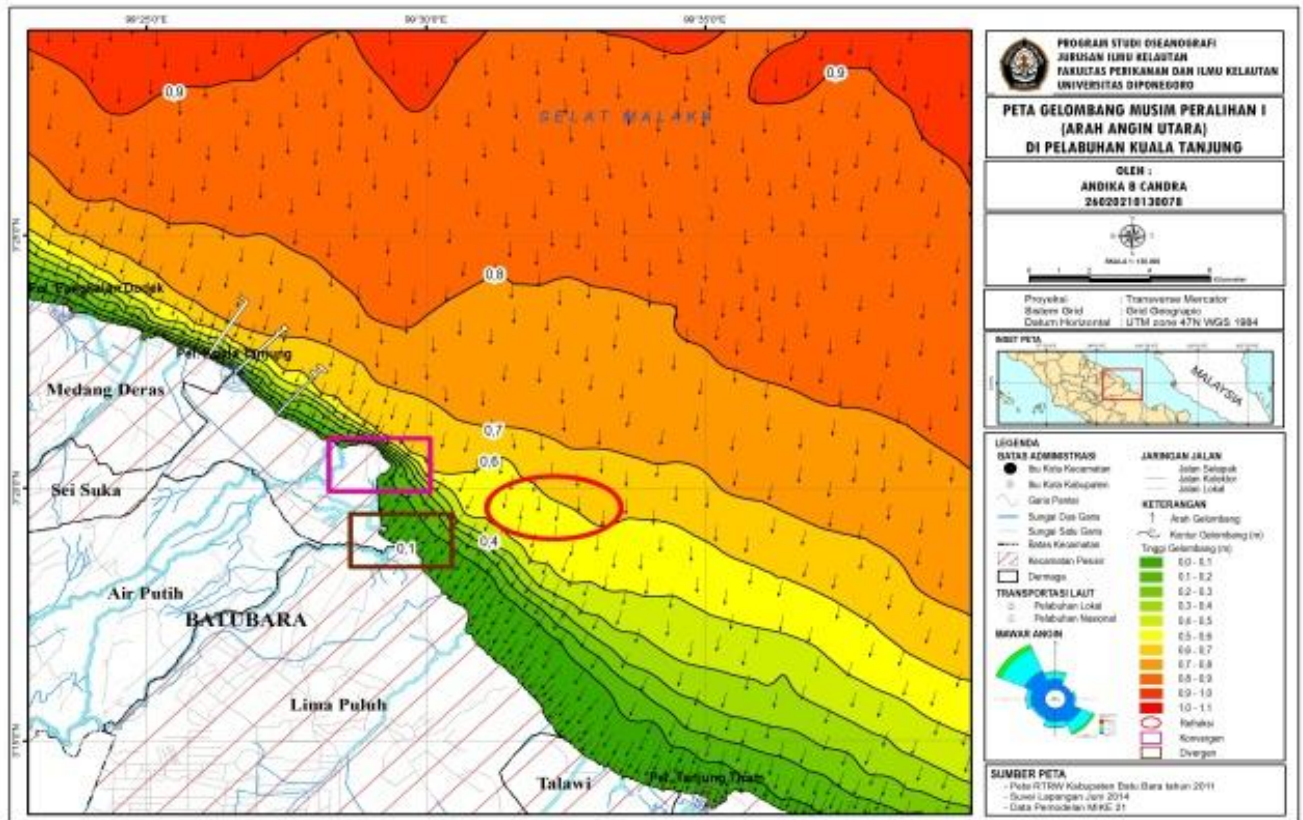
Gambar 7. a) Mawar Angin Musim Timur Tahun 1999 - Juni 2014, b) Mawar Angin Musim Peralihan II Tahun 1999 - Juni 2014.



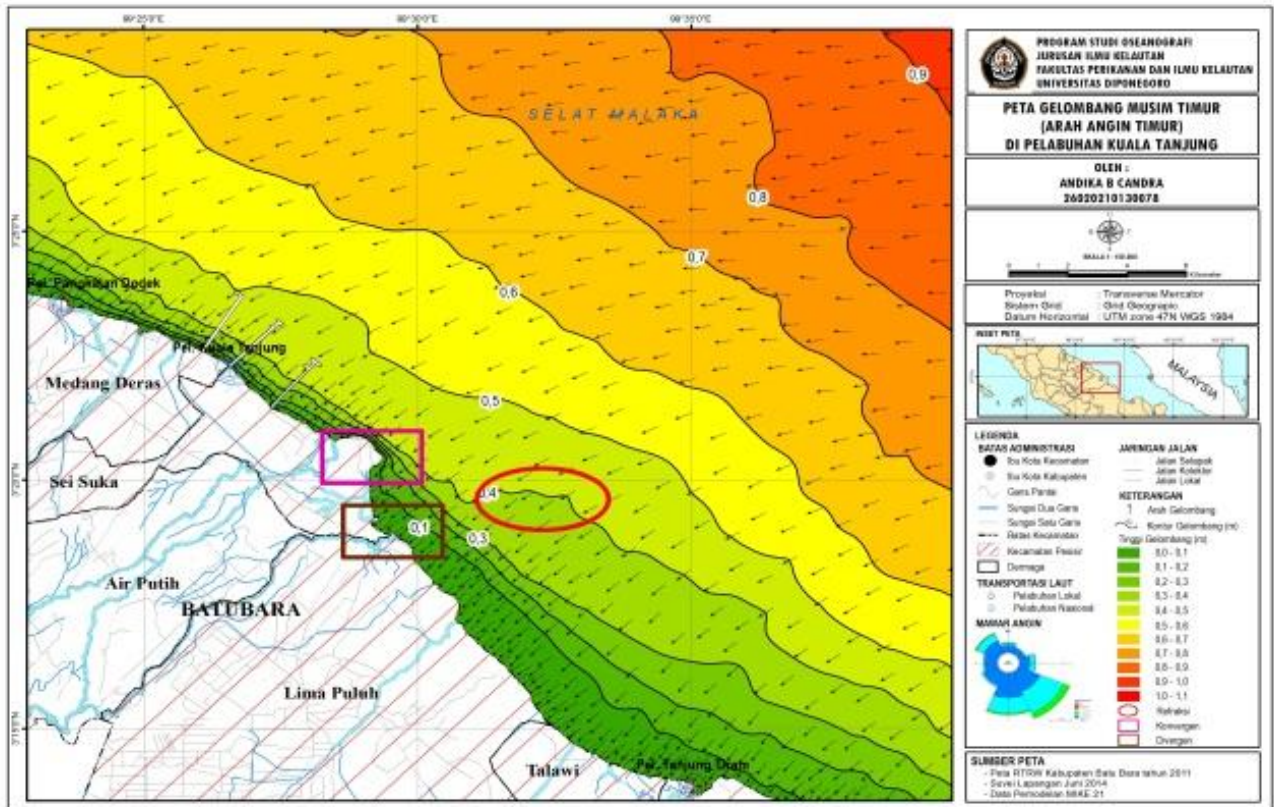
Gambar 8. Perbandingan Pasang Surut Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi Model di Pelabuhan Kuala Tanjung
 — = Pasang surut pengukuran, — = Pasang surut Pemodelan



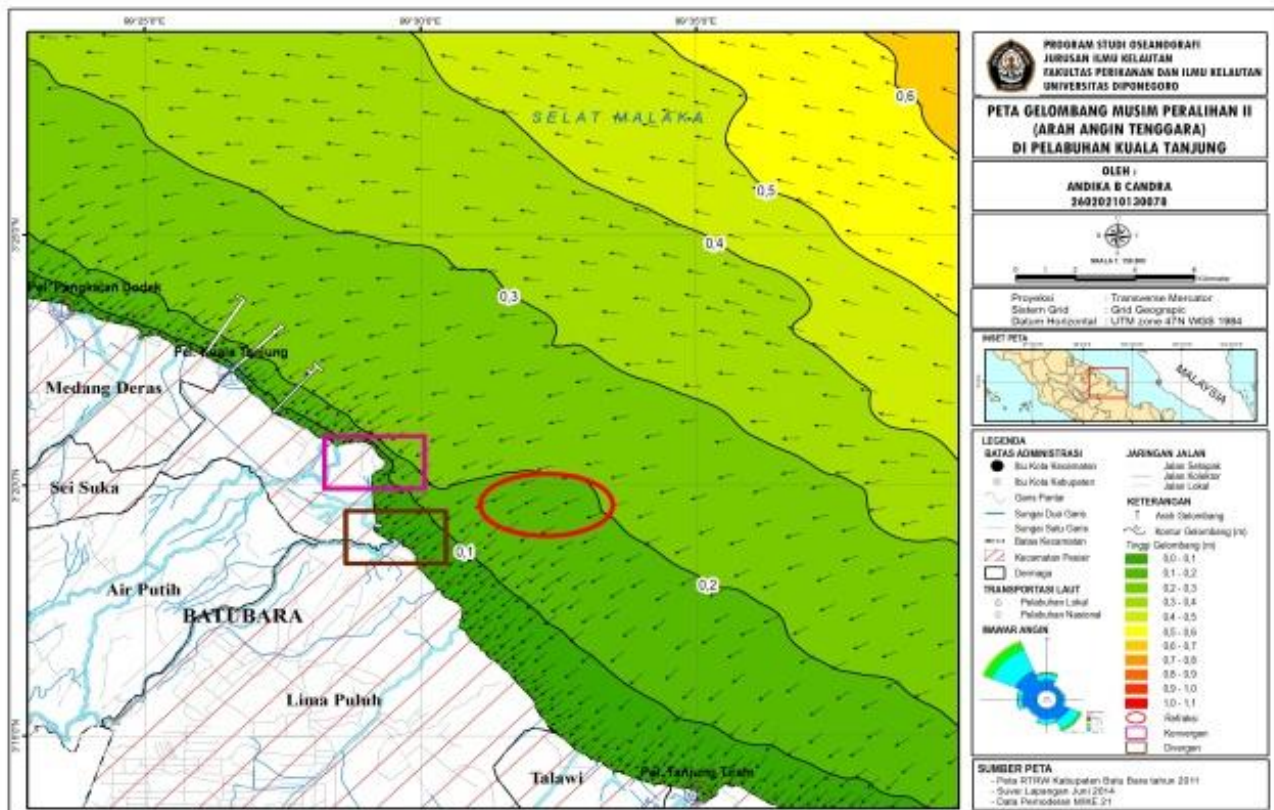
Gambar 9. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Barat (sebelum pembangunan pemecah gelombang)



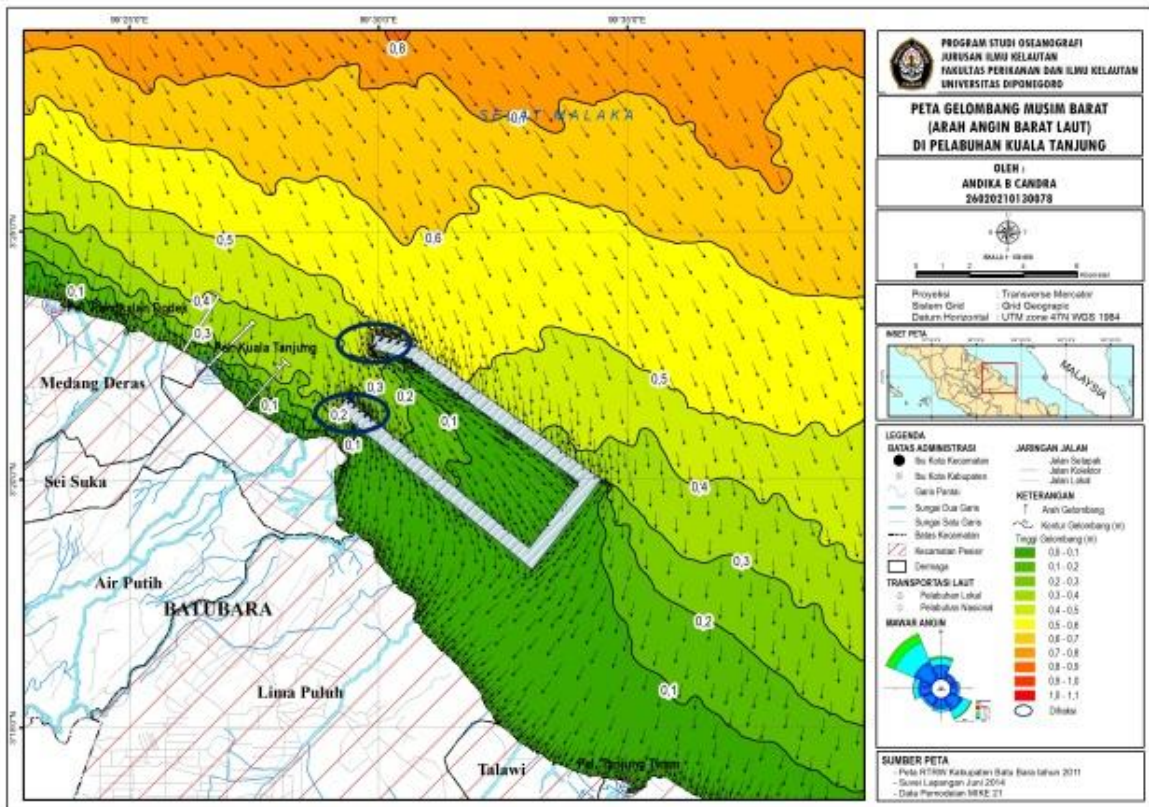
Gambar 10. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Peralihan I (sebelum pembangunan pemecah gelombang)



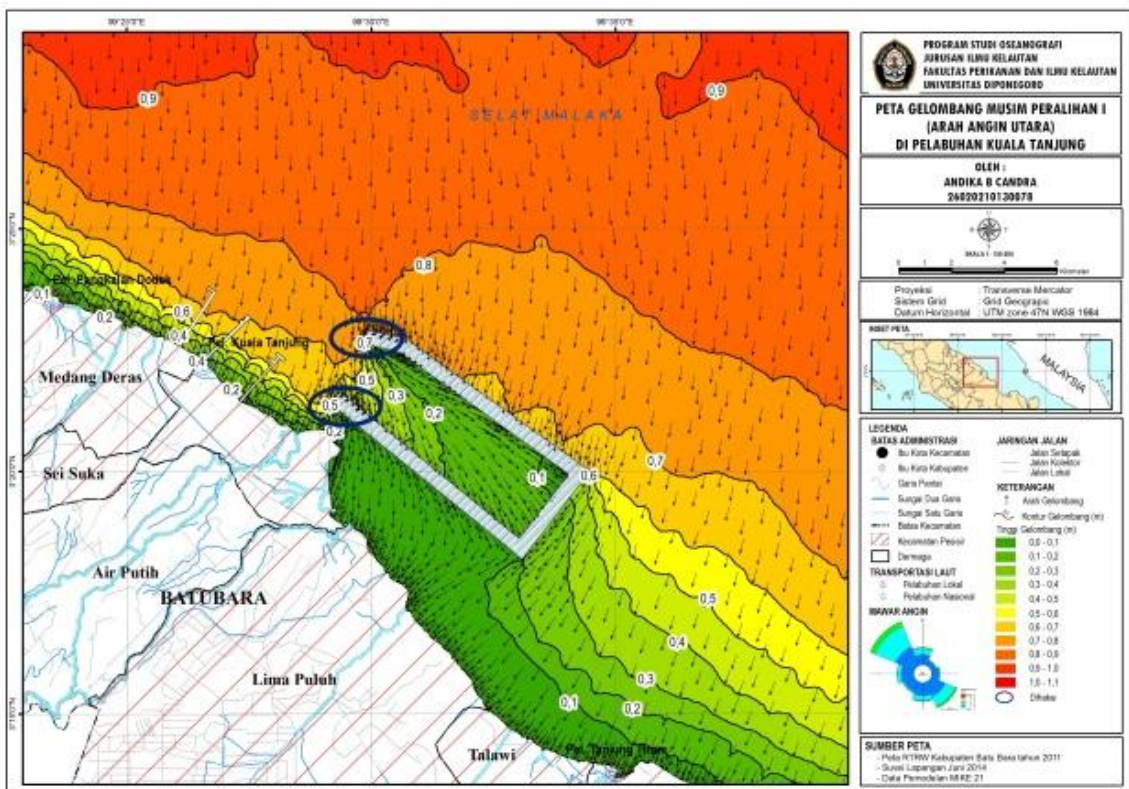
Gambar 11. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Timur (sebelum pembangunan pemecah gelombang)



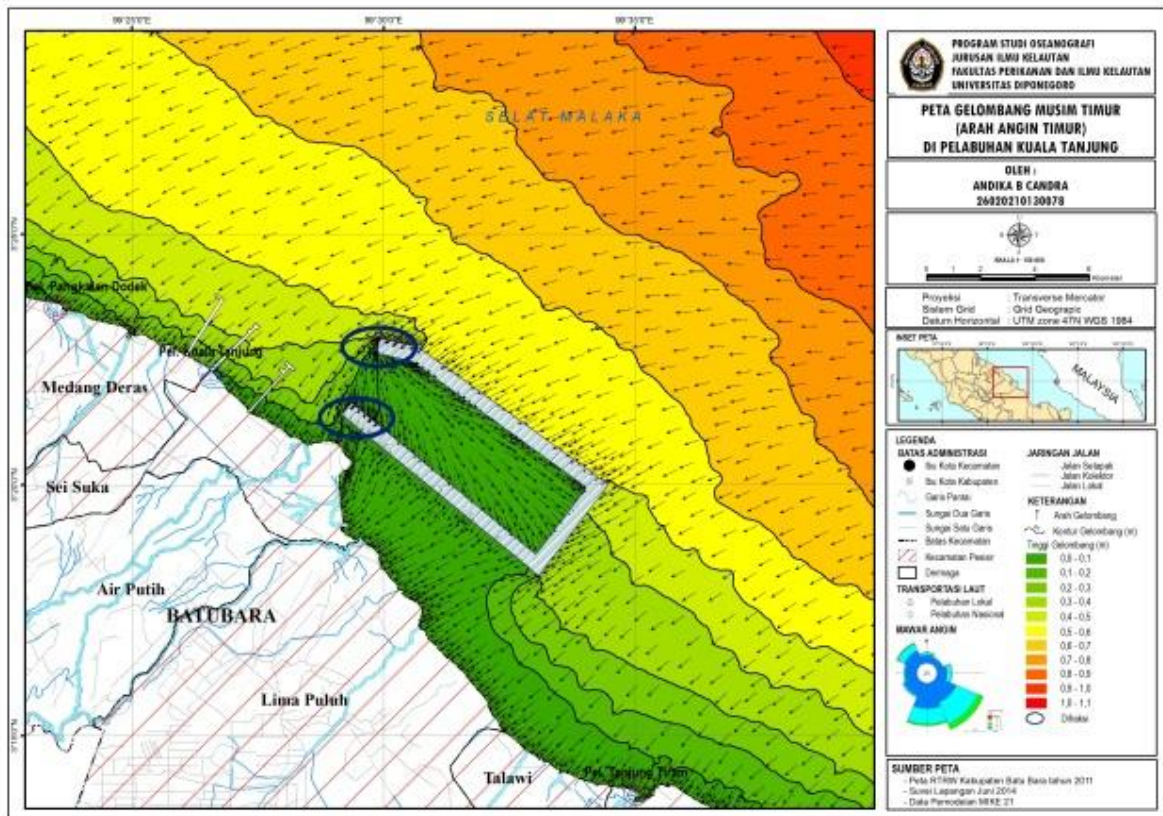
Gambar 12. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Peralihan II (sebelum pembangunan pemecah gelombang)



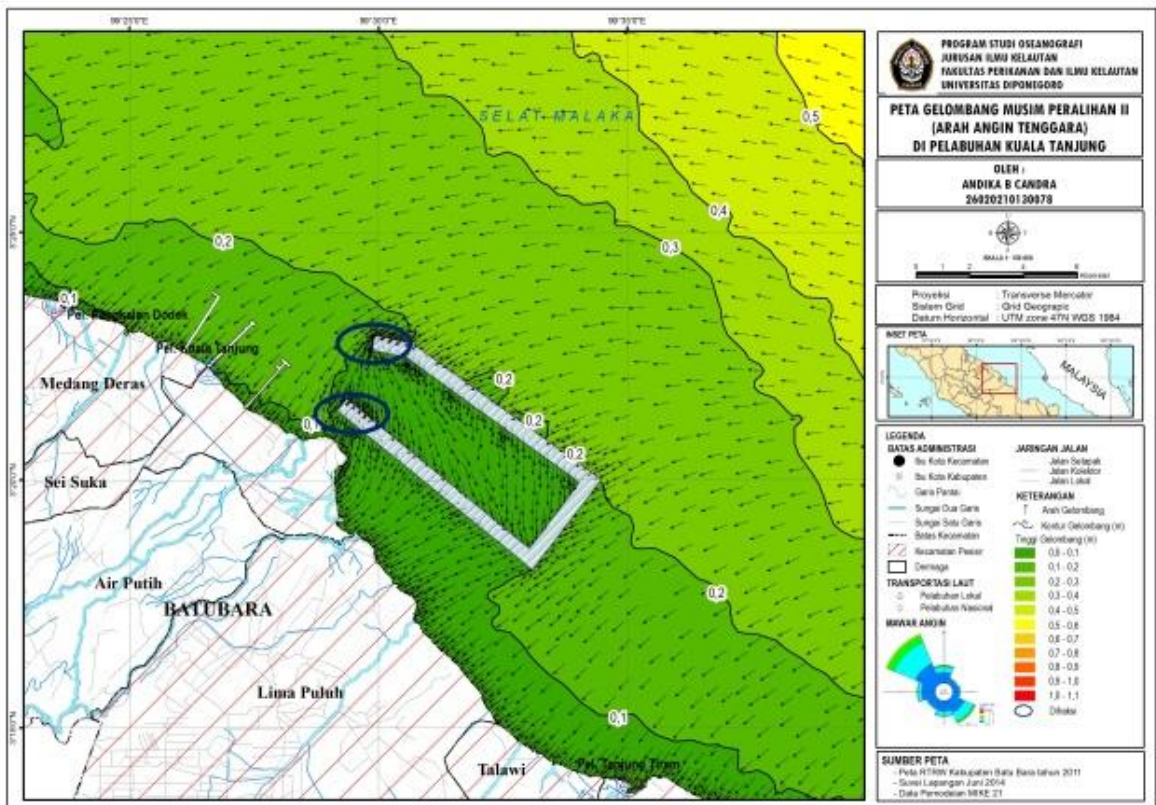
Gambar 13. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Barat (setelah pembangunan pemecah gelombang)



Gambar 14. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Peralihan I (setelah pembangunan pemecah gelombang)



Gambar 15. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Timur (setelah pembangunan pemecah gelombang)



Gambar 16. Tinggi dan Arah Penjalaran Gelombang Musim Peralihan II (setelah pembangunan pemecah gelombang)

Tabel 3. Tinggi Gelombang pada Arah Penjalaran Musim Barat

Skema	Ketinggian Gelombang (m)		
	Titik A	Titik B	Titik C
Sebelum pembangunan pemecah gelombang	0.58	0.49	0.20
Setelah pembangunan pemecah gelombang	0.49	0.10	0.00
Nilai Efektifitas (%)	15.27	79.53	99.23
Rata - Rata (%)		64.7	

Tabel 4. Tinggi Gelombang pada Arah Penjalaran Musim Peralihan I

Skema	Ketinggian Gelombang (m)		
	Titik A	Titik B	Titik C
Sebelum pembangunan pemecah gelombang	0.73	0.62	0.28
Setelah pembangunan pemecah gelombang	0.50	0.07	0.00
Nilai Efektifitas (%)	31.01	88.30	99.32
Rata - Rata (%)		72.8	

Tabel 5. Tinggi Gelombang pada Arah Penjalaran Musim Timur

Skema	Ketinggian Gelombang (m)		
	Titik A	Titik B	Titik C
Sebelum pembangunan pemecah gelombang	0.55	0.47	0.21
Setelah pembangunan pemecah gelombang	0.08	0.01	0.00
Nilai Efektifitas (%)	85.72	97.51	99.04
Rata - Rata (%)		94.09	

Tabel 6. Tinggi Gelombang pada Arah Penjalaran Musim Peralihan II

Skema	Ketinggian Gelombang (m)		
	Titik A	Titik B	Titik C
Sebelum pembangunan pemecah gelombang	0.20	0.19	0.14
Setelah pembangunan pemecah gelombang	0.03	0.01	0.02
Nilai Efektifitas (%)	83.1	96.8	83.5
Rata - Rata (%)		87.8	

Berdasarkan pemodelan gelombang juga dapat diketahui adanya refraksi (konvergensi dan divergensi) di lokasi penelitian. Perubahan arah gelombang menghasilkan konvergensi pada garis kontur/pantai yang menjorok ke laut, tanjung maupun bangunan pantai yang terjadi karena perbedaan sudut yang besar antara kontur kedalaman dan sudut datang gelombang dan divergensi pada garis kontur/pantai yang menjorok ke dalam (Baharuddin, 2009). Menurut Triatmodjo (2008) difraksi gelombang terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung, apabila tidak terjadi difraksi gelombang daerah di belakang rintangan akan tenang.

Efektifitas desain bangunan pemecah gelombang

Efektifitas desain bangunan pemecah gelombang dapat dihitung dari tinggi gelombang

sebelum dan setelah adanya bangunan pemecah gelombang (Andojo *et al.*, 2010). Titik A, B dan C adalah titik-titik yang digunakan sebagai pembanding tinggi dan arah gelombang antara sebelum adanya bangunan pemecah gelombang dengan setelah adanya bangunan pemecah gelombang. Nilai-nilai titik A, B dan C ditunjukkan dalam Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6.

Dari hasil simulasi model dapat dihitung nilai efektifitas desain bangunan pemecah gelombang pelabuhan. Pada musim barat arah datang gelombang dari barat laut dapat meredam gelombang yaitu 64,6%. musim peralihan I arah datang gelombang dari utara dapat meredam gelombang sebesar 72,8%. Sedangkan musim timur arah datang gelombang dari timur dapat meredam gelombang sebesar 94,0%. Dan musim peralihan II arah datang gelombang dari tenggara dapat meredam gelombang sebesar 87,8%. Dari hasil

tersebut terlihat bahwa nilai efektifitas pembangunan bangunan peredam gelombang tersebut cukup baik karena mampu meredam gelombang lebih dari 60% dari gelombang awal. Hal ini sejalan dengan Triatmojo (2010) bahwa salah satu fungsi dari peredam gelombang pada pembangunan pelabuhan adalah untuk mereduksi energi dan tinggi gelombang sehingga dapat digunakan untuk mendukung aktifitas pelabuhan.

Kesimpulan

Karakteristik gelombang laut di perairan Kuala Tanjung Kabupaten Batu Bara termasuk jenis gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan termasuk jenis gelombang sea. Berdasarkan perbandingan kedalaman perairan dan panjang gelombang diklasifikasikan ke dalam gelombang laut transisi. Berdasarkan periodenya diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi. Transformasi gelombang yang terjadi akibat pengaruh adanya perubahan kedalaman dengan koefisien pendangkalan K_s sebesar 0,93–0,98 dan proses refraksi gelombang dengan koefisien K_r sebesar 0,97–0,99. Sedangkan tinggi gelombang pecah H_b sebesar 1,24 m dengan kedalaman gelombang pecah d_b sebesar 1,82 m. Nilai efektifitas desain pemecah gelombang pada bangunan pemecah gelombang pelabuhan mampu meredam gelombang sebesar dengan rata-rata sepanjang musim sebesar 79,8 %.

Daftar Pustaka

- Andojo, W., H. Ajiwibowo & R. Zamzami. 2010. Pemodelan Fisik 2-D untuk Mengukur Tingkat Efektivitas *Perforated Skirt Breakwater* pada Kategori Gelombang Panjang. *J. Teknik Sipil*. 17(3):211-226.
- Agustino O. 2014. Kajian Penjalaran dan Transformasi Gelombang di Perairan Tanjung Kelian Kabupaten Banka Barat. *J. Oseanografi*. 3(2):236-245..
- Azhar, R.M. 2012. Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam Di Pantai Tanjung Kait. Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Baharuddin, J.I Pariwono & I.W. Nurjaya. 2009. Pola Transformasi Gelombang dengan Menggunakan Model RCP Wave pada Pantai Bau-Bau, Provinsi Sulawesi Tenggara. *J. Ilmu dan Teknol. Kelautan Trop*. 1(2):60-71.
- Bappenas. 2014. Rancangan Awal Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015 -2019. Jakarta.
- Coastal Hydraulic Laboratory (CHL). 2006. Coastal Engineering Manual. Part I-IV. Washington DC : Department of the Army. U.S. Army Corp of Engineering
- Holthuijsen, L. H. 2007. Waves In Oceanic and Coastal Waters. Cambridge University Press., Cambridge CB2 8RU, UK.
- Investor Daily, 2012. It's Final: Kuala Tanjung and Bitung to Become International Hub Ports. http://www.indii.co.id/news_daily_detail.php?id=3012 (6 Juni 2014).
- Kramadibrata, S. 1985. Perencanaan Pelabuhan. Penerbit Ganesha Exact, Bandung.
- Lasabuda, R. 2013. Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *J. Ilmiah Platax*. 1(2):92-101.
- Prawiwardoyo, S. 1996. Meteorologi. Penerbit ITB, Bandung. 226 hal
- Prima, N., M. Ali & Besperi. 2013. Pengaruh Angin terhadap Tinggi Gelombang pada Struktur Bangunan Breakwater di Tapak Paderi Kota Bengkulu. *J. Inersia*. 5(1):41-47.
- PT. Pelabuhan Indonesia I (persero). 2014. Analisis Dampak Lingkungan Hidup Pengembangan Pelabuhan Kuala Tanjung. Medan.
- Ramdani, D.M. 2014. Analisis Refraksi Gelombang Laut Berdasarkan Model CMS-Wave di Pantai Keling Kabupaten Jepara. *J. Oseanografi*. 3(3):392-400.
- Riyanto, H. 2004. Model Numerik Pasang Surut di Pantai. Magister Manajemen Sumberdaya Air, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Dauhan, S.K., H. Tawas & J.D. Mamoto. 2013. Analisis Karakteristik Gelombang Pecah terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki. *J. Sipil Statik*. 1(12):784-796.
- Sontek/YSI. 2006. SonTek/YSI Argonaut Acoustic Doppler Current Meter Technical Documentation. SonTek/YSI, San Diego.
- Sugianto, D.N. 2010. Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Paciran, Jawa Timur. *Ilmu Kelautan*. 15(3):143-152.

- Sugiyono. 2009. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Penerbit Alfabeta, Bandung. 334 hal.
- Triatmodjo, B. 2008. Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2010. Pelabuhan. Beta Offset, Yogyakarta, 488 hlm.
- Wibowo, A.S. 2012. Studi Erosi Pantai Batu Beriga Pulau Bangka. Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- WMO. 1998. Guide Wave Analysis and Forecasting. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Young, I.R. 1999. Wind Generated Ocean Waves. Elsevier Science Ltd. The Boulevard, Oxford OX 1GB, United Kingdom, 307 p.