

## KAJIAN PENJALARAN DAN TRANSFORMASI GELOMBANG DI PERAIRAN TANJUNG KELIAN KABUPATEN BANGKA BARAT

Oscar Agustino, Indra Budi Prasetyawan dan Aris Ismanto \*)

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Email : [indrabp4students@yahoo.com](mailto:indrabp4students@yahoo.com) ; [aris.ismanto@gmail.com](mailto:aris.ismanto@gmail.com)

### Abstrak

*Pantai Tanjung Kelian terletak di Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat Morfologi pantai di daerah ini berbentuk tanjung dan merupakan wilayah perairan selat Bangka, dimana perairan ini memiliki potensi arus dan gelombang yang cukup kuat. Di daerah ini juga terdapat Pelabuhan yang menjadi moda transportasi masyarakat pesisir sehingga pembahasan mengenai gelombang menjadi penting dalam penentuan letak bangunan pantai yang cocok untuk melindungi wilayah pelabuhan tersebut. Penelitian ini menggunakan pendekatan model matematis hidrodinamika dengan software SMS (Surface – Water Modelling System). Software SMS 10.0 digunakan sebagai alat untuk menganalisa penjalaran dan arah gelombang di Perairan Tanjung Kelian. Data yang digunakan meliputi data primer yaitu data hasil pengukuran gelombang gelombang selama 7 hari, dan data sekunder yaitu peta batimetri Pulau Bangka, peta RBI, dan data angin per jam selama 7 tahun dari stasiun PT. Timah, Bangka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada musim Barat gelombang menjalar dari Barat Laut menuju Tenggara dengan tinggi gelombang maksimum mencapai 1,048 meter dan periode 3,512 detik. Pada musim Peralihan I arah penjalaran berasal dari Barat menuju Tenggara dengan tinggi gelombang 0,816 meter dan periode 3,063 detik. Sedangkan pada musim Peralihan II dan Timur, arah penjalaran berasal dari Tenggara menuju Barat Laut dan tinggi gelombang maksimum mencapai 0,579 dan 0,599 meter dengan periode 2,67 dan 2,707 detik.*

**Kata Kunci:** Gelombang, Penjalaran Gelombang, Perairan Tanjung Kelian.

### Abstract

*Tanjung Kelian is located in District Muntok , West Bangka Regency . The morphology of the beach in this area is shaped cape and Bangka Strait waters where the waters have the currents potential and its waves are strong enough . In this area there is also a port which become a mode of transportation of coastal communities so discussion about the wave becomes important in determining the most suitable location of coastal structures to protect the harbor area . This study used mathematical model of hydrodynamic using software SMS ( Surface - Water Modelling System) 10.0. SMS software is used as a tool to analyze the direction of wave propagation in the waters of Tanjung Kelian . The data which used including primary data that measurement of wave data for 7 days , and secondary data are bathymetric map of Bangka Island , Indonesia Basemap and hourly wind data from the PT Tin's station in Bangka for 7 years. The results showed that in the West Monsoon the wave propagates from the Northwest to the Southeast with a maximum wave height reaches 1,048 meters and a period of 3.512 seconds . In the first shift toward spreading from the West to the East with a height of 0.816 meters and a wave period of 3.063 seconds . While the transition season II and the East , the direction of propagation is derived from the Southeast to the Northwest and the maximum wave height reaching 0,579 and 0,599 meters with a period of 2.67 and 2.707 seconds .*

**Keywords:** Wave, Wave Propagation, Tanjung Kelian Coastal Area

## 1. Pendahuluan

Gelombang merupakan salah satu parameter oseanografi yang sangat mempengaruhi kondisi pantai. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah lurus pantai maupun sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999). Menurut Koutitas (1988), gelombang laut dapat diartikan sebagai suatu deretan pulsa-pulsa yang berurutan yang terlihat sebagai perubahan ketinggian permukaan air laut dari suatu elevasi maksimum (puncak) ke elevasi minimum (lembah). Gelombang laut terjadi akibat adanya gejala alam yang terjadi di laut seperti angin, gempa bumi, gaya gravitasi bumi, gaya coriolis, dan tegangan permukaan.

Ada tiga faktor yang menentukan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh angin (Hutabrat dan Evans, 1985) yaitu: (1) kecepatan angin (2) lamanya angin bertiup (3) jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup (*fetch*). Semakin lama angin bertiup, semakin besar jumlah energi yang dapat dihasilkan dalam pembangkitan gelombang. Demikian halnya dengan *fetch*, gelombang yang bergerak keluar dari daerah pembangkitan gelombang hanya memperoleh sedikit tambahan energi.

Menurut Ningsih (2000), gelombang akan mengalami transformasi ketika gelombang menjalar ke perairan dangkal, baik perubahan kecepatan, tinggi, dan arah dari gelombang tersebut. Parameter yang tidak mengalami perubahan sepanjang perambatannya adalah periode, karena jumlah gelombang persatuan waktu yang melalui titik-titik berurutan adalah sama. Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi, difraksi, pendangkalan gelombang, refleksi, dan gelombang pecah (Triatmodjo, 2008).

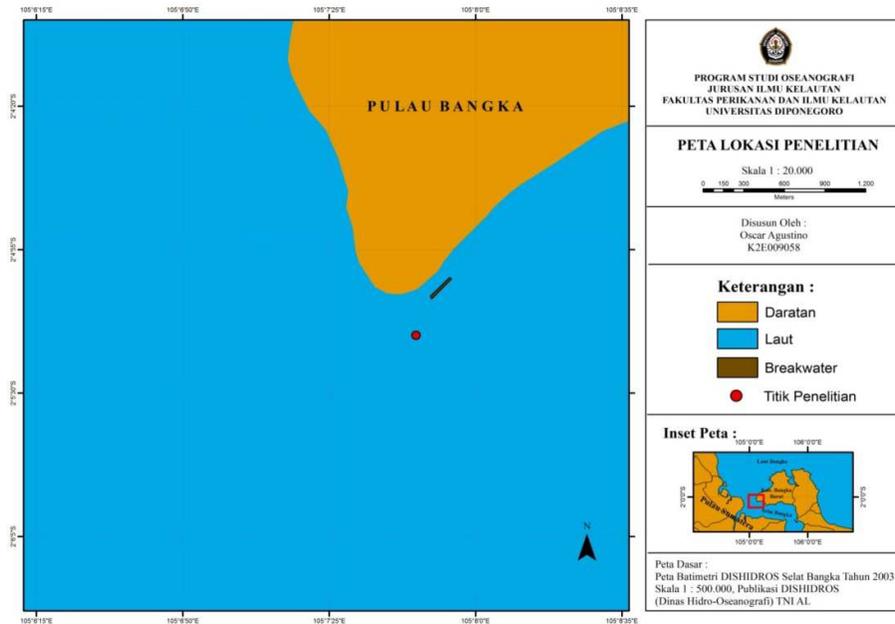
Pantai Tanjung Kelian merupakan bagian dari selat Bangka, dimana pada daerah ini memiliki potensi arus yang cukup kuat dan gelombang yang selalu berubah-ubah di setiap musimnya. Morfologi pantai Tanjung Kelian berbentuk tanjung dan terdapat pelabuhan yang menjadi moda transportasi masyarakat pesisir. Permasalahan yang sering terjadi di wilayah pesisir, salah satunya wilayah perairan Tanjung Kelian yang menjadi lokasi penelitian saat ini adalah ketersediaan data gelombang yang sangat minim sehingga data gelombang di daerah tersebut masih sangat sangat terbatas. Informasi mengenai gelombang sangat berguna dalam penentuan tata letak pelabuhan, perencanaan bangunan pantai, arah pelayaran, pengelolaan lingkungan laut, dan budidaya di Wilayah Pesisir. Melihat permasalahan tersebut, maka penelitian tentang penjalaran gelombang sangat menjadi penting dalam penentuan letak bangunan pantai yang cocok untuk melindungi wilayah pelabuhan tersebut.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Menurut Sugiyono (2009), metode kuantitatif merupakan metode penelitian yang menggunakan data berupa angka-angka dan bersifat sistematis. Hal ini dikarenakan, pada penelitian ini data *input* yang digunakan ataupun *output* berupa angka.

Penentuan titik pengukuran dipilih dengan menggunakan metode *area sampling*. Metode *area sampling* digunakan untuk menentukan sampel apabila objek yang akan diteliti atau sumber datanya sangat luas (Sugiyono, 2009). Pada penelitian gelombang ini pengukuran gelombang laut dilakukan pada satu titik dengan kedalaman 20 meter  $\pm$  1 km dari pantai (Gambar 1). Penentuan lokasi *sampling* menggunakan metode pertimbangan (*Purposive Sampling Method*) yaitu menentukan lokasi pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu (Hadi, 1997).

Lokasi pengambilan data gelombang ditentukan dengan pertimbangan bebas halangan sehingga gelombang yang terbentuk tidak terhalang kondisinya. Selain itu penempatan alat disesuaikan dengan pertimbangan bahwa stasiun pengukuran mewakili pergerakan gelombang di perairan Tanjung Kelian. Pertimbangan yang lain adalah faktor keamanan alat dalam penjagaan dan kemudahan dalam akses dari darat ke laut. Pengambilan data gelombang dilakukan selama tujuh hari menggunakan metode observasi secara langsung. Pengukuran gelombang di lapangan menggunakan ADCP SonTek Argonaut XR untuk mendapatkan parameter gelombang seperti tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Analisis parameter gelombang laut dilakukan dengan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider) (CERC,1984). Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin maksimum yang dapat membangkitkan gelombang, yakni kecepatan  $\geq 10$  knot. Sedangkan data angin diperoleh dari Stasiun pengamatan PT. Timah, Bangka. Data angin ini terlebih dahulu dikoreksi/ditransformasi menjadi data angin yang dapat membangkitkan gelombang. Analisis yang digunakan mengikuti petunjuk dari CHL (2002).

Analisis penalaran dan transformasi gelombang diselesaikan dengan menggunakan pendekatan model CMS-Wave 2D pada *software* SMS (*Surface-water Modelling System*) versi 10.0. Inputan data pada model ini merupakan hasil peramalan gelombang dari konversi data angin, berupa data tinggi gelombang signifikan, periode puncak, dan arah gelombang dari laut dalam ( $H_s$ ,  $T_p$ , dan  $\theta_0$ ). Setelah didapatkan data hasil dari peramalan dan model kemudian dilakukan verifikasi.

Verifikasi dilakukan menjadi dua tahap yaitu verifikasi peramalan dan verifikasi hasil model. Data hasil peramalan dan model terdiri dari data tinggi gelombang ( $H$ ) dan data periode gelombang ( $T$ ). Data peramalan gelombang kemudian diverifikasi terhadap data lapangan sedangkan data hasil model diverifikasi dengan data peramalan pada musim Peralihan II. Menurut Riyanto (2004) dalam Hadi (2012), koreksi kesalahan relatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$RE = \frac{|X-C|}{|X|} \times 100\%$$

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

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Material Padatan Tersuspensi (MPT)

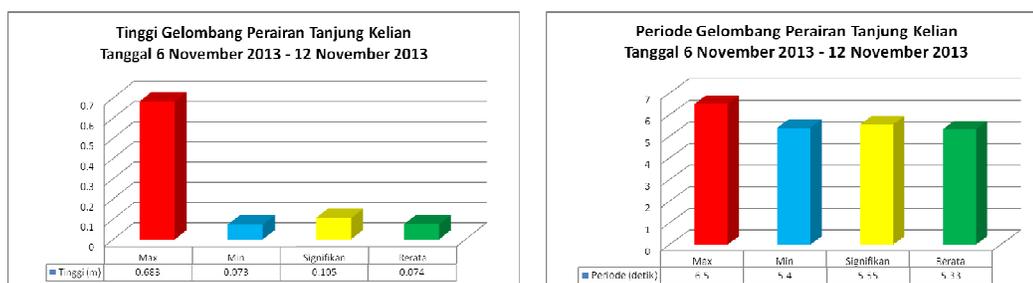
Berdasarkan hasil pengukuran gelombang pada tanggal 6 – 12 November 2013, dapat diketahui bahwa tinggi gelombang perairan Tanjung Kelian berkisar antara 0,073 m – 0,683 meter dengan periode antara 5,4 detik – 6,5 detik. Sedangkan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ )

dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ) adalah 0,105 meter dan 5,55 detik. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1.

**Tabel 1.** Tinggi dan Periode Gelombang Hasil Pengukuran Lapangan

Tanggal	Hmax (m)	Hs (m)	Hmin (m)	Hrerata (m)	Tmax (detik)	Ts (detik)	Tmin (detik)	Trerata (detik)
6-12 November 2013	0,683	0,105	0,028	0,074	6,5	5,55	2,2	5,33

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2014

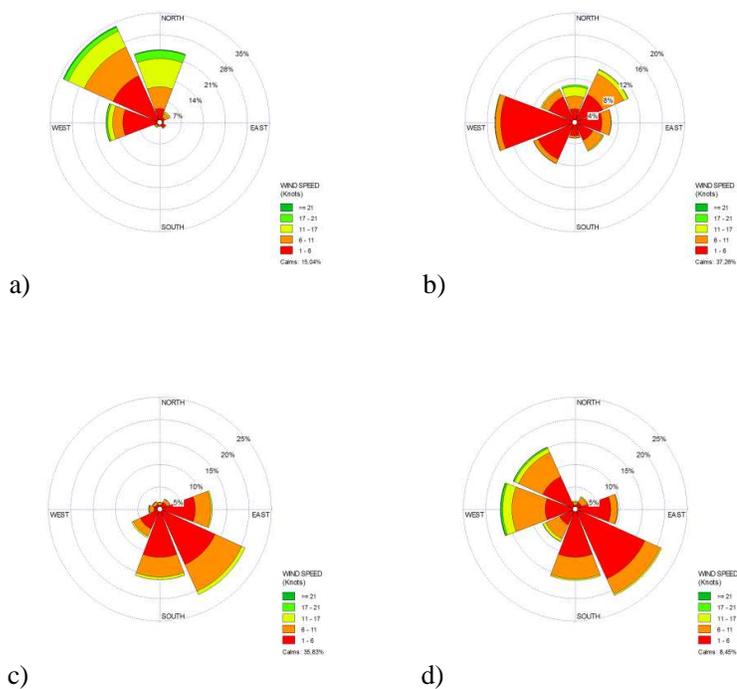


**Gambar 2.** Tinggi dan Periode Gelombang Representatif Hasil Pengukuran Lapangan (Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2014)

Berdasarkan gaya pembangkitnya gelombang yang terbentuk di lokasi pengukuran merupakan gelombang yang dibangkitkan angin, karena mempunyai periode signifikan ( $T_s$ ) sebesar 5,55 detik. Hal ini didukung oleh klasifikasi gelombang berdasarkan periode menurut Munk (1951) dalam Houlthuijsen (2007) yang menyatakan gelombang yang dibangkitkan angin mempunyai periode gelombang antara 1 - 10 detik. Sedangkan berdasarkan kedalaman relatif gelombang yang terbentuk termasuk dalam gelombang laut menengah, dimana nilai kedalaman relatif ( $d/L$ ) lebih dari 0,05 dan kurang dari 0,5. Hal ini didukung oleh Triatmodjo (2008) yang menyatakan bahwa berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman perairan  $d$  dan panjang gelombang  $L$  gelombang dengan nilai  $0,05 < d/L < 0,5$  dikategorikan dalam gelombang laut transisi. Berdasarkan periodenya, gelombang hasil pengamatan di Perairan Semarang dapat diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi. Hal ini sesuai dengan klasifikasi gelombang berdasarkan periodenya menurut Ningsih (2002), dimana untuk gelombang gravitasi memiliki periode antara 1 - 30 detik.

**Peramalan Gelombang Konversi Data Angin**

Nilai tinggi dan periode gelombang peramalan hasil konversi data angin 1995-2002 dikelompokkan berdasarkan musim yang meliputi musim barat, musim peralihan I, musim timur, dan musim peralihan II. Hasil analisis menggunakan data angin selama 7 tahun didapatkan mawar angin setiap musim yang disajikan pada Gambar 3. Sedangkan untuk hasil peramalan gelombang tahun 1995-2002, tercantum pada Tabel 2 dan Tabel 3 yang kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Mawar Angin Tiap Musim. a)Musim Barat b)Musim Peralihan I c)Musim Timur d)Musim Peralihan II (Sumber : HasilPengolahan Data, 2014)

**Tabel 2.** Tinggi Gelombang Peramalan per Musim (1995-2002)

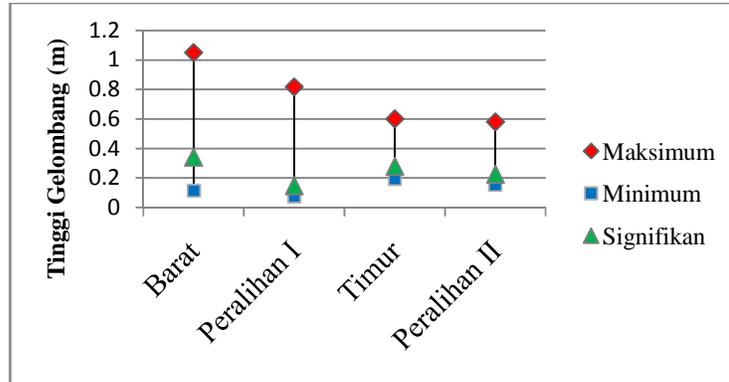
	Signifikan (meter)	Maksimum (meter)	Minimum (meter)
Barat	0,341	1,048	0,114
Peralihan I	0,148	0,816	0,074
Timur	0,280	0,599	0,194
Peralihan II	0,226	0,579	0,154

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2014

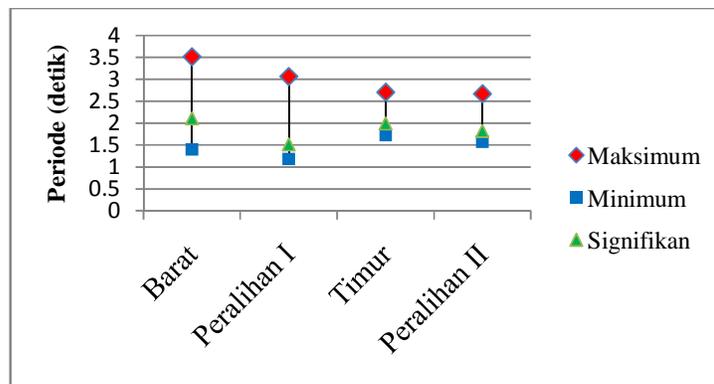
**Tabel 3.** Periode Gelombang Peramalan per Musim (1995-2002)

Musim	Signifikan (detik)	Maksimum (detik)	Minimum (detik)
Barat	2,105	3,512	1,395
Peralihan I	1,512	3,063	1,175
Timur	1,990	2,707	1,725
Peralihan II	1,818	2,670	1,574

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2014



**Gambar 4.** Tinggi Gelombang Peramalan per Musim (1995-2002) (Sumber : Hasil Pengolahan Data 2014).



**Gambar 5.** Periode Gelombang Peramalan per Musim (1995-2002) (Sumber : Hasil Pengolahan Data 2014).

Dari hasil peramalan gelombang untuk musim Barat tinggi gelombang maksimum 1,048 meter dengan periode 3,512 detik dan gelombang minimumnya 0,114 meter dan 1,395 detik, sedangkan tinggi gelombang signifikannya 0,341 meter dengan periode 2,105 detik. Sementara pada musim peralihan I gelombang tertinggi 0,816 meter dengan periode 3,063 detik, dan gelombang terendah yang terjadi sebesar 0,074 meter dengan periode gelombang 1,175 detik, serta gelombang signifikannya 0,148 meter dengan periode 1,512 detik.

Pada musim Timur gelombang minimum yang terjadi adalah 0,194 meter dengan durasi 1,725 detik, sedangkan gelombang maksimumnya sebesar 0,599 meter dengan periode 2,707 detik, serta gelombang signifikannya 0,28 meter dengan periode 1,99. Musim peralihan II, gelombang yang terjadi berkisar antara 0,154 sampai dengan 0,579 meter dengan periode 1,574 hingga 2,67 detik, serta gelombang signifikannya 0,226 meter dengan periodenya 1,818 detik.

Berdasarkan data yang ada dari hasil peramalan, dapat dilihat bahwa gelombang yang terjadi pada musim Barat lebih besar daripada gelombang yang terbentuk pada musim Timur dan peralihan, dimana tinggi gelombang pada musim Barat berkisar antara 0,114 meter sampai dengan 1,048 meter.

#### Verifikasi Hasil Peramalan dengan Pengukuran

Hasil pengukuran data lapangan yang dilakukan pada tanggal 6-12 November 2013, digunakan untuk memverifikasi data peramalan pada waktu yang sama dengan waktu pengukuran data gelombang lapangan. Hasil perhitungan data gelombang pengukuran diperoleh tinggi gelombang signifikan 0,105 meter dan periode signifikan 5,55 detik, sedangkan tinggi dan periode signifikan hasil peramalan gelombang adalah 0,119 meter dan 3,715 detik. Hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang antara data lapangan dan hasil peramalan disajikan

pada Tabel 4, selanjutnya data verifikasi tinggi dan periode gelombang disajikan pada Gambar 6 dan 7.

**Tabel 4.** Verifikasi Tinggi (Hs) dan Periode (Ts) Gelombang Signifikan antara Gelombang Lapangan dan Peramalan

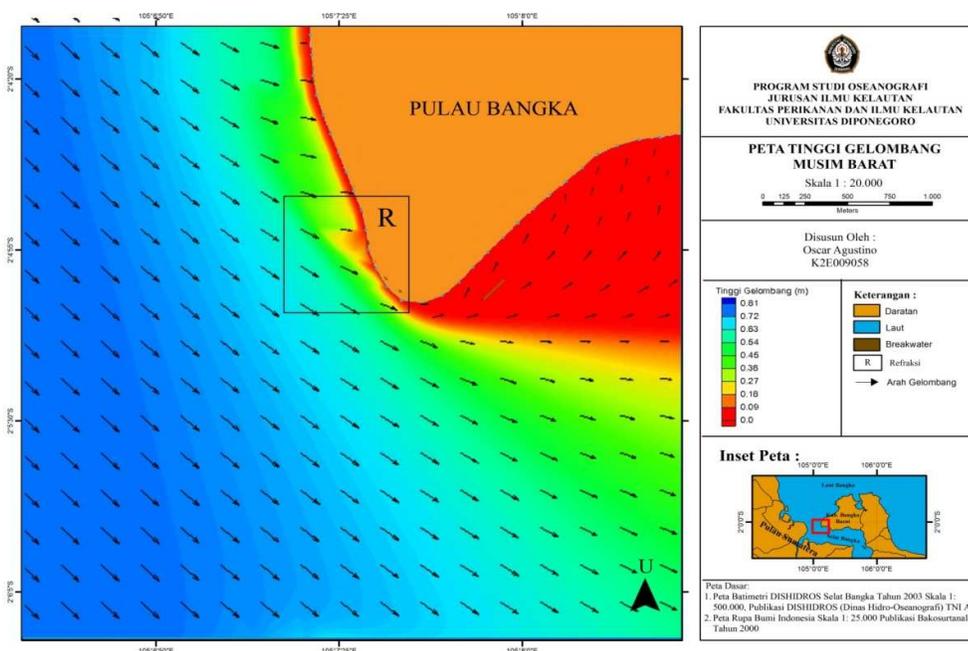
Gelombang	Hs (meter)	Ts (detik)
Pengukuran Lapangan	0,105	5,550
Peramalan Gelombang	0,119	3,715
<b>MRE (Mean Relatif Error)</b>	<b>13,68%</b>	<b>33,064%</b>

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2014

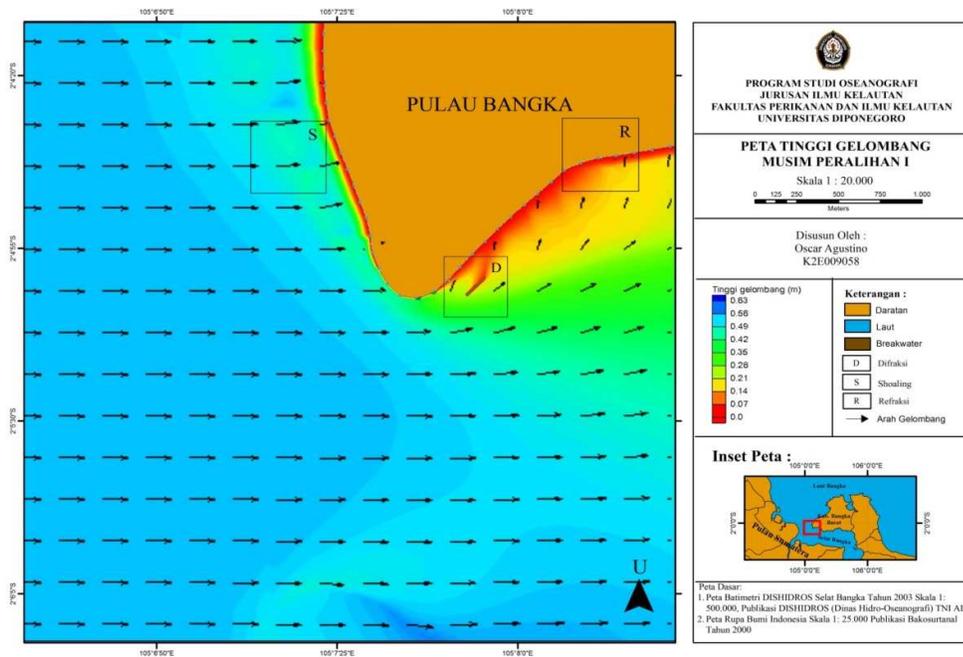
Hasil perhitungan MRE (*Mean Relatif Error*) yang didapatkan dari hasil perhitungan tinggi gelombang signifikan antara pengukuran lapangan dan peramalan sebesar 13,68%, sedangkan untuk periode gelombang signifikan sebesar 33,064%. Hasil verifikasi tersebut menunjukkan nilai MRE kurang dari 50%, sehingga dapat disimpulkan bahwa data gelombang hasil peramalan dapat digunakan untuk pengolahan gelombang tahap selanjutnya.

### Pemodelan Gelombang

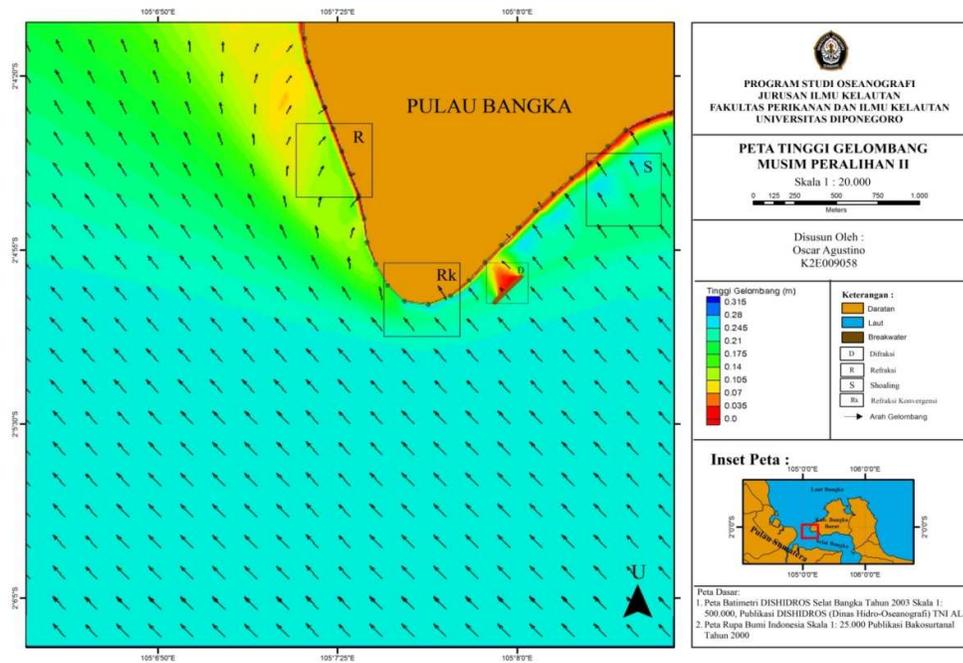
Data hasil model dari Model SMS di import dari hasil running dengan data input hasil pengukuran gelombang lapangan dan hasil peramalan gelombang untuk musim barat, musim timur, dan musim peralihan. Data hasil running di-load dari file \*\_CGrid1.wav yang berasal dari folder yang sama dengan \*.project file pada SMS. Data yang dihasilkan meliputi tinggi dan periode gelombang.



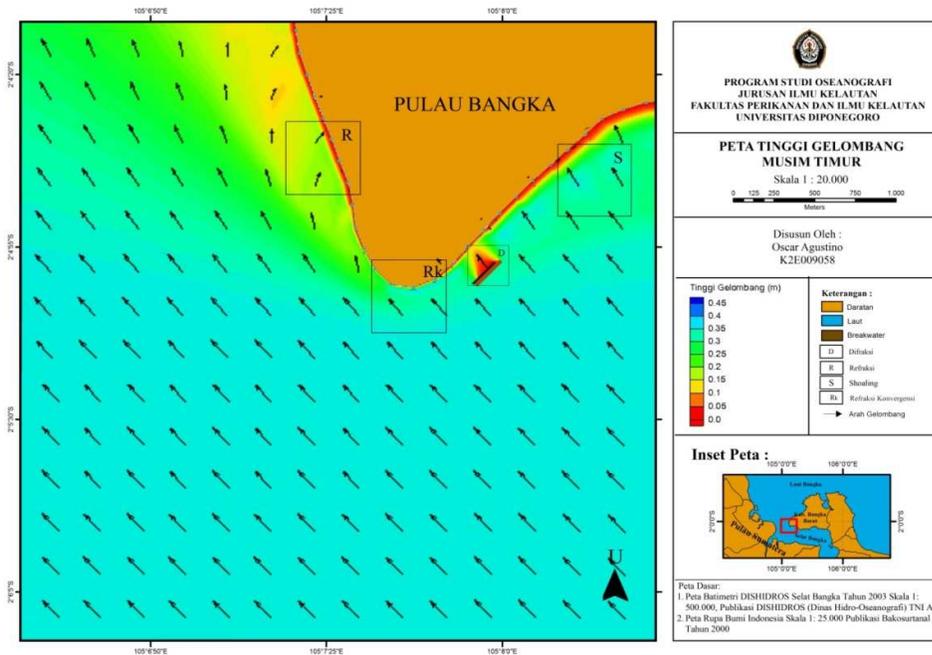
**Gambar 6.** Layout Tinggi Gelombang Musim Barat



Gambar 7. Layout Tinggi Gelombang Musim Peralihan I



Gambar 8. Layout Tinggi Gelombang Musim Peralihan II



Gambar 9. Layout Tinggi Gelombang Musim Timur

Berdasarkan pemodelan gelombang didapatkan bahwa pada musim Barat (Gambar 6), arah dominan gelombang berasal dari arah Barat Laut dari perairan dalam menuju perairan dangkal. Pada saat musim Peralihan I (Gambar 7) arah dominan datangnya gelombang berasal dari arah Barat pada perairan dalam menuju perairan dangkal. Sedangkan pada musim Peralihan II dan musim Timur (Gambar 8 dan 9), arah dominan gelombang berasal dari arah Tenggara pada perairan dalam menuju perairan dangkal. Berdasarkan hasil pemodelan dapat diketahui bahwa di lokasi penelitian pada setiap musimnya, gelombang mengalami proses deformasi gelombang. Pada musim Barat proses deformasi yang terjadi hanya proses refraksi gelombang, sedangkan pada musim Peralihan I, II, dan Timur terjadi proses refraksi dan difraksi. Fenomena refraksi ini dapat dilihat pada lokasi R, dimana vektor gelombang berbelok arah dan berusaha tegak lurus dengan garis pantai ketika menuju pantai. Dalam hal ini garis vektor tersebut menunjukkan sinar gelombang (*ray*). Hal ini didukung oleh pernyataan dari Ningsih (2002) yang menjelaskan bahwa pada saat terjadi refraksi gelombang, sinar gelombang arahnya tegak lurus muka gelombang. Karena muka gelombang cenderung sejajar dengan kontur kedalaman maka sinar gelombang cenderung tegak lurus terhadap kontur kedalaman. Proses Refraksi disebabkan adanya pengaruh kedalaman, dimana di daerah pantai relatif lebih dangkal dibandingkan dengan di perairan dalam.

Proses difraksi terjadi pada musim Peralihan I, II, dan Timur. Difraksi yang terjadi di musim ini ditunjukkan oleh lokasi D pada peta. Menurut Triatmodjo (1999), difraksi terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah yang terlindung di belakangnya. Gelombang yang datang dari arah Barat pada musim Peralihan I serta arah Tenggara pada musim Timur dan Peralihan II ini akan menabrak suatu pemecah gelombang atau *Breakwater* yang melindungi Pelabuhan. Difraksi terjadi dalam arah tegak lurus penjalaran menuju daerah yang terlindung yang menyebabkan perbedaan energi yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Hal ini dapat dilihat pada gambar dimana bagian belakang dari sisi *breakwater* yang berwarna merah menandakan tinggi gelombang yang kecil, akan tetapi dapat dilihat dari arah vektor yang berusaha mengisi kekosongan di belakangnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Triatmodjo (1999), yang menyatakan difraksi terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah yang terlindung di belakangnya.

Pada musim Timur dan Peralihan II ditemukan proses Refraksi Konvergensi (pengucupan) pada daerah tanjung, yang ditunjukkan oleh lokasi Rk. Pada Refraksi Konvergensi, terjadi pemusatan energi pada daerah tersebut yang dapat mengakibatkan kerusakan pada saat terjadi gelombang besar akibat adanya pemusatan energi gelombang. Proses deformasi lainnya yaitu proses difraksi gelombang.

Selain proses refraksi dan difraksi, efek dari *shoaling* juga ditemukan dalam pemodelan ini. *Shoaling* adalah proses berkurangnya tinggi akibat perubahan kedalaman. Kecepatan tinggi gelombang juga berkurang seiring dengan pengurangan kedalaman dasar laut, sehingga menyebabkan puncak gelombang yang ada di perairan dangkal bergerak lebih lambat dibandingkan puncak gelombang yang berada di perairan yang lebih dalam. Efek dari *shoaling* dapat terlihat pada lokasi S di musim Peralihan I, Peralihan II, dan Timur

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil peramalan berdasarkan arah dan kecepatan angin selama 7 tahun (1995-2002), didapatkan bahwa gelombang didapatkan bahwa pada musim Barat gelombang menjalar dari arah Barat Laut menuju Tenggara dengan tinggi gelombang berkisar antara 0,114 - 1,048 meter. Pada musim Peralihan II tinggi gelombang berkisar antara 0,074 - 0,816 meter dan arah penjalarnya berasal dari Barat menuju Timur, sedangkan pada musim Timur dan Peralihan II gelombang menjalar dari arah Tenggara menuju Barat Laut dengan tinggi gelombang adalah 0,194 - 0,599 meter dan 0,154 - 0,579 meter.

Dari hasil simulasi model terlihat bahwa arah penjalaran gelombang menuju pantai akan mengalami proses refraksi, difraksi dan efek pendangkalan (*shoaling*). Proses refraksi disebabkan oleh perbedaan kontur kedalaman dan menyebabkan terjadinya pembelokan arah gelombang. Proses difraksi disebabkan oleh adanya *breakwater* yang melindungi Pelabuhan sehingga akan terjadi proses pemindahan energi ke daerah yang terlindung di belakangnya. Sedangkan efek *shoaling* akan menyebabkan perubahan tinggi gelombang dan berkurangnya kecepatan gelombang sehingga terjadi pembelokkan arah gelombang.

#### Daftar Pustaka

- [CERC] Coastal Engineering Research Center. 1984. Shore Protection Manual. Washington: US Army Coastal Engineering Research Center. 1779 p.
- Coastal Hydrolic Laboratory (CHL). 2002. Coastal Engineering Manual. Part II-2. Washington DC: Departement of Army, U.S. Army Corp of engineering, hal. 34-36.
- Ningsih, Nining Sari. 2000. Gelombang Laut. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Hadi, A.R. 1997. Mikro zoning Untuk Pengkajian Resiko dan Mitigasi Bencana. Jakarta: BPPT.
- Hadi, Saiful. 2012. Studi Durasi dan Kecepatan Angin untuk Peramalan Gelombang di Perairan Semarang. Skripsi Sarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Semarang.
- Hutabarat, S dan Evans, S.M. 1985. Pengantar Oseanografi Edisi Ke-2. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Koutitas, C. G. 1988. Mathematical Models in Coastal Engineering. London: Pentech Press.
- Poerbandono dan Djunarsjah. 2005. Survei Hidrografi. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Sugiyono. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung: CV. Alfabeta, 380 hlm.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Betta Offset.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. Perencanaan Pelabuhan. Yogyakarta: Betta Offset.