

## ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG DI PERAIRAN KABUPATEN BATU BARA, SUMATERA UTARA

Riyan Denestiyanto, Denny Nugroho S., Heryoso Setiyono\*)

\*)Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Tlp. / Fax. (024)7474698 Semarang 50275  
Email : [dennysugianto@yahoo.com](mailto:dennysugianto@yahoo.com), [heryoso@yahoo.co.id](mailto:heryoso@yahoo.co.id)

### Abstrak

Pengembangan wilayah pesisir Kabupaten Batu Bara membutuhkan informasi gelombang laut. Hempasan gelombang laut dan distribusi energinya memberi pengaruh yang besar terhadap pembangunan infrastruktur dalam pengembangan wilayah yang dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik gelombang laut di perairan Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Pengukuran data gelombang lapangan menggunakan metode observasi langsung dengan sistem pengukuran titik tunggal. Pengukuran dilakukan pada tanggal 17 - 20 Juni 2014. Data time series gelombang menggunakan data gelombang dari ECMWF (The European Center For Medium-Range Weather Forecasts). Hasil pengukuran gelombang laut diketahui bahwa di perairan Kabupaten Batu Bara memiliki tinggi gelombang antara 0,24 m - 0,54 m dan periode gelombang 3,4 detik - 8,7 detik. Hasil pemodelan karakteristik gelombang menggunakan bantuan software SMS 10.0 modul STWAVE didapatkan bahwa tinggi gelombang signifikan pada musim Barat sebesar 0,53 m dan periode signifikannya sebesar 4,48 detik dan arah penjaralan dari Barat Laut. Pada musim Peralihan I tinggi gelombang signifikan sebesar 0,46 m dengan periode signifikan 4,58 detik dan arah penjaralan dari Barat Laut. Musim Timur tinggi gelombang signifikan sebesar 0,51 m dengan periode signifikan 4,78 detik dan arah penjaralan dari Tenggara. Sedangkan musim Peralihan II tinggi gelombang signifikan sebesar 0,69 m dengan periode signifikan 5,28 detik dan arah penjaralan dari Barat Laut. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan tinggi gelombang maksimum (0,54 m) dan periode gelombang maksimum (3,4 detik) diketahui kondisi gelombang adalah gelombang perairan transisi dengan  $d/L$  sebesar 0,16. Sedangkan berdasarkan nilai periodenya dapat diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi dan merupakan gelombang yang dipengaruhi oleh angin.

**Kata Kunci :** Karakteristik Gelombang Lau; ECMW; Perairan Batu Bara

### Abstrack

The development of Batu Bara coastal area needs sea wave information. Wave crush and it's energy distribution give a significant effect on infrastructure development. The purpose of this research is to know the characteristic of wave in Batu Bara waters, North Sumatera. The methods that use in this research is quantitative. Waves data measured using field observation with single dot measurement system. Measurement were did at 17<sup>th</sup> - 20<sup>th</sup> June 2014. Time series waves data reclaim from ECMWF (The Eurpoean Center For Medium-Range Weather Forecasts) waves data. The results of measurement in Batu Bara waters show that wave height range values is 0,24 m - 0,54 m while the waves period is 3,4 sec - 8,7 sec. Characteristics of wave modelling results using SMS software assistance 10.0 STWAVE module available that significant wave height in the West of 0.53 m and the period of significance of 4,48 seconds and spreading direction from the Northwest. The Transitional I significant wave height of 0.46 m with a period of significant 4,58 seconds and spreading direction from the Northwest. The significant wave height East of 0.51 m with significant periods of 4.78 seconds and spreading from Southeast direction. Whereas the Transitional II a significant wave height of 0,69 significant perode 5,28 m with seconds and spreading direction from the Northwest. Wave form is transition water waves with the value of  $d/L$  is 0,16 based on the

calculation using maximum wave height (0,54 m) and maximum wave period (3,4 sec). While based on it's period value the waves classficated as gravity waves and waves that be affected by wind.

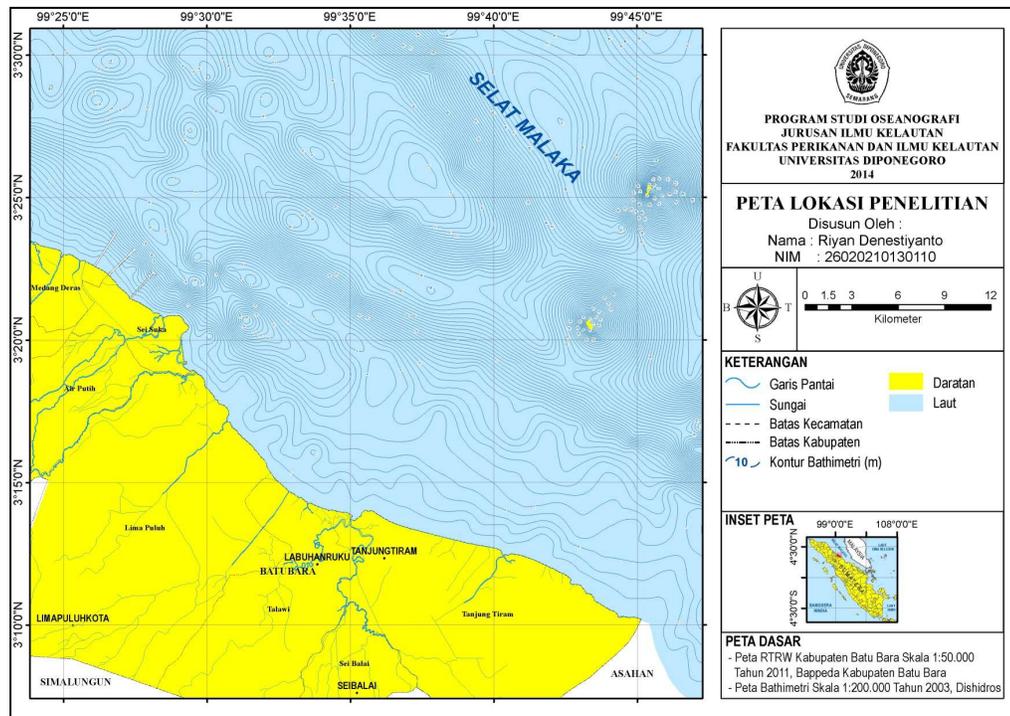
**Keywords :** Characteristics of Sea Wave; ECMWF; Batu Bara Waters

**Pendahuluan**

Gelombang biasanya menjalar dari laut lepas menuju ke pantai. Gelombang dapat menimbulkan energi yang mampu memberi pengaruh pada pembentukan pantai, karena gelombang dapat menimbulkan arus dalam arah tegak lurus pantai dan sepanjang pantai sehingga menimbulkan transport sedimen (Cruz, 2008). Menurut Dijkstra (2008), gelombang laut merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap perubahan wilayah pesisir dan laut selain arus dan pasang surut. Sehingga perlu dilakukan kajian gelombang laut untuk keperluan pengelola dan pengembangan potensi wilayah pesisir secara optimal. Bentuk gelombang laut di alam pada umumnya sangat kompleks dan acak serta sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linierannya (Triatmodjo, 1999). Akan tetapi, dengan spektrum gelombang karakteristik gelombang acak dapat dijabarkan. Spektrum gelombang menggambarkan distribusi energi gelombang terhadap frekuensi gelombang dan arah penjalaran gelombang (WMO, 1998).

Perairan Kabupaten Batu Bara merupakan bagian dari Selat Malaka yang terletak di Kabupaten Batu Bara. Karena letaknya tersebut, karakteristik perairan ini dipengaruhi oleh karakteristik Selat Malaka yang menghubungkan Laut Andaman dengan Paparan Sunda yaitu bagian selatan Laut Cina Selatan dan Barat Laut Jawa (Rizal *et al.*, 2012). Perpindahan massa air yang berlangsung dari kedua laut tersebut mengakibatkan perairan Selat Malaka memiliki karakteristik yang dinamis. Kabupaten Batu Bara merupakan kabupaten baru yang memiliki wilayah pesisir. Sehingga untuk pengelolaan dan pengembangan wilayah pesisirnya diperlukan kajian kondisi perairannya. Hempasan dari gelombang laut dan distribusi energi yang ditimbulkannya memberi pengaruh yang besar terhadap infrastruktur yang akan dibangun.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik gelombang laut di perairan Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara. Pengukuran data lapangan di perairan Kabupaten Batu Bara dilakukan pada tanggal 17-20 Juni 2014. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Pengolahan Data, 2014).

**Materi dan Metode**

**Materi Penelitian**

Materi yang digunakan berupa data gelombang hasil pengukuran lapangan di perairan Kabupaten Batu Bara. Sedangkan data-data lain yang digunakan meliputi Peta RTRW Kabupaten Batu Bara skala

1:50.000 dari Bapeda Kabupaten Batu Bara tahun 2011, Peta Bathimetri Kabupaten Batu Bara Skala 1:200.000, Dinas Hidro-Oseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut tahun 2003, data angin dan gelombang 5 tahun (2009 - 2014) diperoleh dari *The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF).

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Menurut Sugiyono(2009), metode kuantitatif merupakan penelitian menggunakan data berupa angka-angka dan bersifat sistematis. Penentuan lokasi titik pengukuran menggunakan metode *area sampling* yaitu metode yang digunakan untuk menentukan lokasi pengukuran apabila daerah yang diamati sangat luas (Sugiyono, 2009). *Wave Recorder ADP Sontek Argonaut – XR* diletakkan pada daerah sebelum gelombang sebelum pecah yang dianggap mampu mewakili kondisi parameter oseanografi pada daerah yang diukur.

### Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data gelombang menggunakan metode observasi secara langsung. Pengukuran gelombang di lapangan menggunakan *Wave Recorder ADP Sontek Argonaut – XR* untuk mendapatkan parameter gelombang seperti tinggi gelombang ( $H$ ), periode gelombang ( $T$ ) dan arah penjarangan gelombang lapangan. Alat ini bekerja berdasarkan fluktuasi dari tekanan yang diterima oleh sensor sehingga didapatkan data gelombang laut (Dean dan Dalrymple, 2000). Sedangkan data angin dan data gelombang dari *The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) tahun 2009-2014 diperoleh dari [http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/).

### Metode Analisis

#### Analisa Data Lapangan

Data parameter gelombang laut hasil pengamatan dianalisis dengan metode gelombang representatif, untuk mendapatkan nilai gelombang signifikan, dengan persamaan berikut (Triatmodjo, 1999) :

- Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ )

$$n = 33,3 \% \times \text{jumlah data}$$

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (1)$$

- Periode gelombang signifikan ( $T_s$ )

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n} \quad (2)$$

Dimana :

$H_s$  : tinggi gelombang signifikan (m)

$T_s$  : periode gelombang signifikan (detik)

$H_1, H_n$  : tinggi gelombang ke 1,2,... n (m)

$T_1, T_n$  : periode gelombang ke 1,2,...n (detik)

Selain itu, data gelombang dianalisis untuk menentukan nilai-nilai karakteristik gelombang lainnya meliputi: panjang gelombang ( $L$ ), kedalaman relatif ( $d/L$ ) untuk mengetahui jenis perairan, kecepatan rambat ( $C$ ) dan kecepatan grup gelombang ( $C_g$ ), energi gelombang ( $E$ ), dan daya gelombang ( $P$ ). Serta panjang sumbu mayor orbital partikel ( $A$ ) dan sumbu minor orbital partikel ( $B$ ) pada  $z=0$ .

#### Analisa Data ECMWF

Data angin dan data gelombang dari ECMWF berupa *file NetCDF* diolah dengan menggunakan *software ODV 4*. Hasilnya berupa data dalam bentuk *Text* (.txt). Data dengan bentuk *Text* (.txt) ditampilkan di microsoft excel dan dikelompokan sesuai musim sehingga didapat data angin dan data gelombang musiman dari tahun 2009-2014. Kemudian dilakukan analisa lanjutan secara terpisah antara data angin dan gelombang.

Data angin dianalisis menggunakan *WRplot View* untuk mengetahui kondisi angin dominan setiap musim dilokasi penelitian ditunjukkan dalam bentuk *wind rose*. Sedangkan data gelombang dianalisis menggunakan persamaan 1 dan 2 sehingga diketahui nilai tinggi dan periode signifikannya.

**Analisa Model**

Pemodelan spektrum gelombang berarah disimulasikan menggunakan SMS versi 10.0 modul STWAVE. Pemodelan ini menggunakan metode spektrum Bretschneider, karena menurut CERC (1984) metode ini digunakan untuk analisis spektrum pada perairan transisi dan dangkal. Masukan model yang digunakan adalah data gelombang dari ECMWF. Hasil pemodelan berupa tinggi gelombang dan periode gelombang serta arah penjalaran gelombang pada 4 musim yang berbeda, yaitu musim Barat, Peralihan I, musim Timur, dan Peralihan II.

Verifikasi model dilakukan dalam tiga tahap yaitu verifikasi data lapangan terhadap data ECMWF, verifikasi data ECMWF terhadap hasil model dan verifikasi data lapangan terhadap hasil model. Menurut Diposaptono dan Budiman (2006), koreksi kesalahan relatif dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$RE = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \tag{3}$$

$$MRE = \sum_0^n \frac{|RE|}{|n|} \tag{4}$$

Dimana:

- RE : Kesalahan relatif (*Relative Error*)
- MRE : Rata-rata kesalahan relatif (*Mean Relative Error*)
- $X_a$  : Data pengukuran lapangan
- $X_b$  : Data hasil simulasi
- $n$  : Jumlah Data

**Hasil dan Pembahasan**

**Pengukuran Gelombang Lapangan**

Pengukuran gelombang lapangan di perairan Kabupaten Batu Bara didapatkan nilai tinggi gelombang ( $H$ ) sebesar 0,24 - 0,54 m dan periode gelombang ( $T$ ) sebesar 3,4 – 8,7 detik. Berdasarkan perhitungan data lapangan didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan priode gelombang ( $T_s$ ) sebesar 0,41 m dan 6,9 detik. Kemudian untuk mengetahui kondisi gelombang laut yang paling besar pengaruhnya di perairan Kabupaten Batu Bara digunakan gelombang maksimum. Hasil perhitungan parameter-parameter gelombang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Parameter Gelombang

Parameter Gelombang	Simbologi	Nilai
Tinggi Gelombang Maksimum	Hmaks	0,54 m
Periode Gelombang Maksimum	Tmaks	8,7 detik
Kedalaman Gelombang	d	15 m
Arah Penjalaran Gelombang	$\theta$	106,8 <sup>0</sup>
Panjang Gelombang	L	91,47 m
Kecepatan Gelombang di Laut Dalam	Co	13,58 m/detik
Kecepatan Gelombang di Lokasi Pengukuran	C	10,51 m/detik
Kecepatan Grup Gelombang	Cg	8,06 m/detik
Energi Gelombang	E	366,14 N m per m <sup>2</sup>
Daya Gelombang	P	2951,17 N m/s per m <sup>3</sup>
Sumbu Mayor pada z=0	A	0,35 m
Sumbu Minor pada z=0	B	0,27 m

(Pengolahan Data, 2014).

Berdasarkan perbandingan antara nilai kedalaman dengan nilai panjang gelombang didapatkan nilai d/L adalah 0,1640. Nilai d/L ini menunjukkan jenis gelombang yang berada di perairan Kabupaten Batu Bara adalah gelombang perairan transisi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Triatmodjo (1999) 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. Sedangkan berdasarkan nilai periodenya yang berkisar antara 3,4 - 8,7 detik, kondisi gelombang laut di perairan Kabupaten Batu Bara dapat diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi. Sesuai dengan klasifikasi gelombang berdasarkan periode yaitu gelombang gravitasi memiliki periode 1 detik sampai 30 detik.

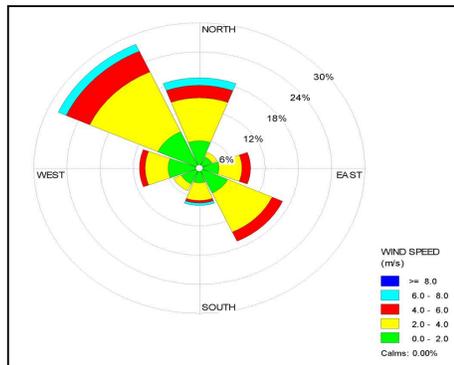
**Gelombang Laut dan Angin dari ECMWF**

Data gelombang laut dari ECMWF tahun 2009 - 2014 berupa nilai tinggi signifikan ( $H_s$ ) dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ) setiap musim yang disajikan dalam tabel 2. Data angin dari ECMWF selama 5 tahun dianalisis hingga didapatkan mawar angin setiap musim yang disajikan pada Gambar 1 sampai Gambar 2.

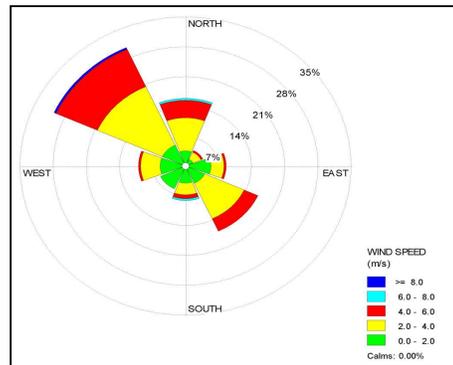
Tabel 2. Hasil Tinggi Gelombang Signifikan dan Periode Gelombang Signifikan ECMWF

Musim	$H_s$ ECMWF (m)	$T_s$ ECMWF (detik)
Barat	0,46	4,49
Peralihan I	0,49	4,53
Timur	0,58	5,72
Peralihan II	0,54	5,05

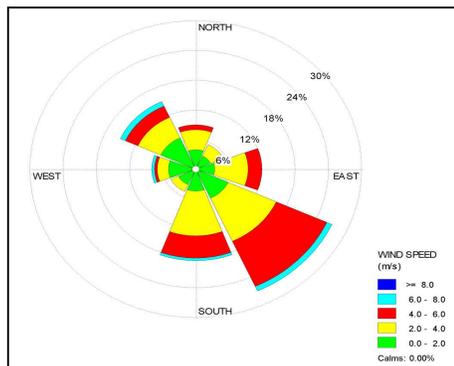
(Pengolahan Data, 2014).



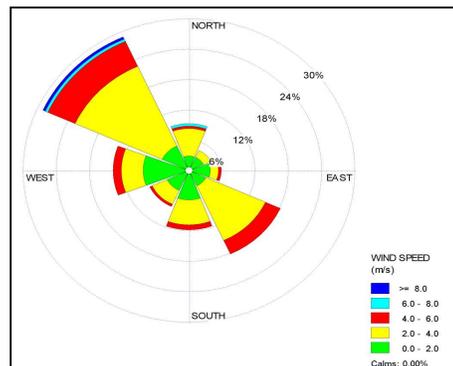
Gambar 1. Mawar Angin Musim Barat 2009-2014 (Pengolahan Data, 2014).



Gambar 2. Mawar Angin Musim Peralihan I 2009-2014 (Pengolahan Data, 2014).



Gambar 3. Mawar Angin Musim Timur 2009-2014 (Pengolahan Data, 2014).



Gambar 4. Mawar Angin Musim Peralihan II 2009-2014 (Pengolahan Data, 2014).

Pada musim Barat, kondisi angin di lokasi penelitian didominasi dari arah Barat Laut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Angin yang terjadi pada musim ini didominasi angin dengan kecepatan 2-4 m/detik. Musim Peralihan I 2009-2014 dan Musim Peralihan II 2009-2014 memiliki arah dan dominasi kecepatan angin yang sama dengan musim barat seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 4. Kondisi angin pada Musim Timur 2009-2014 didominasi dari arah Tenggara seperti yang ditunjukkan

pada Gambar 3. Angin yang terjadi pada musim Timur ini juga didominasi angin dengan kecepatan 2-4 m/detik.

**Uji Ketelitian**

Tingkat validitas data gelombang laut dari ECMWF maupun hasil model dapat diketahui dengan meverifikasinya menggunakan data pengukuran lapangan pada waktu yang sama. Data gelombang dari ECMWF maupun hasil model dapat digunakan untuk tahap selanjutnya jika hasil verifikasi yang dilakukan menunjukkan nilai MRE kurang dari 50 %.

Verifikasi data tinggi gelombang (*H*) dari ECMWF dengan data Lapangan (Tabel 3) didapatkan *Mean Relative Error (MRE)* sebesar 29,8 % dan 20,2 % untuk periode gelombang (*T*) dari ECMWF dengan data Lapangan (Tabel 4).

Tabel 3. Verifikasi Tinggi Gelombang ECMWF dan Data Lapangan

H ECMWF (m)	H Lapangan (m)	RE	MRE (%)
0,35	0,43	18,4	
0,63	0,26	139,5	
0,52	0,33	57,1	
0,39	0,31	24,6	
0,31	0,31	0,3	
0,33	0,29	14,6	29,8
0,38	0,33	15,5	
0,34	0,29	16,0	
0,4	0,36	11,7	
0,37	0,32	17,1	
0,32	0,37	13,0	

(Pengolahan Data, 2014)

Tabel 4. Verifikasi Periode Gelombang ECMWF dan Data Lapangan

T ECMWF (detik)	T Lapangan (detik)	RE	MRE (%)
4,5	6,50	30,8	
3,55	6,40	44,5	
3,85	4,20	8,3	
4,23	6,60	35,9	
4,59	4,70	2,3	
5,2	5,10	2,0	20,2
6,54	4,20	55,7	
6,22	5,70	9,1	
7,07	6,20	14,0	
6,36	7,70	17,4	
6,15	6,30	2,4	

(Pengolahan Data, 2014)

Sedangkan hasil perhitungan *MRE* untuk tinggi gelombang antara hasil model dengan data lapangan sebesar 24,4 %, dan untuk periode gelombang sebesar 30,7 %. Data yang dibandingkan merupakan data pengukuran lapangan dengan hasil model pada musim timur karena pengukuran lapangan dilakukan pada musim timur.

**Pemodelan Gelombang**

Hasil pemodelan karakteristik gelombang menggunakan SMS versi 10.0 modul STWAVE berupa tinggi gelombang dan periode gelombang serta arah penjalaran gelombang. Hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang diperoleh data tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan (Tabel 5). Sedangkan arah penjalaran gelombang ditampilkan pada Gambar 5 sampai Gambar 8.

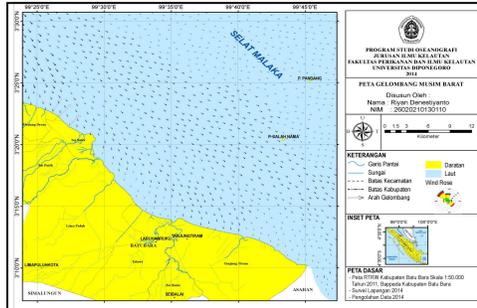
Tabel 5. Hasil Tinggi Gelombang Signifikan dan Periode Gelombang Signifikan Model

Musim	Hs Model (m)	Ts Model (detik)
Barat	0,53	4,48
Peralihan I	0,46	4,58
Timur	0,51	4,78
Peralihan II	0,69	5,28

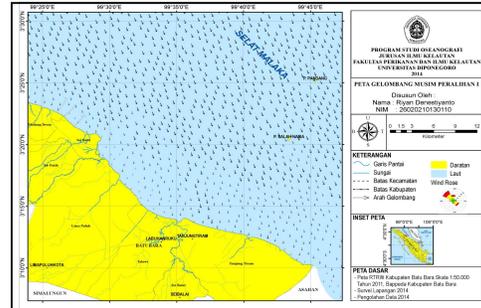
(Pengolahan Data, 2014)

Gambar 5 menunjukkan arah penjalaran gelombang pada musim Barat yaitu gelombang menjalar dari Barat Laut. Musim Peralihan I dan musim Pelarihan II arah penjalaran gelombang juga menjalar dari arah Barat Laut (Gambar 6 dan 8). Sedangkan pada musim Timur gelombang menjalar dari arah Tenggara (Gambar 7). Arah penjalaran gelombang ini dipengaruhi oleh arah angin berhembus. Terlihat

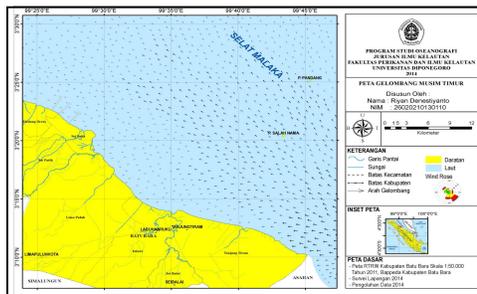
pada Gambar 5 sampai 8 arah penjalaran gelombang laut sesuai dengan arah angin berhembus yang diperlihatkan pada Gambar 1 sampai 4. Selain itu, lamanya angin berhembus dan besarnya kecepatan angin juga berpengaruh terhadap tinggi gelombang yang terbentuk. Karena gelombang yang dibangkitkan oleh angin mendapatkan transfer energi dari angin yang terjadi secara terus menerus mengakibatkan peningkatan tinggi gelombang hingga akhirnya gelombang tersebut pecah (Resio, 1998 dalam Smith *et al.*, 1999).



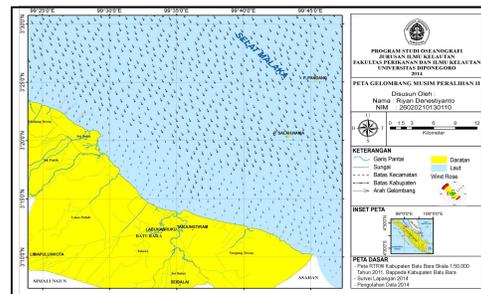
Gambar 5. Peta Gelombang Musim Barat (Pengolahan Data, 2014).



Gambar 6. Peta Gelombang Musim Peralihan I (Pengolahan Data, 2014).



Gambar 7. Peta Gelombang Musim Timur (Pengolahan Data, 2014).



Gambar 8. Peta Gelombang Musim Peralihan II (Pengolahan Data, 2014).

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Gelombang di perairan Kabupaten Batu Bara mempunyai tinggi gelombang antara 0,24 - 0,54 m dan periode gelombang 3,4 - 8,7 detik. Berdasarkan nilai  $d/L$  sebesar 0,1640 dapat dikategorikan sebagai gelombang perairan transisi. Sedangkan berdasarkan nilai periodenya (3,4 - 8,7 detik) termasuk gelombang gravitasi dan termasuk gelombang yang dibangkitkan oleh angin.

Dari simulasi model karakteristik gelombang menggunakan bantuan software SMS 10.0 modul STWAVE didapatkan bahwa tinggi gelombang signifikan pada musim Barat sebesar 0,53 m dan periode signifikannya sebesar 4,48 detik dan arah penjalaran dari Barat Laut. Pada musim Peralihan I tinggi gelombang signifikan sebesar 0,46 m dengan periode signifikan 4,58 detik dan arah penjalaran dari Barat Laut. Musim Timur tinggi gelombang signifikan sebesar 0,51 m dengan periode signifikan 4,78 detik dan arah penjalaran dari Tenggara. Sedangkan musim Peralihan II tinggi gelombang signifikan sebesar 0,69 m dengan periode signifikan 5,28 detik dan arah penjalaran dari Barat Laut.

### Daftar Pustaka

- CERC (Coastal Engineering Research Center). 1984. Shore Protection Manual. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington DC.
- Cruz, J. 2008. Ocean Wave Energy : Current Status and Future Perspectives. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Dean, R.G. and R.A. Dalrymple. 2000. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. World Scientific Publishing, Singapore.
- Dijkstra, H.A. 2008. Dynamical Oceanography. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Diposaptono, S dan Budiman. 2006. Tsunami. Penerbit Buku Ilmiah Populer. Bogor.
- Holthuijzen, L. 2007. Wave in Oceanic and Coastal Waters. Cambridge University Press, New York.
- Rizal, S., P. Damm., M.A. Wahid., J. Sunderman., Y. Ilhamsyah., T. Iskandar and Muhammad. 2012. General Circulation in The Malacca Strait and Andaman Sea : A Numerical Model Study. American Jurnal of Environmental Science, 8(5):479-488.
- Sugiyono. 2009. Metode Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. Ed.8., Alfabeta, Bandung.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Betta Offset, Yogyakarta.

- WMO (World Meteorologi Organization). 1998. Guide To Wave Analysis And Forecasting. 1<sup>st</sup> ed., Geneva, Switzerland.
- Smith, J.M., A.R. Sherlock and D.T. Resio. 2001. STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model User's Manual for STWAVE, Version 3.0. US Army Corps of Engineers Research and Development Centre, Vicksburg.