

## Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Paciran, Jawa Timur

Denny Nugroho Sugianto

Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan FPIK UNDIP, Semarang  
Telp/Fax : 024-7474698, dennysugianto@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian telah dilakukan di perairan Laut Paciran, Jawa Timur pada bulan Oktober 2009. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui model distribusi kecepatan angin dan pemanfaatannya untuk peramalan gelombang di perairan Laut Paciran, Jawa Timur. Data angin diperoleh dari stasiun pengukuran angin Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Klas I Juanda Surabaya tahun 2007-2009, berupa data angin tiap jam. Pengolahan data angin dikelompokkan berdasarkan skala Beaufort. Pengukuran tinggi dan periode gelombang menggunakan Sontek Argonaut XR. Peramalan gelombang menggunakan data angin dilakukan dengan menggunakan metode SMB dan Darbyshire. Hasil pengukuran data gelombang diperoleh hasil tinggi gelombang antara 3,2–82,9 cm dan periode gelombang 6,0 –7,9 detik, dari klasifikasi gelombang termasuk gelombang perairan transisi. Model distribusi data kecepatan angin menunjukkan bahwa untuk kecepatan angin kuat (17–27 knot) pada musim barat durasinya antara 3-6 jam, sedangkan pada musim timur antara 1-4 jam. Dengan menggunakan metode SMB dan Darbyshire pada saat terjadi kecepatan maksimum pada musim Timur, tinggi gelombang mencapai 1,51 meter dengan periode 5,2 detik, sedangkan pada musim barat tinggi maksimum gelombang mencapai 2,4 meter dengan durasi 7 detik. Dari nilai MRE (mean relative error) data lapangan terhadap hasil peramalan dari data angin selama 3 tahun didapatkan nilai kesalahan relatif sebesar 0,3 - 34,32 % untuk tinggi gelombang dan 13,24 – 22,06 % untuk periode gelombang.

**Kata kunci:** Distribusi kecepatan angin, gelombang, perairan laut Paciran, Jawa Timur

### Abstract

The survey was conducted at Paciran East Java sea waters during October 2009. The purpose of this study to determine the wind speed distribution model and its use for forecasting waves in the sea waters Paciran, East Java. Wind data obtained from wind measurement stations Meteorology, Climatology and Geophysics (BMKG) Class I Juanda Surabaya in 2007-2009, in the hourly wind data. Wind data grouped by Beaufort scale for processing. Height and wave period measured using Sontek Argonaut XR. Wave forecasting using wind data were calculated using SMB and Darbyshire method. The observation data obtained by the wave of wave height between 3.2 to 82.9 cm and wave period from 6.0 to 7.9 seconds, from the classification of waves including transitional waters. Wind speed data distribution model showed that for strong winds (17-27 knots) in the west season duration is between 3-6 hours, while in the east monsoon between 1-4 hours. By using the SMB method and Darbyshire in the event of a maximum speed of the Eastern season, wave height 1.51 m and periods of 5.2 seconds, while the west monsoon maximum wave height 2.4 meters and 7 seconds duration. The MRE (mean relative error) field data on the forecasting from wind data obtained during 3 years the mean relative error between 0.3 – 34.32 % of wave height and between 13.24 – 22.06 % of wave period.

**Key words:** Winds speed distribution, wave, Paciran sea water, East Java.

### Pendahuluan

Keterkaitan fenomena yang terjadi di laut khususnya gelombang memberikan pengaruh terhadap kondisi wilayah pesisir, bangunan pantai, dan transportasi laut (Trujillo & Thurman, 2008). Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, penyortiran sedimen, menimbulkan arus dan mengangkut material sedimen

(transpor sedimen) dasar kearah pantai, lepas pantai, dan sepanjang pantai serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (CERC, 2006). Data gelombang sangat diperlukan dalam perencanaan bangunan pantai (seperti *jetty*, *groyne*, *seawall*, *breakwater*, reklamasi dll), penentuan tata letak pelabuhan, alur pelayaran dan pengelolaan lingkungan laut, dan penentuan daerah rekreasi bahari dan budidaya di wilayah pesisir (Triatmodjo, 1999). Selain

itu data gelombang juga bisa dimanfaatkan untuk keperluan evaluasi bangunan-bangunan tersebut yang telah dibangun.

Informasi tentang gelombang tersebut diperlukan untuk pemeliharaan, perencanaan, serta operasional fasilitas tersebut. Selain arus dan pasang surut, parameter gelombang merupakan parameter penting dinamika perairan yang memberikan pengaruh terhadap perubahan wilayah pesisir dan laut (Dijkstra, 2008). Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Cruz, 2008).

Untuk mengetahui karakteristik gelombang suatu perairan diperlukan data gelombang dalam kurun waktu yang panjang, namun terbatasnya data gelombang menjadikan kendala dalam memahami karakteristik gelombang tersebut. Untuk keperluan perencanaan bangunan pantai mutlak diperlukan juga data gelombang, sedangkan data gelombang yang ada di Indonesia saat ini sangat minim dan umumnya sulit diperoleh. Apabila terdapat data gelombang biasanya hanya pada beberapa hari, bulan, atau paling lama satu tahun, sehingga belum memadai bilamana data tersebut digunakan untuk analisis gelombang ekstrim (Yuwono & Kodoatie, 2004). Pencatatan tinggi gelombang pada kasus-kasus tertentu diperlukan, terutama untuk mengetahui keadaan iklim gelombang pada saat musim barat atau musim timur.

Prinsip terjadinya pembangkitan gelombang oleh angin adalah perpindahan energi dari angin ke air lewat permukaan air (Holthuijsen, 2007). Untuk mengatasi keterbatasan data gelombang di atas, biasanya perencana melakukan peramalan gelombang dengan menggunakan data angin, karena data angin relative tersedia dan mudah diperoleh. Data angin dapat diperoleh dari data yang tersedia di bandar udara terdekat atau Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Gelombang akibat angin ini merupakan hal yang paling penting di dalam ilmu teknik pantai (Herbich, 2000). Untuk keperluan peramalan gelombang diperlukan data angin: arah angin, kecepatan angin pada arah tersebut (U), lama hembus angin ( $t_a$ ) dan panjang *fetch* (F) (Sorensen, 2006; Yuwono & Kodoatie, 2004).

Perairan laut Paciran Kabupaten Lamongan merupakan salah satu perairan di pantai utara Jawa Timur yang terdapat beberapa aktifitas diantaranya adalah aktifitas nelayan, fasilitas pelabuhan dan juga adanya aktifitas wisata bahari. Adanya fasilitas serta aktifitas yang penting tersebut tentunya perlu didukung informasi tentang kondisi dinamika perairan

salah satunya adalah gelombang. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terkait dengan gelombang. Mengingat data gelombang di perairan tersebut relatif terbatas, maka akan dilakukan melalui pendekatan peramalan gelombang dengan menggunakan distribusi data angin jam-jam an.

Selama ini dalam melakukan analisis data angin selalu menggunakan data kecepatan angin harian rata-rata atau maksimum sehingga hasilnya kurang dapat menggambarkan kondisi kenyataan di lapangan. Jika ditinjau, maka peramalan gelombang yang menggunakan data kecepatan angin harian rata-rata atau maksimum tentunya menghasilkan gelombang dengan tinggi yang cukup besar, namun untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi lapangan cukup sulit. Oleh karena itu pada penelitian ini nantinya akan ditelaah model kecepatan angin tiap jam sehingga pemanfaatannya untuk peramalan gelombang dapat semakin baik dan melalui serangkaian proses kalibrasi dan verifikasi supaya mendekati kondisi di lapangan

## Materi dan Metode

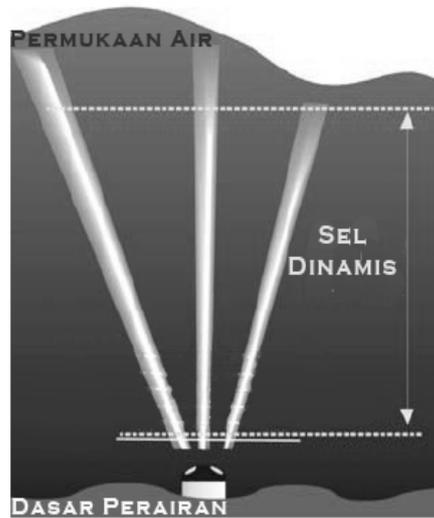
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2009 di perairan laut Paciran Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Materi penelitian ini meliputi data angin dan gelombang.

Metode pengambilan data angin secara langsung dilakukan dengan menggunakan metode survey dengan teknik insitu, dimana alat yang digunakan berupa *anemometer* sederhana, dari layar *anemometer* yang terbaca selanjutnya dicatat kecepatan dan arah angin, arah angin pada pencatatan data angin diambil dari mana angin berasal atau datang. Sedangkan untuk data angin selama tahun 2007-2009 diperoleh dari stasiun pengukuran angin Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Klas I Juanda Surabaya tahun 2007-2009, berupa data angin tiap jam. Data angin dilakukan analisis berdasarkan kebutuhan untuk analisis dalam disertasi ini. Beberapa analisis data angin yang dilakukan meliputi Pengelompokan data angin berdasarkan skala Beaufort untuk kecepatan angin sedang (11-16 knot), agak kuat (17-21 knot) dan kuat (22-27 knot) serta filterisasi kecepatan dan arah angin serta penyesuaian dengan lokasi penelitian.

Metode yang digunakan untuk pengambilan data gelombang di lapangan dalam penelitian ini adalah metode *mooring* di titik lokasi pengukuran yang diperlukan dengan menggunakan ADCM *wave rider* (Emery & Thomson, 1998) jenis Argonaut-XR, yang menggunakan sensor tekanan untuk mendapatkan

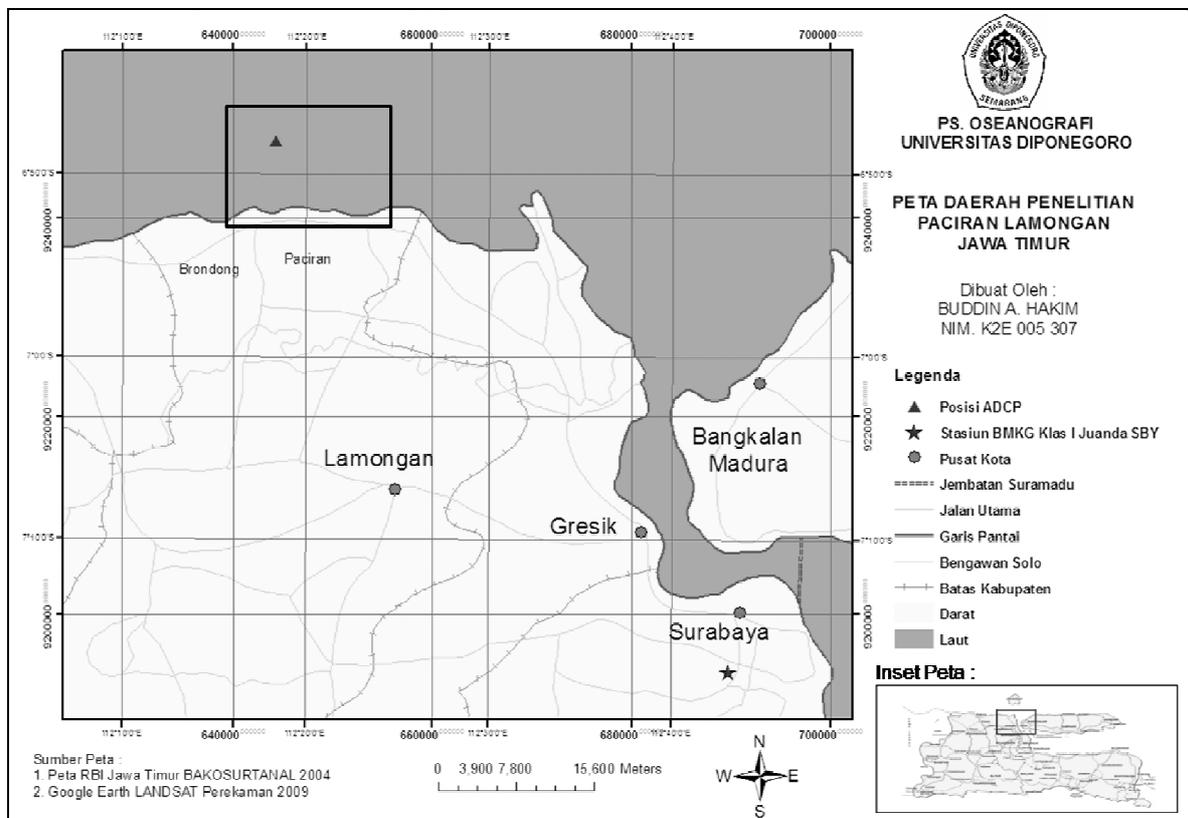
data parameter gelombang non direksional. (Sontek/YSI, 2009). Metode ini digunakan untuk mendeskripsikan pola karakteristik gelombang yang ada didaerah tersebut. Data yang diambil tersebut adalah tinggi dan periode gelombang. Pengambilan data gelombang dilakukan selama 7 x 24 jam dengan interval waktu perakaman data setiap 10 menit. Data

yang diperoleh meliputi tinggi dan periode gelombang. Metode peramalan gelombang dengan menggunakan metode SMB SVENDRUP-MUNK-BRETCHIEDER (SMB) seperti dijelaskan pada Coastal Engineering Manual. Part III-IV: Coastal Hydrolic Laboratory (CHL,2006) dan Darbyshire (Darbyshire and Draper, 1963).



(Sumber : Sontek/YSI, 2009)

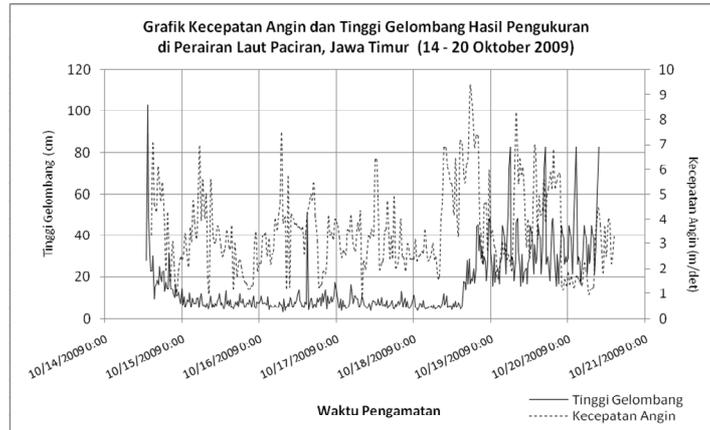
Gambar 1. Ilustrasi Pengukuran Data Gelombang menggunakan Sontek Argonaut XR



(Sumber : Peta Hasil Pengolahan, 2010)

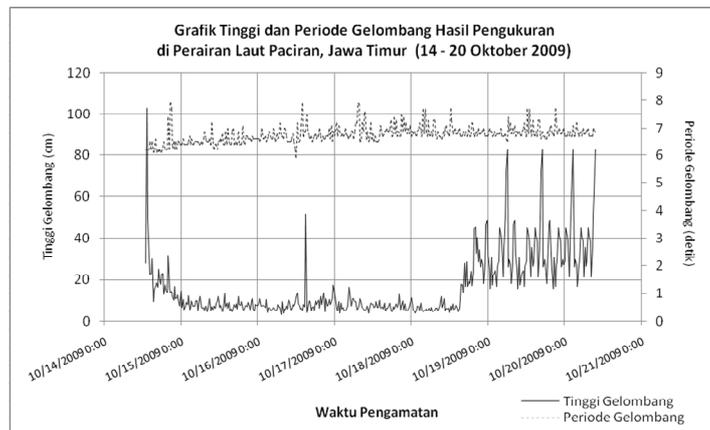
Gambar 2. Lokasi Pengukuran Gelombang di Perairan Paciran, Jawa Timur

**Hasil dan Pembahasan**



(Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2009)

**Gambar 3.** Data Kecepatan Angin dan Tinggi Gelombang di Perairan Paciran, Jawa Timur



(Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2009)

**Gambar 4.** Data Tinggi dan Periode Gelombang di Perairan Paciran, Jawa Timur

**Tabel 1.** Tinggi (H) dan Periode (T) Gelombang Harian di Perairan Paciran, Jawa Timur.

Tanggal	Hmax (cm)	Hs (cm)	Hmin (cm)	Tmax (dt)	Ts (dt)	Tmin (dt)
14-20 Okt 2009	82.9	32.8	3.2	7.9	6.8	6.0
14 Okt 2009	31.6	23.6	7.2	7.9	6.4	6.1
15 Okt 2009	14.6	10.2	4.4	7.2	6.5	6.0
16 Okt 2009	51.4	12.4	3.2	7.9	6.7	6.0
17 Okt 2009	16.5	10.1	3.8	7.9	6.8	6.5
18 Okt 2009	48.7	28.2	3.8	7.7	6.8	6.5
19 Okt 2009	82.9	48.9	15.7	7.7	6.9	6.5
20 Okt 2009	80.9	59.0	16.8	7.2	6.9	6.0

Untuk mengetahui klasifikasi gelombang, maka digunakan persamaan (Triaatmojo, 1999) :

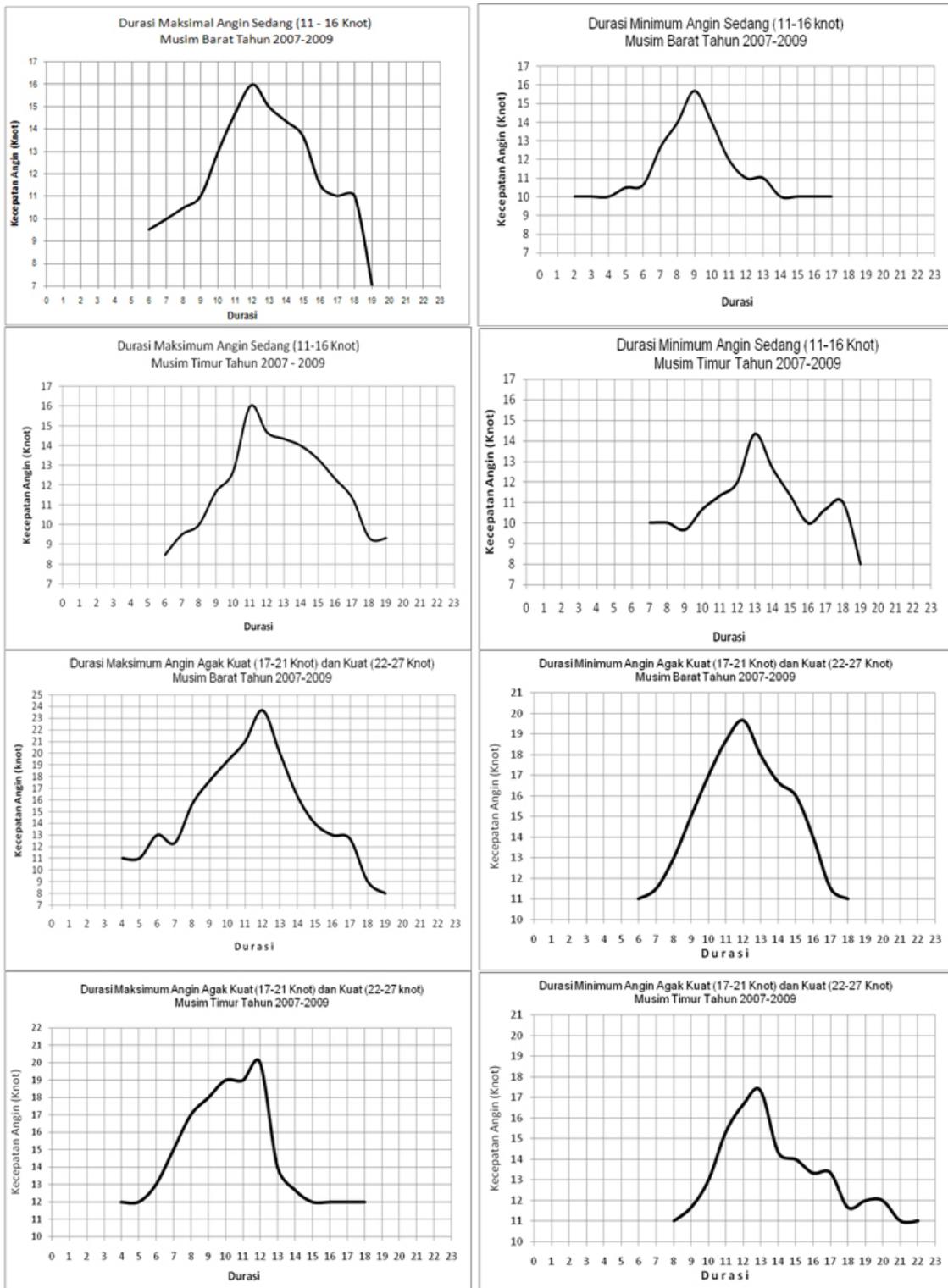
$$L = 1,56 T^2 = 1,56 \times (6,8)^2 = 72,13 \text{ meter.}$$

( L = panjang gelombang, T = periode gel)

Kedalaman pengukuran (d) = 15,8 m, maka  $d/L = 0,21$ .

Oleh karena nilai  $d/L$  adalah diantara  $1/20 < d/L < 1/2$ ,

maka klasifikasi gelombang menurut kedalaman relatif termasuk gelombang laut transisi.



(Sumber : Pengolahan Data, 2009)

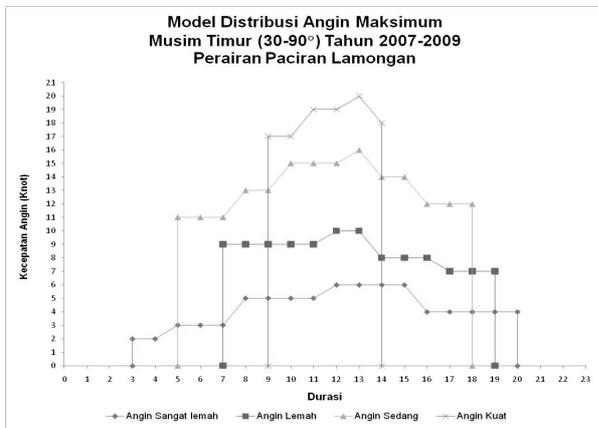
**Gambar 5.** Model durasi kecepatan angin sedang dan angin kuat musim barat dan musim timur didapatkan dari pengolahan model distribusi angin menggunakan data 3 tahun (2007-2009)

**Tabel 2.** Model Durasi Kecepatan Angin Berdasarkan Musim

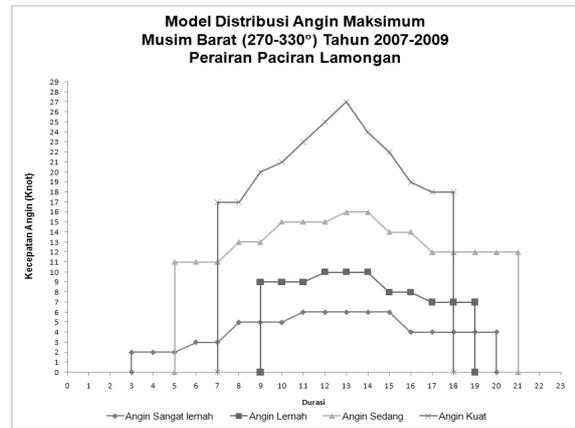
	Waktu	Angin Sedang (11-16 knot)	Angin Kuat (17-27 knot)
Musim Barat	Durasi Angin Maksimum	7 jam	6 jam
	Durasi Angin Minimum	5 jam	3 jam
Musim Peralihan	Durasi Angin Maksimum	7 jam	5 jam
	Durasi Angin Minimum	5 jam	2 jam
Musim Timur	Durasi Angin Maksimum	8 jam	4 jam
	Durasi Angin Minimum	6 jam	1 jam

(Sumber : Pengolahan Data, 2009)

Sedangkan model distribusi angin maksimum dari distribusi angin menurut kecepatnya selama 3 tahun pada musim timur dan barat disajikan dalam Gambar 6 - 7.

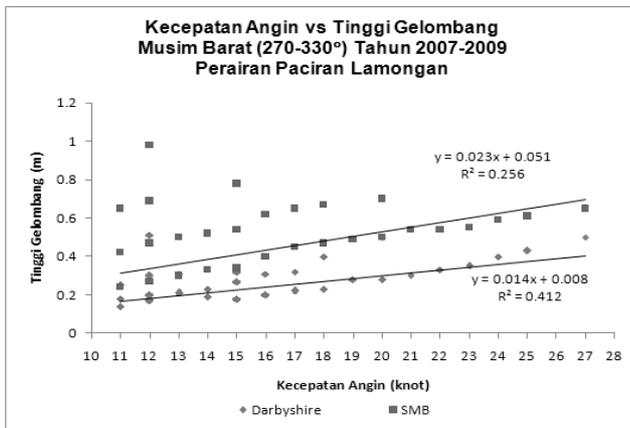


**Gambar 6.** Model Distribusi Kecepatan Angin pada Musim Timur

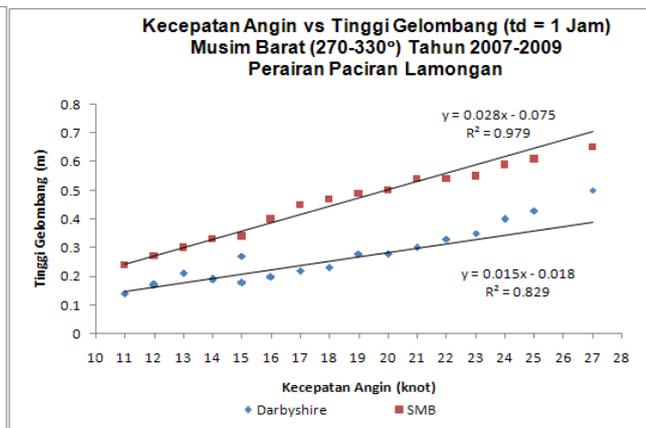


**Gambar 7.** Model Distribusi Kecepatan Angin pada Musim Barat

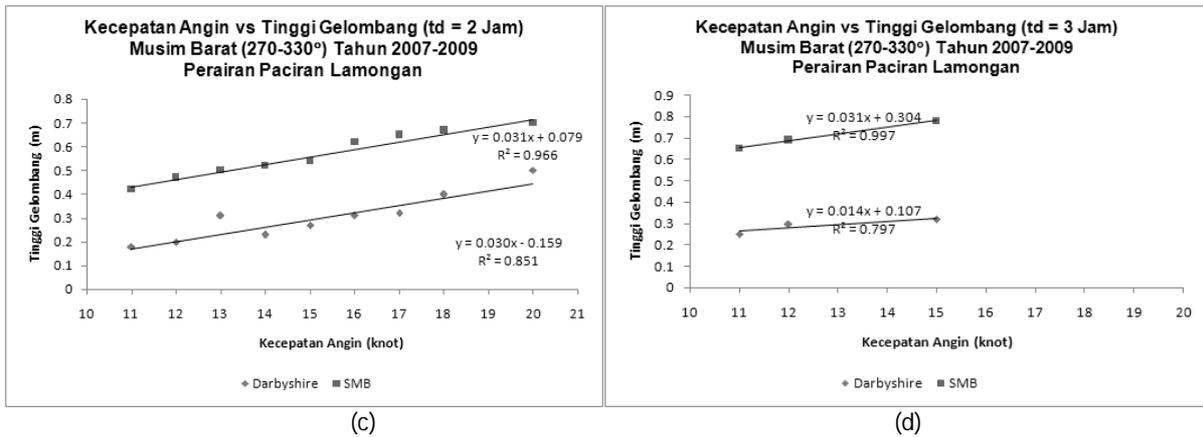
Model distribusi angin dan data peramalan gelombang berdasarkan data angin menggunakan metode Darbyshire dan SMB selama 3 tahun (2007-2009) dapat diuraikan sebagai berikut. Pada musim barat model distribusi angin dan gelombang ramalan t tersaji pada Gambar 8 berikut ini.



(a)

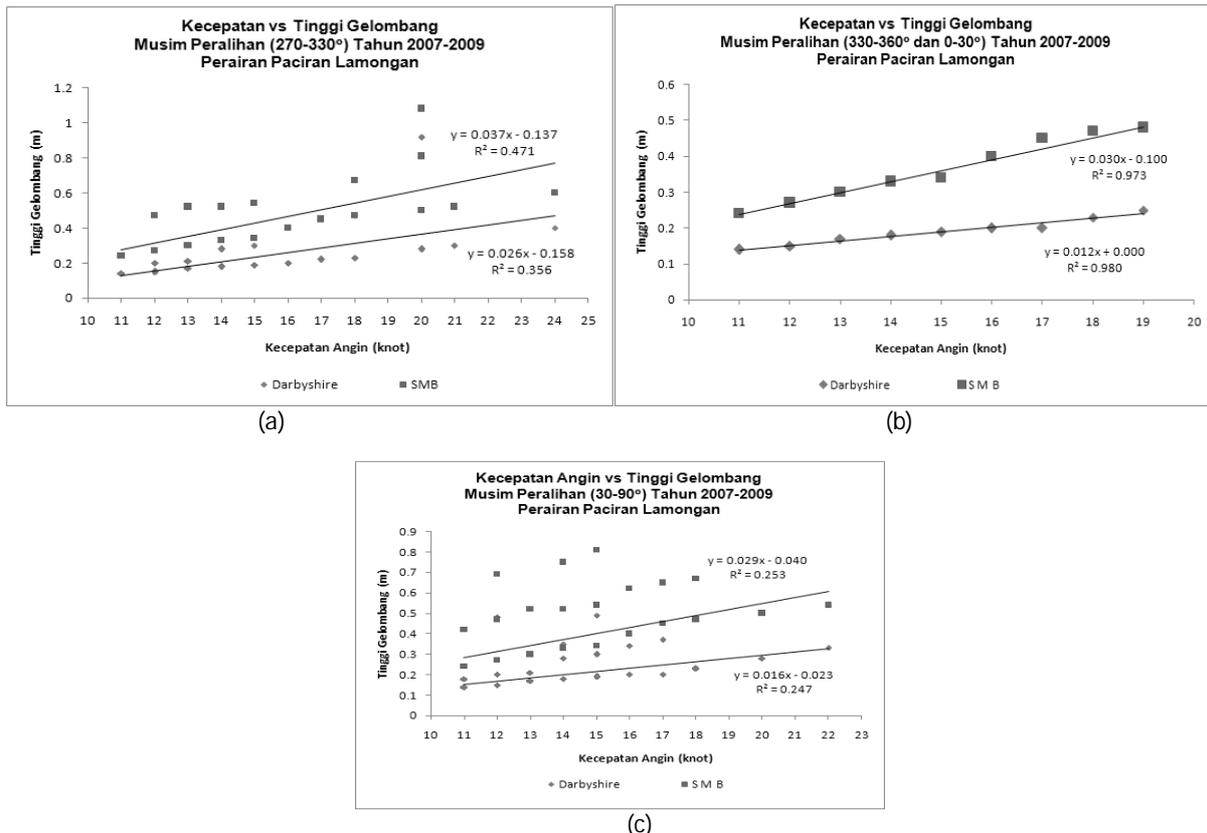


(b)

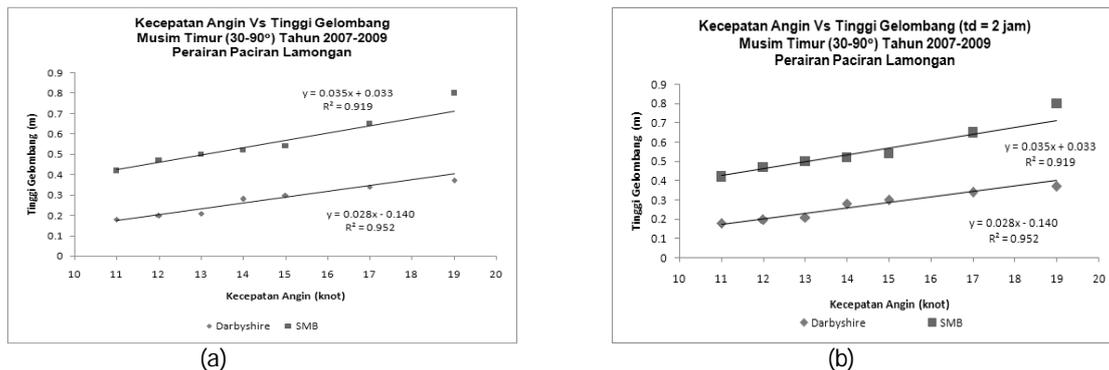


**Gambar 8.** (a) Model Kecepatan angin terhadap tinggi gelombang pada musim barat; (b) Model Kecepatan angin terhadap tinggi gelombang untuk durasi (td) 1 jam pada musim barat; (c) durasi (td) 2 jam; dan (d) durasi (td) 3 jam.

Sedangkan untuk musim peralihan, dibagi menjadi 3 skenario, yaitu skenario 1 adalah pada saat musim peralihan dengan arah datang angin 270-330°, Skenario 2 dengan arah datang angin 330-360° dan 0-30°, dan untuk skenario 3 dengan arah datang angin 30-90°. Hasil untuk musim peralihan disajikan dalam Gambar 9.



**Gambar 9.** (a) Model Kecepatan angin terhadap tinggi gelombang pada musim peralihan skenario 1 (270-330°); (b) skenario 2 (330-360° dan 0-30°); dan (c) skenario 3 (30-90°).



Gambar 10. (a) Model Kecepatan angin terhadap tinggi gelombang pada musim timur; (b) dengan durasi 2 jam.

Dari hasil pengamatan data gelombang selama 14 – 20 Oktober 2009 (Gambar 3 – Gambar 4, dan Tabel 2), gelombang perairan Paciran Kabupaten Lamongan Jawa Timur dikategorikan sebagai gelombang yang dibangkitkan oleh angin karena mempunyai periode gelombang ( $T_s$ ) 6,8 detik. Hal ini menunjukkan gelombang yang terbentuk di perairan ini karakteristiknya sangat dipengaruhi oleh kondisi angin yang terjadi, hal ini didukung oleh klasifikasi gelombang berdasarkan periode menurut Munk (1951), yang menyatakan bahwa gelombang yang dibangkitkan oleh angin mempunyai periode gelombang antara 1 – 10 detik. Sedangkan selama pengukuran didapatkan adalah 0,328 m dengan tinggi gelombang maksimum mencapai 0,829m hal ini terjadi karena pengukuran dilakukan pada musim peralihan sehingga gelombang terbentuk relatif kecil, pada saat musim peralihan angin yang berhembus di laut Jawa relatif kecil jika dibandingkan pada saat musim barat dan musim timur, pada saat musim peralihan angin yang berhembus relatif lemah hal ini diperkuat dengan pernyataan Bayong (2004) dan Wyrki (1961), yang menyatakan bahwa pada musim peralihan kecepatan angin lebih lemah jika dibandingkan dengan musim barat dan musim timur karena adanya pola sirkulasi atmosfer.

Model distribusi angin dibuat untuk mengetahui durasi angin yang dapat membangkitkan gelombang, penentuan durasi angin sangat penting dalam perumusan peramalan gelombang, Triatmodjo, (1999); (Young, 1999) menyatakan semakin besar durasi angin yang terjadi maka semakin besar gelombang yang terbentuk karena durasi ini mencukupi untuk mentransmisikan energi ke permukaan air sehingga terbentuk gelombang. Dengan adanya model distribusi kecepatan angin ini akan membuat lebih mudah untuk peramalan tinggi gelombang, karena pola distribusi angin yang dapat membangkitkan gelombang sudah dibakukan. Dalam perhitungan untuk peramalan tinggi gelombang menggunakan model distribusi kecepatan angin

ini akan membuat lebih mudah untuk peramalan tinggi gelombang, karena pola distribusi angin yang dapat membangkitkan gelombang sudah dibakukan. Dalam perhitungan untuk peramalan tinggi gelombang menggunakan model distribusi kecepatan angin relatif digunakan model distribusi kecepatan angin yang dibuat dari data 3 tahun seperti yang disajikan pada Gambar 5 – Gambar 7.

Adapun contoh perhitungan peramalan gelombang lokasi Perairan Paciran Lamongan Provinsi Jawa Timur adalah berikut ini.

Kecepatan maksimum di stasiun BMKG Klas I Juanda Surabaya yang diasumsikan mempunyai karakteristik yang sama dilokasi penelitian diambil untuk model distribusi kecepatan maksimum pada musim Timur selama 3 tahun adalah 22 knot, sedangkan pada musim barat selama 3 tahun kecepatan maksimumnya adalah 27 knot, dengan anggapan bahwa *fetch* dengan panjang tak terbatas maka hasil ramalan gelombang didapatkan seperti pada Tabel 3.

Dari hasil hitungan tersebut di atas maka pada musim Timur gelombang maksimum yang terjadi adalah 1,51 meter dengan periode 5,2 detik, sedangkan gelombang minimumnya adalah 0,35 m dengan durasi 2,85 detik. Sedangkan pada musim barat gelombang maksimum yang terbentuk dengan kecepatan 27 knot adalah 2,4 meter dengan periode 7 detik, sedangkan gelombang minimum yang terbentuk adalah 1,25 m dengan periode 4,5 detik.

Hal ini menunjukkan bahwa gelombang yang terjadi pada musim timur adalah 0,35 m sampai dengan 1,51 meter. sedangkan pada musim barat gelombang yang terbentuk adalah 1,25 meter sampai 2,4 meter.

Model distribusi kecepatan angin relatif sendiri merupakan model yang ditawarkan untuk

melakukan peramalan gelombang (CHL, 2006). Model ini berasal dari pendekatan dan analisis data angin selama 3 tahun, untuk aplikasinya dapat digunakan sebagai untuk lebih mempercepat proses peramalan gelombang, karena nilai dari durasi angin sudah dibakukan. Hal ini dapat digunakan sebagai skenario tertinggi untuk peramalan gelombang karena durasi yang digunakan merupakan distribusi maksimum dari kondisi angin yang dapat mewakili kondisi daerah penelitian. Hasil selengkapnya seperti tersaji pada Gambar 8 – Gambar 10.

Untuk Model distribusi angin dari peramalan gelombang didapatkan nilai tinggi gelombang lebih tinggi jika menggunakan metode SMB sebagai konversi data angin menjadi gelombang jika dibandingkan dengan tinggi gelombang yang diperoleh dari metode Darbyshire (Gambar 8 – 10). Hal ini karena metode SMB biasanya digunakan pada daerah lepas pantai, sedangkan metode Darbyshire biasanya digunakan di daerah pantai. Metode SMB biasa digunakan di daerah lepas pantai sehingga faktor seperti kondisi topografi laut diabaikan, sehingga apabila hal ini diaplikasikan di daerah pantai, maka akan menimbulkan kesalahan karena pada daerah pantai kondisi pendangkalan dan topografi laut sangat mempengaruhi karakteristik gelombang dan transfer energi dari angin yang biasanya membentuk suatu gelombang (CERC, 2006). Dari model-model distribusi

peramalan gelombang juga didapatkan bahwa hal yang paling menentukan tinggi gelombang adalah kecepatan dan durasi atau lamanya angin berhembus, semakin besar kecepatan dan panjang waktu angin berhembus maka akan membentuk tinggi gelombang yang semakin tinggi (CHL, 2006).

Untuk mengetahui tingkat validitas hasil peramalan gelombang dilakukan verifikasi hasil peramalan dengan data pengamatan lapangan dengan melakukan perhitungan kesalahan relatifnya atau biasa disebut dengan *mean realtif error* (MRE). Perhitungan nilai MRE dari data lapangan dengan data hasil peramalan data angin menggunakan metode Darbyshire tahun 2007 – 2009 dari BMKG Klas I Juanda Surabaya disajikan dalam Tabel 4.

Sedangkan untuk nilai MRE peramalan gelombang menggunakan metode metode SMB dengan merata-ratakan dari tiga skenario pada musim peralihan disajikan seperti pada Tabel 5.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa peramalan gelombang dengan menggunakan distribusi data angin melalui metode Darbyshire mempunyai kesalahan relatif yang lebih kecil (maksimum 30,57%) jika dibandingkan dengan metode SMB (maksimum 34,32 %), sehingga lebih sesuai untuk peramalan gelombang di perairan Laut Paciran, Jawa Timur.

**Tabel 3.** Peramalan gelombang menggunakan model distribusi angin

Musim	Durasi (detik)	Kec. Angin Maksimum (knot)	Metode Darbyshire		Metode SMB	
			Hs (m)	Ts (det)	Hs (m)	Ts (det)
Musim Timur	td= 4	22	1.42	5.5	1.51	5.2
	td= 1		0.35	2.8	0.57	2.9
Musim Barat	td= 6	27	2.4	7.0	2.23	6.5
	td= 3		1.5	5.8	1.25	4.5

(Sumber: Pengolahan Data, 2009)

**Tabel 4.** Verifikasi Data Lapangan dan Data Hasil Peramalan dengan Metode Darbyshire

	Data Lapangan	Data Hasil Peramalan			
		2007	2008	2009	2007-2009
Hs (m)	0,328	0,4283	0,4284	0,327	0,39
MRE (%)		30,57	30,57	0,30	18,90
Ts (detik)	6,8	5,3	5,9	5,6	5,6
MRE (%)		22,06	13,24	17,65	17,65

(Sumber : Pengolahan Data, 2009)

**Tabel 5.** Verifikasi Data Lapangan dan Data Hasil Peramalan dengan Metode SMB

	Data Lapangan	Data Hasil Peramalan			
		2007	2008	2009	2007-2009
Hs (m)	0,328	0,44	0,43	0,35	0,39
MRE (%)		34,32	31,09	8,71	24,71

(Sumber : Pengolahan Data, 2009)

## Kesimpulan

Klasifikasi gelombang di lokasi penelitian termasuk gelombang perairan transisi dengan tinggi gelombang maksimum (Hmaks) hasil pengukuran 82,9 cm dan Hmin 3,2 dengan periode gelombang maksimum (Tmaks) 7,9 detik dan Tmin 6,0 detik. Model distribusi angin jam-jam an menunjukkan durasi angin pada saat musim barat untuk angin kuat antara 3-6 jam, sedangkan pada saat musim timur durasi antara 1-4 jam. Sedangkan hasil peramalan gelombang, pada musim Barat tinggi gelombang di perairan laut Paciran Jawa Timur maksimumnya adalah 2,4 meter dengan periode 7 detik, sedangkan pada saat musim timur tinggi maksimum gelombang mencapai 1,51 meter dengan periode 5,2 detik. Adapun untuk metode peramalan gelombang metode Darbyshire mempunyai tingkat kesalahan relatif yang lebih kecil (maksimum 30,57%) jika dibandingkan metode SMB (maksimum 34,32%), sehingga sesuai untuk peramalan gelombang di perairan Laut Paciran.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Program Pascasarjana UNDIP dan BMKG Klas I Juanda Surabaya atas fasilitas serta sarana dan prasarana yang diberikan selama penelitian ini berlangsung, serta tim reviewer IJMS atas termuatnya artikel ini.

## Daftar Pustaka

- Bayong, T.H.K., 2004. *Klimatologi*. ITB. Bandung. Edisi ke-2. 348 p
- CERC, 2006. *Shore Protection Manual*. Washington : US Army Coastal Engineering Research Center. 143 p.
- Coastal Hydrolic Laboratory (CHL). 2006. *Coastal Engineering Manual. Part III-IV*. Washington DC : Department of the Army. U.S. Army Corp of Engineering.
- Cruz, Joao., 2008. *Ocean Wave Energy : Current Status and Future Perspectives*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg German. 427 pp.
- Dijkstra, Henk A., 2008. *Dynamical Oceanography*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg German. 405 pp.
- Emery, William J. & Thomson, Richard, E., 1998. *Data Analysis Methods In Physical Oceanography*. Pergamon Elsevier Science Ltd. p: 42 – 116.
- Herbich, John B. 2000. *Handbook of Coastal Engineering*. McGRAW-HILL Companies, Inc.
- Holthuijsen, L. H. 2007. *Waves In Oceanic And Coastal Waters*. Cambridge University Press., Cambridge CB2 8RU, UK. 405p.
- Sontek/YSI. 2009. *The Argonaut-XR Expanded Description*. SonTek/YSI . [www.sontek.com](http://www.sontek.com) diakses pada tanggal 11 Oktober 2009.
- Soronsen, 2006. *Basic Coatal Engineering*. 3<sup>rd</sup> edition. Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania. 330p
- Thurmann, Harold V., 2007. *Introductory Oceanography*. Bell and Howell Company Columbus Ohio. p: 183 – 273.
- Triadmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset: Yogyakarta. Hal: 11 – 24
- Trujillo, Alan P. & Thurman, Harold V., 2008. *Essentials of Oceanography*. Pearson Prentice Hall, Pearson Education Inc. New Jersey. 534 pp.
- Wyrтки, Klaus. 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asian Water*. The University of California: California.
- Young, Ian R. 1999. *Wind Generated Ocean Waves*. Elsevier Science Ltd. The Boulevard, Oxford OX 1GB, UK. 307 p.
- Yuwono, Nur & Kodoatie, R.J. 2004. *Pengembangan Reklamasi Pantai dan Perencanaan bangunan Pengamannya (Pedoman)*. Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Departeman Pekerjaan Umum, Jakarta. 473 hal.