

PERAMALAN KEJADIAN GELOMBANG PANTAI WATUNOHU DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS ANALISA DATA ANGIN

Novi Andhi Setyo Purwono, Ary Sismiani

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Kampus UNWIKU Jl. Beji Karangsalam PO BOX 185 Purwokerto 53152

Email : novi_andhisp@yahoo.com

ABSTRACT

Sea waves due to the generation process can be divided into waves that occur as a result of wind waves and tides waves. Wave energy is one form of energy that can form the coast, causing longshore current and longshore transport in a perpendicular direction and along the coast, and causing forces acting on port buildings. For planning purposes, wave data is required at long intervals of at least 5 years and better wave data for 10 years. Long wave data is very difficult to obtain in the field, one method of approach to obtaining long wave data is by processing wind data obtained from the Meteorology, Climatology and Geophysics Department. Utilization of sea transportation by using the facilities of ships, ports, docks and buildings as well as marine facilities that support it, needs to be planned, especially regarding the condition of coastal and offshore. To support port planning and coastal structure, hydrooceanographic data is needed including wave data in the field with long time intervals. For this reason, it is necessary to analyze wave data forecasting using wind data from the nearest wind station

The results showed the conversion of wind speed and direction into height, period and direction of waves in Watunohu waters in 2003-2013. The maximum significant wave height in Watunohu waters occurred in 2011 and 2013 is 5.49 meters. The maximum significant wave period in Watunohu waters occurred in 2011 and 2013 is 9.05 seconds. Based on statistical analysis probability with return methods of wave height events, wave heights can occur or exceed of the Watuhono Port area for a 10-year return period are 3.91 meters to 4.39 meters. The results of this wave height forecasting can be used as a basis for calculating the port dock elevation

Keywords : *Waves Analysis, Fetch, Watunohu*

ABSTRAK

Gelombang di laut akibat proses pembangkitannya dapat dibagi menjadi gelombang yang terjadi akibat dibangkitkan oleh angin dan gelombang yang dibangkitkan oleh pasang surut. Energi gelombang merupakan salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelabuhan. Untuk keperluan perencanaan diperlukan data gelombang dalam interval yang panjang minimal 5 tahun dan lebih bagus lagi data gelombang selama 10 tahun. Data gelombang yang cukup panjang sangat sulit diperoleh di lapangan, salah satu metode pendekatan untuk mendapatkan data gelombang yang panjang adalah dengan mengolah data angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Pemanfaatan transportasi laut dengan menggunakan fasilitas kapal, pelabuhan, dermaga dan bangunan serta fasilitas laut yang mendukungnya, perlu direncanakan dengan baik terutama terkait kondisi perairan pantai dan lepas pantai. Untuk mendukung perencanaan pelabuhan dan bangunan pengaman pantai, dibutuhkan data hidrooceanografi diantaranya adalah data gelombang di lapangan dengan interval waktu yang panjang. Untuk itu diperlukan analisis peramalan data gelombang dengan menggunakan data angin dari stasiun pencacatan angin terdekat.

Hasil penelitian menunjukkan konversi kecepatan dan arah angin menjadi tinggi, periode dan arah gelombang di perairan Watunohu Tahun 2003-2013. Tinggi gelombang signifikan maksimum di perairan Watunohu terjadi pada tahun 2011 dan 2013 dengan tinggi gelombang 5,49 meter. Periode gelombang signifikan maksimum di perairan Watunohu terjadi pada tahun 2011 dan 2013 dengan periode gelombang 9,05 detik. Berdasarkan analisa statistik dengan metode kala ulang kejadian tinggi gelombang, tinggi gelombang dapat terjadi atau terlampaui pada perairan Pelabuhan Watuhono untuk kala ulang 10 tahun adalah 3,91 meter sampai dengan 4,39 meter. Hasil peramalan tinggi gelombang ini dapat digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan elevasi dermaga pelabuhan.

Kata kunci : *Peramalan Gelombang, Fetch, Watunohu.*

PENDAHULUAN

Gelombang di laut akibat proses pembangkitannya dapat dibagi menjadi gelombang yang terjadi akibat dibangkitkan oleh angin dan gelombang yang dibangkitkan oleh pasang surut. Energi gelombang merupakan salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Gelombang di alam memiliki bentuk yang sangat kompleks yang terdiri dari suatu deret gelombang dimana masing-masing memiliki tinggi dan periode yang berbeda. Untuk keperluan perencanaan diperlukan data gelombang dalam interval yang panjang minimal 5 tahun dan lebih bagus lagi data gelombang selama 10 tahun. Data gelombang yang cukup panjang sangat sulit diperoleh di lapangan, salah satu metode pendekatan untuk mendapatkan data gelombang yang panjang adalah dengan mengolah data angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.

Pengukuran kecepatan angin oleh BMKG dilakukan di daratan, padahal di dalam persamaan atau grafik pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah data angin di atas permukaan laut. Angin yang berhembus dipermukaan air yang semula tenang, akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut dan akan menimbulkan riak gelombang. Apabila kecepatan angin bertambah, maka riak gelombang akan semakin besar, dan jika angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang.



Gambar 1. Lokasi Studi

Perairan Pantai Watunohu merupakan perairan pantai yang berada pada wilayah administratif Kabupaten Kolaka Utara, dimana memiliki wilayah perairan (laut) yang sangat luas sepanjang pantai timur Teluk Bone yang diperkirakan mencapai $\pm 12.376 \text{ km}^2$. Karakteristik dasar perairan yang landai, terjal dan sangat terjal dengan pesisir pantai terdiri dari paparan batuan,

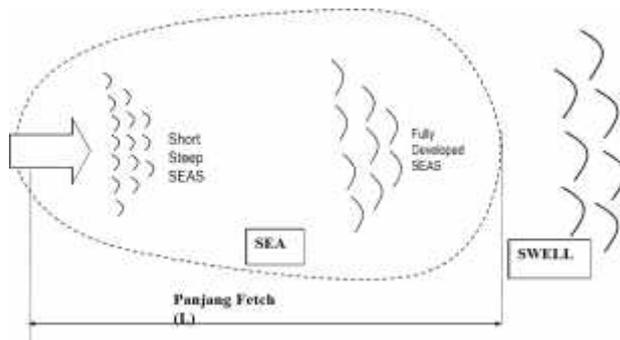
teluk dan muara sungai serta daerah estuaria yang kaya dengan organisme plancton. Kondisi ini sangat menjanjikan untuk kegiatan perikanan, perhubungan dan pariwisata.

Pengembangan kawasan Watunohu menjadi pintu gerbang penghubung antar moda transportasi dan transportasi laut saat ini sedang dilakukan, salah satunya adalah dengan membuat Pelabuhan Pengumpul di Kabupaten Kolaka Utara tepatnya di Kecamatan Watuhonu. Kebutuhan yang semakin banyak dan beragam mendorong masyarakat untuk memperoleh barang yang belum bisa dihasilkan didaerahnya. Interaksi antar satu wilayah dengan wilayah lainnya menciptakan sistem perdagangan dan ketergantungan antar wilayah. Untuk itu peran transportasi laut sangat diperlukan bagi perkembangan kawasan Pantai Watunohu.

Pemanfaatan transportasi laut dengan menggunakan fasilitas kapal, pelabuhan, dermaga dan bangunan serta fasilitas laut yang mendukungnya, perlu direncanakan dengan baik terutama terkait kondisi perairan pantai dan lepas pantai. Untuk mendukung perencanaan pelabuhan dan bangunan pengaman pantai, dibutuhkan data hidrooseanografi diantaranya adalah data gelombang di lapangan dengan interval waktu yang panjang. Untuk itu diperlukan analisis peramalan data gelombang dengan menggunakan data angin dari stasiun pencacatan angin terdekat.

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu gaya lingkungan utama yang menyebabkan terjadinya gelombang adalah akibat adanya hembusan angin. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus menerus akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar pula gelombang yang terbentuk. Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut gelombang *SEA*, sedangkan gelombang yang terbentuk tersebut setelah menjalar keluar daerah pembangkitan disebut gelombang *SWELL*.

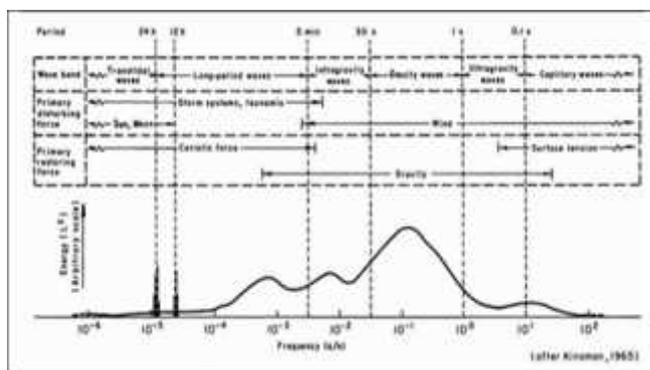


Gambar 2. Pembentukan Gelombang Angin(sumber : CERC, 2001)

Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan oleh angin, dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama hembus angin (t_d), arah angin dan panjang *fetch* (F). *Fetch* adalah panjang daerah pembangkitan gelombang pada arah kecepatan angin tersebut berhembus.

A. Data Angin

Data angin diperoleh dari pengukuran kecepatan angin setiap waktu menggunakan anemometer pada daerah bersangkutan. Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat dekat lokasi yang akan distudi yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer dan biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui kaitulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1 \text{ knot} = 1.852 \text{ km/jam} = 0.5 \text{ m/dt}$. Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam tabel. Dengan pencatatan angin jam-jaman tersebut akan dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan anginmaksimum, arah angin, dan dapat pula dihitung kecepatan angin rata-rata harian.



Gambar 3. Distribusi energi pembangkit gelombang laut (sumber : CERC, 2001)

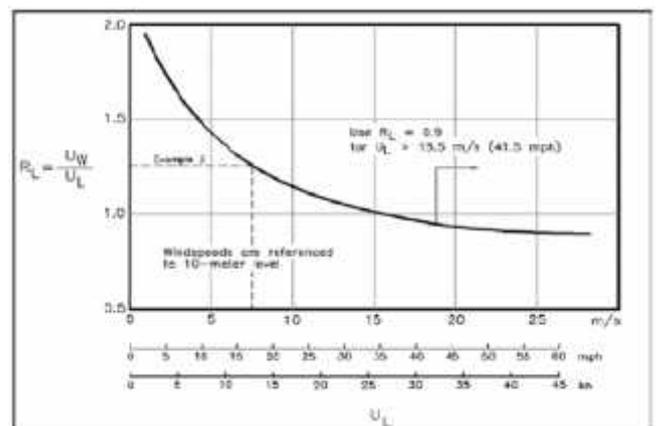
Jumlah data angin seperti yang ditunjukkan dalam tabel tersebut untuk beberapa tahun pengamatan dalam sangat besar. Untuk itu data harus diolah dan disajikan dalam bentuk tabel ringkasan atau diagram yang disebut dengan *windrose*. Penyajian serupa ini dapat dibuat dalam bentuk bulanan, tahunan atau bahkan untuk beberapa tahun pencatatan. Dengan tabel atau *windrose* tersebut maka karakteristik angin dapat dibaca dengan cepat dan mudah.

B. Konversi Angin

Data angin yang diperoleh dari pengukuran di permukaan laut dengan menggunakan kapal yang bergerak atau pengukuran di darat (misalnya di bandara). Pengukuran data angin di permukaan laut adalah yang paling sesuai untuk peramalan gelombang. Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan sementara rumus-rumus pembangkitan gelombang mengasumsikan angin yang terjadi di atas laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan di daratan terdekat diberikan oleh persamaan $R_L = U_W / U_L$ seperti dalam **Gambar 4**. Gambar tersebut merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat. Grafik tersebut dapat digunakan untuk daerah lain kecuali apabila karakteristik daerah sangat berlainan. Rumus-rumus dan grafik-grafik pembangkitan gelombang mengandung variabel U_A , yaitu faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin seperti yang dijelaskan di atas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (1)$$

dimana U adalah kecepatan angin dalam m/d .



Gambar 4. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat(sumber : Triatmodjo, B, 1999)

C. Peramalan Gelombang
Penentuan Fetch

Untuk melakukan peramalan gelombang di suatu perairan diperlukan masukan berupa data angin dan peta batimetri. Peta perairan lokasi dan sekitarnya diperlukan untuk menentukan besarnya *fetch* atau kawasan pembentukan gelombang. *Fetch* adalah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Adanya kenyataan bahwa angin bertiup dalam arah yang bervariasi atau sembarang, maka panjang *fetch* diukur dari titik pengamatan dengan interval 5°

Panjang *fetch* efektif dihitung untuk 8 arah mata angin dan ditentukan berdasarkan rumus berikut.

$$Lf_i = \frac{\sum Lf_i \cdot \cos r_i}{\sum \cos r_i}$$

dimana

Lf_i = panjang *fetch* ke-i

r_i = sudut pengukuran *fetch* ke-i

i = jumlah pengukuran *fetch*

Jumlah pengukuran “i” untuk tiap arah mata angin tersebut meliputi pengukuran-pengukuran dalam wilayah pengaruh *fetch* (22,5° searah jarum jam dan 22,5° berlawanan arah jarum jam dari masing-masing arah mata angin).

Perhitungan Gelombang

Pembentukan gelombang di perairan dalam (*deep water waves*) dianalisa dengan formula-formula berikut. Prosedur peramalan ini berlaku untuk kondisi gelombang tidak terbentuk penuh (*non fully developed sea*), baik untuk kondisi *fetch* terbatas (*fetch limited condition*), maupun kondisi durasi terbatas (*duration limited condition*) sebagai berikut

$$\frac{gt_d}{U_A} = 68.8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7.5 \times 10^4$$

$$\frac{gH_{m_0}}{U_A^2} = 0.0016 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \leq 0.2433$$

$$\frac{gT_p}{U_A^2} = 0.2857 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \leq 8.134$$

Sedangkan persamaan untuk keadaan gelombang terbentuk penuh diberikan oleh:

$$\frac{gt_d}{U_A} = 7.5 \times 10^4$$

$$\frac{gH_{m_0}}{U_A^2} = 0.2433$$

$$\frac{gT_p}{U_A^2} = 8.134$$

dimana:

t_d = durasi angin

H_{m_0} =tinggi gelombang signifikan menurut energi spektral

T_p =periode puncak gelombang

T_s =periode gelombang signifikan

$T_s = 0.95 T_p$

$U_A = 0.71 U_{10}^{1.23}$ m/detik = faktor tekanan angin

U_{10} =kecepatan angin pada ketinggian 10 m

Langkah-langkah yang dilakukan untuk peramalan gelombang ini adalah :

1. Diketahui : U_A (*wind stress factor*), F (*panjang fetch efektif*), dan t (*durasi = lamanya angin bertiup*).
2. Jika didapatkan :
 - a. Durasi data (t) > t_c *Fetch Limited (FL)*
 - b. Durasi data (t) < t_s *Time Limited (TL)*
3. Untuk kondisi *Fetch Limited (FL)*
 - Hitung H dari rumus (1)
 - Hitung T dari rumus (2)
4. Untuk kondisi *Time Limited (TL)*
 - Hitung F_{min} dari rumus (4)
 - Hitung H dengan menggunakan rumus (1), dengan nilai $F = F_{min}$
 - Hitung T dengan menggunakan rumus (2), dengan nilai $F = F_{min}$
5. Nilai H dan T yang didapat dari ramalan adalah :
 - Nilai $H \rightarrow H = H^{1/3} = H_s =$ tinggi gelombang signifikan
 - Nilai $T \rightarrow T = T_p =$ periode puncak spektrum gelombang

Keterangan : $T_s = 0,95 T_p$ T_s = tinggi gelombang signifikan.

Penentuan Gelombang Kala Ulang

Langkah penting dalam proses perancangan adalah perkiraan besarnya gelombang rencana relatif terhadap umur rencana (*design life*) dari struktur dan keamanan yang diinginkan. Dari data yang terbatas, kondisi ekstrem yang harus diperkirakan didapat dari ekstrapolasi data yang ada. Proses ini mirip dengan memperkirakan debit banjir dengan perioda ulang 50 tahun di hidrologi. Dua metoda yang umum dipakai untuk memperkirakan probabilitas harga-harga ekstrem ini adalah metoda Lognormal atau metode Gumbel.

Untuk mendapatkan tinggi gelombang ekstrim dalam periode waktu tertentu, dilakukan analisis frekuensi tinggi gelombang dengan beberapa tipe fungsi distribusi nilai ekstrim, antara lain :

1. Distribusi Log Normal
- Fungsi probabilitas densitas dari distribusi Log Normal dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$f(H) = \frac{1}{\sigma H \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln H - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]; \quad 0 \leq H < \infty$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2$$

keterangan :

μ = nilai rata-rata

σ = standar deviasi

H = variabel bebas = tinggi gelombang

2. Distribusi Pearson III

Distribusi Pearson III diturunkan dari suatu fungsi Gamma yang mempunyai 3 parameter. Persamaanya adalah sebagai berikut :

$$f(H) = \frac{\lambda^\beta (H - \varepsilon)^{\beta-1} \exp[-\lambda(H - \varepsilon)]}{\gamma(\beta)}$$

dimana :

$$\lambda = \frac{s_H}{\sqrt{\beta}} \quad \beta = \left(\frac{2}{C_s}\right) \quad \varepsilon = \bar{H} - s_H \sqrt{\beta}$$

$$\gamma(\beta) = \int_{-\infty}^{\infty} H^{\beta-1} \exp(-\lambda) dH \quad C_s = \text{koefisien asimetri}$$

3. Distribusi Gumbel

Langkah perhitungan metode Gumbel sebagai berikut :

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2$$

$$K_r = -\frac{\sqrt{6}}{C_s} \left(0.5772 + \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right)$$

$$H_r = \bar{H} + K_r \cdot s$$

keterangan :

\bar{H} = tinggi gelombang rata-rata

T = periode ulang

N = jumlah data gelombang

σ = standar deviasi

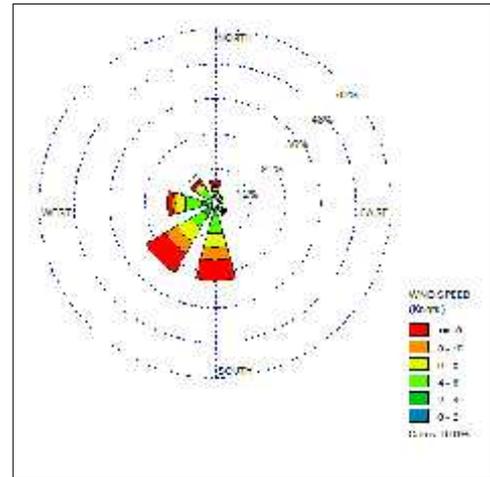
H_T = tinggi gelombang dengan periode ulang tertentu

K_t = Koefisien Gumbel

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisa Angin

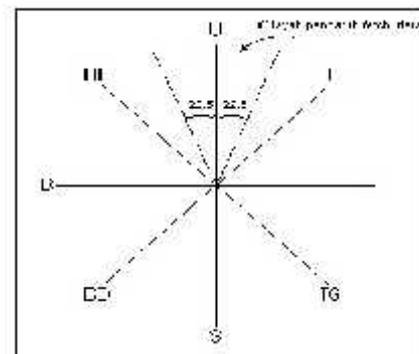
Hasil analisa data angin dengan merubah angin yang terjadi didarat menjadi angin yang berhembus di permukaan laut disajikan dalam bentuk mawar angin (*windrose*) tahunan untuk wilayah Watunohu dan sekitarnya seperti tersaji pada **Gambar 5**. Pada gambar tersebut terlihat bahwa garis-garis radial adalah arah angin, sedangkan tiap lingkaran menunjukkan presentasi kejadian angin dalam periode waktu pengukuran.



Gambar 5. Mawar Angin selama 10 tahun Hasil Analisa Gelombang

Perhitungan Fetch Efektif

Tiap arah mata angin utama meliputi wilayah pengaruh *fetch* sebesar $22,5^\circ$ searah jarum jam dan $22,5^\circ$ berlawanan arah jarum jam, seperti terlihat pada **Gambar 6** berikut ini.



Gambar 6. Contoh Wilayah Pengaruh Fetch untuk Arah Utara.

keterangan :

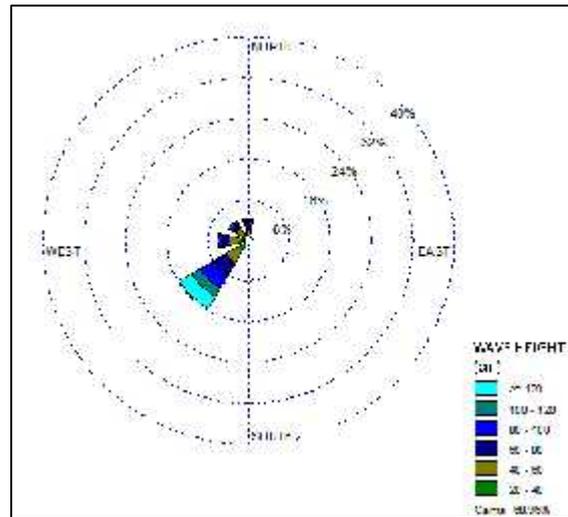
F_i = panjang garis fetch untuk sudut interval ke-i

θ_i = sudut interval

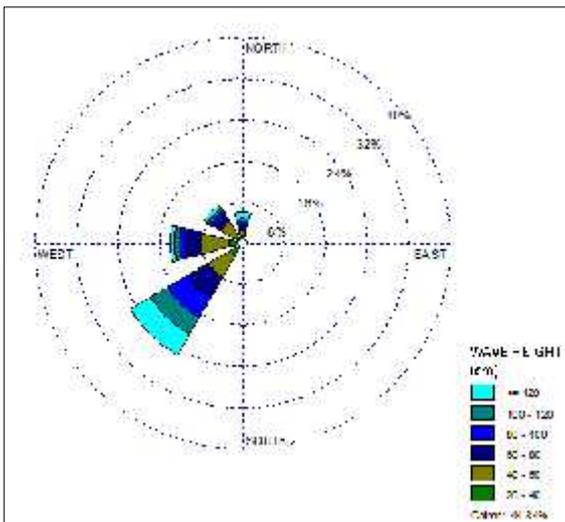
F_{eff} = panjang fetch efektif



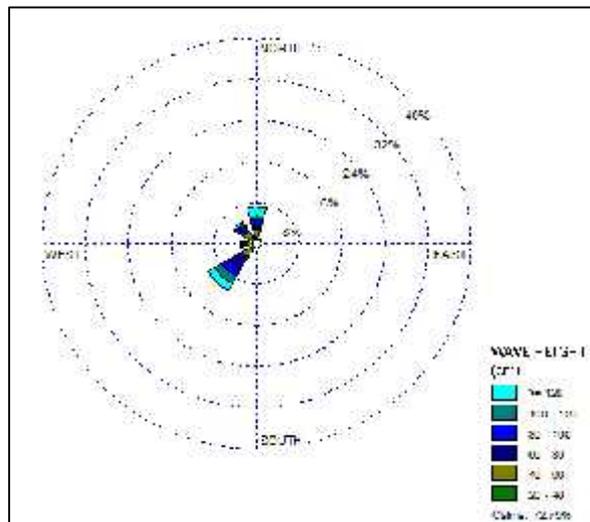
Gambar 7. Peta Fetch di Lokasi Pelabuhan Watunohu



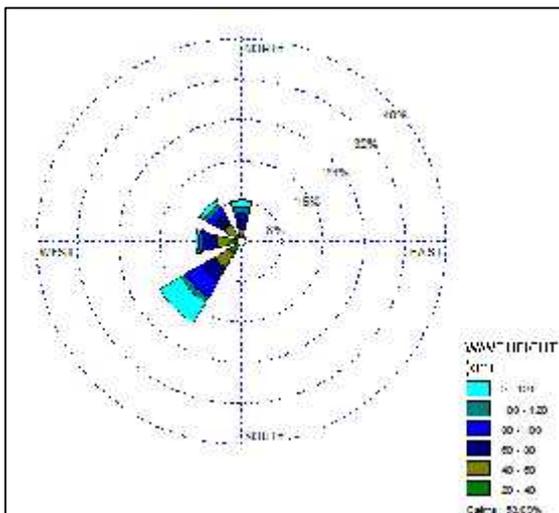
Gambar 10. Distribusi Gelombang Harian Maret 2003-2011.



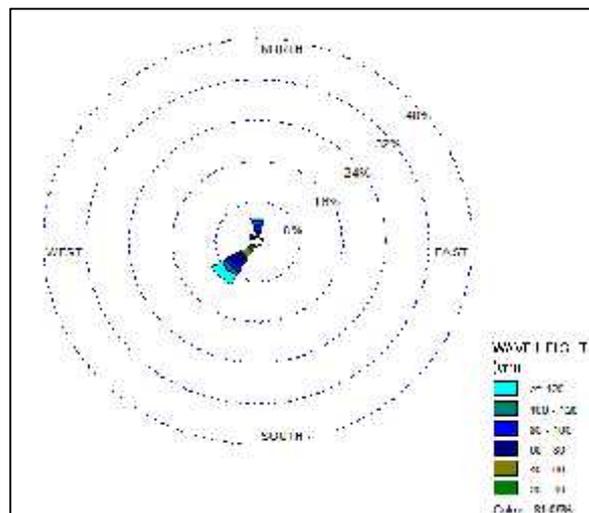
Gambar 8. Distribusi Gelombang Harian Januari 2003-2011.



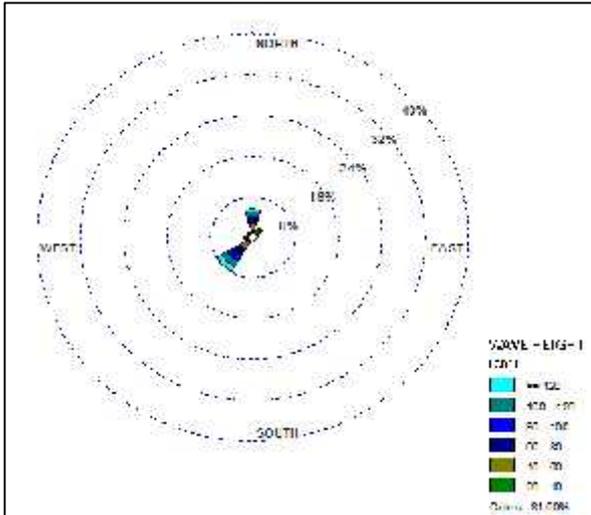
Gambar 11. Distribusi Gelombang Harian April 2003-2011.



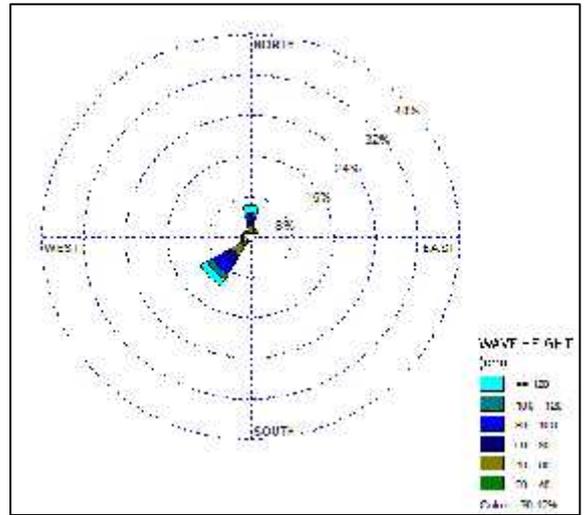
Gambar 9. Distribusi Gelombang Harian Februari 2003-2011.



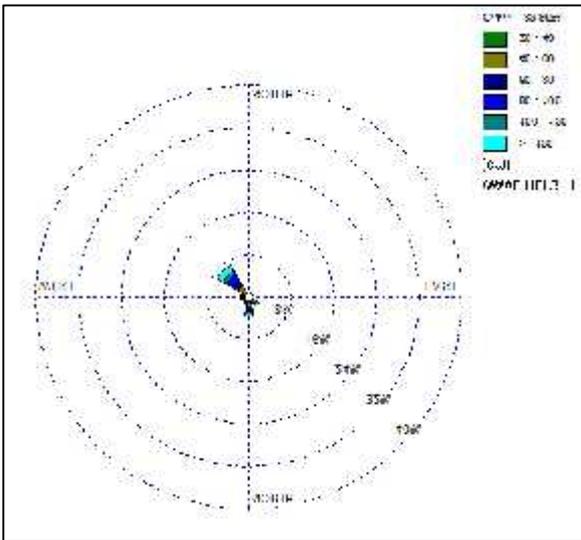
Gambar 12. Distribusi Gelombang Harian Mei 2003-2011.



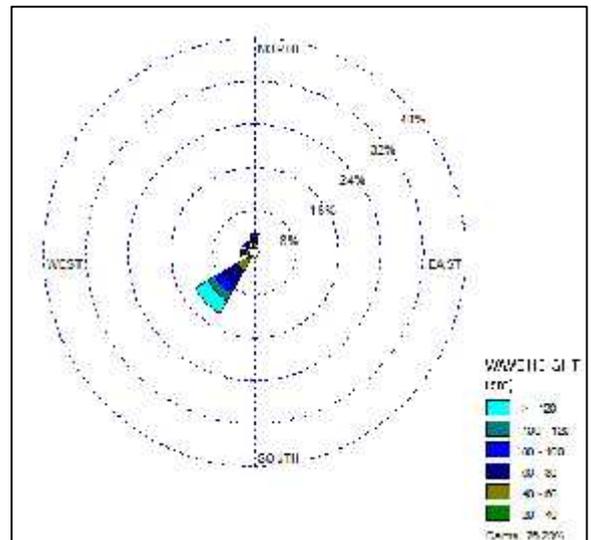
Gambar 13. Distribusi Gelombang Harian Juni 2003-2011.



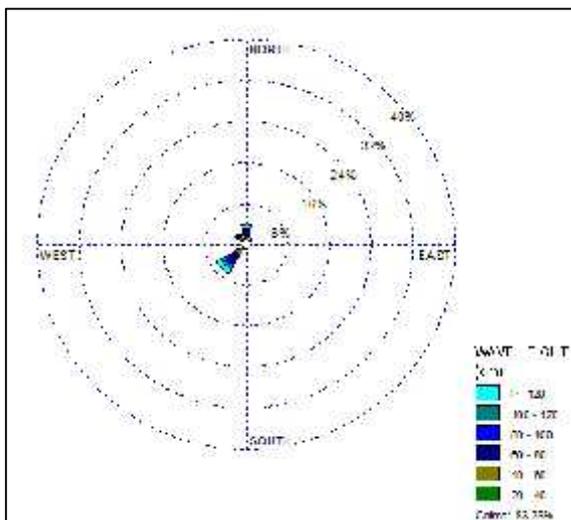
Gambar 16. Distribusi Gelombang Harian September 2003-2011.



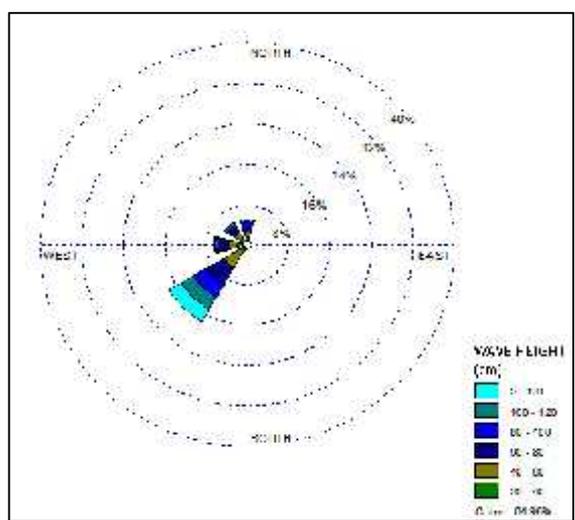
Gambar 14. Distribusi Gelombang Harian Juli 2003-2011.



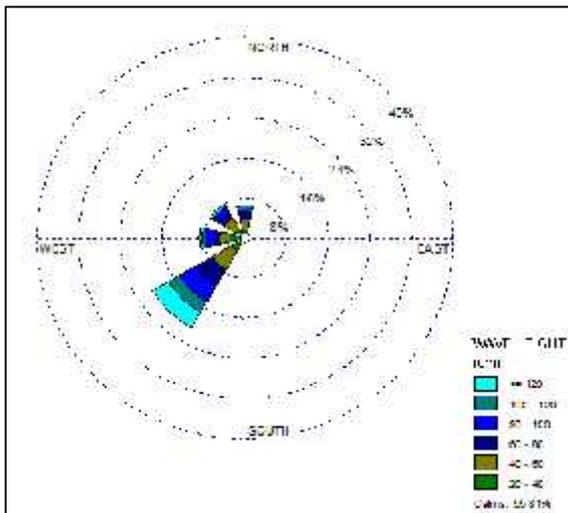
Gambar 17. Distribusi Gelombang Harian Oktober 2003-2011.



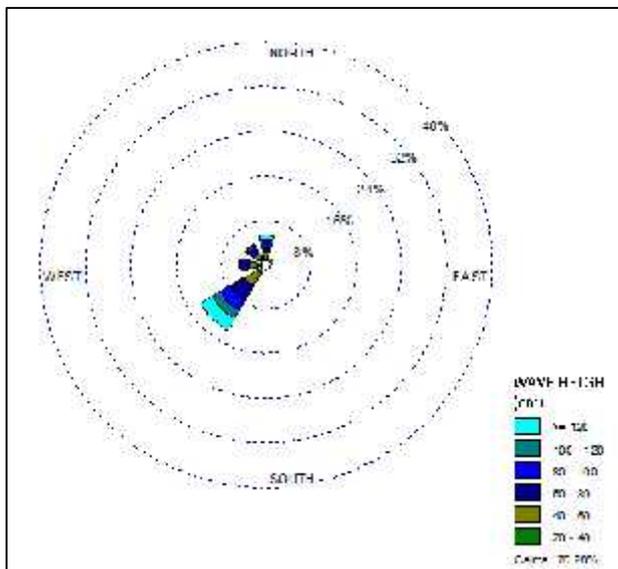
Gambar 15. Distribusi Gelombang Harian Agustus 2003-2011.



Gambar 18. Distribusi Gelombang Harian November 2003-2011.



Gambar 19. Distribusi Gelombang Harian Desember 2003-2011.

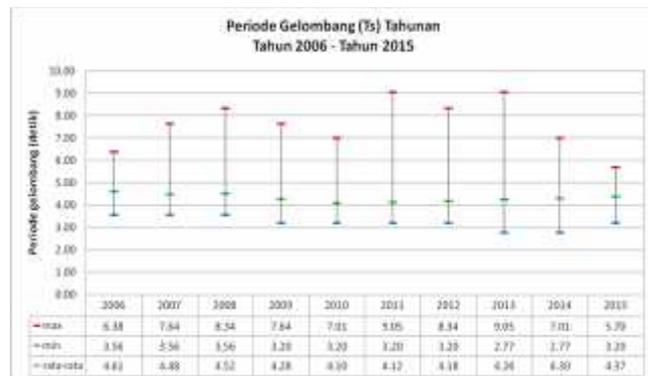


Gambar 20. Distribusi Gelombang Total Selama 10 Tahun

Berdasarkan hasil konversi kecepatan dan arah angin menjadi tinggi, periode dan arah gelombang di perairan Watunohu Tahun 2003-2013 (Gambar 21 dan Gambar 22). Tinggi gelombang signifikan maksimum di perairan Watunohu terjadi pada tahun 2011 dan 2013 dengan tinggi gelombang 5,49 meter. Periode gelombang signifikan maksimum di perairan Watunohu terjadi pada tahun 2011 dan 2013 dengan periode gelombang 9,05 detik. Berdasarkan analisa statistik dengan metode kala ulang kejadian tinggi gelombang (Gambar 23), tinggi gelombang dapat terjadi atau terlampaui untuk kala ulang 10 tahun adalah 3,91 meter sampai dengan 4,39 meter.



Gambar 21. Tinggi gelombang Tahunan Perairan Watunohu Tahun 2003 – Tahun 2013



Gambar 22. Periode gelombang Tahunan Perairan Watunohu Tahun 2003 – Tahun 2013



Gambar 23. Kala Ulang Tinggi gelombang Tahunan Perairan Watunohu dengan Tiga metode Statistik.

Tabel 1. Perbandingan hasil kala ulang dengan menggunakan 3 metode statistic

Periode Ulang	Tinggi gelombang (m)		
	Gumbel	Fisher Tippett	Weibull
2	2.86	2.86	2.68
5	3.80	3.58	3.32
10	4.39	4.07	3.91
25	5.22	4.68	4.77
50	5.80	5.13	5.48
100	6.38	5.58	6.23

KESIMPULAN

1. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Januari adalah dari arah Barat dengan frekuensi kejadian sebesar 52,51 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>1,0$ m – 2,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 62,01 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>4,0$ m – 5,0 m dengan frekuensi kejadian 0,56 %.
2. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Februari adalah dari arah Barat dengan frekuensi kejadian sebesar 41,07 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 53,57 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>3,0$ m – 4,0 m dengan frekuensi kejadian 0,60 %.
3. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Maret adalah dari arah Barat dengan frekuensi kejadian sebesar 44,13 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 65,36 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>3,0$ m – 4,0 m dengan frekuensi kejadian 0,56 %.
4. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan April adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 59,22 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 83,80 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>2,0$ m – 3,0 m dengan frekuensi kejadian 1,12 %.
5. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Mei adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 67,04 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 84,36 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>1,0$ m – 2,0 m dengan frekuensi kejadian 15,64 %.
6. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Juni adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 63,13 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 78,21 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>1,0$ m – 2,0 m dengan frekuensi kejadian 21,79 %.
7. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Juli adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 64,80 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 64,25 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>1,0$ m – 2,0 m dengan frekuensi kejadian 35,75 %.
8. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Agustus adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 68,16 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 60,89 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>1,0$ m – 2,0 m dengan frekuensi kejadian 39,11 %.
9. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan September adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 55,87 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 50,84 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>2,0$ m – 3,0 m dengan frekuensi kejadian 5,03 %.
10. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Oktober adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 58,66 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 60,34 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>2,0$ m – 3,0 m dengan frekuensi kejadian 3,35 %.
11. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan November adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 79,33 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 79,33 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>2,0$ m – 3,0 m dengan frekuensi kejadian 0,56 %.
12. Arah datang gelombang dominan yang terjadi pada bulan Desember adalah dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sebesar 49,16 % dan tinggi gelombang dominan adalah $>0,0$ m – 1,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 69,83 %. Tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $>3,0$ m – 4,0 m dengan frekuensi kejadian 0,56 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Coastal Engineering Research Center, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer, Department of The Army. 1984. *Shore Protection Manual*.
- Coastal Engineering Research Center, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer, Department of The Army. 2001. *Coastal Engineering Manual*.
- Coastal Engineering Research Center, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer, Department of The Army. 2006. *Coastal Engineering Manual*.
- Ditjen Sumberdaya Air Departemen Pekerjaan Umum. 2007. *Manual Perencanaan Teknis Pengamanan Pantai*. PT. Suwanda Karya Mandiri.
- Purwono, NAS. 2012. *Pengaruh Bangunan Pantai terhadap Garis Pantai Simpang Ayam Riau*. Jurnal Ilmiah Teodolita Edisi Juni 2012.
- Purwono, NAS. 2006. *Kajian Transformasi Gelombang Studi Kasus PPI Cisolok*. Jurnal Ilmiah Teodolita Edisi Juni 2006.