

ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG DI PANTAI KECAMATAN BELANG KABUPATEN MINAHASA TENGGARA

Ir. Alex Binilang, MT

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Pantai Belang adalah pantai yang dihuni oleh masyarakat mayoritas berprofesi sebagai nelayan dengan pemukiman relatif berada pada garis pantai. Permasalahan adanya limpasan gelombang yang melampaui bangunan Seawall dan menerpa pemukiman membutuhkan suatu analisis secara teoritis secara lebih tepat dengan suatu tujuan untuk mendapatkan gambaran besaran karakteristik gelombang meliputi antara lain tinggi dan periode gelombang di perairan laut dalam dan pengaruh refraksidan shoaling. Hasil yang diperoleh selanjutnya dapat dijadikan sebagai masukan dalam menganalisa efektifitas bangunan yang ada, pembuatan fasilitas bangunan yang baru. Penelitian ini dilakukan dengan metode pendekatan survey dan analisa Hidro-oseanografi sebagai acuan penentuan karakteristik gelombang laut berdasarkan data angin selama 11 tahun dari tahun 1999 sampai 2009. Hasil yang di peroleh bahwa tinggi gelombang laut dalam maksimum bulanan terjadi pada bulan Agustus(52,2%) yakni sebesar 1,642 m dengan periode 5,275 detik,. dengan arah dominan Selatan dan tinggi gelombang terbesar di pantai belang akibat refraksi dan shoaling pada periode ulang 5 tahun terjadi pada titik potong-11, yakni sebesar 3.5320 meter.

Kata Kunci : Tinggi Gelombang periode ulang, arah dominan.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pantai adalah suatu tempat dimana interaksi antara lautan dan daratan terjadi yang akan memberikan energi baik berupa energi kinetik maupun energi panas yang diakibatkan oleh gelombang laut yang menerpa pantai tersebut. Pada umumnya daerah pantai secara alami dilindungi oleh gugusan karang dan koloni hutan bakau yang dapat meredam energi gelombang air laut sehingga mengurangi kerusakan yang terjadi akibat hempasan gelombang tersebut. Untuk pantai-pantai yang tidak terlindungi secara alami maka penempatan struktur bangunan pelindung pantai menjadi suatu keharusan yang diharapkan dapat memberi perlindungan dan pengamanan yang efektif secara teknis terhadap daerah-daerah yang mengalami kerusakan. Oleh karena itu sangat dibutuhkan analisa teknis tentang karakteristik gelombang pada suatu kawasan laut yang langsung berinteraksi dengan pantai agar tidak terjadi kerusakan ataupun kesalahan dalam proses perencanaan suatu bangunan pantai.

1.2. Gambaran umum masalah lokasi studi

Keberadaan pantai Belang terhampar memanjang meliputi 3(tiga) buah desa yaitu desa Buku, desa Belang dan desa Borgo yang dihuni oleh masyarakat yang mayoritas berprofesi sebagai nelayan, di wilayah Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara. Dengan adanya profesi

masyarakat sebagai nelayan maka dengan sendirinya berpengaruh pada keberadaan pemukiman penduduk yang relatif dekat dengan pantai yang konsekwensi logisnya rentan terhadap kerusakan akibat terpaan ombak.

Suatu fakta yang diperoleh di lapangan bahwa keberadaan seawall yang telah dibangun di pantai Belang saat ini dikeluhkan oleh masyarakat karena masih terjadinya limpasan air yang masuk ke pemukiman penduduk. Hal ini dapat dilihat sebagaimana pada gambar 1 terjadinya limpasan gelombang (*overtopping*) air laut yang masih melewati mercu seawall yang di duga akibat ketidak tepatnya analisa tentang karakteristik gelombang laut yang menjadi dasar penentuan tinggi efektif mercu seawall yang dibangun.



Gambar 1. Limpasan gelombang/ombak di atas puncak seawall.

Sumber: Pengamatan lokasi studi desa Belang

1.3. Perumusan Masalah

Untuk mendapatkan dimensi efektif bangunan seawall yang dapat melindungi pantai dan pemukiman masyarakat Belang, maka perlunya suatu analisa yang menjelaskan tentang bagaimana sesungguhnya karakteristik gelombang yang terjadi sesuai kondisi lingkungan perairan laut yang ada.

1.4. Pembatasan Masalah

Dalam penulisan ini, masalah dibatasi pada hal-hal berikut ini :

1. Lokasi yang ditinjau adalah pantai yang berada di kecamatan Belang kabupaten Minahasa Tenggara.
2. Kajian bersifat teoritis tentang gelombang berdasarkan data lapangan dengan verifikasi hasil interview tentang tanda-tanda kejadian alam di lokasi studi
3. Kajian terhadap struktur bangunan seawall tidak dilakukan
4. Perolehan data angin, batimetri, bersumber dari data sekunder

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran karakteristik gelombang meliputi tinggi dan periode gelombang di lingkungan perairan laut Belang.

1.6 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Melalui penelitian ini akan diperoleh gambaran karakteristik gelombang di wilayah perairan khususnya kecamatan Belang yang berguna untuk kepentingan pembangunan fasilitas infrastruktur pelabuhan dan bangunan laut/pantai.
2. Data hasil analisis gelombang dapat pula digunakan untuk mengevaluasi efektifitasnya kinerja seawall untuk pengamanan pantai, melalui analisis lebih lanjut terhadap *run up* gelombang untuk menghindari terjadinya limpasan air laut pada kawasan pemukiman masyarakat nelayan akibat *overtopping*.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu referensi dalam mengevaluasi limpasan yang terjadi pada seawall di pantai Belang.

2. Tinjauan teoritis

2.1 Gambaran umum gelombang

Gelombang/ombak di lautan dapat diklasifikasi menjadi beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitnya, antara lain : angin

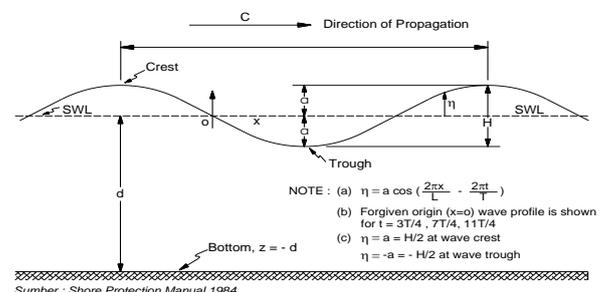
(gelombang angin), gaya tarik-menarik bumi-bulan-matahari (gelombang pasang-surut), gempa (vulkanik atau tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal. Gelombang yang sehari-hari terjadi dan diperhitungkan dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang-surut (pasut). Gelombang dapat membentuk dan merusak pantai dan berpengaruh pada bangunan-bangunan pantai. Pada perencanaan teknis bidang teknik pantai, gelombang merupakan faktor utama yang diperhitungkan karena akan menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

2.2 Teori gelombang Amplitudo kecil

Teori gelombang yang akan dibahas untuk gelombang adalah teori gelombang air yang juga disebut teori gelombang linier yang diturunkan dengan beberapa anggapan, yakni :

- ❖ Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan sehingga rapat massa konstan
- ❖ Tegangan permukaan diabaikan
- ❖ Gaya coriolis (akibat perputaran bumi) diabaikan
- ❖ Tekanan permukaan air adalah seragam dan konstan
- ❖ Zat cair adalah ideal sehingga berlaku aliran tak rotasi.
- ❖ Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeabel sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol
- ❖ Amplitude gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
- ❖ Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjaralan gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Secara konseptual definisi gelombang dinyatakan dalam sketsa sebagaimana gambar 2.



Gambar 2. Sketsa Definisi Gelombang

Dengan : d = jarak antara muka air rerata dengan dasar laut (kedalaman laut)

- μ = fluktuasi muka air terhadap muka air diam
- a = amplitude gelombang
- H = tinggi gelombang = $2a$
- L = panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.
- T = periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan semula.
- C = kecepatan rambat gelombang
- K = angka gelombang = $2\pi/L$
- σ = frekuensi gelombang = $2\pi/T$

Dari konsep definisi gelombang dapat diperoleh persamaan cepat rambat gelombang sebagai berikut :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots(2.1)$$

Nilai $2\pi/L$ dan $2\pi/T$ disebut angka gelombang (k) dan frekuensi sudut gelombang (ω).

Sedangkan untuk panjang gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk mengatasi kesulitan penggunaan persamaan (2.2) karena tidak diketahuinya besaran nilai L pada kedua sisi persamaan, maka sesuai pedoman dalam lampiran C-1 SPM'84 Volume I Eckart memberi pendekatan terhadap persamaan panjang gelombang dengan persamaan berikut :

$$L \approx \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang (L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Gelombang Terhadap Kedalaman

Klasifikasi	d/L	$2\pi d/L$	Tanh ($\pi d/L$)
Perairan dalam	$> 1/2$	$> \pi$	≈ 1
Perairan peralihan	$1/25 - 1/2$	$1/4 - \pi$	Tanh ($2\pi d/L$)
Perairan dangkal	$< 1/25$	$< 1/4$	$\approx (2\pi d/L)$

Sumber : SPM 84, Vol. I

Kecepatan rambat dan panjang gelombang diturunkan berdasarkan persamaan gelombang dengan pendekatan berikut ini :

Pada laut dalam ketika kedalam relative d/L lebih besar dari 0.5; nilai $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$ sehingga persamaan (2.1) dan (2.3) akan menjadi:

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Dan } L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots(2.5)$$

Indeks 'o' menunjukkan bahwa nilai tersebut adalah untuk kondisi laut dalam.

Apabila percepatan gravitasi adalah $9,81 \text{ m/d}^2$ maka persamaan menjadi:

$$L_o = 1,56T^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Sedangkan pada laut dangkal yaitu saat kedalaman relatif $d/L < 1/25$, nilai $\tanh(2\pi d/L) = 2\pi d/L$ sehingga persamaan menjadi:

$$C = \sqrt{gd} \dots\dots\dots(2.7)$$

dan

$$L = \sqrt{gd} T \dots\dots\dots(2.8)$$

Rumusan karakteristik gelombang menurut teori Airy dinyatakan sebagaimana tabel berikut :

Tabel 2.2 Teori Gelombang Linier (Airy)

Kedalaman	Laut Dangkal	Laut Transisi	Laut Dalam
Kecepatan Gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT^2}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd} = C.T$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = C_o.T$
Kecepatan Group	$C_g = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C_g = n C = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi d}{L} \frac{1}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)}\right)$	$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$

Sumber: SPM 84, Vol. I

Dinamika gelombang berupa pergerakan air yang naik dan turun dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin menimbulkan gelombang laut dengan cara mentransfer energinya ke perairan, hingga menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Besarannya kecepatan angin diukur pada elevasi 10 meter di atas permukaan laut, dan jika pengukuran angin tidak dilakukan pada posisi elevasi 10 meter maka data angin harus mengalami koreksi sebesar :

$$U_{10} = U_y \left(\frac{10}{y}\right)^{\frac{1}{7}}, \dots\dots\dots(2.9)$$

Jika terdapat perbedaan temperatur udara dan laut maka kecepatan angin efektif dapat dihitung dengan persamaan koreksi stabilitas berikut ini:

$$U = R_T * U_{10} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : R_T – factor koreksi, yang dapat diperoleh dari ratio terhadap selisih temperatur.
 Koreksi kecepatan angin dilakukan juga untuk pengukuran yang dilakukan di daratan, dan faktor tegangan angin, sebagai berikut :

Koreksi lokasi pengamatan :

$$U = R_T \cdot R_L \cdot U_{10} \dots\dots\dots(2.11)$$

Koreksi factor tegangan angin :

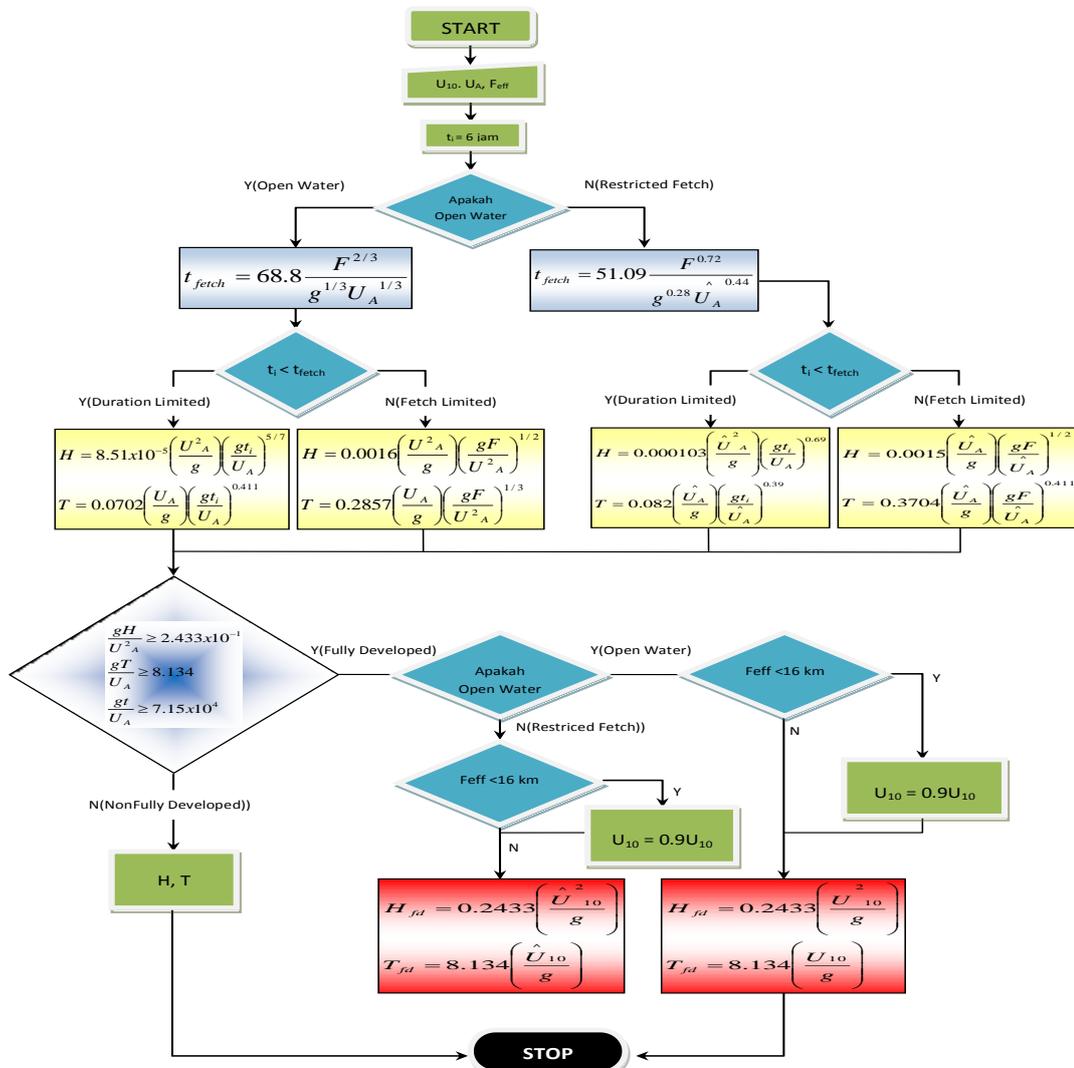
$$U_A = 0.71(U)^{1.23} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.3 Peramalan gelombang di laut dalam

Ketinggian dan periode gelombang tergantung pula pada panjang *Fetch* pembangkitannya. Semakin panjang jarak *Fetch*nya ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Panjang *Fetch* dihitung untuk 8 arah mata angin dan ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots(2.13)$$

di mana : F_{eff} = *Fetch* rerata efektif; X_i = Panjang segmen *Fetch* yang diukur dari titik observasi *Fet* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *Fetch*; dan α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin.
 F_{eff} segmen *Fetch* yang diukur dari titik observasi *Fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *Fetch*; dan α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin. Adapun perhitungan panjang *Fetch* efektif dilakukan dengan menggunakan bantuan peta lokasi studi dengan skala yang cukup besar sehingga dapat terlihat pulau-pulau/daratan yang mempengaruhi pembentukan gelombang di suatu lokasi untuk 8 arah mata angin dari titik pengamatan dengan interval 5°.



Gambar 2.3 Bagan Alir Hindcasting Gelombang
 Sumber : SPM, 1984 dan *Handbook of Coastal Engineering*

Salah satu cara peramalan gelombang adalah dengan melakukan pengolahan data angin. Prediksi gelombang disebut hindcasting jika dihitung berdasarkan kondisi meteorologi yang telah lalu dan disebut forecasting jika berdasarkan kondisi meteorologi hasil prediksi. Peramalan gelombang dilakukan juga dengan menganalisa suatu periode ulang gelombang, yakni suatu interval rata-rata dalam satu tahun antara peristiwa yang terjadinya gelombang yang besarnya tertentu dengan suatu gelombang yang berniali sama atau melampauinya. Berdasarkan data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang akan disamai atau dilampaui satu kali dalam kurun waktu T tahun. Gelombang tersebut dikenal sebagai gelombang dengan periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan. Selengkapnya penentuan tinggi dan periode gelombang dengan menggunakan hindcasting gelombang metode SMB (Sverdrup-Munk-Brechneider) sebagaimana gambar 3. Prosedur perhitungan keduanya sama, dan perbedaannya hanya pada sumber data meteorologinya.

Metode perhitungan gelombang dengan cara hindcasting menggunakan metode SMB (Sverdrup-Munk-Brechneider). Gelombang laut yang akan diramal adalah gelombang laut dalam yang dibangkitkan oleh angin di laut dalam suatu perairan. Peramalan gelombang cara pengolahan data angin memerlukan data angin minimal 10 tahun.

Data untuk beberapa tahun pengamatan dianalisis sebagai parameter statistik meliputi : rata-rata hitung, simpangan baku (standar deviasi), koefisien variasi, kemencengan (koefisien skewness) dan koefisien kurtosis.

Dalam menentukan besarnya gelombang dengan periode ulang tertentu akan digunakan distribusi nilai ekstrim menurut beberapa tipe distribusi peluang yakni distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, pearson dan Log Pearson III. Peramalan gelombang memerlukan pula suatu analisis transformasi gelombang dengan konsep gelombang laut dalam ekivalen yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Sehingga tinggi gelombang laut dalam ekivalen untuk keadaan dimana gelombang tidak mengalami difraksi diberikan oleh bentuk:

$$H'_0 = K_r \cdot H_0 \dots\dots\dots(2.14)$$

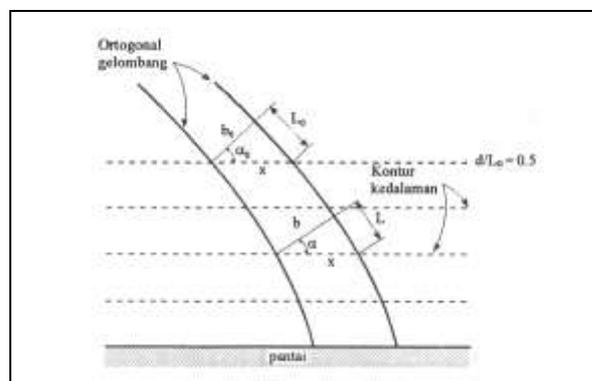
Dengan H'_0 : Tinggi Gelombang Laut Dalam ekivalen

H_0 : Tinggi Gelombang Laut Dalam
 K_r : Koefisien Refraksi

2.4 Transformasi Gelombang

2.4.1 Refraksi gelombang

Gelombang yang menjalar dari laut dalam (*deep water*) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar pantai, sementara itu bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Keadaan demikian akan mengakibatkan garis puncak gelombang akan mengalami pembelokan sejajar dengan garis pantai. Adapun proses refraksi terjadi di laut transisi dan laut dangkal dan secara grafis konsep refraksi dimaksud sebagaimana pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Refraksi Gelombang Pada Kontur Lurus dan Sejajar

Sumber : *Triatmodjo, 1999*"

Pengaruh refraksi memberi perubahan pada tinggi gelombang yang dirumuskan sebagai :

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan :

H = Tinggi gelombang pada kedalaman tertentu

$$K_s = \text{Koefisien pendangkalan} \left(\sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \right)$$

H_0 = Tinggi gelombang di laut dalam tanpa memperhitungkan refraksi gelombang.

$$K_r = \text{Koefisien refraksi} \left(\sqrt{\frac{b_0}{b}} \right)$$

Semakin menuju ke pantai puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Metode pengumpulan data

Data-data yang dibutuhkan meliputi data

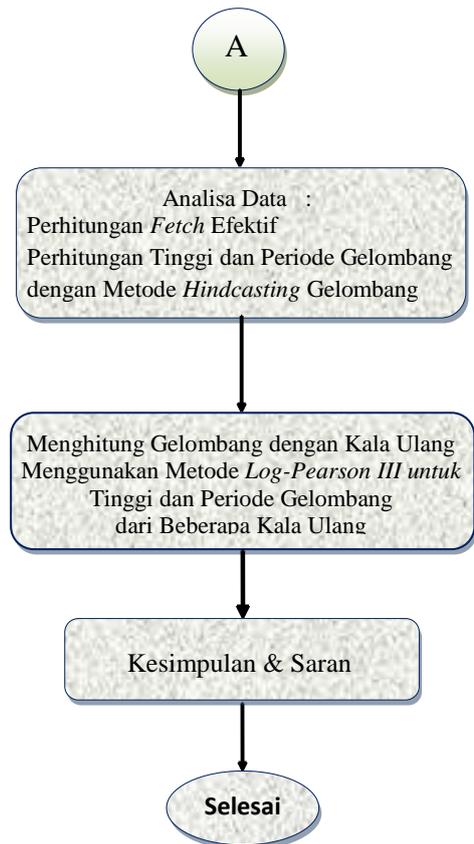
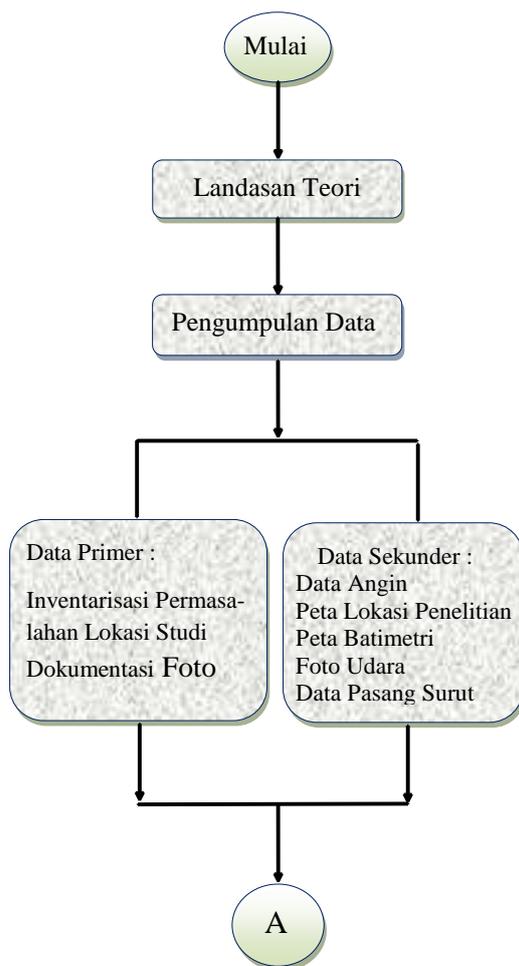
1. Data Primer :

- Ukuran fisik bangunan pengaman pantai
- Kemiringan dasar laut di kawasan pantai
- Jangkauan hampasan gelombang/ombak di pesisir pantai.
- Fenomena kerusakan pantai

2. Data Sekunder, :

- Data angin, dengan periode waktu 11 tahun (1999 - 2009), diperoleh dari Stasiun Meteorologi Kayuwatu dan diukur pada elevasi +18 m dari permukaan laut.
- Peta lokasi penelitian, didapat dari *software Google Earth 2003*.
- Peta bathimetri, didapat dari Balai Wilayah Sungai Provinsi Sulawesi Utara.
- Foto udara dari *Google Earth (2003)* untuk mengetahui letak geografis tempat penelitian.

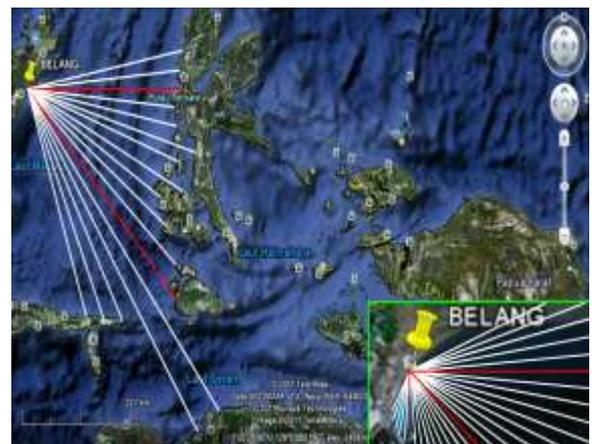
3.2. Bagan Ali Penelitian



3.3. Analisa hasil dan pembahasan

3.3.1. Analisis *Fetch* efektif

Dari hasil penggambaran yang terlihat pada gambar 3.1. bahwa pang *fetch* di pantai Belang hanya pada arah Timur Laut, Timur, Tenggara dan Selatan.



Gambar 3.1 *Fetch* Arah Timur Laut, Timur, Tenggara dan selatan.

Sumber : *Google Earth 2003*

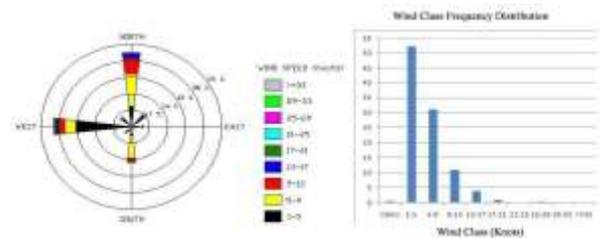
Dari hasil pengukuran diperoleh panjang *fetch* efektif hanya pada beberapa arah mata angin utamanya sebagaimana sebagaimana tabel 3.1.

Tabel 3.1. Panjang efektif *Fetch* di pantai Belang

Arah Utama	F efektif (km)
Timur Laut	0,286
Timur	240,48
Tenggara	400,724
Selatan	35,386

3.3.2. Analisis Angin

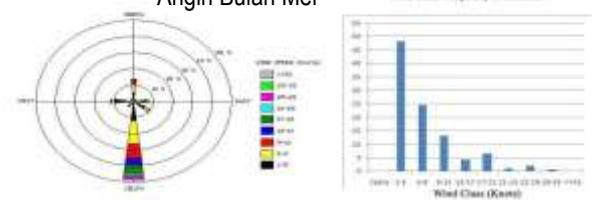
Data angin yang dianalisis adalah data magnitude kecepatan dan arah angin maksimum harian dengan selang waktu data 11 tahun. Besarnya kecepatan angin dan arah ditabelkan kemudian setelah dihitung, koreksi kecepatan anginnya dipresentasikan dalam grafik mawar angin (*windrose*). Dalam perhitungan ini digunakan kecepatan angin maksimum. Hal ini dimaksudkan agar dapat diperoleh kondisi-kondisi gelombang yang ekstrim. Dalam perhitungan ini digunakan kecepatan angin maksimum. Hal ini dimaksudkan agar dapat diperoleh kondisi-kondisi gelombang yang ekstrim. Secara lengkap analisa angin disampaikan dalam bentuk diagram *windrose* untuk seluruh bulan, sebagai berikut :



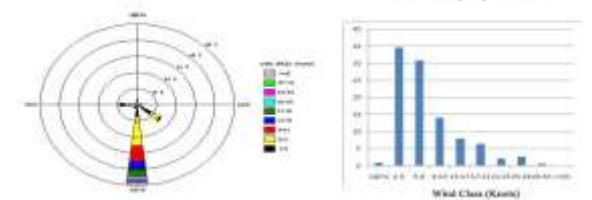
Gambar 3.5. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan April



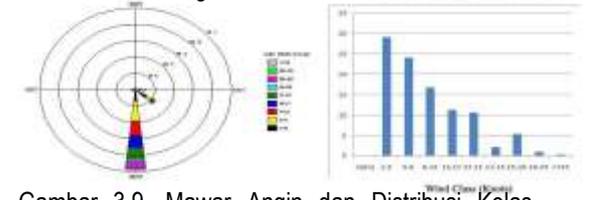
Gambar 3.6. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Mei



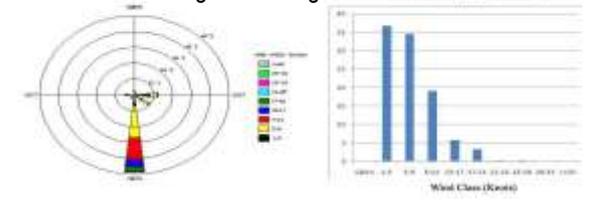
Gambar 3.7. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Juni



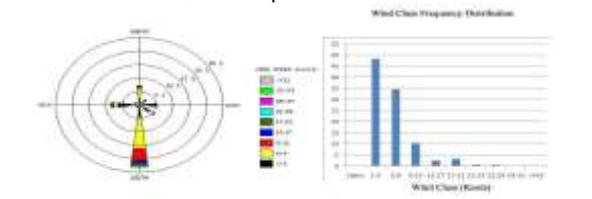
Gambar 3.8. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Juli



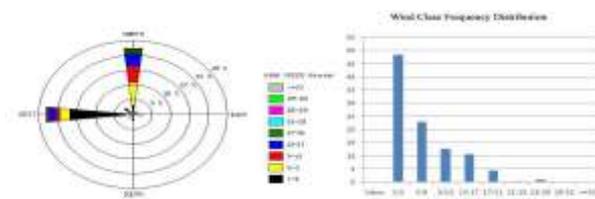
Gambar 3.9. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Agustus



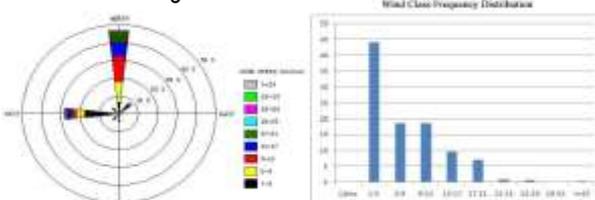
Gambar 3.10 Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan September



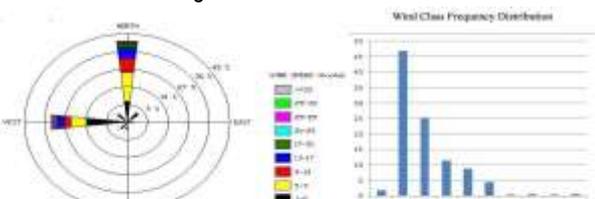
Gambar 3.11. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Oktober



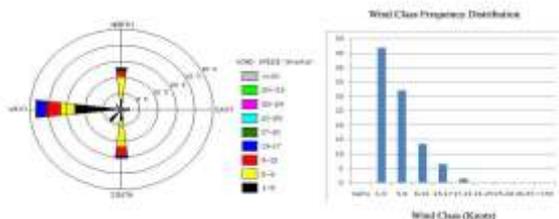
Gambar 3.2 Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Januari



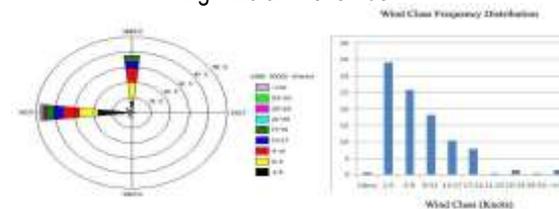
Gambar 3.3. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Februari



Gambar 3.4. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Maret



Gambar 3.12. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan November



Gambar 3.13. Mawar Angin dan Distribusi Kelas Angin Bulan Desember

Hasil analisis untuk semua bulan secara umum dilihat bahwa pada bulan Januari, Februari, Maret dan April arah angin bertiup dominan di antara arah barat dan arah utara.

Untuk arah barat maksimum terjadi pada bulan Januari (41,64%) sedangkan untuk arah utara maksimum terjadi pada bulan Februari (47,27%). Pada bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus dapat dilihat bahwa pengaruh angin barat mulai berkurang (maksimum terjadi pada bulan Mei dengan 18,18% dan minimum pada bulan Agustus 3,52%), dan angin dominan berasal dari arah selatan (67,74% pada bulan Agustus).

Pengaruh angin dari selatan pun masih terasa pada bulan September dan Oktober (maksimum 58,18 %) meskipun angin dari barat mulai bertambah lagi pada bulan September (5,76%), dan mencapai nilai maksimumnya pada bulan Desember (48,06%).

Data angin yang akan digunakan untuk peramalan tinggi dan periode gelombang harus dikoreksi terhadap elevasi, stabilitas, efek lokasi, dan koefisien seret untuk mendapatkan *wind stress factor* atau faktor tegangan angin (U_A).

Tabel 3.2. Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Terbesar dan Dominan Bulanan Berdasarkan *Wave Hindcastina* untuk Tahun 1999 s/d 2009

Bulan	H & T	Arah Datang Gelombang				Max tiap bulan	
		TL	T	TG	S	Arah Dominan	H - T
Januari	H(m)	0,059	0,589	0,022	0,859	S	0,859
	T(dt)	1,983	3,270	0,744	4,249		4,249
Februari	H(m)	0,066	0,446	0,067	0,949	S	0,949
	T(dt)	2,196	2,879	2,254	4,394		4,394
Maret	H(m)	0,062	0,858	0,057	0,993	S	0,993
	T(dt)	2,088	3,886	1,910	4,460		4,460
April	H(m)	0,064	0,726	0,589	0,949	S	0,949
	T(dt)	2,128	3,599	3,270	4,394		4,394
Mei	H(m)	0,066	0,518	0,658	1,346	S	1,346
	T(dt)	2,196	2,335	3,441	4,936		4,936
Juni	H(m)	0,073	0,547	0,917	1,529	S	1,529
	T(dt)	2,453	2,625	4,005	5,151		5,151
Juli	H(m)	0,032	0,497	0,923	1,529	S	1,529
	T(dt)	0,636	3,025	4,018	5,151		5,151
Agustus	H(m)	0,249	0,658	1,420	1,642	S	1,642
	T(dt)	2,203	3,441	4,894	5,275		5,275
September	H(m)	0,055	0,726	0,910	1,346	S	1,346
	T(dt)	1,536	3,521	3,992	4,936		4,936
Oktober	H(m)	0,073	0,479	0,726	1,157	S	1,157
	T(dt)	2,037	2,974	3,599	4,694		4,694
November	H(m)	0,085	1,051	0,858	1,455	S	1,455
	T(dt)	0,882	4,263	3,886	5,067		5,067
Desember	H(m)	0,061	0,858	0,044	0,859	S	0,859
	T(dt)	2,052	3,886	1,456	4,249		4,249
Max tiap Arah	H(m)	0,249	1,051	1,420	1,642		

Tabel 3.3. Tinggi dan Periode Gelombang Maximum Setiap Bulan Selama Tahun 1999-2009

Tahun	Tinggi Gelombang (m), Periode Gelombang (det)																									
	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Ags		Sep		Okt		Nov		Des			
	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T		
1999	0,66	3,89	0,00	0,00	0,86	3,89	0,61	3,78	0,90	4,32	0,90	4,32	1,16	4,69	1,20	4,75	0,90	4,32	0,73	3,66	0,37	2,65	0,86	4,25	1,20	4,75
2000	0,71	3,99	0,61	3,78	0,99	4,46	0,66	3,89	0,69	3,94	0,76	4,08	1,27	4,84	1,16	4,69	1,16	4,69	1,12	4,64	1,46	5,07	0,55	3,66	1,46	5,07
2001	0,86	4,25	0,81	4,17	0,49	3,52	0,73	3,89	1,35	4,94	1,16	4,69	1,53	5,15	1,64	5,27	0,86	4,25	1,08	4,58	0,49	3,52	0,00	0,00	1,64	5,27
2002	0,61	3,78	0,00	0,00	0,71	3,99	0,71	3,99	1,05	4,39	1,35	4,94	1,42	5,02	1,53	5,15	1,35	4,94	1,16	4,69	1,46	5,07	0,00	0,00	1,53	5,15
2003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	3,99	1,35	4,94	1,53	5,15	1,53	5,15	1,35	4,94	1,16	4,69	0,95	4,39	0,95	4,39	0,61	3,78	1,53	5,15
2004	0,00	0,00	0,95	4,39	0,00	0,00	0,95	4,39	0,95	4,39	1,35	4,94	1,08	4,58	1,42	5,02	0,95	4,39	1,16	4,69	1,08	4,58	0,61	3,78	1,42	5,02
2005	0,04	1,22	0,07	2,20	0,06	1,91	0,48	3,49	0,66	3,89	0,92	4,01	0,79	4,03	1,42	4,89	0,91	3,99	0,44	2,86	0,09	0,88	0,86	3,89	1,42	4,89
2006	0,03	0,94	0,07	2,20	0,06	2,09	0,06	2,13	0,05	1,54	0,42	2,81	0,60	3,78	0,82	4,13	0,91	3,99	0,53	3,63	0,86	3,89	0,06	2,05	0,91	4,13
2007	0,06	1,91	0,04	1,12	0,06	2,04	0,03	1,15	0,26	2,27	0,06	1,93	0,82	3,81	0,39	2,72	0,70	3,82	0,53	3,62	0,30	2,38	0,04	1,50	0,82	3,82
2008	0,06	1,98	0,07	2,38	0,03	1,00	0,05	1,76	0,29	2,35	0,57	3,72	0,48	3,50	0,34	2,54	0,30	2,42	0,36	2,60	0,59	3,27	0,05	1,80	0,59	3,72
2009	0,04	1,31	0,00	0,00	0,27	2,30	0,06	2,15	0,05	1,83	0,50	3,54	0,64	3,85	0,80	4,15	0,51	3,56	0,58	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	4,15

Berdasarkan data angin maksimum harian tahun 1999 (per kasus tanggal 5 Januari 1999) dari badan meteorologi Kayuatu yang diukur pada $z = + 18m$ dari muka air laut yakni $(U_z)_{18} = 8$ knot, diperoleh besarnya $U_{(10)} = U_{(z)} \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} = 7,36$ knot.

Nilai tersebut harus dikoreksi terhadap factor stabilitas dan efek lokasi, dengan asumsi $R_T = 1,13$ dan $R_L = 1,17$ bervariasi sesuai dengan kecepatan angin. Dengan penggunaan persamaan (2.11) diperoleh $U_A = 1,13 \times 1,47 \times 7,36$ knot = 12,22 Knot = 6,295 m/det.

Untuk setiap data harian pada bulan Februari s/d Desember sampai dengan tahun 2009 dilakukan analisis hingga diperoleh *wind stress factor* atau faktor tegangan angin (U_A) untuk 11 tahun.

3.3.3. Analisis tinggi dan periode gelombang

Analisis *hindcasting* gelombang dilakukan sesuai prosedur sebagaimana yang dinyatakan pada gambar 2.3 untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang di laut dalam (H_0) dan periode gelombang (T_0).

Dari hasil *hindcasting* disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan setiap arah dari tahun 1999 s/d 2009 sebagai acuan gelombang rencana.

Melalui Tabel 3.2 dapat diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum terjadi berasal dari arah selatan.

Hal ini disebabkan gelombang dari arah selatan mempunyai daerah bangkitan gelombang yang lebih besar.

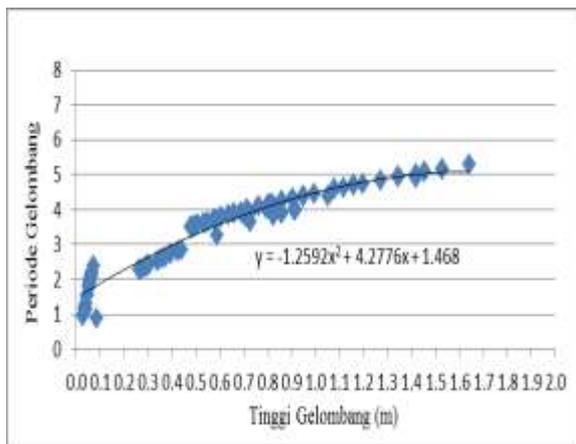
Untuk tinggi dan periode gelombang maksimum yang terjadi setiap bulan selama 11 tahun dapat dilihat pada Tabel 3.3.

3.3.4. Analisis Gelombang Dengan Periode Ulang

Mengingat gelombang-gelombang ekstrim tidak terjadi setiap hari maka dengan demikian tidak dapat dianggap sebagai pola yang dapat mewakili gelombang pantai.

Dengan demikian diperlukan suatu besaran tinggi gelombang kala ulang dengan cara mengumpulkan harga-harga ekstrim tinggi gelombang yang diambil dari gelombang tertinggi setiap tahun diperoleh dari tabel 3.3.

Dengan pendekatan metode statistik dilakukan analisis parameter parameter frekwensi gelombang dalam log. Tinjauan berdasarkan parameter statistik pada (tiga) tipe distribusi (Normal, Log Normal, dan Gumbel) ternyata distribusi data yang ada tidak sesuai dengan ketiga tipe distribusi tersebut. Kesesuaian yang terjadi dari hasil pengujian dengan metode Smirnov-Kolmogorov adalah dengan tipe distribusi Log Pearson III. Periode ulang gelombang diperoleh dengan mencari hubungannya dengan tinggi gelombang yang diperoleh melalui grafik pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. Grafik Hubungan tinggi dan periode gelombang

Dari grafik di atas didapat periode untuk tinggi gelombang beberapa kala ulang seperti yang disajikan pada tabel 3.4 berikut ini :

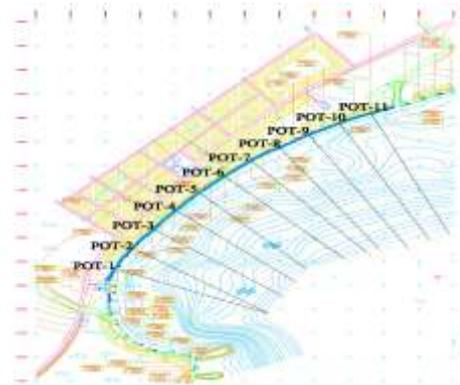
Tabel 3.4. Tinggi dan periode beberapa kala ulang

Kala Ulang	Tinggi Gelombang	Periode
5	1,52337	5,0622
10	1,66723	5,0996
25	1,80735	5,0859
50	1,88552	5,0568
100	1,94777	5,0226

3.3.5. Analisis transformasi gelombang

Analisis dimaksud untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat adanya faktor refraksi dan pendangkalan untuk kejadian kala ulang 5 tahun dengan asumsi peluang terbesar suatu kejadiannya. Dengan memperhatikan sudut datang gelombang tertentu (dominan = selatan) diperoleh besarnya sudut puncak gelombang (α_0) pada setiap kedalaman terhadap garis pantai di 11 titik yakni potongan orthogonal 1s/d11, sebagaimana dinyatakan pada gambar 3.15.

Untuk kasus pada potongan-5, dengan nilai $H_0 = 1,52337$ m dan $T_0 = 5,0622$ detik, (α_0) = 44° , dan $d = 25$ m, diperoleh $K_r = 1$, dan $K_s = 0,997$. Sehingga dengan menggunakan persamaan 2.15. diperoleh tinggi gelombang : $H = K_s \cdot K_r \cdot H_0 = 0,997 \times 1,52337 \times 1 = 1,519$ m. Adapun hasil perhitungan tinggi gelombang pada keseluruhan potongan (1 s/d 11) untuk kedalaman 25 m s/d 0,1 m, dapat dilihat pada tabel 3.5.



Gambar 3.15. Peta Potongan Ortogonal Refraksi Pantai Belang

Sumber : Balai Wilayah Sungai Provinsi Sulawesi Utara

Dari tabel 3.5 dapat dijelaskan bahwa parameter H_0 merupakan besaran tinggi gelombang yang menjalar dari laut dalam tanpa mengalami refraksi, sedangkan parameter H merupakan besaran tinggi gelombang yang terjadi akibat adanya refraksi dan shoaling.

Dari hasil analisis pada seluruh potongan orthogonal 1 s/d 11 diamati bahwa terjadi perubahan tinggi gelombang yang bervariasi mulai pada kedalaman 25m hingga mencapai ketinggian terbesar saat berada pada kedalaman 0.1m terjadi pada potongan 11 yakni sebesar 3.5320m. yang dimaknai sebagai daerah pantai yang akan mengalami kerusakan paling ekstrim dari 11 titik yang ada. Selain itu dari konfigurasi yang ada diperoleh informasi tentang tinggi gelombang pada setiap titik potongan, yang dibutuhkan dalam merencanakan kegiatan perlindungan dan pengamanan pantai dari kerusakan ombak ataupun untuk mengevaluasi kinerja bangunan-bangunan pengaman pantai pada setiap titik dimaksud.

4.1. Penutup

4.1.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan :

1. Terdapat empat arah pembentukan gelombang di pantai Belang yaitu : Timur laut, Timur, Tenggara, dan Selatan, dengan arah gelombang dominan dari arah Selatan.
2. Dengan metode *hindcasting* gelombang diperoleh tinggi gelombang laut dalam setiap bulan dengan tinggi terbesar (H_0) = 1,642 m,
3. dengan periode ulang (T_0) = 5,275 detik, dominan terjadi pada bulan Agustus (52,2%)

4. Peningkatan nilai tinggi gelombang kala ulang sejalan dengan peningkatan periode ulang gelombang.
5. Tinggi gelombang terbesar di pantai belang akibat refraksi dan shoaling pada periode ulang 5 tahun terjadi pada titik potong-11, yakni sebesar 3.5320 meter.

4.1.2. Saran

Perlunya melakukan analisis lebih lanjut terhadap faktor-faktor transformasi gelombang meliputi : gelombang pecah, *wave set up*, *run-up* yang langsung berakibat pada kerusakan pantai

Tabel 3.5 Tinggi gelombang hasil transformasi gelombang

Kedalaman	Potongan-1		Potongan-2		Potongan-3		Potongan-4	
D(m)	Ho(m)	H(m)	Ho(m)	H(m)	Ho(m)	H(m)	Ho(m)	H(m)
25.00	1.523	1.519	1.523	1.519	1.523	1.519	1.523	1.519
20.00	1.519	1.488	1.519	1.499	1.519	1.499	1.519	1.501
15.00	1.488	1.389	1.499	1.433	1.499	1.436	1.501	1.442
10.00	1.389	1.169	1.433	1.273	1.436	1.284	1.442	1.302
5.00	1.169	0.913	1.273	1.055	1.284	1.073	1.302	1.106
1.00	0.913	0.875	1.055	1.083	1.073	1.104	1.106	1.164
0.50	0.875	1.081	1.083	1.394	1.104	1.432	1.164	1.512
0.10	1.081	2.067	1.394	2.879	1.432	2.973	1.512	3.168

Kedalam	Potongan-5		Potongan-6		Potongan-7		Potongan-8	
D(m)	Ho(m)	H(m)	Ho(m)	H(m)	Ho(m)	H(m)	Ho(m)	H(m)
25.000	1.523	1.519	1.523	1.519	1.523	1.519	1.523	1.519
20.000	1.519	1.502	1.519	1.502	1.519	1.503	1.519	1.504
15.000	1.502	1.448	1.502	1.447	1.503	1.451	1.504	1.455
10.000	1.448	1.318	1.447	1.315	1.451	1.326	1.455	1.342
5.000	1.318	1.138	1.315	1.134	1.326	1.157	1.342	1.190
1.000	1.138	1.214	1.134	1.206	1.157	1.251	1.190	1.306
0.500	1.214	1.601	1.206	1.587	1.251	1.668	1.306	1.731

Kedalam	Potongan-9		Potongan-10		Potongan-11	
d	Ho	H	Ho	H	Ho	H
25.000	1.523	1.519	1.523	1.519	1.523	1.519
20.000	1.519	1.504	1.519	1.504	1.519	1.504
15.000	1.504	1.457	1.504	1.458	1.504	1.459
10.000	1.457	1.347	1.458	1.351	1.459	1.353
5.000	1.347	1.202	1.351	1.213	1.353	1.222
1.000	1.202	1.332	1.213	1.355	1.222	1.378
0.500	1.332	1.777	1.355	1.818	1.378	1.857
0.100	1.777	3.384	1.818	3.455	1.857	3.520

Daftar Pustaka

- CERC. 1984. Shore Protection Manual (SPM). US Army Coastal Engineering, Research Center, Washington (SPM 1984)
- Herbich, J. B. 1999. Handbook Of Coastal Engineering. McGraw-Hill. New York
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
- Yuwono, N. 1982. Teknik Pantai. Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.