

ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG DI TELUK AMURANG KABUPATEN MINAHASA SELATAN

Pangestika Indiani Putri

M. Ihsan Jasin, Fuad Halim

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: pangestika2013@yahoo.com

ABSTRAK

Teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaam merupakan salah satu wilayah pantai yang berpotensi sebagai daerah wisata dan juga sebagai tempat bermukim masyarakat pesisir pantai. Berdasarkan pengamatan di lokasi penelitian teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaam, terjadi gelombang yang cukup besar pada bulan-bulan tertentu yang mengakibatkan mundurnya garis pantai yang berdampak pada pemukiman penduduk. Oleh sebab itu dalam pengembangan dan pengamanan daerah pesisir serta untuk perlindungan masyarakat pesisir maka telah dilakukan penelitian mengenai karakteristik gelombang yang terjadi di teluk Amurang tepatnya pada daerah pantai desa Tumpaam. Dalam penelitian ini dilakukan survey lokasi penelitian, pendekatan teori, peramalan gelombang dan analisis transformasi gelombang yang terjadi di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaam. Peramalan gelombang dihitung dengan metode hindcasting gelombang berdasarkan data angin selama 10 tahun dari BMKG Maritim Bitung untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang yang terjadi di pantai tersebut. Dari hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaam didominasi oleh gelombang arah barat dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan juni 2012 dengan tinggi gelombang $H = 1,402$ m dengan periode $T = 4,725$ detik. Koefisien refraksi bekisar antara 0,9625 sampai 1,00096 dan koefisien shoaling bekisar antara 0,90561 sampai 1,35533. Tinggi gelombang pecah yang didapt dari hasil perhitungan adalah 0,933 m sampai 1,677 m pada kedalaman 0,5 m sampai 25 m.

Kata Kunci : *Pantai desa Tumpaam, Windrose, Karakteristik gelombang, Digitasi peta*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Teluk adalah bagian laut yang daerahnya menjorok ke dalam daratan. Teluk merupakan laut yang pantainya melengkung hampir mengitari perairan laut di dekatnya. Salah satu teluk yang ada di Sulawesi Utara adalah teluk Amurang, yang merupakan daerah wisata. Selain daerah wisata pada sepanjang pantai di teluk Amurang ini sebagian besar merupakan pemukiman penduduk. Salah satu daerah pemukiman yang ada di sepanjang pantai di teluk Amurang adalah desa Tumpaam.

Desa Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian yaitu di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaam, pada bulan-bulan tertentu terjadi gelombang yang cukup besar sehingga mengakibatkan mundurnya garis pantai yang berdampak pada pemukiman penduduk yang bermukim di pesisir pantai desa Tumpaam. Seperti pada bulan-bulan tertentu terjadi gelombang yang cukup besar di pantai desa

Tumpaam sehingga air laut menggenangi pemukiman penduduk.

Dengan masalah yang terjadi di lokasi tersebut maka diperlukan penelitian mengenai karakteristik gelombang yang terjadi di pantai desa Tumpaam, sehingga informasi tentang karakteristik gelombang dapat digunakan untuk menangani masalah mundurnya garis pantai pada pantai desa Tumpaam.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang terjadi di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaam adalah tingginya gelombang laut yang mengakibatkan mundurnya garis pantai yang berdampak pada pemukiman penduduk, sehingga harus di analisis karakteristik gelombang yang terjadi di pantai tersebut.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah di teluk Amurang pada pantai desa Tumpa, Minahasa Selatan.
2. Karakteristik gelombang yang ditinjau adalah tinggi gelombang, periode gelombang, refraksi gelombang, dan gelombang pecah.
3. Analisa gelombang yang digunakan adalah teori gelombang amplitudo kecil (*Airy*).
4. Tinggi dan periode gelombang laut dalam diperoleh dengan metode *hindcasting* gelombang.
5. Penelitian yang dilakukan hanya akibat gelombang angin
6. Data angin yang dipakai adalah data angin 10 tahun terakhir.
7. Mengabaikan faktor-faktor bencana alam seperti tsunami, gempa, dan lain-lain.

Tujuan Penelitian

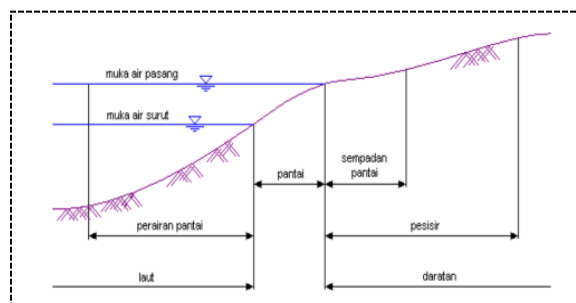
Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan karakteristik gelombang yang terjadi di teluk Amurang, pada daerah pantai desa Tumpa.

Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan informasi tentang karakteristik gelombang di teluk Amurang pada daerah pantai desa Tumpa.
2. Menjadi Informasi yang mendukung dalam penyelesaian masalah mundurnya garis pantai di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpa.

LANDASAN TEORI

Gambaran Umum Pantai



Gambar 1. Gambaran umum pantai
Sumber: Triatmodjo, B. (1999)

Gelombang

Gelombang laut adalah satu fenomena alam yang sering terjadi di laut. Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-

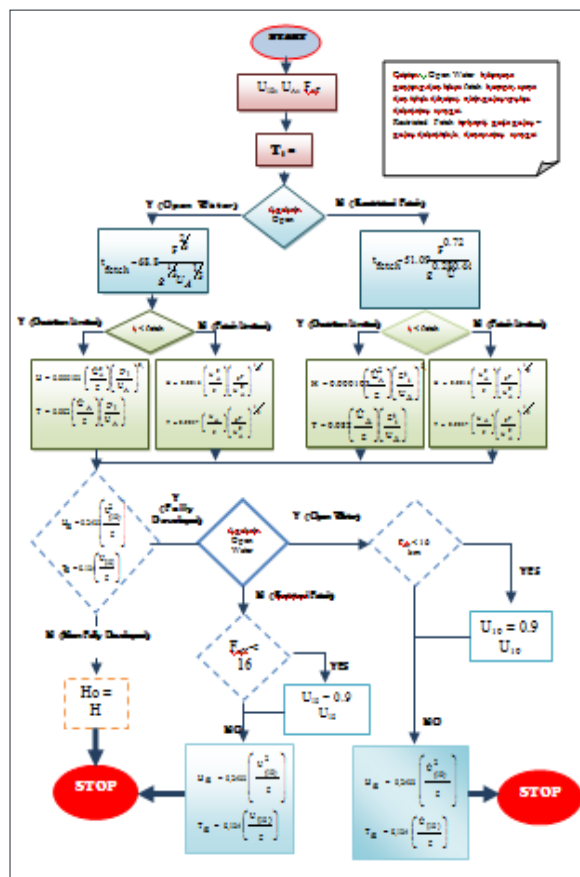
linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random.

Gelombang Angin

Gelombang angin umumnya lebih besar pengaruhnya apabila dibandingkan dengan pembangkit lain bagi kepentingan perencanaan pantai. Terjadinya gelombang diatas permukaan laut, umumnya disebabkan karena adanya tiupan angin. Pada daerah tiupan angin, terjadi peristiwa transfer energi angin energi gelombang dalam spektrum frekuensi yang luas. Distribusi frekuensi dan besarnya tiupan angin, sangat bergantung pada lamanya angin bertiup dan luasnya daerah tiupan.

Hindcasting Gelombang

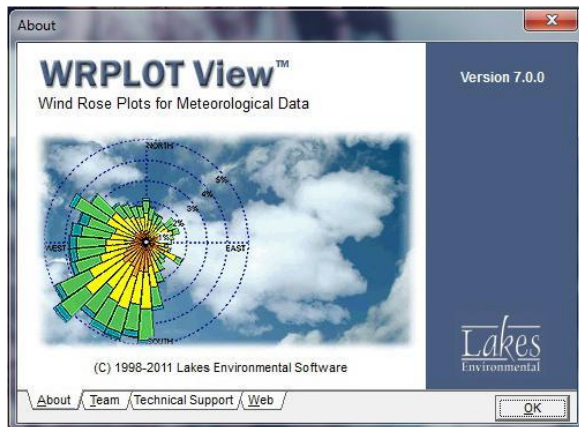
Hindcasting gelombang adalah teknik peramalan gelombang yang akan datang dengan menggunakan data angin dimasa lampau. Data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan periode gelombang di laut. Terjadinya gelombang di laut paling dipengaruhi oleh tiupan angin.



Gambar 2. Bagan Alir *Hindcasting* Gelombang (SPM 1984)

WR PLOT view

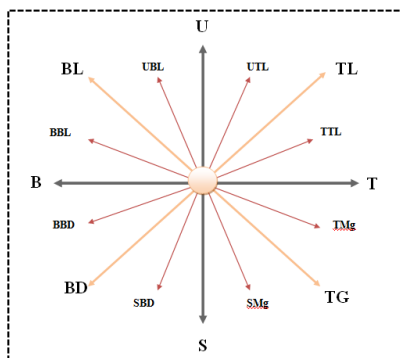
WR PLOT view adalah program yang memiliki kemampuan untuk mempresentasikan data kecepatan angin dalam bentuk mawar angin sebagai data meteorologi. WR PLOT memeberikan gambaran kejadian angin pada kecepatan minimum dan maksimum. Mawar angin menampilkan distribusi kecepatan angin dalam satuan (knots dan m/det). Distribusi tersebut ditandai dengan pengaturan warna yang berbeda di setiap kecepatan angin pada lokasi dan jangka waktu tertentu.



Gambar 3. Tampilan WR Plot (Aplikasi WR Plot)

Fetch

Fetch adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah fetch adalah daerah dengan kecepatan angin konstan. Sedangkan jarak fetch merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup (Hutabarat dan Evans, 1984).



Gambar 4. Arah angin yang dapat membangkitkan gelombang

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

F_{eff} : Fetch efektif

F : Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan sudut

Estimasi angin permukaan untuk peramalan gelombang

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 dengan mengkonversi data angin yang diukur di darat. Sebagai langkah awal dalam menganalisis data angin, hal yang harus diperhatikan adalah mendapatkan nilai Wind Stress Factor (U_A), sebagai nilai yang akan digunakan dalam melakukan peramalan gelombang.

Koreksi Elevasi

Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin yang diukur pada elevasi 10 meter. Jika data angin didapat dari pengukuran pada elevasi yang lain (misalnya y meter), maka dapat dikonversi dengan persamaan:

$$U_{(10)} = U(y) \left(\frac{10}{y} \right)^{\frac{1}{7}} \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

$U_{(10)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m

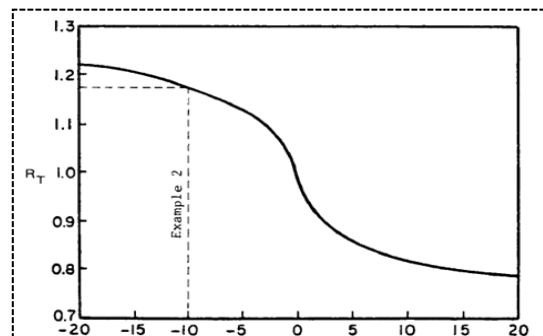
Y = Ketinggian pengukuran angin ($y < 20$ m)

Koreksi Stabilitas

Koreksi ini diperlukan, jika terdapat perbedaan temperatur antara udara dan air laut. Besarnya koreksi dilambangkan dengan R_T , dimana :

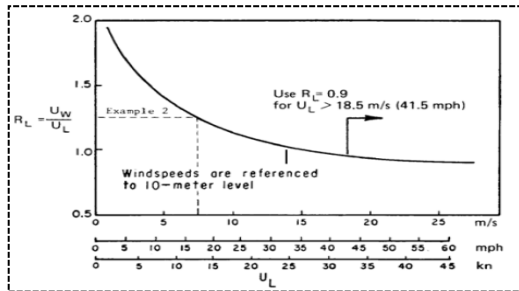
$$U = R_T \times U_{10} \dots \dots \dots (3)$$

Jika tidak terdapat perbedaan data temperature, maka $R_T = 1.1$ (SPM'88, hal 3-30)



Gambar 5. Faktor koreksi beda suhu di laut dan darat (SPM 1984)

- Koreksi Lokasi Pengamatan
Jika data angin yang dimiliki adalah data angin pengukuran di darat, perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai kecepatan di laut. Faktor koreksi dilambangkan dengan R_L ,



Gambar 6. Hubungan antara kecepatan angin dilaut dan di darat (SPM 1984)

Pembentukan gelombang di laut dalam

Peramalan gelombang di laut dalam dilakukan dengan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider).

- Penentuan *fetch limited* dari gelombang berguna untuk membatasi durasi minimum dari t_{fetch}

Restricted Fetch

$$t_{fetch} = 51.09 \frac{F^{0.72}}{g^{0.28} \hat{U}_A^{0.44}} \dots\dots\dots(4)$$

- Karakter pembentukan gelombang untuk *restricted fetch* :
Duration Limited

$$H = 0.000103 \left(\frac{\hat{U}_A^2}{g} \right) \left(\frac{g_{ii}}{U_A} \right)^{0.69} \dots\dots\dots(5)$$

$$T = 0.082 \left(\frac{\hat{U}_A}{g} \right) \left(\frac{g_{ii}}{U_A} \right)^{0.39} \dots\dots\dots(6)$$

Fetch Limited

$$H = 0.0015 \left(\frac{\hat{U}_A^2}{g} \right) \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(7)$$

$$T = 0.3704 \left(\frac{\hat{U}_A}{g} \right) \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{0.28} \dots\dots\dots(8)$$

- Kontrol kondisi gelombang *fully developed* apabila memiliki ketentuan-ketentuan berikut ini :

$$\frac{gH}{U_A^2} \geq 2.433 \cdot 10^{-4} \dots\dots\dots(9)$$

$$\frac{gT}{U_A} \geq 8.134 \dots\dots\dots(10)$$

$$\frac{gT}{U_A} \geq 7.15 \cdot 10^4 \dots\dots\dots(11)$$

- Apabila kondisi gelombang *fully developed Open water*

$$H_{fd} = 0.2433 \left(\frac{U_{(10)}^2}{g} \right) \dots\dots\dots(12)$$

$$T_{fd} = 8.134 \left(\frac{U_{(10)}}{g} \right) \dots\dots\dots(13)$$

Restricted fetch

$$H_{fd} = 0.2433 \left(\frac{\hat{U}_{10}^2}{g} \right) \dots\dots\dots(14)$$

$$T_{fd} = 8.134 \left(\frac{\hat{U}_{(10)}}{g} \right) \dots\dots\dots(15)$$

- Apabila kondisi gelombang non fully developed maka:

$$H_o = H \dots\dots\dots(16)$$

$$T_o = T \dots\dots\dots(17)$$

Deformasi Gelombang

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk. Penyebab perubahan ini diantaranya ialah proses refraksi gelombang, pendangkalan gelombang dan proses pecahnya gelombang.

- Proses refraksi gelombang
Pengaruh perubahan kedalaman laut akan menyebabkan refraksi.

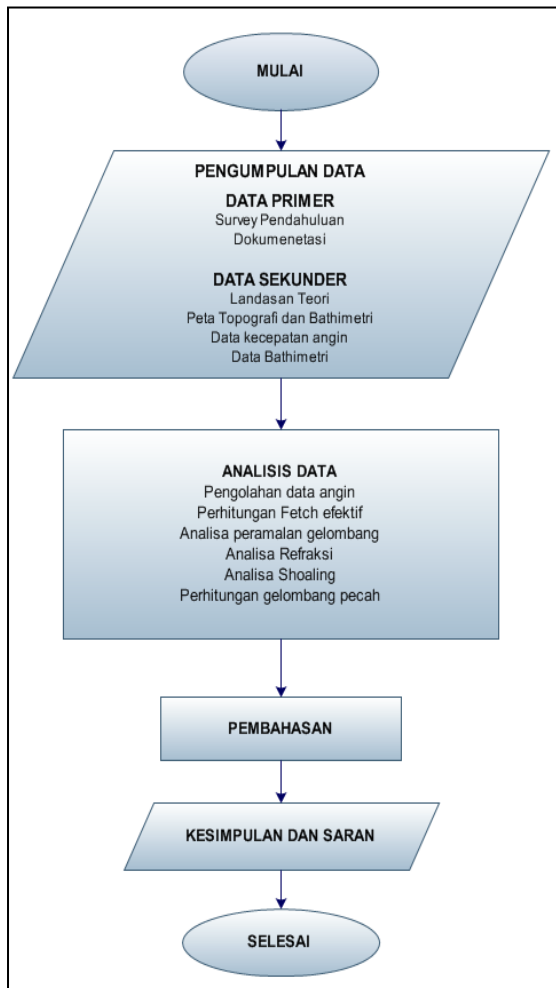
$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} \dots\dots\dots(18)$$

- Pendangkalan gelombang
Shoaling adalah proses dimana terjadinya kenaikan tinggi suatu gelombang, dimana gelombang tersebut memasuki kawasan perairan yang lebih dangkal.

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o \times C_o}{n1 \times L1}} \dots\dots\dots(19)$$

- Gelombang Pecah
Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang.

METODOLOGI PENELITIAN



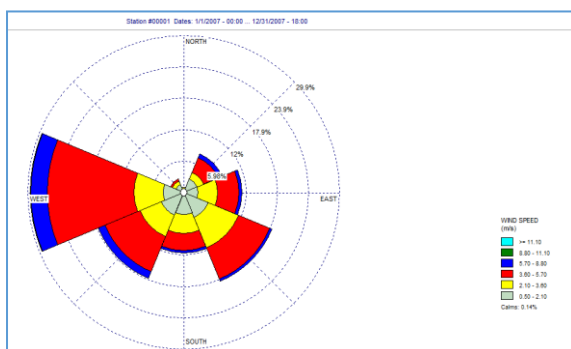
Gambar 7. Bagan alir tahapan pelaksanaan studi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa data

Diagram windrose

Tampilan diagram windrose tahun 2007 (berdasarkan data angin tahun 2007)

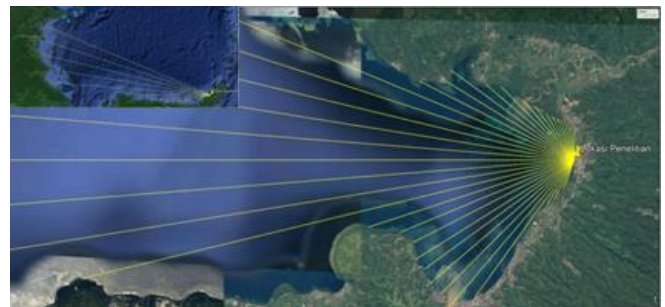


Gambar 8. Tampilan diagram windrose tahun 2007

Perhitungan Fetch Efektif

Langkah-langkah perhitungan *fetch* dengan cara manual dijelaskan dibawah ini:

1. Menggunakan peta daerah perairan teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaun Kabupaten Minahasa Selatan
2. Ditentukan arah angin dominan sebagai titik pusat tinjauan. Garis arah angin utama ditentukan sebagai *central radial*
3. Dalam perhitungan ini dibuat sudut dari garis *central radial* kearah kiri dan kanan garis *fetch* dengan interval $4,5^\circ$ sampai 9°
4. Pastikan bahwa koordinat lokasi sama dengan koordinat pada peta
5. Ukur *fetch* sampai menyentuh daratan atau batas akhir peta dengan menggunakan mistar dan tentukan jarak sebenarnya.



Gambar 9. Fetch arah barat,barat barat laut,barat laut,utara barat laut,utara,barat barat daya,barat daya,dan selatan barat daya

Sumber: Google earth

Perhitungan *fetch*

Arah Barat :

- Panjang garis *fetch* untuk sudut 0° adalah 8,9 cm dengan skala 1: 4.210.526,316 Untuk mendapatkan jarak sebenarnya dilakukan perhitungan jarak sebenarnya

$$\begin{aligned} \text{Jarak sebenarnya} &= \text{Jarak pada peta} \times \text{Skala} \\ &= 8,9 \text{ cm} \times 4.210.526,316 \\ &= 37473684,2124 \text{ cm} \\ &= 374,737 \text{ km} \end{aligned}$$

- Nilai dari cosines 0° adalah 1, maka :
 $F \cos (\alpha) = 374,737 \text{ km} \times 1 = 374,737 \text{ km}$

Tabel 1. Perhitungan panjang *fetch* untuk 8 arah

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenar (Cm)	Jarak Sebenar (Km)	cos(α)	Fcos(α)	Feff (Km)
Utara	-9	172972.973	1.730	0.9877	1.708	0.898
	-4.5	151351.3513	1.514	0.9969	1.509	
	0	124324.3243	1.243	1	1.243	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Utara Timur Laut	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Timur Laut	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Timur Timur Laut	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Timur	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Timur Tenggara	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Tenggara	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Selatan Tenggara	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Selatan	-9	0	0.000	0.9877	0.000	0.000
	-4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	0	0	0.000	1	0.000	
	4.5	0	0.000	0.9969	0.000	
	9	0	0.000	0.9877	0.000	
Selatan Barat Daya	-9	0	0.000	0.9877	0.000	1.395
	-4.5	129729.7297	1.297	0.9969	1.293	
	0	140540.5405	1.405	1	1.405	
	4.5	194594.5946	1.946	0.9969	1.940	
	9	232432.4324	2.324	0.9877	2.296	
Barat Daya	-9	745945.9459	7.459	0.9877	7.368	23.204
	-4.5	854054.054	8.541	0.9969	8.514	
	0	832432.4324	8.324	1	8.324	
	4.5	832432.324	83.243	0.9969	82.987	
	9	821621.6216	8.216	0.9877	8.115	
Barat Barat Daya	-9	816216.2162	8.162	0.9877	8.062	39.504
	-4.5	810810.8108	8.108	0.9969	8.083	
	0	843243.2432	8.432	1	8.432	
	4.5	956756.7567	9.568	0.9969	9.538	
	9	16421052.63	164.211	0.9877	162.189	
Barat	-9	23578947.37	235.789	0.9877	232.887	486.677
	-4.5	30315789.48	303.158	0.9969	302.223	
	0	37473684.21	374.737	1	374.737	
	4.5	78736842.11	787.368	0.9969	784.941	
	9	73263157.9	732.632	0.9877	723.612	
Barat Barat Laut	-9	85052631.58	850.526	0.9877	840.055	518.767
	-4.5	85052631.58	850.526	0.9969	847.904	
	0	87578947.37	875.789	1	875.789	
	4.5	767567.5675	7.676	0.9969	7.652	
	9	654054.054	6.541	0.9877	6.460	
Barat Laut	-9	670270.2702	6.703	0.9877	6.620	4.550
	-4.5	508108.1081	5.081	0.9969	5.065	
	0	459459.4594	4.595	1	4.595	
	4.5	345945.9459	3.459	0.9969	3.449	
	9	291891.8919	2.919	0.9877	2.883	
Utara Barat Laut	-9	237837.8378	2.378	0.9877	2.349	2.010
	-4.5	205405.4054	2.054	0.9969	2.048	
	0	194594.5946	1.946	1	1.946	
	4.5	183783.7838	1.838	0.9969	1.832	
	9	183783.7838	1.838	0.9877	1.815	

Analisa data angin

Data Angin yang dianalisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum harian dalam selang waktu 10 tahun terakhir, yakni tahun 2007 – 2016. Data angin diperoleh dari BMKG Maritim Bitung. Arah angin diklasifikasikan dalam 16 arah mata angin.

Kecepatan angin berupa data sekunder hasil pemodelan *Windwaves* dan dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1.852 km/jam = 0.5144 m/det.

Tabel 2. Data angin bulan Juni tahun 2007

Tahun	Bulan	Tanggal	Wind Direction	Wind Speed (knot)	Wind Speed (m/det)
2007	6	1	SEE	5.31	2.73
2007	6	2	SEE	9.78	5.03
2007	6	3	W	5.02	2.58
2007	6	4	W	5.92	3.05
2007	6	5	SEE	5.94	3.06
2007	6	6	W	4.82	2.48
2007	6	7	W	9.81	5.05
2007	6	8	WSW	4.60	2.37
2007	6	9	SE	4.67	2.40
2007	6	10	W	1.17	0.60
2007	6	11	SEE	4.24	2.18
2007	6	12	SEE	6.28	3.23
2007	6	13	SE	6.53	3.36
2007	6	14	W	6.61	3.40
2007	6	15	W	6.94	3.57
2007	6	16	W	7.22	3.71
2007	6	17	S	5.43	2.79
2007	6	18	NE	5.56	2.86
2007	6	19	WSW	5.88	3.02
2007	6	20	WSW	5.55	2.85
2007	6	21	SEE	5.73	2.95
2007	6	22	W	6.77	3.48
2007	6	23	W	8.21	4.22
2007	6	24	WSW	6.51	3.35
2007	6	25	W	3.72	1.91
2007	6	26	W	6.87	3.53
2007	6	27	W	8.04	4.14
2007	6	28	SW	7.51	3.86
2007	6	29	SW	9.43	4.85
2007	6	30	WSW	14.14	7.27

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan faktor tegangan angin

Langkah-langkah perhitungan untuk mendapat-kan nilai U_A (perhitungan pada tanggal 25 Juni tahun 2007)

- Koreksi terhadap elevasi

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{Z} \right)^{0.7}$$

$$U_{10} = 1,91 \left(\frac{10}{10} \right)^{0.7} = 1,91 \text{ m/det}$$

- Koreksi terhadap stabilitas dan efek lokasi

$$U_A = R_T \cdot R_L \cdot U_{10}$$

$$U_A = 1,1 \times 1,76 \times 1,91$$

$$U_A = 3,69776 \text{ m/det}$$

$$U_A = 3,70 \text{ m/det}$$

Tabel 3. Perhitungan faktor tegangan angin

Tahun	Bulan	Tanggal	Wind Direction	U _x (m/det)	Nilai R _L	U ₁₀ = U _x (10/z) ^{0.27}	U _A = R _L R _L U ₁₀
2007	6	1	SEE	2.73	1.64	2.73	4.92
2007	6	2	SEE	5.03	1.41	5.03	7.80
2007	6	3	W	2.58	1.66	2.58	4.70
2007	6	4	W	3.05	1.60	3.05	5.34
2007	6	5	SEE	3.06	1.60	3.06	5.36
2007	6	6	W	2.48	1.67	2.48	4.55
2007	6	7	W	5.05	1.41	5.05	7.80
2007	6	8	WSW	2.37	1.68	2.37	4.38
2007	6	9	SE	2.40	1.68	2.40	4.44
2007	6	10	W	0.60	2.00	0.60	1.32
2007	6	11	SEE	2.18	1.71	2.18	4.11
2007	6	12	SEE	3.23	1.58	3.23	5.63
2007	6	13	SE	3.36	1.57	3.36	5.81
2007	6	14	W	3.40	1.57	3.40	5.87
2007	6	15	W	3.57	1.55	3.57	6.10
2007	6	16	W	3.71	1.54	3.71	6.31
2007	6	17	S	2.79	1.62	2.79	4.98
2007	6	18	NE	2.86	1.62	2.86	5.08
2007	6	19	WSW	3.02	1.60	3.02	5.32
2007	6	20	WSW	2.85	1.62	2.85	5.07
2007	6	21	SEE	2.95	1.61	2.95	5.20
2007	6	22	W	3.48	1.56	3.48	5.99
2007	6	23	W	4.22	1.50	4.22	6.95
2007	6	24	WSW	3.35	1.57	3.35	5.79
2007	6	25	W	1.91	1.76	1.91	3.70
2007	6	26	W	3.53	1.56	3.53	6.06
2007	6	27	W	4.14	1.51	4.14	6.86
2007	6	28	SW	3.86	1.53	3.86	6.50
2007	6	29	SW	4.85	1.43	4.85	7.60
2007	6	30	WSW	7.27	1.26	7.27	10.08

Sumber : Hasil Perhitungan

Peramalan tinggi dan periode gelombang

Pada perhitungan tinggi dan periode gelombang untuk perhitungan t_{fetch} digunakan perhitungan *Restricted Fetch* karena panjang dan lebar fetch terhenti pada pulau-pulau dekat teluk, danau atau sungai. Peramalan gelombang dilakukan dengan metode *hindcasting* gelombang.

Tabel 4. Perhitungan faktor tegangan angin untuk *restricted fetch*

Tahun	Bulan	Tanggal	Wind Direction	U _x m/det	Nilai RL	U ₁₀ m/det	U _A m/det	U _Δ m/det
2007	6	1	SEE	2.73	1.64	2.73	4.92	4.86
2007	6	2	SEE	5.03	1.41	5.03	7.80	7.71
2007	6	3	W	2.58	1.66	2.58	4.70	4.64
2007	6	4	W	3.05	1.60	3.05	5.34	5.28
2007	6	5	SEE	3.06	1.60	3.06	5.36	5.29
2007	6	6	W	2.48	1.67	2.48	4.55	4.50
2007	6	7	W	5.05	1.41	5.05	7.80	7.71
2007	6	8	WSW	2.37	1.68	2.37	4.38	4.33
2007	6	9	SE	2.40	1.68	2.40	4.44	4.38
2007	6	10	W	0.60	2.00	0.60	1.32	1.31
2007	6	11	SEE	2.18	1.71	2.18	4.11	4.06
2007	6	12	SEE	3.23	1.58	3.23	5.63	5.56
2007	6	13	SE	3.36	1.57	3.36	5.81	5.74
2007	6	14	W	3.40	1.57	3.40	5.87	5.80
2007	6	15	W	3.57	1.55	3.57	6.10	6.03
2007	6	16	W	3.71	1.54	3.71	6.31	6.23
2007	6	17	S	2.79	1.62	2.79	4.98	4.92
2007	6	18	NE	2.86	1.62	2.86	5.08	5.02
2007	6	19	WSW	3.02	1.60	3.02	5.32	5.26
2007	6	20	WSW	2.85	1.62	2.85	5.07	5.01
2007	6	21	SEE	2.95	1.61	2.95	5.20	5.14
2007	6	22	W	3.48	1.56	3.48	5.99	5.91
2007	6	23	W	4.22	1.50	4.22	6.95	6.86
2007	6	24	WSW	3.35	1.57	3.35	5.79	5.72
2007	6	25	W	1.91	1.76	1.91	3.70	3.66
2007	6	26	W	3.53	1.56	3.53	6.06	5.99
2007	6	27	W	4.14	1.51	4.14	6.86	6.78
2007	6	28	SW	3.86	1.53	3.86	6.50	6.42
2007	6	29	SW	4.85	1.43	4.85	7.60	7.51
2007	6	30	WSW	7.27	1.26	7.27	10.08	9.96

Sumber : Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan perhitungan *hindcasting* gelombang maka, diperoleh tinggi dan periode gelombang yang terjadi pada tahun 2007 – 2016.

Tabel 5. Rekapitulasi arah, tinggi, dan periode gelombang tahun 2007 -2016

Bulan	H-T	Arah Datang Gelombang								Max Tiap Bulan	
		N	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Arah	H-T
Januari	H (m)	0.111	0.164	0.595	1.334	1.278	1.241	0.531	0.205	WSW	1.334
	T (det)	1.182	1.439	3.003	4.422	4.525	4.464	2.104	1.623		4.422
Februari	H (m)	0.103	0.088	0.619	1.362	1.239	0.777	0.309	0.207	WSW	1.362
	T (det)	1.144	1.095	3.054	4.462	4.461	3.591	2.041	1.629		4.462
Maret	H (m)	0.116	0.136	0.598	1.024	1.144	0.939	0.232	0.160	W	1.144
	T (det)	1.205	1.325	3.008	3.935	4.298	3.921	1.797	1.453		4.298
April	H (m)	0.100	0.146	0.568	0.942	1.216	1.094	0.217	0.171	W	1.216
	T (det)	1.128	1.366	2.941	3.794	4.422	4.209	1.748	1.498		4.422
Mei	H (m)	0.053	0.159	0.727	0.929	1.051	1.058	0.195	0.102	WNW	1.058
	T (det)	0.851	1.420	3.278	3.771	4.132	4.144	1.668	1.195		4.144
Juni	H (m)	0.070	0.154	0.560	1.004	1.402	0.605	0.178	0.126	W	1.402
	T (det)	0.961	1.398	2.923	3.903	4.725	3.195	1.600	1.309		4.725
Juli	H (m)	0.106	0.193	0.595	1.037	1.157	0.877	0.162	-	W	1.157
	T (det)	1.158	1.546	3.002	3.957	4.321	3.798	1.538	-		4.321
Agustus	H (m)	-	0.140	0.576	1.122	0.885	0.709	-	-	WSW	1.122
	T (det)	-	1.341	2.959	4.097	3.814	3.440	-	-		4.097
September	H (m)	0.105	0.135	0.549	0.864	0.928	0.625	0.279	-	W	0.928
	T (det)	1.149	1.320	2.898	3.652	3.900	3.243	1.950	-		3.900
Oktober	H (m)	0.118	0.132	0.629	0.991	1.081	0.801	0.156	0.122	W	1.081
	T (det)	1.212	1.307	3.075	3.879	4.186	3.640	1.511	1.290		4.186
November	H (m)	0.092	0.136	0.649	1.210	1.278	1.319	0.299	0.139	WNW	1.319
	T (det)	1.085	1.324	3.120	4.236	4.525	4.592	2.011	1.369		4.592
Desember	H (m)	0.129	0.105	0.444	0.989	1.283	0.985	0.342	0.160	W	1.283
	T (det)	1.259	1.181	2.639	3.876	4.535	4.008	2.134	1.453		4.535
MAX TIAP ARAH	H (m)	0.129	0.193	0.727	1.362	1.402	1.319	0.342	0.207	W	1.402
T (det)	1.259	1.546	3.278	4.462	4.725	4.592	2.134	1.629	4.725		

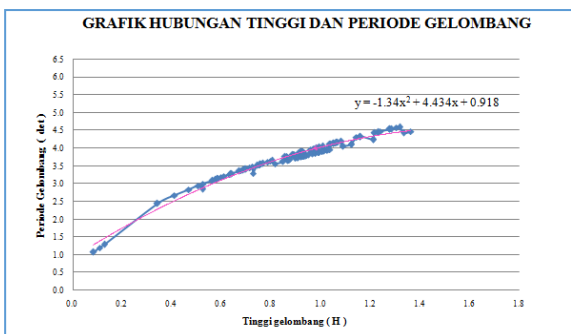
Sumber : Hasil Perhitungan

Analisa Transformasi Gelombang Perhitungan koefisien refraksi

Langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan koefisien refraksi:

- Tentukan sudut datang gelombang (α)
Sudut datang gelombang (α) = 7,5°
- Tentukan kedalaman (d), untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat pendangkalan.
- Kedalaman diambil mulai dari -25 m sampai -0.1 m, dengan
- Tentukan tinggi dan periode gelombang rencana (yang paling maksimum dari arah tinjauan)
- Untuk memperoleh periode gelombang maksimum berdasarkan perubahan kedalaman, maka dibuat hubungan antara tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum (10 tahun data masukan) yang telah dihitung dengan metode *hindcasting* untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan.

Berikut merupakan grafik hubungan tinggi dan periode gelombang yang didapat menggunakan *trendline* di program Microsoft Excel



Gambar 10. Hubungan tinggi dan periode gelombang

Berdasarkan grafik hubungan tinggi dan periode gelombang maka didapatkan persamaan: $y = -1,34 x^2 + 4,434 x + 0,918 \dots\dots\dots(20)$

Untuk arah w (Barat) Potongan 1

$H_0 = 1,402 \text{ m}$
 $T_0 = -1,34 x^2 + 4,434 x + 0,918$
 $T_0 = -1,34 (1,402)^2 + 4,434 (1,402) + 0,918$
 $T_0 = 4,501$

- Perhitungan panjang gelombang
 $L_0 = 1,56 T^2$
 $L_0 = 1,56 x (4,501)^2$
 $L_0 = 31,598$
- Perhitungan nilai α (Untuk kedalaman 25 m)
 $d/L_0 = 25 / 31,598$
 $= 0,79$

Tabel 6. Pembacaan nilai d/L dan n

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2nd}{L}$	$\frac{2nd}{2nd/L}$	$\frac{sinh}{2nd/L}$	$\frac{cosh}{2nd/L}$	K_s	K	$\frac{4nd}{L}$	$\frac{sinh}{4nd/L}$	$\frac{cosh}{4nd/L}$	n
0.6000	0.60063	3.7739	0.9989	21.763	21.786	0.997	0.0459	7.5478	948.26	948.3	0.5040
0.6100	0.61057	3.8363	0.9991	23.166	23.188	0.997	0.0431	7.6726	1074.4	1074	0.5036
0.6200	0.62051	3.8988	0.9992	24.661	24.681	0.997	0.0405	7.7976	1217.3	1217	0.5032
0.6300	0.63046	3.9613	0.9993	26.253	26.272	0.998	0.0381	7.9226	1379.4	1379	0.5029
0.6400	0.64041	4.0238	0.9994	27.948	27.966	0.998	0.0358	8.0476	1563.2	1563	0.5026
0.6500	0.65037	4.0864	0.9994	29.754	29.770	0.998	0.0336	8.1728	1771.5	1772	0.5023
0.6600	0.66033	4.1490	0.9995	31.676	31.692	0.998	0.0316	8.2979	2007.8	2008	0.5021
0.6700	0.67029	4.2116	0.9996	33.724	33.739	0.998	0.0296	8.4232	2275.7	2276	0.5019
0.6800	0.68026	4.2742	0.9996	35.905	35.919	0.999	0.0278	8.5484	2579.4	2579	0.5017
0.6900	0.69024	4.3369	0.9997	38.228	38.241	0.999	0.0262	8.6738	2923.7	2924	0.5015
0.7000	0.70021	4.3996	0.9997	40.701	40.714	0.999	0.0246	8.7991	3314.2	3314	0.5013
0.7100	0.71019	4.4622	0.9997	43.335	43.347	0.999	0.0231	8.9245	3756.9	3757	0.5012
0.7200	0.72017	4.5250	0.9998	46.141	46.151	0.999	0.0217	9.0499	4258.9	4259	0.5011
0.7300	0.73015	4.5877	0.9998	49.128	49.138	0.999	0.0204	9.1754	4828.1	4828	0.5010
0.7400	0.74014	4.6504	0.9998	52.309	52.319	0.999	0.0191	9.3008	5473.5	5473	0.5008
0.7500	0.75012	4.7131	0.9998	55.697	55.706	0.999	0.0180	9.4263	6205.2	6205	0.5008
0.7600	0.76011	4.7759	0.9999	59.304	59.313	0.999	0.0169	9.5518	7035.0	7035	0.5007
0.7700	0.77010	4.8387	0.9999	63.146	63.154	0.999	0.0158	9.6773	7975.8	7976	0.5006
0.7800	0.78009	4.9014	0.9999	67.237	67.244	1.000	0.0149	9.8029	9042.6	9043	0.5005
0.7900	0.79008	4.9642	0.9999	71.594	71.601	1.000	0.0140	9.9284	10252	10252	0.5005

Sumber : Triadmodjo B, "Teknik Pantai"

Untuk $d/L_0 = 0,79$ maka nilai $d/L = 0,79008$ dan nilai $n = 0,5005$
 $d/L = 0,79008$
 $25/L = 0,79008$
 $L = 31,642 \text{ m}$

Cepat rambat gelombang :

$C_0 = L_0 / T$
 $= 31,598 / 4,501$
 $= 7,021 \text{ m/det}$
 $C = L/T$
 $= 31,642 / 4,501$
 $= 7,031 \text{ m/det}$
 $\sin \alpha = C/C_0 \times \sin \alpha$
 $= 7,031 / 7,021 \times \sin 7,5$
 $= 0,131$
 $\alpha = 7,5106^\circ$

- Nilai koefisien refraksi (Kr)

$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$
 $Kr = \sqrt{\frac{\cos 7,5}{\cos 7,5106}}$
 $Kr = 1,0000$

Tabel 7. Perhitungan refraksi untuk potongan 1 arah barat

a_0	d	H_0	T	L_0	d/L_0	d/L	L	C_0	C	$\sin \alpha$	α	$\cos \alpha_0 / \cos \alpha$	Kr
7.5	25	1.402	4.501	31.598	0.79	0.79008	31.642	7.021	7.031	0.131	7.5106	1.0000	1.0000
7.5106	20	1.400	4.499	31.5819	0.63	0.63046	31.723	7.019	7.030	0.131	7.5443	1.0001	1.0000
7.5443	15	1.393	4.495	31.5132	0.48	0.48225	31.104	7.011	6.920	0.130	7.4459	0.9998	0.9999
7.4459	10	1.383	4.487	31.4092	0.32	0.33025	30.280	7.000	6.748	0.125	7.1768	0.9994	0.9997
7.1768	5	1.324	4.440	30.7485	0.16	0.19164	26.091	6.926	5.877	0.106	6.0851	0.9978	0.9989
6.0851	1	1.198	4.306	28.9308	0.03	0.07135	14.015	6.718	3.255	0.051	2.9437	0.9957	0.9978
2.9437	0.5	1.253	4.370	29.7929	0.02	0.05763	8.676	6.817	1.985	0.015	0.8569	0.9988	0.9994

Sumber : Hasil Perhitungan

Ket : Untuk nilai d/L_0 dan d/L nilai tersebut didapat secara manual melalui (Tabel L-1 Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0) dari buku Triadmodjo B, "Teknik Pantai" hal 373

Perhitungan koefisien shoaling

$Ks = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}}$

Dimana: $n_0 =$ (dilaut dalam) 0.5 ;

$L_0 = 31,598 \text{ m}$

Dari tabel perhitungan shoaling untuk nilai $d/L_0 = 0,79$ diperoleh nilai $n = 0,5005$

$Ks = \sqrt{\frac{0.5 \times 31,598}{0.5005 \times 31,642}}$

$Ks = 0,999$

Setelah perhitungan koefisien refraksi dan shoaling, akan didapat nilai tinggi gelombang yang baru :

$H = H_0 \cdot Kr \cdot Ks$
 $= 1,402 \times 1,0000 \times 0,999$
 $= 1,400$

Tabel 8. Perhitungan *shoaling* untuk potongan 1 arah barat

L	Co	C	sin a	a	cos a/cos a	Kr	no	n	Kr	Ks	H
31.642	7.021	7.031	0.131	7.5106	1.0000	1.0000	0.5	0.5015	1.0000	0.999	1.400
31.723	7.019	7.050	0.131	7.5443	1.0001	1.0000	0.5	0.5029	1.0000	0.995	1.393
31.104	7.011	6.920	0.130	7.4459	0.9998	0.9999	0.5	0.5141	0.9999	0.993	1.383
30.280	7.000	6.748	0.125	7.1768	0.9994	0.9997	0.5	0.5654	0.9997	0.958	1.324
26.091	6.926	5.877	0.106	6.0851	0.9978	0.9989	0.5	0.7185	0.9989	0.906	1.198
14.015	6.718	3.255	0.051	2.9437	0.9957	0.9978	0.5	0.9388	0.9978	1.049	1.253
8.676	6.817	1.985	0.015	0.8569	0.9988	0.9994	0.5	0.9588	0.9994	1.338	1.676

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan gelombang pecah

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara H'_0/gT^2 .

Tentukan nilai H'_0 dan H_b

Diketahui:

$H_0 = 1,402 \text{ m}$

$T_0 = 4,501 \text{ detik}$

$H = 1,4 \text{ m}$

$K_s = 0,999$

$d/L_0 = 0,79$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Maka:

$H'_0 = H_0 / K_s$

$H'_0 = 1,402/0,999$

$H'_0 = 1,404$

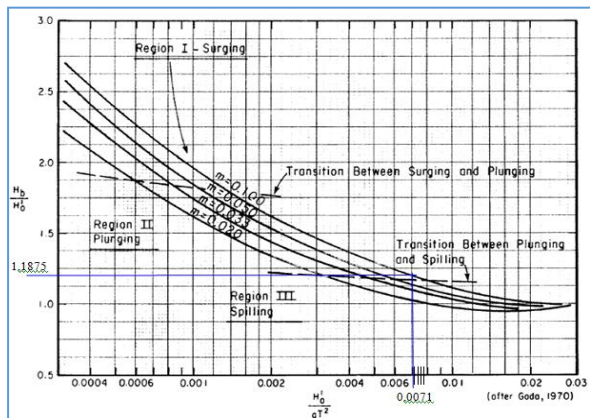
$H'_0/gT^2 = 1,402 / 9,81 \times (4,501)^2$

$H'_0/gT^2 = 0,0071$

Nilai H_b didapat dari hasil masukan nilai H'_0/gT^2 dan nilai kemiringan pantai (m) pada grafik "Penentuan tinggi gelombang pecah, SPM 1984 (2-131)"

Plot nilai H'_0/gT^2 pada grafik untuk :

$H'_0/gT^2 = 0,0071$ dan $m = 0,100$



Gambar 11. Penentuan tinggi gelombang pecah
Sumber: SPM 1984

$H_b/H'_0 = 1,1875$
 $H_b = (H_b/H'_0) \times H'_0$
 $H_b = 1,1875 \times 1,404$
 $H_b = 1,667$

Tabel 9. Perhitungan gelombang pecah untuk potongan 1 arah barat

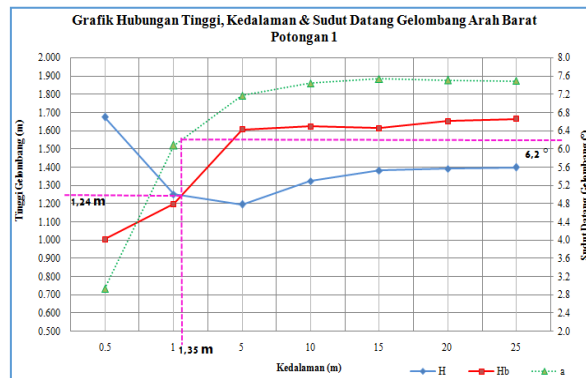
H'o	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
1.404	0.0071	0.11	1.1875	1.667
1.408	0.0071	0.09	1.1750	1.654
1.404	0.0071	0.07	1.1500	1.614
1.444	0.0073	0.05	1.1250	1.624
1.462	0.0076	0.05	1.1000	1.608
1.142	0.0063	0.02	1.0500	1.199
0.936	0.0050	0.02	1.0750	1.007

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

- Untuk nilai H_b/gT^2 didapat secara manual dari plot grafik penentuan tinggi gelombang pecah
- Untuk Nilai m (kemiringan) didapat dari kemiringan pantai di lokasi penelitian

Setelah didapatkan nilai H_b , maka dibuat grafik hubungan antara tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang.



Gambar 12. Grafik hubungan tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang

Sumber : Hasil perhitungan H, Hb, dan α potongan 1 arah barat

Berdasarkan grafik diatas maka diperoleh :
 Tinggi gelombang pecah = 1,24 m
 Kedalaman gelombang pecah = 1,35 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peramalan gelombang

Dari hasil perhitungan diperoleh 8 arah pembentukan gelombang yaitu Barat, Barat Barat Laut, Barat Laut, Utara Barat Laut, Utara, Barat

Barat Daya, Barat Daya, dan Selatan Barat Daya. Dimana gelombang laut yang terjadi di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaan di dominasi oleh gelombang dari arah Barat, dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan Juni tahun 2012 dengan tinggi gelombang 1,402 m dengan periode 4,725 detik

Transformasi gelombang

- Koefisien Refraksi dan Shoaling (Pendangkalan)
Berdasarkan perhitungan menggunakan metode analitis maka diperoleh nilai koefisien refraksi yang terjadi bekisar antara 0,96250 sampai 1,00096 dan koefisien shoaling yang terjadi bekisar antara 0,90561 sampai 1,35533
- Gelombang pecah berdasarkan perhitungan analitis
Tinggi gelombang pecah yang didapatkan 0,993 m sampai 1,667 m pada kedalaman 0,5 m sampai 25 m.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis transformasi gelombang terhadap daerah Teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaan dengan menggunakan data angin 10 tahun (2007-2016) dari BMKG Maritim Bitung maka diperoleh:

- Tinggi Gelombang Pecah Maksimum (Hb) = 1,667 m
- Gelombang pecah pada kedalaman (Db) = 1,35 m
- Pada jarak 65 m dari garis pantai

Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan pergerakan dari sedimen, bangkitan arus dan juga pelepasan energi yang terjadi di teluk Amurang tepatnya pada pantai desa Tumpaan, agar diketahui apakah perlu adanya bangunan pengaman pantai atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- Danial, M, M., 2008. *Rekayasa Pantai*. Alfabeta. Bandung.
- Douglass, S dan Chen, J. 2004. *Overview of Coastal Engineering: Waves*. Coastal Transportation Engineering Research and Education Center, South Alabama University. USA. Hal.17
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Crutcher, H.L., 1956, On The Standard Vector-Deviation Wind Rose, *Jurnal Of Meteorology*, Vol. 14. Hal 28-33, United States.

