

## ANALISIS DEFORMASI GELOMBANG PADA PANTAI MINAHASA BARAT

Sesty E. J. Imbar

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

### ABSTRAK

*Gelombang laut menjadi salah faktor utama yang memicu terjadinya kerusakan pantai. Pantai Minahasa Barat merupakan kawasan wisata pantai yang cukup diminati dengan area bermain pasir yang cukup luas, namun berdasarkan pengamatan, pantai telah mengalami kerusakan diantaranya terjadi abrasi dan erosi. Jika dibiarkan abrasi akan menggerogoti area bermain pasir bahkan pemukiman warga.*

*Deformasi gelombang adalah perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi, periode, arah dan sebagainya. Deformasi gelombang yang sering dialami adalah gelombang pecah, difraksi, refraksi dan reflesi gelombang. Berdasarkan hasil analisis diperoleh koefisien refraksi berkisar antara 0.934 - 1.003, koefisien shoaling antara 0.905-1.335, tinggi gelombang pecah Maksimum ( $H_b$ ) : 1,58m, gelombang pecah pada kedalaman ( $Db$ ): 1,01 m dengan jarak 12,4m dari garis pantai*

***Kata Kunci:*** Deformasi gelombang, gelombang pecah, refraksi, shoaling, pantai Minahasa Barat

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Abrasi sering menimbulkan kekhawatiran khususnya bagi masyarakat sekitar pantai karena bisa mendatangkan dampak kerusakan yang besar. Jika dibiarkan, abrasi akan menggerogoti bagian pantai sehingga air laut akan menggenangi daerah-daerah yang dulunya menjadi tempat bermain pasir ataupun pemukiman penduduk di pinggir pantai. Salah satu penyebab abrasi adalah karena tiupan angin yang menciptakan gelombang serta arus-arus kecil.

Pantai minahasa barat adalah salah pantai dengan pemukiman disekitar pantai, juga merupakan kawasan pantai yang sering dimanfaatkan sebagai tempat rekreasi pantai oleh masyarakat Sulawesi utara. Berdasarkan hasil pengamatan dan informasi warga, terlihat kerusakan pada pantai Minahasa Barat. Untuk efektifitas pencegahan dan penanganan kerusakan pantai maka diperlukan pengetahuan tentang karakteristik pantai di daerah tersebut, diantaranya diperlukan studi analisis gelombang dan hal-hal lainnya menyangkut kegiatan masyarakat yang dapat memicu terjadinya kerusakan pantai.

#### Rumusan Masalah

Gelombang laut adalah salah satu faktor utama penyebab kerusakan pantai Minahasa Barat. Studi tentang deformasi gelombang pantai

sangat diperlukan untuk perlindungan daerah pantai.

#### Batasan Masalah

1. Analisis hanya dilakukan di pantai Minahasa Barat Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara.
2. Deformasi gelombang yang ditinjau adalah refraksi gelombang, shoaling dan gelombang pecah.
3. Gelombang yang dihitung adalah gelombang yang diakibatkan oleh angin.

#### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis deformasi gelombang pantai Buloh desa Tateli.

#### Manfaat Penelitian

Sebagai masukan dalam mengembangkan penelitian tentang kerusakan pantai. Memberikan informasi mengenai deformasi gelombang serta sifat-sifat gelombang pecah yang terjadi dilokasi penelitian. Sebagai bahan rujukan dan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan bagi pemerintah daerah dalam pengelolaan wilayah pesisir.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi, periode, panjang, arah dan sebagainya akibat pengaruh

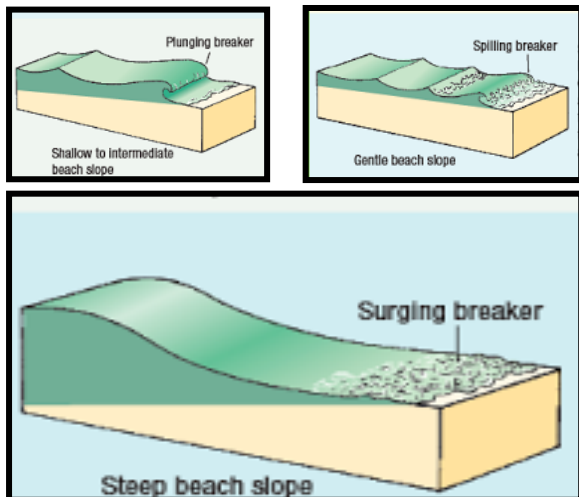
perubahan kedalaman dasar laut, kemiringan dasar laut yang tidak sejajar dengan arahnya datang gelombang, dan lain-lain. Deformasi gelombang yang sering dihadapi adalah gelombang pecah, shoaling, difraksi, refraksi dan refleksi gelombang.

**Gelombang Pecah**

Gelombang pecah adalah bentuk deformasi gelombang yang paling ekstrim. Pada saat suatu gelombang pecah, energi gelombang akan sekaligus terlepas. Energi gelombang akan membangkitkan arus dan mempengaruhi pergerakan sedimen dalam arah tegak lurus pantai (cross-shore) dan sejajar pantai (longshore).

**Gelombang angin**

Gelombang angin adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin (*wind generated wave*). Gambaran umumnya yaitu angin berhembus sejauh jarak seret angin (*fetch*) dengan kecepatan yang semakin besar dan durasi tertentu. Setelah itu terjadi proses pemindahan energi angin menjadi energi gelombang dipermukaan air (laut), tapi karena air tidak dapat menyerap energi tersebut maka wujudnya diubah dalam bentuk olakan atau riak-riak air<sup>2</sup>. Riak tersebutlah yang akhirnya dapat berubah menjadi gelombang yang lebih besar.



Gambar 1. Tipe Gelombang Pecah

Sumber: <http://robcrossinggeoblog.blogspot.com/>

**Fetch**

Fetch adalah jarak perjalanan tempuh gelombang yang dari awal pembangkitannya. Biasanya dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut, semakin panjang jarak *fetch*nya, ketinggian gelombang akan semakin

besar. Bila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang dibagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat, sebagai akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang dipermukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah. Panjang *Fetch* dihitung untuk 8 arah mata angin dan ditentukan berdasarkan rumus berikut.

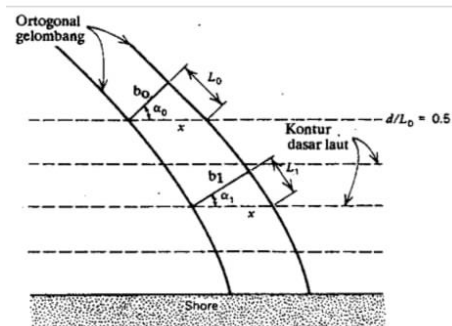
$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

**Shoaling**

*Shoaling* adalah istilah yang menggambarkan gelombang yang bergerak dari laut dalam memasuki laut dangkal dan mulai mengalami gesekan dari dasar laut, akibatnya kecepatan gelombang berkurang dan panjang gelombangpun memendek. Karena gelombang belum pecah maka tinggi gelombang H semakin besar, sampai akhirnya pecah.

**Refraksi gelombang**

Refraksi gelombang adalah peristiwa berbeloknya arah gelombang akibat datangnya gelombang yang tidak tegak lurus pantai. Gambar 2 menggambarkan peristiwa shoaling dan refraksi sekaligus. Akibat arah datangnya gelombang tidak tegak lurus kontur dasar laut maka orthogonal gelombang berbelok untuk mencapai keadaan keseimbangan terhadap gaya-gaya pergeseran dari dasar laut, terjadilah peristiwa refraksi gelombang dengan koefisien refraksi  $K_r$ . Sementara itu peristiwa shoaling juga terjadi karena laut semakin dangkal yang ditunjukkan oleh panjang gelombang  $L_1 < L_0$ .



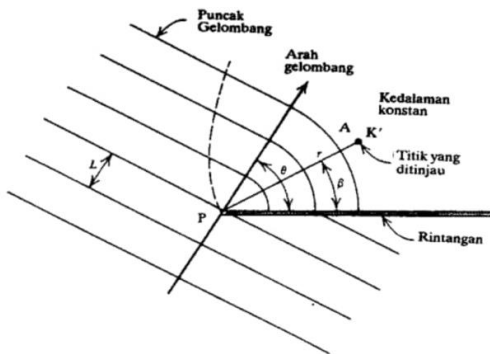
Gambar 2. Diagram untuk menjelaskan deformasi gelombang dari laut dalam yang mengalami refraksi dan shoaling sekaligus.

Sumber: CEM, 2011

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha o}{\cos \alpha}} \quad K_s = \sqrt{\frac{n_o \times C_o}{n1 \times C1}}$$

**Difraksi Gelombang**

Difraksi Gelombang adalah peristiwa dimana gelombang yang datang terhalang oleh rintangan seperti pemecah ombak atau pulau sehingga gelombang tersebut berbelok mengelilingi ujung rintangan lalu masuk ke daerah terlindung dibelakang rintangan seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Difraksi gelombang di titik P ujung rintangan ke titik A yang ditinjau  
 Sumber: Triatmodjo, 2010

Tinggi gelombang hasil difraksi di titik A yang ingin ditinjau diberikan oleh persamaan :

$$H_A = K'H_P$$

Nilai-nilai K' telah dihitung dan dimuat pada buku teknik pantai

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perhitungan Fetch Efektif**

Dari hasil penggambaran, hanya arah utara, barat laut, barat, dan barat daya yang memiliki panjang fetch. Karena keempat arah mata angin yang lain tidak memiliki jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitnya, karena sudah dibatasi daratan yang mengelilingi titik penelitian.

Untuk perhitungan dilakukan dengan bantuan program Google Earth dan Autocad: Menggunakan peta daerah perairan pantai Buloh Tateli Weru dari Google Earth dan ditentukan arah angin sebagai titik pusat tinjauan. Garis arah angin utama ditentukan sebagai *central radial*. Dalam perhitungan ini dibuat sudut dari garis *central radial* ke arah kiri dan kanan garis *fetch* dengan interval 5° sampai 20°.

Dengan mengetahui panjang *fetch* didapat Feff

Tabel 1. Perhitungan Panjang Fetch Untuk Delapan Arah Mata Angin

Arah	Sudut (α)	F (cm)	F (km)	Cos (α)	Fcos (α)	Feff (km)
Utara	-20	0	0.00	0.940	0	2.362
	-25	0	0.00	0.966	0	
	-10	0.1829	0.00	0.985	0	
	-5	0.1852	0.00	0.996	0	
	0	0.187	0.00	1.000	0	
	5	3.3868	0.00	0.996	0	
	10	4.563	0.00	0.985	0	
	15	4.4536	0.00	0.966	0	
	20	4.6624	22.05	0.940	20.73	
Timur Laut	-20	0	0	0.940	0	0
	-25	0	0	0.966	0	
	-10	0	0	0.985	0	
	-5	0	0	0.996	0	
	0	0	0	1.000	0	
	5	0	0	0.996	0	
	10	0	0	0.985	0	
	15	0	0	0.966	0	
	20	0	0	0.940	0	
Timur	-20	0	0	0.940	0	0
	-25	0	0	0.966	0	
	-10	0	0	0.985	0	
	-5	0	0	0.996	0	
	0	0	0	1.000	0	
	5	0	0	0.996	0	
	10	0	0	0.985	0	
	15	0	0	0.966	0	
	20	0	0	0.940	0	
Tenggara	-20	0	0	0.940	0	0
	-25	0	0	0.966	0	
	-10	0	0	0.985	0	
	-5	0	0	0.996	0	
	0	0	0	1.000	0	
	5	0	0	0.996	0	
	10	0	0	0.985	0	
	15	0	0	0.966	0	
	20	0	0	0.940	0	
Selatan	-20	0	0	0.940	0	294.437
	-25	0	0	0.966	0	
	-10	0	0	0.985	0	
	-5	0	0	0.996	0	
	0	0	0	1.000	0	
	5	0	0	0.996	0	
	10	0	0	0.985	0	
	15	0	0	0.966	0	
	20	0	0	0.940	0	
Barat Daya	-20	0.037	5.96032	0.940	5.60270	6,2311
	-25	0.036	5.86496	0.966	5.66555	
	-10	0.036	5.8172	0.985	5.73002	
	-5	0.036	5.80138	0.996	5.77818	
	0	0.036	5.84906	1.000	5.84906	
	5	0.037	5.92854	0.996	5.90482	
	10	0.039	6.2146	0.985	6.12141	
	15	0.044	7.1364	0.966	6.89385	
	20	0.047	7.5537	0.940	7.12664	
Barat	-20	0.05	9.3457	0.940	8.785047	518,150
	-25	0.07	12.222	0.966	11,80708	
	-10	1.70	271.53	0.985	267,4636	
	-5	2.41	383.35	0.996	381,819	
	0	4.46	710.18	1.000	710,185	
	5	4.95	787.22	0.996	784,0753	
	10	5.00	796.22	0.985	784,2771	
	15	5.23	832.84	0.966	804,524	
	20	5.30	843.95	0.940	793,3136	
Barat Laut	-20	5.01	796.76	0.940	748,9551	694,14015
	-25	5.08	808.71	0.966	781,217	
	-10	4.76	757.16	0.985	745,8108	
	-5	4.14	658.16	0.996	655,5306	
	0	4.04	643.54	1.000	643,5406	
	5	4.19	667.23	0.996	664,5699	
	10	3.95	629.17	0.985	619,7346	
	15	4.04	642.44	0.966	620,6008	
	20	4.08	649.38	0.940	610,4263	

Data angin yang dianalisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum harian dalam selang waktu 10 tahun terakhir. Data angin diperoleh dari Stasiun Geofisika Manado di Tondano dari BMG Winangun. Arah angin diklasifikasikan dalam delapan arah mata angin. Kecepatan angin diukur dengan anemometer dan dinyatakan dalam knot. Data angin diperlukan untuk perkiraan tinggi dan periode gelombang. Data angin tersebut harus dikoreksi terhadap

elevasi, stabilitas, dan efek lokasi untuk mendapatkan faktor tegangan angin ( $U_A$ ). Data angin yang digunakan adalah data angin maksimum harian yang setelah diolah pada akhirnya akan didapat tinggi gelombang maksimum.

**Koreksi terhadap Elevasi**

Data angin diambil dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Winangun yang diukur +18m dari muka air laut.

$$U_{10} = U_z \left( \frac{10}{Z} \right)^{1/7}, \quad \text{dimana}$$

$$U_z = 4,2 \text{ m/det}; Z = 18 \text{ m}$$

$$\text{Sehingga: } U_{10} = 4,2 \left( \frac{10}{18} \right)^{1/7} = 3,91 \text{ m/det}$$

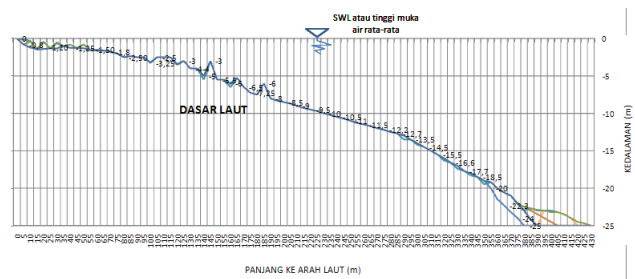
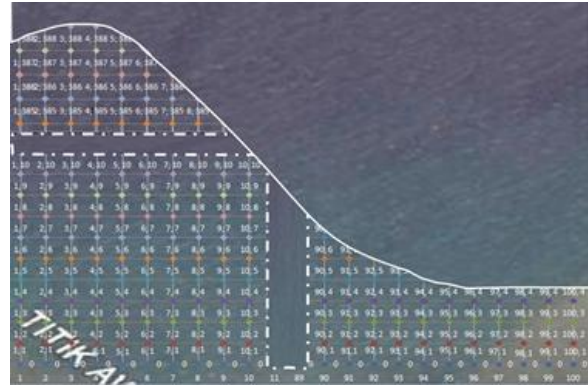
Karena tidak ada data perbedaan rata-rata suhu udara dan air laut, maka diambil  $R_T = 1,1$ , sedangkan nilai  $R_L$  bervariasi sesuai dengan kecepatan angin

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum berasal dari arah barat. Hal ini disebabkan gelombang dari arah barat mempunyai daerah pembangkitan gelombang yang lebih besar. Peramalan gelombang dari data angin maksimum harian akan menghasilkan tinggi dan periode gelombang ekstrim yang maksimum pula. Gelombang maksimum ini akan digunakan dalam perencanaan bangunan pantai, baik untuk menentukan gelombang dengan periode ulang maupun dalam desain dimensi bangunan pengaman pantai yang akan direncanakan. Akan tetapi gelombang-gelombang ekstrim ini tidak terjadi setiap hari sehingga tidak dapat dianggap sebagai pola yang mewakili gelombang pantai.

**Perhitungan Koefisien Refraksi**



Gambar 4. Penentuan Titik Pengukuran Kedalaman.(Google Earth)



Gambar 5. Potongan memanjang dan potongan melintang pada lokasi penelitian di Pantai Buloh Sumber: Google Earth dan perhitungan

Untuk menghitung koefisien refraksi ditentukan sudut datang gelombang ( $\alpha$ ) = 45°

Kedalaman diambil mulai dari -25 m sampai -0.1 m, dengan metode pengukuran dilapangan titik 0.0 atau dasar pengukuran dengan mengambil SWL atau elevasi saat tinggi muka air tenang di pesisir atau kondisi normal dengan pengamatan langsung. karena tidak ada BM (Bench Mark) atau patok acuan dalam pengukuran.

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.

- Tentukan nilai koefisien Refraksi ( $K_r$ )

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos 45}{\cos 45.3444}}$$

$$K_r = 1,0030$$

Tabel 2. Perhitungan Refraksi Untuk Arah Barat

$a_n$	d	$H_0$	T	$L_0$	d/ $L_0$	d/L
45	25	1,3344	4,7698	35,4911	0,70	0,70021
45,341	20	1,3327	4,7676	35,4594	0,56	0,56097
45,66	15	1,3248	4,7578	35,3129	0,42	0,42409
45,758	10	1,2920	4,7154	34,6860	0,29	0,30315
42,945	5	1,1963	4,5777	32,6910	0,15	0,18330
34,646	1	1,0206	4,2715	28,4630	0,04	0,08329
13,875	0,5	1,0669	4,3589	29,6405	0,02	0,05763

Ket : untuk label berwarna biru, nilai tersebut didapat secara manual menggunakan abel pembacaan d/L dari buku Triatmodjo B, "Teknik Pantai" (dapat dilihat pada ampiran)

L	$C_0$	C	$\sin a$	a	$\cos 80 / \cos a$	Kr
35,7036	7,4408	7,4854	0,7113	45,3407	1,0060	1,0030
35,6525	7,4375	7,4780	0,7152	45,6595	1,0057	1,0028
35,3699	7,4221	7,4341	0,7164	45,7580	1,0018	1,0009
32,9870	7,3560	6,9956	0,6811	42,9453	0,9531	0,9763
27,2777	7,1413	5,9588	0,5685	34,6456	0,8898	0,9433
12,0062	6,6635	2,8108	0,2398	13,8747	0,8474	0,9205
8,6760	6,7999	1,9904	0,0702	4,0254	0,9732	0,9865

**Perhitungan Koefisien Shoaling**

Koefisien pendangkalan :

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

Dimana:  $n_0$  = (dilaut dalam) 0,5  
 $L_0$  = 35,4911 m

Dari tabel perhitungan shoaling untuk nilai d/ $L_0$  = 0,7, diperoleh nilai n = 0,5013

$$K_s = \sqrt{\frac{0,5 \times 35,4911}{0,5013 \times 35,7036}}$$

$$K_s = 0,9957$$

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

$$H = H_0 \cdot Kr \cdot K_s = 1,3344 \times 1,0030 \times 0,9957 = 1,33$$

Selanjutnya dapat dilihat dalam table berikut ::

Tabel 3. Perhitungan Shoaling Untuk Arah Barat

$L_0$	d/ $L_0$	d/L	L	Kr	$K_s$	H
35,4911	0.70	0.70021	35,7036	1.0030	0.9957	1.3327
35,4594	0.56	0.56097	35,6525	1.0028	0.9913	1.3248
35,3129	0.42	0.42409	35,3699	1.0009	0.9744	1.2920
34,6860	0.29	0.30315	32,9870	0.9763	0.9484	1.1963
32,6910	0.15	0.18330	27,2777	0.9433	0.9045	1.0206
28,4630	0.04	0.08329	12,0062	0.9205	1.1356	1.0669
29,6405	0.02	0.05763	8,6760	0.9865	1.3348	1.4048

**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  $H_b$

$$H_0 = 1,3344 \text{ m} ; T_0 = 4,7698 \text{ detik}$$

$$H = 1,3326 \text{ m} ; K_s = 0,9957 ; d/L_0 = 0,7$$

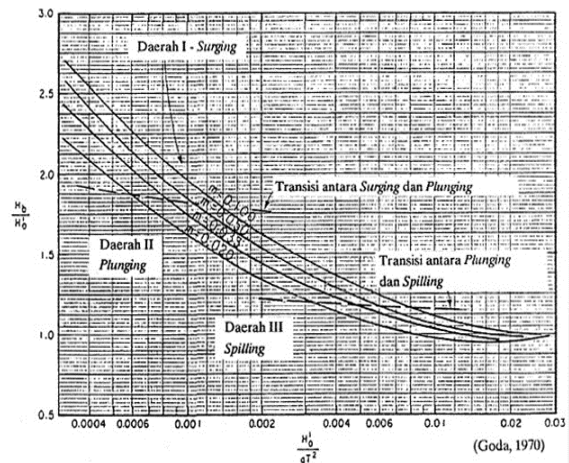
$$\begin{aligned} \text{Maka, } H_0 &= H_0/K_s \\ &= 1,3344/0,9957 \\ &= 1,34 \end{aligned}$$

$$H_0/gT^2 = 1,3401/9,81 \times 4,7698^2 = 0,0060$$

Nilai  $H_b$  didapat dari hasil plot antara nilai  $H_0/gT^2$  dan kemiringan pantai (m) pada grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah buku Teknik Pantai, Triatmodjo, 1999.

Plot pada grafik untuk :

$$H_0/gT^2 = 0,0060 \text{ dan } m = 0,0641$$



Gambar 7. Penentuan Tinggi Gelombang Pecah Sumber: Triatmodjo, 1999

$$H_b/H_0 = 1,175$$

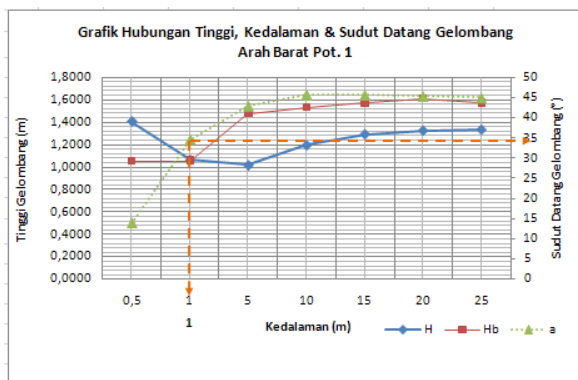
$$H_b = (H_b/H_0) \times H_0 = 1,575$$

Selanjutnya dapat dilihat di tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan 1 Arah

$H_0$	$H_0/gT^2$	M	$H_b/H_0$	$H_b$
1,3401	0,0060	0,0641	1,18	1,5747
1,3444	0,0060	0,0536	1,20	1,6133
1,3596	0,0061	0,0449	1,16	1,5772
1,3622	0,0062	0,0364	1,13	1,5393
1,3226	0,0064	0,0338	1,12	1,4813
0,8988	0,0050	0,0286	1,18	1,0605
0,7993	0,0043	0,0556	1,32	0,9991

Hubungan tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang disajikan pada gambar berikut:



Gambar 8. Grafik Hubungan Tinggi, Kedalaman & Sudut Datang Gelombang Arah Barat Pot 1

Berdasarkan grafik hubungan tinggi, kedalaman, dan sudut datang gelombang di potongan 1, diperoleh: Gelombang pecah pada kedalaman = 1.081 m

Gelombang di perairan Buloh Tateli Weru didominasi oleh gelombang arah Barat dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan Desember dengan tinggi 1,35 m dan periode 4,8 det.

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode analitis maka diperoleh nilai koefisien

refraksi yang terjadi berkisar antara 0,934 sampai 1,003 dan koefisien shoaling yang terjadi berkisar pada 0,905 sampai 1,335. Tinggi gelombang yang didapatkan dari hasil perhitungan berkisar pada 0,91 sampai 1,58 m pada kedalaman 0,5 m sampai 25 m.

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis deformasi gelombang terhadap pantai Buloh Tateli Weru dengan menggunakan data angin 10 tahun (masa lalu) diperoleh deformasi gelombang yang terjadi

1. Tinggi Gelombang Pecah Maksimum (Hb): 1,58m
2. Gelombang Pecah pada Kedalaman (Db): 1,01 m
3. Koefisien refraksi yang terjadi berkisar antara 0,934 sampai 1,003 dan koefisien shoaling yang terjadi berkisar pada 0,905 sampai 1,335.
4. Gelombang yang terjadi di pantai Buloh Tateli Weru dapat bersifat merusak pantai tersebut dengan mengakibatkan erosi atau abrasi yang disebabkan oleh akibat dari gelombang pecah yang berjarak 12,4 m dari garis pantai.

### DAFTAR PUSTAKA

- CEM. 2011. *Coastal Engineering Manual*. Washington D.C. : Coastal Hydraulic Laboratory, US Army Corps of Engineers
- 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.
- <http://jun13-oseanografidanilmukelautan.blogspot.com/2011/01/gelombang-laut.html>.
- <http://heavy-stuff.com/Arah-angin-yang-dapat-membangkitkan-gelombang.html>.
- <http://robroslinggeoblog.blogspot.com/Tipe Gelombang-Pecah.html>
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.