



KAJIAN KARAKTERISTIK GELOMBANG PECAH DI PANTAI TEMPAT PELELANGAN IKAN (TPI) PULAU BUNYU, KABUPATEN BULUNGAN

Detya Nurfajar Rini¹, Edy Utomo², & M. Hermansyah³

1,2) Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

Jl. Amal Lama No. 1 Kota Tarakan, Kalimantan Utara

Email : ¹Detydety07@gmail.com ²edyutomo99@gmail.com

3) Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Kota Tarakan

Jl. Kamboja RT.43 Karang Anyar, Kota Tarakan, Kalimantan Utara

Email : Muhhammad.hermansyah@bmgk.go.id

ABSTRAK: Pulau Bunyu adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Pantai TPI (Tempat Pelelangan Ikan) salah satu pantai di Pulau Bunyu yang terletak di Desa Bunyu Selatan. Pantai TPI merupakan kawasan yang sering di datangi oleh penduduk untuk melakukan rekreasi. Menurut warga banyak pasir-pasir yang tergerus air laut. Maka perlu adanya informasi tentang karakteristik gelombang pada daerah tersebut yang dapat merusak pantai, salah satunya adalah dengan kajian karakteristik gelombang pecah. Peramalan gelombang di lakukan dengan perhitungan menggunakan metode hindcasting gelombang berdasarkan data angin kurun waktu 10 tahun dari stasiun BMKG Tarakan untuk mendapatkan periode dan tinggi gelombang. Dari hasil perhitungan gelombang di Pantai TPI Pulau Bunyu di dominasi oleh gelombang arah Timur dengan kecepatan angin maksimum terjadi pada bulan Maret 2020 dengan $H = 2,765$ m dan $T = 6,880$ det, $Kr = 0,9404 - 1,0023$ dan $Ks = 0,913 - 1,244$, $Hb = 2,2$ m, $db = 0,4$ dan Sudut = $17,2^\circ$. Pada gelombang angin dominan dengan $H = 0,700$ m dan $T = 4,197$ det, $Kr = 0,8244-1,0545$ dan $Ks = 0,914-1,270$, $Hb = 0,7$ meter, $db = 0,2$ m dan Sudut = 28° . Pada Gelombang Rata-Rata dengan $H = 0,720$ m dan $T = 4,391$ det, $Kr = 0,9190-0,9998$ dan $Ks = 0,914-1,270$, $Hb = 0,74$ meter, $db = 0,2$ m dan Sudut = 19° . Pada kondisi angin maksimum gelombang ini termasuk gelombang yang merusak pantai karena tinggi gelombang lebih dari 1.00 meter, sedangkan pada kondisi besaran angin yang sering terjadi dan rata-rata, gelombang tidak merusak pantai.

Kata Kunci : Gelombang Pecah, hindcasting, karateristik gelombang, Pantai TPI Pulau Bunyu

ABSTRACT: *Pulau Bunyu is a district in Bulungan Regency, North Kalimantan Province. TPI (Fish Auction Place) Beach is one of beaches found in Pulau Bunyu. TPI beach is an area frequently visited by many people for recreation. However, people said that a lot of sand has been eroded by the sea water. Thus, it is necessary to have information related to the characteristics of waves by studying the characteristics of breaking waves. Wave forecast was made by the calculation using a deep wave hindcasting method based on the wind data within a period of 10 years from the BMKG Tarakan station to obtain the period and wave height. From the calculation results, the waves at TPI Beach in Pulau Bunyu district were dominated by the eastward waves with the maximum wind speed occurring in March 2020 with $H = 2.765$ m and $T = 6.880$ s, $Kr = 0.9404 - 1.0023$ and $Ks = 0.913 - 1.244$, $Hb = 2.2$ m, $db = 0.4$, and Angle = 17.2° . The dominant wind wave had $H = 0.700$ m and $T = 4.197$ s, $Kr = 0.8244-1.0545$, and $Ks = 0.914-1.270$, $Hb = 0.7$ meter, $db = 0.2$ m, and Angle = 28° . The Average wave had $H = 0.720$ m and $T = 4.391$ s, $Kr = 0.919-0.9998$ and $Ks = 0.914-1.27$, $Hb = 0.74$ meter, $db = 0.2$ m, and Angle = 19° . These were waves damaging the beach because the wave height was more than 1.00 meter. This event only occurred at the maximum wind conditions. Meanwhile, the frequent and average winds, the waves were constructive or not damaging the beach because the wave height was than 1.00 meter.*

Keywords: *Breaking waves, hindcasting, Pulau Bunyu TPI Beach, wave characteristics.*

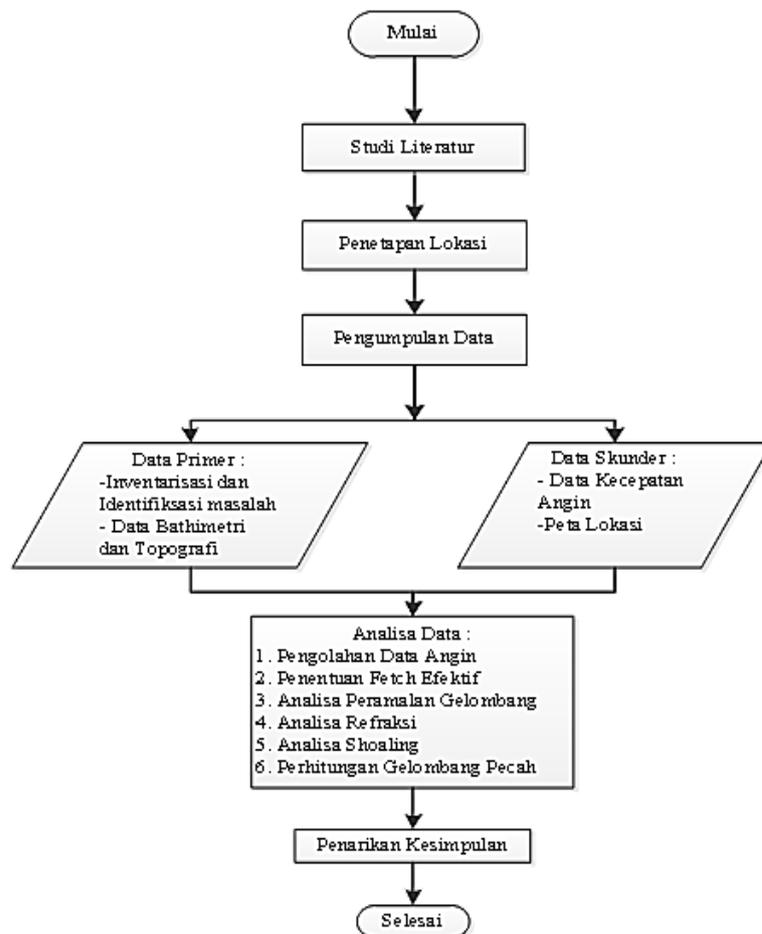
1. PENDAHULUAN

Pantai merupakan daerah pertemuan antara laut, darat dan udara di mana terjadi hubungan dinamis antara air, angin, dan material penyusun didalamnya, di mana perubahan tersebut dapat menjadi penyebab kerusakan pada daerah pesisir pantai. Kerusakan Pantai dapat diakibatkan oleh gerakan angin, arus sehingga terjadi bangkitan gelombang dan dapat menyebabkan terjadi perubahan garis pantai.

Pulau Bunyu adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara, Indonesia. Secara umum wilayah Bunyu terdiri dari daerah datar dan sebagiannya dataran tinggi dengan tingkat kemiringan sedang. Terdapat beberapa pantai di Pulau Bunyu salah satunya pantai TPI. Pantai TPI (Tempat Pelelangan Ikan) terletak di Desa Bunyu Selatan Kecamatan Bunyu. Pantai TPI merupakan kawasan yang sering di datangi oleh penduduk untuk melakukan rekreasi, tempat dan bersandarnya perahu-perahu nelayan. Jadi cukup banyak aktivitas yang di lakukan di pantai TPI.

2. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian pengujian ini di lakukan beberapa tahapan yang akan dilakukan, pada gambar 1 adalah tahapan-tahapan pengujian yang akan di lakukan.



Gambar 1. Flowcart Penelitian

2.1 Tahap Dalam Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

2.1.1. Lokasi Penelitian

Objek penelitian yang penulis tentukan kali ini di pesisir pantai yang tergerus oleh gelombang di Pantai TPI, Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan Kalimantan Utara. Dapat dilihat pada Gambar 2



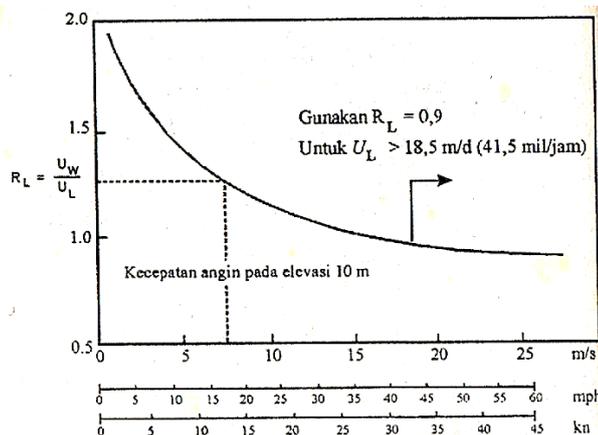
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian (Sumber : Google Earth)

2.1.2. Pengambilan Data Angin

Pada langkah ini pengambilan data angin diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) 10 tahun terakhir dengan mengakses Website <http://dataonline.bmkg.go.id/home>.

2.1.3. Pengolahan Data Angin

Dalam perhitungan ini digunakan kecepatan angin maksimum, rata – rata da kecepatan angin yang sering terjadi. Pengukuran angin dilakukan di daratan. 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 angin didaratan terdekat diberikan oleh $R_L = U_w/U_L$.



Gambar 3. Hubungan Antara Kecepatan Angin di Laut dan Didarat (Sumber: Triatmodjo,1999)

Data angin diperlukan untuk memperkirakan nilai periode dan tinggi gelombang. Untuk mendapatkan nilai faktor tegangan angin (U_A). Data angin yang digunakan pada penelitian adalah data angin maksimum yang telah direkapitulasi untuk mendapatkan tinggi gelombang maksimum. Adapun rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai faktor tegangan angin yaitu:

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

2.1.4. Pengambilan Data Bhatimetri dan Topografi

Data Topografi dan Bhatimetri diperoleh dari survei langsung kelokasi penelitian, pengukuran dilakukan dengan pendekatan metode persatuan koordinat N,E,Z dengan menggunakan alat *total station*

2.1.5. Pengolahan Kontur Gambar

Pada langkah ini pengolahan data untuk mendapatkan gambar kontur pada lokasi penelitian menggunakan bantuan *software Autocad Land Desktop*.

2.1.6. Perhitungan Fetch Efektif

Pada langkah ini dilakukan penentuan arah angin sebagai titik pusat tinjauan dengan menggunakan peta daerah Pantai TPI Pulau Bunyu, setelah itu garis utama arah angin 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° . Ukur *fetch* sampai menyentuh daratan atau batas akhir peta, kemudian kalikan dengan skala.

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

$$F_{eef} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2)$$

2.1.7. Peramalan Tinggi dan Periode gelombang

Pada langkah ini dilakukan menggunakan grafik *hindcasting* gelombang untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang dan periode gelombang.

2.1.8. Perhitungan Koefisien Refraksi

Pada langkah ini dilakukan perhitungan *koefisien refraksi* dengan menentukan sudut datang gelombang, kedalaman, tinggi dan periode gelombang rencana (yang paling maksimum dari arah tinjauan). Untuk mendapatkan nilai panjang gelombang laut, nilai d/L_0 , cepat rambat gelombang, dan nilai *koefisien refraksi* dengan menggunakan rumus

1. Hitung panjang gelombang laut dalam dengan rumus :

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (3)$$

Hitung nilai α

$$\frac{d}{L_0} \quad (4)$$

Cari nilai d/L dari nilai d/L_0 (Tabel L-1 Bambang Triatmodjo 'Teknik Pantai')

2. Cepat Rambat Gelombang

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd \quad (5)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (6)$$

Dimana $k = 2\pi/L$

Apabila kedalaman relatif $d/L \geq 0,5$; nilai $\tanh (2\pi d/L) = 1,0$ sehingga persamaan 5 dan 6 menjadi :

(Untuk $g = 9,81 \text{ m/d}^2$)

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56 T \quad (7)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56 T^2 \quad (8)$$

Apabila kedalaman relatif $d/L < 1/20$, nilai $\tanh (2\pi d/L) = (2\pi d/L)$ sehingga persamaan 7 dan 8 menjadi :

$$C = \sqrt{gd} \quad (9)$$

$$L = \sqrt{gd} T \quad (10)$$

Untuk gelombang di laut transisi, yaitu apabila $1/20 < d/L < 1/2$ cepat rambat dan panjang gelombang dihitung dengan persamaan 5 dan 6.

$$\sin \alpha = \frac{c}{c_0} \sin \alpha_0 \quad (11)$$

3. Hitung Nilai Koefisien Refraksi (Kr)

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (12)$$

2.1.9. Perhitungan Koefisien Shoaling

$$Ks = \sqrt{\frac{N_0 L_0}{nL}} \quad (13)$$

Nilai Ks bisa di dapatkan dengan Tabel A-1. Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0 .

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

$$H = H_0 \cdot Kr \cdot Ks \quad (14)$$

2.1.10. Perhitungan Gelombang Pecah

Pada langkah ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara H'_0/gT^2 dan H_b/H'_0 dan hubungan H'_0/gT^2 dan db/H_b dengan data data yang telah dihitung sebelumnya.

$$H'_0 = \frac{H_0}{Ks} \quad (15)$$

$$H'_0/gT^2 \quad (16)$$

Nilai H_b didapatkan dari hasil plot antara nilai H'_0/gT^2 dan kemiringan pantai (m) pada Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah.

Nilai db untuk kedalaman gelombang didapatkan dari hasil plot antara nilai H^2/gT^2 dan kemiringan pantai (m) pada Grafik Penentuan kedalaman gelombang pecah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Topografi dan Bhatimetri

Data topografi dan bhatimetri di ambil pada hari Rabu 28 April 2021 pukul 12.20 Wita di Pantai TPI Pulau Bunyu. Dengan melakukan pengukuran menggunakan Total Station. Data ini bertujuan untuk mendapatkan kemiringan perairan Pantai TPI Pulau Bunyu. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan di lokasi penelitian maka didapatkan kemiringan dasar laut adalah 1 : 20 atau 0,05.

Analisa Data Angin

Data angin yang di analisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum harian dalam selang waktu 10 tahun terakhir, yakni tahun 2011-2020. Data angin di peroleh dari Website BMKG (<http://dataonline.bmkg.go.id/home>) atas arahan BMKG Juwata Tarakan.

Data angin di rekap untuk arah angin darat maksimum, rata rata, dan angin yang sering dominan terjadi pada Tabel 1.

Tabel 1. Kecepatan dan Arah Angin Darat (UL) Maksimum, Rata-Rata dan Sering Terjadi tahun 2011-2020

No	Bulan	Arah Angin											
		T			TG			S			BD		
		max	rerata	dominan	max	rerata	dominan	max	rerata	dominan	max	rerata	dominan
1	Januari	7	3,8	3	6	3,6	4	9	4,3	4	5	3,5	3
2	Februari	8	3,6	3	4	3,7	4	8	4,5	4	5	3,5	3
3	Maret	17	4,2	4	5	3,8	3	8	3,6	3	9	3,6	3
4	April	7	3,6	3	6	3,9	4	5	3,4	3	6	3,4	3
5	Mei	5	3,4	3	9	3,9	3	8	3,6	3	9	3,6	3
6	Juni	6	3,6	4	5	3,4	3	8	3,7	3	7	3,9	3
7	Juli	5	3,5	3	5	3,3	3	12	3,9	3	9	4,0	3
8	Agustus	5	3,4	3	6	3,5	3	6	3,9	4	10	4,0	3
9	September	6	3,7	3	7	4,0	4	14	3,8	3	10	4,1	3
10	Oktober	15	3,9	3	7	3,0	3	6	3,6	4	6	3,4	3
11	November	5	3,3	3	4	2,9	4	9	3,3	3	6	3,0	3
12	Desember	4	3,4	3	5	3,4	3	6	3,8	4	8	3,9	3
Kec Dominan Terjadi (m/s)		17	3,6	3	9	3,5	3	14	3,8	3	10	3,7	3

Lanjutan Tabel 1. Kecepatan dan Arah Angin Darat (UL) Maksimum, Rata-Rata dan Sering Terjadi tahun 2011-2020

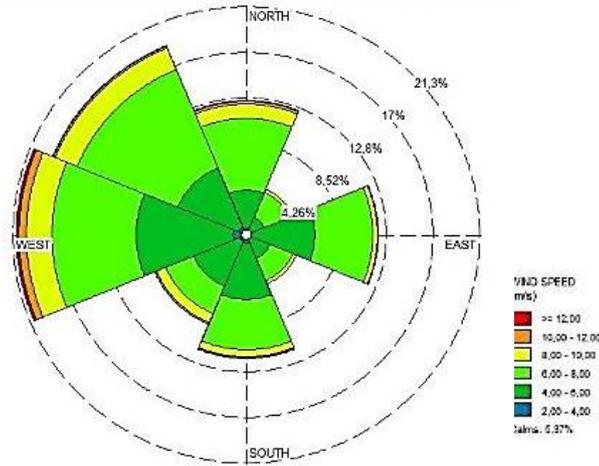
No	Bulan	Arah Angin											
		B			BL			U			TL		
		max	rerata	dominan	max	rerata	dominan	max	rerata	dominan	max	rerata	dominan
1	Januari	8	3,8	3	11	4,2	3	6	2,6	0	7	4,3	4
2	Februari	10	4,1	3	9	4,1	4	7	3,4	4	9	4,4	4
3	Maret	5	3,6	3	9	4,0	4	7	3,9	4	5	3,9	4
4	April	10	4,0	3	9	4,0	3	5	3,1	3	6	3,9	4
5	Mei	10	3,9	3	8	4,0	4	10	3,9	3	5	3,2	3
6	Juni	9	4,5	3	18	4,9	3	10	4,0	4	6	3,4	3
7	Juli	12	4,5	3	10	4,6	4	6	3,2	3	5	3,2	3
8	Agustus	13	4,8	3	9	5,1	4	10	5,0	4	7	4,3	3
9	September	15	4,9	3	11	4,7	3	10	2,5	0	5	3,8	4
10	Oktober	9	3,8	3	9	4,3	4	11	2,8	4	7	4,1	3
11	November	11	3,3	3	12	4,0	4	6	3,0	3	4	3,7	4
12	Desember	9	3,3	3	15	3,9	4	6	3,0	3	6	3,7	3
Kec Dominan Terjadi (m/s)		15	4,0	3	18	4,3	4	11	3,4	4	9	3,8	4

Konversi kecepatan angin

Data angin diperlukan untuk perkiraan tinggi dan periode gelombang. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh $RL = U_w/UL$

Windrose

Di bawah ini ditampilkan gambar *windrose* untuk kecepatan angin laut (Uw). Untuk mendapatkan *windrose* digunakan *software WRPlot*.



Gambar 4. Windrose Tahun 2011-2020 Tarakan
(Sumber : Hasil Analisa Data Menggunakan Software WRPLOT)

Dari *Windrose* pada Gambar 4.5 diketahui bahwa Arah dominan dan maksimum terjadi berasal dari arah Timur yang berhembus ke arah Barat. Dan pada Tabel 4.9 Hasil Persentase Windrose Angin posisi di atas permukaan laut pada tahun 2011-2020.

Perhitungan Fetch Efektif

Untuk mendapatkan *fetch* efektif dari Pantai TPI Pulau Bunyu digunakan *software Autocad* dengan menggambar kipas *fetch* dari titik 0 merupakan arah dominan Perairan Pantai TPI Pulau Bunyu.



Gambar 5. Fetch Arah Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut
(Sumber:Hasil Analisa Data Menggunakan AutoCad)

Setelah itu menghitung panjang garis dari titik awal sampai titik tersebut menemukan daratan (Xi). Berikut adalah hasil perhitungan untuk panjang *fetch* untuk masing-masing arah.

Tabel 2. Perhitungan Fetch Efektif

Arah	Sudut α ($^{\circ}$)	Cos a	X awal (km)	$X_i \cdot \text{Cos a}$	F eff (Km)
	42	0,743145	0	0	
	36	0,809017	0	0	
	30	0,866025	0	0	
	24	0,913545	0	0	
	18	0,951057	0	0	
	12	0,978148	0	0	
	6	0,994522	0	0	
Timur	0	1	0	0	61,65
	6	0,994522	0	0	
	12	0,978148	0	0	
	18	0,951057	0	0	
	24	0,913545	250	228,3864	
	30	0,866025	250	216,5064	
	36	0,809017	250	202,2542	
	42	0,743145	250	185,7862	
	Σ	13,51092		832,9332	

Perhitungan faktor tegangan angin

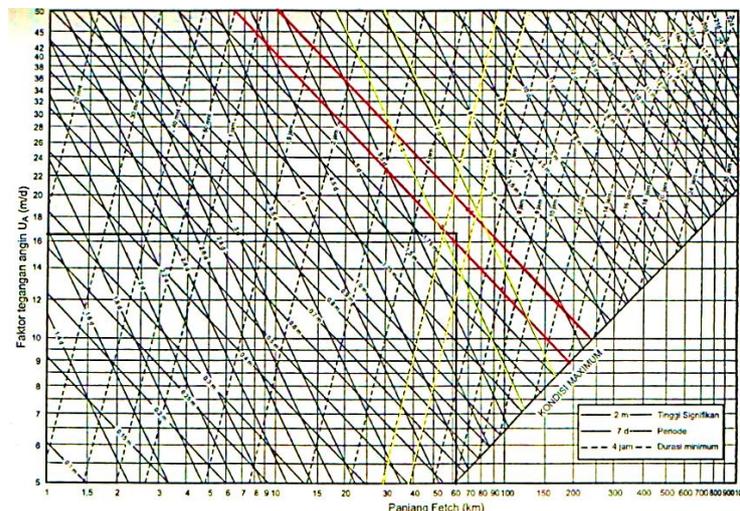
Data angin diperlukan untuk perkiraan tinggi dan periode gelombang. untuk mendapatkan faktor tegangan angin (U_A).

Tabel 3. Konversi Faktor Tegangan Angin terhadap Data Angin Maksimum, Angin Yang Sering Terjadi, dan Angin Rata-Rata Tahun 2011-2020 Pantai TPI

No	Arah Angin	Max				Rerata				Dominan			
		UL (m/s)	RL	UW (m/s)	UA (m/s)	UL (m/s)	RL	UW (m/s)	UA (m/s)	UL (m/s)	RL	UW (m/s)	UA (m/s)
1	Timur	7,0	1,28	8,93	10,48	3,7	1,52	5,679	6,012	4,0	1,54	5,390	5,638
2	Timur	6,0	1,34	8,04	9,22	3,7	1,52	5,655	5,981	4,0	1,53	5,508	5,790
3	Timur	5,0	1,41	7,05	7,84	3,5	1,54	5,332	5,563	3,0	1,59	4,770	4,851
4	Timur	8,0	1,23	9,80	11,76	3,4	1,55	5,328	5,559	3,0	1,59	4,770	4,851
5	Timur	7,0	1,28	8,93	10,48	3,7	1,52	5,680	6,013	4,0	1,49	5,960	6,380
6	Timur	6,0	1,34	8,04	9,22	3,6	1,53	5,480	5,753	3,0	1,59	4,770	4,851
7	Timur	15,0	1,00	15,00	19,85	3,4	1,55	5,240	5,445	3,0	1,59	4,770	4,851
8	Timur	5,0	1,41	7,05	7,84	3,3	1,56	5,217	5,416	3,0	1,59	4,770	4,851
9	Timur	5,0	1,41	7,05	7,84	3,6	1,53	5,470	5,741	4,0	1,49	5,960	6,380
10	Timur	17,0	0,97	16,41	22,17	3,6	1,53	5,577	5,879	3,0	1,56	5,070	5,229

Peramalan Gelombang Pecah

Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan grafik peramalan gelombang untuk mendapatkan tinggi, periode dan durasi gelombang pada kondisi angin maksimum, rata-rata dan angin yang sering terjadi pada arah Timur.



Gambar 6. Grafik Peramalan Gelombang (Sumber: Triatmodjo,1999)

Hindcasting gelombang dilakukan untuk arah angin dan kecepatan angin maksimum selama 10 tahun. Dari hasil hindcasting ini di susun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2011 s/d 2020.

Tabel 4. Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Berdasarkan Peramalan Hindcasting untuk Tahun 2011-2020 pada Angin Maksimum, Angin Rata-Rata, Angin Sering Terjadi.

No	Tahun	Fetch Efektif (km)	max			dominan			rerata		
			UA(m/s)	H (m)	T (s)	UA(m/s)	H (m)	T (s)	UA (m/s)	H (m)	T (s)
1	2011	61,649	10,48	1,316	5,364	6,01	0,700	4,197	5,6	0,760	4,466
2	2012		9,22	1,156	5,129	5,98	0,811	4,560	5,8	0,760	4,466
3	2013		7,84	0,989	4,872	5,56	0,700	4,197	4,9	0,709	4,366
4	2014		11,76	1,489	5,595	5,56	0,700	4,197	4,9	0,709	4,366
5	2015		10,48	1,316	5,368	6,01	0,811	4,560	6,4	0,760	4,466
6	2016		9,22	1,156	5,129	5,75	0,700	4,197	4,9	0,733	4,416
7	2017		19,85	2,500	6,640	5,45	0,700	4,197	4,9	0,680	4,316
8	2018		7,84	0,989	4,872	5,42	0,700	4,197	4,9	0,680	4,316
9	2019		7,84	0,989	4,872	5,74	0,700	4,197	6,4	0,720	4,391
10	2020		22,17	2,765	6,902	5,88	0,700	4,197	5,2	0,748	4,453

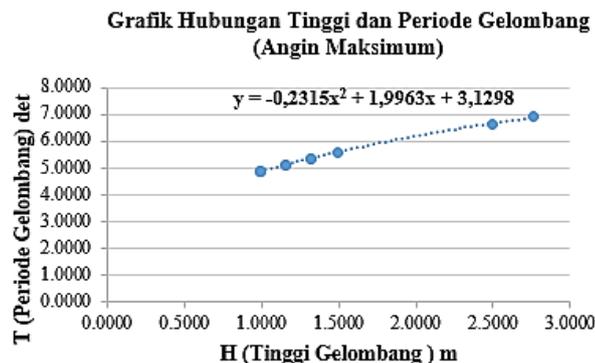
Analisa transformasi gelombang

a. Perhitungan Koefisien Refraksi

Metode Perhitungan analisis :

1. Menentukan sudut datang gelombang (α) 45°
2. Menentukan kedalaman (d), untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat pendangkalan. Kedalaman di ambil mulai dari. 0.1 m sampai 30 m
3. Menentukan periode dan tinggi gelombang rencana (yang paling maksimum dari arah tujuan).

Untuk memperoleh periode gelombang maksimum berdasarkan perubahan kedalaman, maka dibuat hubungan antara tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum dengan persamaan polinomial yang telah di hitung dengan metode *hindcasting* untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Tinggi dengan Periode Gelombang Angin Maksimum

Berdasarkan grafik hubungan H dan T pada kondisi Angin Maksimum didapat Persamaan :

$$H_o = 2,7647 \text{ m}$$

$$T_o = -0,2315xH_o^2 + 1,9963xH_o + 3,1298 = 6,880 \text{ det}$$

Berdasarkan grafik hubungan H dan T pada kondisi Angin Rata-Rata didapat Persamaan :

$$H_o = 0,72 \text{ m}$$

$$T_o = 0,6344H_o^2 + 0,9988H_o + 3,3421 = 4,391 \text{ det}$$

Berdasarkan grafik hubungan H dan T pada kondisi Angin Serign Terjadi didapat Persamaan :

$$H_o = 0,7 \text{ m}$$

$$T_o = 3.276H_o + 1.9034 = 4,197 \text{ det}$$

4. Hitung panjang gelombang laut dalam dengan rumus :

$$L_o = 1,56 \times 6,880^2 = 73,831 \text{ meter}$$

5. Hitung nilai α

$$\frac{d}{L_o} = \frac{30}{73,831} = 0,40633$$

Untuk $d/L_o = 0,40633$ dengan interpolasi didapat nilai $d/L = 0,411$ nilai $2\pi d/L = 0,999$ dan nilai $K_s = 0,977$ maka

$$L = \frac{d}{d/L} = \frac{30}{0,411} = 72,992 \text{ meter}$$

6. Cepat Rambat Gelombang

Karena nilai $d/L = 0,411 < 0,5$ maka termasuk gelombang di laut transisi, maka rumus yang digunakan :

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \times \text{Tanh } 2\pi d/L = 10,721 \text{ m/d}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{72,992}{6,880} = 10,610 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \sin \alpha_o = \frac{10,610}{10,721} \sin 45 = 0,700$$

$$\alpha = 44,410^\circ$$

7. Hitung Nilai Koefisien Refraksi (Kr)

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45}{\cos 44,410}}$$

$$= \sqrt{0,990} = 0,9949$$

b. Perhitungan Koefisien Shoaling

Nilai K_s di peroleh dari tabel Lampiran A1 Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_o yang nilainya 0,994.

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

$$H = H_o \cdot K_r \cdot K_s$$

$$H = 2,765 \times 0,9949 \times 0,977 = 2,6874 \text{ m}$$

Setelah perhitungan dilanjutkan dengan rekapan ke dalam Tabel.5

Tabel 5. Perhitungan Koefisien Refraksi (Kr), Koefisien Shoaling (Ks) dan Tinggi Gelombang (H) Angin Maksimum

No	ao (°)	d (m)	Ho (m)	T (det)	Lo (m)	d/Lo	d/L	Klasifikasi	L (m)
1	45	30	2,765	6,880	73,831	0,406	0,411	Laut Transisi	72,992
2	44,410	25	2,687	6,823	72,992	0,343	0,351	Laut Transisi	71,239
3	44,676	20	2,591	6,748	71,239	0,281	0,295	Laut Transisi	67,821
4	44,812	15	2,446	6,627	67,821	0,221	0,243	Laut Transisi	61,714
5	44,209	10	2,246	6,446	61,714	0,162	0,193	Laut Transisi	51,722
6	41,578	5	2,007	6,204	51,722	0,097	0,138	Laut Transisi	36,213
7	34,843	1	1,793	5,964	36,213	0,028	0,068	Laut Transisi	14,647
8	21,880	0,5	1,929	6,120	14,647	0,034	0,076	Laut Transisi	6,540
9	5,358	0,1	2,044	6,243	6,540	0,015	0,050	Laut Dangkal	2,000

Lanjutan Tabel 5. Perhitungan Koefisien Refraksi (Kr), Koefisien Shoaling (Ks) dan Tinggi Gelombang (H) Angin Maksimum

No	Tanh 2πd/L	Co	C	Sin a	a (°)	Cos ao / Cos a	Kr	Ks	H (m)
1	0,999	10,721	10,610	0,700	44,410	0,990	0,9949	0,977	2,6874
2	0,976	10,392	10,441	0,703	44,676	1,005	1,0023	0,962	2,5912
3	0,952	10,026	10,050	0,705	44,812	1,002	1,0012	0,943	2,4457
4	0,910	9,412	9,312	0,697	44,209	0,990	0,9948	0,923	2,2462
5	0,838	8,431	8,024	0,664	41,578	0,958	0,9789	0,913	2,0075
6	0,700	6,780	5,837	0,571	34,843	0,911	0,9547	0,935	1,7926
7	0,404	3,765	2,456	0,373	21,880	0,884	0,9404	1,144	1,9294
8	0,447	4,265	1,069	0,093	5,358	0,932	0,9654	1,097	2,0437
9	0,305	0,990	0,320	0,030	1,731	0,996	0,9980	1,244	2,5383

Perhitungan yang sama untuk kondisi, angin sering terjadi dan angin rata-rata.

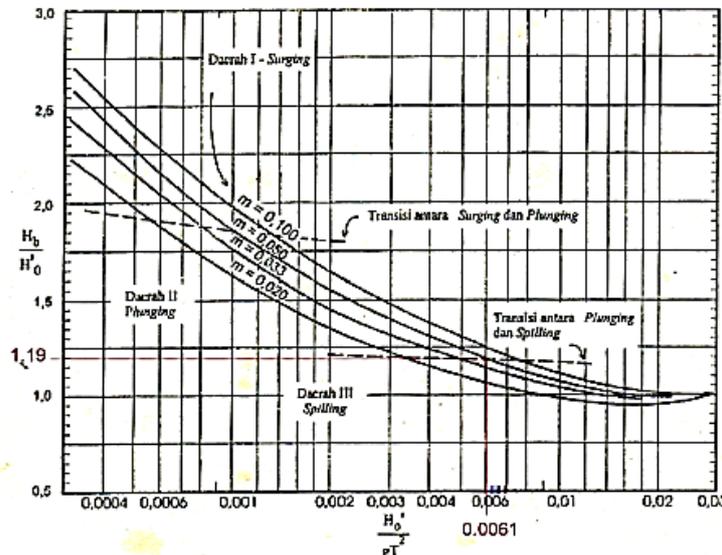
Perhitungan Gelombang Pecah

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara $H'o/gT^2$ dan $Hb/H'o$

$$H'o = \frac{Ho}{Ks} = \frac{2.765}{0,977} = 2,830 \text{ m}$$

$$\frac{H'o}{gT^2} = \frac{2,830}{9,8 \times 6,880^2} = 0,0061$$

Nilai Hb didapatkan dari hasil plot antara nilai $H'o/gT^2$ dan kemiringan pantai (m) pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Penentuan tinggi gelombang pecah (Sumber: Bambang 1999)

Berdasarkan grafik hubungan antara nilai $H'o/gT^2$ dan kemiringan pantai :

$$\frac{H'o}{gT^2} = 0,0061$$

$$m = 0,05$$

didapat :

$$\frac{Hb}{H'o} = 1,19$$

$$Hb = \left(\frac{Hb}{H'o}\right) \times H'o$$

$$Hb = 1,19 \times 2,830 = 3,3675 \text{ m}$$

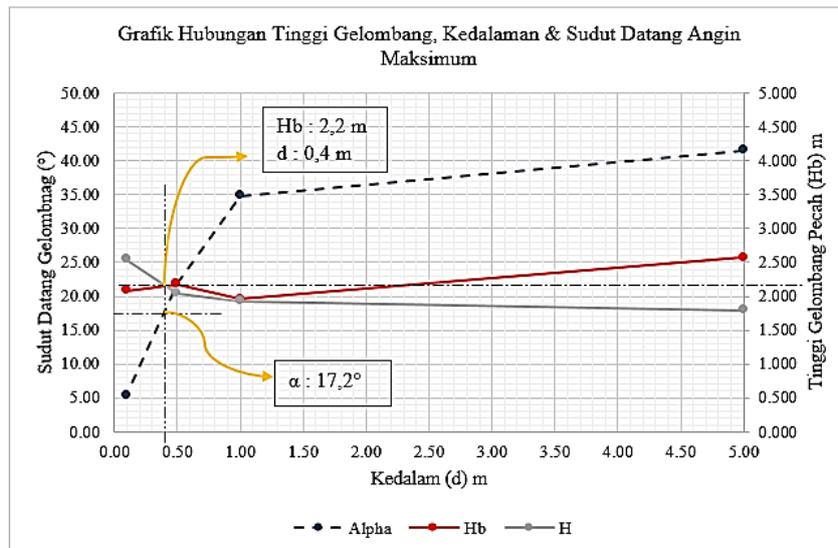
$$\frac{Hb}{gT^2} = \frac{3,3675}{9,8 \times 6,880^2}$$

$$\frac{Hb}{gT^2} = 0,0073$$

Tabel 6. Perhitungan Gelombang Pecah Kondisi Angin Maksimum

No	Ho (m)	T (det)	H'o (m)	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb (m)	Hb/gT ²	db/Hb	db (m)
1	2,765	6,880	2,830	0,0061	0,05	1,19	3,3675	0,0073	1,07	3,60
2	2,687	6,823	2,794	0,0061	0,05	1,19	3,3244	0,0073	1,07	3,56
3	2,591	6,748	2,749	0,0062	0,05	1,19	3,2708	0,0073	1,07	3,50
4	2,446	6,627	2,649	0,0061	0,05	1,19	3,1527	0,0073	1,07	3,37
5	2,246	6,446	2,460	0,0060	0,05	1,2	2,9523	0,0072	1,06	3,13
6	2,007	6,204	2,146	0,0057	0,05	1,21	2,5970	0,0069	1,06	2,75
7	1,793	5,964	1,566	0,0045	0,05	1,27	1,9892	0,0057	1,02	2,03
8	1,929	6,120	1,758	0,0048	0,05	1,25	2,1981	0,0060	1,03	2,26
9	2,044	6,243	1,642	0,0043	0,05	1,29	2,1184	0,0055	1,02	2,16

Selanjutnya di buat grafik hubungan kedalaman, tinggi dan sudut datang gelombang pada keadaan angin maksimum, angin sering terjadi dan angin rata- rata.



Gambar 9. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang, Kedalam & Sudut Datang (Kondisi Maksimum)

Berdasarkan grafik pada gambar 9 hubungan tinggi gelombang, kedalaman dan sudut datang gelombang kondisi maksimum di potongan 1 maka di peroleh Tinggi Gelombang = 2,2 m, Gelombang pecah pada kedalaman = 0,4 m dengan sudut = 17,2°

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan terhadap gelombang di pantai TPI Pulau Bunyu, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa data angin pada tahun 2011-2020 di peroleh Angin dominan terjadi dari arah timur dengan Kecepatan angin antara 2,00-17,00 m/s. Panjang *fetch efektif* adalah 61,65 km. Koefisien refraksi yang terjadi berkisar antara 0,9404 - 1,0023. Koefisien shoaling yang terjadi berkisar antara 0,913 - 1,244. Tinggi gelombang yang didapatkan dari hasil perhitungan berkisar pada 1,7926 - 2,6874 dengan Kedalaman 0,5 m - 30 m. Tinggi gelombang pecah pada keadaan angin maksimum 2,2 m dan gelombang pecah pada kedalaman 0,4 dengan sudut 17,2°. Tinggi gelombang pecah pada keadaan angin sering terjadi sebesar 0,7 m dan gelombang pecah pada kedalaman 0,2 dengan sudut 28°. Tinggi gelombang pecah pada keadaan angin rata-rata sebesar 0,74 m dan gelombang pecah pada kedalaman 0,2 dengan sudut 19°.
2. Pada kejadian angin maksimum tinggi gelombang lebih dari 1 meter sehingga masuk kriteria gelombang destruktif atau gelombang yang dapat merusak pantai. Sedangkan pada angin rata – rata dan angin yang sering terjadi, tinggi gelombang di bawah 1 meter dan merupakan gelombang konstruktif atau tidak merusak pantai.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aji, D. R., & Cahyadi, M. N. (2015, Agustus). Analisa Karakteristik Kecepatan Angin dan Tinggi Gelombang Menggunakan Data Satelit Altimetri (Studi Kasus: Laut Jawa). *GEOID, Vol.11*, 76-78.
- Azhar, M. R., Suntoyo, & Musta'in, M. (2012). Analisa Perubahan Garis Pantai Tuban Timur dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function. *Jurnal teknik ITS*, 286-291.
- Bennett, A. (2021, Desember 12). *internetgeography*. Diambil kembali dari internetgeography: <https://www.internetgeography.net/topics/destructive-waves/>
- BMKG. (2015). *Data Online*. Diambil kembali dari Pusat Database - BMKG: <http://Dataonline.bmkg.go.id/home>
- Bunganaen, w., Manafe, w. m., & Nasjono, j. k. (2019). Karakteristik Gelombang Pecah Menggunakan Metode Hindcasting Di Pantai Namosain Kota Kupang. *Jurnal Teknik Sipil*, 215-226.
- Danial, M. M. (2008). *Rekayasa Pantai*. Bandung: Alfabeta.
- Dauhan, S. K., Tawas, H., Tangkudung, H., & Mamoto, J. D. (2013). Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki. *Jurnal Teknik Sipil*, 12.
- Hasriyanti, Syarif, E., & Maddatuang. (2015). Analisis Karakteristik Kedalam Perairan, Arus dan Gelombang Di Pulau Dutung Kabupaten Barru. *Jurnal Scientific Pinisi*, 44-54.
- Ratna Paraba, M. I. (2016). Analisa Karakteristik Gelombang Pecah di Pantai Niamak Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 595-603.
- Ratu, Y. A., Jasin, M. I., & Mamoto, J. D. (2015, January). Analisa Karakteristik Gelombang Di Pantai Bulu Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, 38-48.
- Setiyawan, S., Rusdin, A., & Niang Adnyani. (2015). Analisa Peramalan Ketinggian Gelombang Laut dengan Periode Ulang Menggunakan Metode Distribusi Weibull (Studi Kasus Pantai Lembasada Kabupaten Donggala). *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 5, 38-50.

Sofyan, A., Sunarto, Sudibiyakto, & Sahubawa, L. (2010). Kajian Erosi Marin Sebagai Penyebab Degradasi Kepesisiran Kota Ternate (The Study of Marine Erosion as A Coastal Degradation in Ternate City). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 17, 89-97.

Triadmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.

Triatmodjo, B. (2012). *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.