



Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Makatana Kecamatan Likupang Timur

Cicilia G. Sumaraw^{#a}, Jeffry D. Mamoto^{#b}, Ariestides K. T. Dundu^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam ratulangi Manado, Indonesia
^aciciliagabriela09@gmail.com, ^bjeffrymamoto@unsrat.ac.id, ^ctorry@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Makatana berada di Kecamatan Likupang Timur, Minahasa Utara, adalah salah satu pantai yang pesisirnya dijadikan sebagai pemukiman serta tempat bersandarnya kapal-kapal nelayan. Umumnya perkembangan daerah pantai lebih pesat dibandingkan dengan daerah pedalaman, namun beriringan dengan perkembangan ada pula masalah yang terjadi. Menurut informasi warga, sejak dulu tidak ada bangunan pengaman pantai yang terpasang di daerah tersebut sehingga apabila gelombang pasang datang sebagian rumah warga tergenang air laut saat tertentu pula faktor alam berupa tinggi gelombang cukup besar pada daerah pantai ini yang menyebabkan erosi serta dapat mengakibatkan mundurnya garis pantai yang berdampak di kawasan pemukiman. Berdasarkan permasalahan yang terjadi maka perlu untuk melakukan perencanaan pengaman pantai yang tepat di pantai Makatana, Likupang Timur. Perencanaan pengaman pantai direncanakan dengan mengumpulkan data sekunder yang didapatkan dari BMKG Kota Bitung dan Pangkalan Utama TNI AL VIII Kairagi berupa data angin, pasang surut, juga melalui software penunjang yang ada. Data tersebut di analisis agar mendapatkan desain dari pengaman pantai yang diperlukan. Dari hasil analisis data didapatkan pengaman pantai tipe (*Hard*) jenis *revetment* menggunakan Kubus Beton dan Block Beton modifikasi, dengan Tinggi Mercu 3.31 m, Lebar Puncak 2.2 m, dengan kemiringan pengaman 1:3, lebar *Toe Protection* 4.10 m, serta tinggi *Toe Protection* 1.54 m.

Kata kunci: Pantai Makatana, gelombang, erosi, pengaman pantai, revetment

1. Pendahuluan

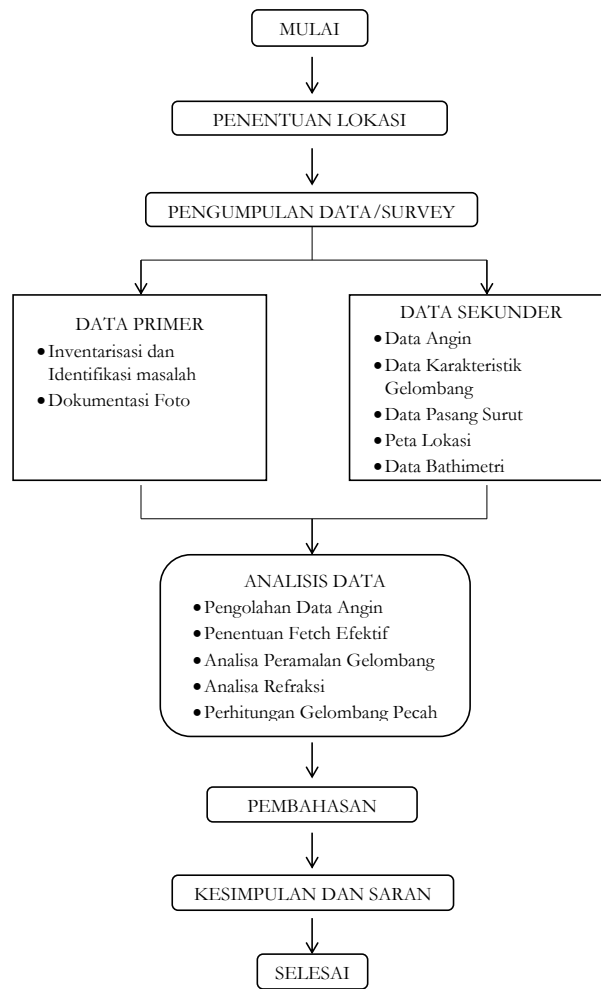
1.1 Latar Belakang

Pantai Makatana di Kecamatan Likupang Timur, Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara, adalah salah satu pantai yang pesisirnya dijadikan sebagai pemukiman serta tempat bersandarnya kapal-kapal nelayan. Berdasarkan wawancara yang dilakukan pada penduduk setempat, selama ini tidak ada struktur perlindungan pantai yang dipasang di wilayah tersebut. Akibatnya, saat gelombang pasang datang, sebagian rumah penduduk terendam oleh air laut.

Pada saat-saat tertentu pula faktor alam berupa tinggi gelombang cukup besar pada daerah pantai ini. Kondisi gelombang diperparah oleh erosi, sehingga membuat garis pantai berkurang setiap tahunnya dan menyebabkan kerusakan di area pesisir serta pemukiman warga. Untuk mengatasi situasi tersebut, diperlukan perencanaan pengaman pantai guna mencegah serta menghentikan kerusakan yang disebabkan oleh masalah yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana cara untuk melindungi pantai dan menghentikan erosi serta terjadinya kemunduran garis pantai yang disebabkan oleh gelombang tinggi di pantai tersebut. Apa jenis pengaman pantai yang sesuai dan efektif untuk kondisi pantai Makatana.



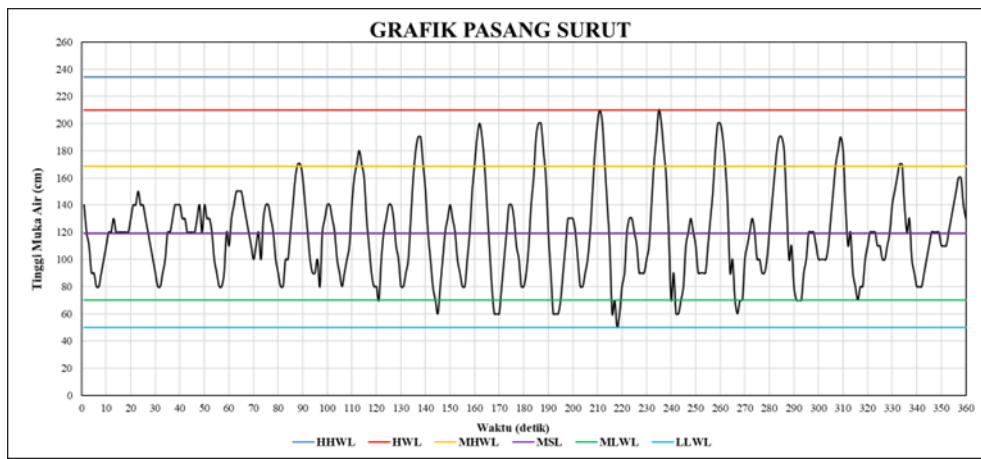
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pasang Surut (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

No	Tanggal	Jam																							Jumlah Bacaan	Bacaan Rerata/jam	
		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00			23:00
1	1-Dec-2022	1.4	1.2	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4	28	1.17
2	2-Dec-2022	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	28.3	1.18	
3	3-Dec-2022	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.2	28.4	1.18
4	4-Dec-2022	1.0	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	0.9	1.0	28.6	1.19
5	5-Dec-2022	0.8	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.1	1.4	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	28.9	1.20
6	6-Dec-2022	0.7	1.0	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	1.9	1.9	1.7	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	29.3	1.22
7	7-Dec-2022	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0	1.9	1.7	1.4	1.1	0.8	0.6	29.1	1.21
8	8-Dec-2022	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.0	2.0	1.8	1.6	1.2	0.9	0.6	29	1.21
9	9-Dec-2022	0.6	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.1	2.0	1.7	1.4	1.1	0.6	29	1.21
10	10-Dec-2022	0.7	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.4	1.7	1.9	2.1	2.0	1.8	1.6	1.2	0.7	28.9	1.20
11	11-Dec-2022	0.9	0.6	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.0	1.9	1.7	1.4	0.9	28.9	1.20
12	12-Dec-2022	1.0	0.7	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.5	1.0	28.6	1.19
13	13-Dec-2022	1.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	1.8	1.6	1.1	28.4	1.18
14	14-Dec-2022	1.2	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.6	1.2	28.1	1.17
15	15-Dec-2022	1.3	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.3	28.1	1.17



Gambar 3. Grafik Pasang Surut Pantai Makatana

Di bawah ini adalah perhitungan untuk tipe pasang surut yang ada di lokasi pengukuran, yaitu di Pantai Makatana, Kecamatan Likupang Timur Minahasa Utara, yang berdasarkan data pasang surut yang tertera pada Tabel 1 dan Gambar 3.

3.2 Penentuan Tipe Pasang Surut

Tabel 2. Komponen Pasang Surut hasil Analisis Untuk Lokasi Pengukuran di pantai Makatana Likupang Timur (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	119	31	19	4	29	14	1	4	5	10
g°	0.00	153.3	215.6	304.0	324.0	151.6	205.3	345.0	215.6	324.0

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{29 + 14}{31 + 19} = 0.86$$

Pasang Surut termasuk tipe harian ganda (*semi diurnal tide*) dengan nilai $F > 0,25$, dimana $F = 0,86$.

3.3 Penentuan Elevasi Muka Air

Tabel 3. Elevasi Muka Air (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	234.26
HWL	cm	210.00
MHWL	cm	168.50
MSL	cm	119.28
MLWL	cm	70.06
LLWL	cm	50.00
Range	cm	114.98

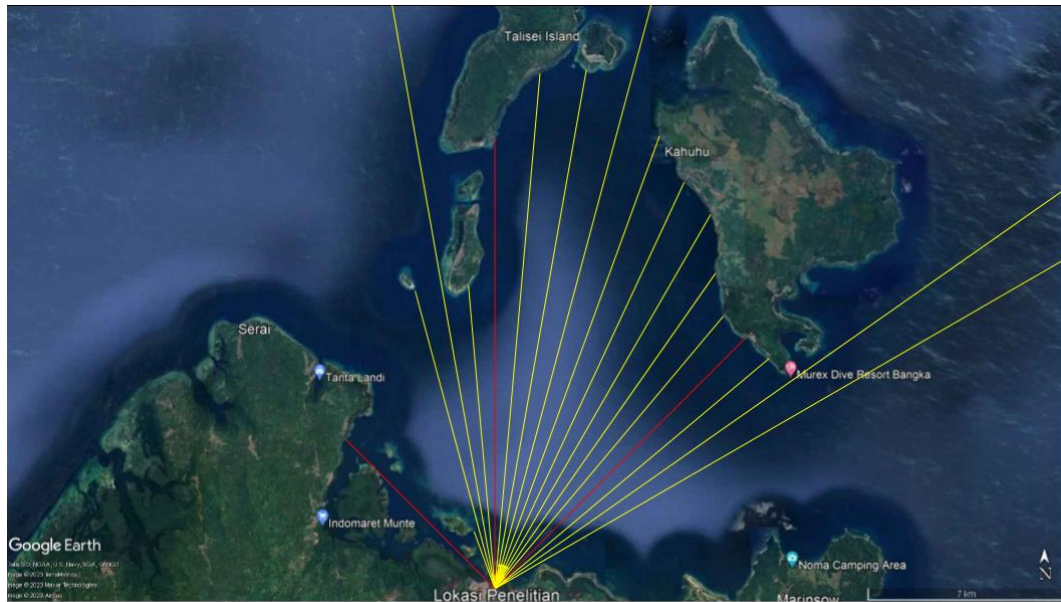
Analisis selanjutnya menggunakan data BMKG Kota Bitung pada Pantai Makatana, Kecamatan Likupang Timur, Minahasa Utara.

3.4 Hindcasting Gelombang

Gambar interpretasi Fetch dan hasil perhitungan untuk lokasi perencanaan Pantai Makatana, Kecamatan Likupang Timur, Minahasa Utara. ditampilkan dalam Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 4. Perhitungan Tegangan Angin Tahun 2020 (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Perhitungan Wind Stress Factor Pada Tahun 2020					Z = ±	10
					RT	1.1
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	$U_{10} = Uz \left(\frac{10}{Z} \right)^{\frac{1}{7}}$	R _L	U _A = R _T · R _L · U ₁₀
2020						
Januari	E	3.809	3.8	3.81	1.52	6.37
Februari	NE	5.508	5.5	5.51	1.38	8.36
Maret	E	4.380	4.4	4.38	1.47	7.08
April	E	2.962	3	2.96	1.61	5.25
Mei	SE	2.757	2.8	2.76	1.63	4.94
Juni	S	2.816	2.8	2.82	1.63	5.05
Juli	SE	3.551	3.6	3.55	1.54	6.02
Agustus	S	3.708	3.7	3.71	1.53	6.24
September	S	3.050	3.1	3.05	1.61	5.40
Oktober	S	2.797	2.8	2.80	1.63	5.02
November	S	3.141	3.1	3.14	1.61	5.56
Desember	SW	3.621	3.6	3.62	1.54	6.13



Gambar 4. Fetch Lokasi Penelitian

Tabel 5. Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin (*Sumber: Hasil Analisis, 2023*)

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
UTARA (N)	-20	1149	1,149	1	0,940	53,969
	-15	10926	10,926	11	0,966	
	-10	200000	200,000	197	0,985	
	-5	10780	10,780	11	0,996	
	0	12250	12,250	12	1,000	
	5	16323	16,323	16	0,996	
	10	16665	16,665	16	0,985	
	15	200000	200,000	193	0,966	
TIMUR LAUT (NE)	20	17069	17,069	16	0,940	54,023
	-20	15990	15,990	15	0,940	
	-15	15317	15,317	15	0,966	
	-10	15100	15,100	15	0,985	
	-5	12602	12,602	13	0,996	
	0	12610	12,610	13	1,000	
	5	12693	12,693	13	0,996	
	10	200000	200,000	197	0,985	
TIMUR (E)	15	200000	200,000	193	0,966	0,609
	20	1390	1,390	1	0,940	
	-20	1279	1,279	1	0,940	
	-15	1170	1,170	1	0,966	
	-10	1210	1,210	1	0,985	
	-5	1048	1,048	1	0,996	
	0	777	0,777	1	1,000	
	5	0	0,000	0	0,996	
TENGGARA (SE)	10	0	0,000	0	0,985	0,000
	15	0	0,000	0	0,966	
	20	0	0,000	0	0,940	
	-20	0	0,000	0	0,940	
	-15	0	0,000	0	0,966	
	-10	0	0,000	0	0,985	
	-5	0	0,000	0	0,996	
	0	0	0,000	0	1,000	
SELATAN (S)	5	0	0,000	0	0,996	0,000
	10	0	0,000	0	0,985	
	15	0	0,000	0	0,966	
	20	0	0,000	0	0,940	
	-20	0	0,000	0	0,940	
	-15	0	0,000	0	0,966	
	-10	0	0,000	0	0,985	
	-5	0	0,000	0	0,996	
BARAT DAYA (SW)	0	0	0,000	0	1,000	0,000
	5	0	0,000	0	0,996	
	10	0	0,000	0	0,985	
	15	0	0,000	0	0,966	
	20	0	0,000	0	0,940	
	-20	0	0,000	0	0,940	
	-15	0	0,000	0	0,966	
	-10	0	0,000	0	0,985	
BARAT (W)	-5	0	0,000	0	0,996	0,944
	0	1323	1,323	1	1,000	
	5	1419	1,419	1	0,996	
	10	1713	1,713	2	0,985	
	15	1918	1,918	2	0,966	
	20	2136	2,136	2	0,940	
	-20	0	0,000	0	0,940	
	-15	0	0,000	0	0,966	
BARAT LAUT (NW)	-10	0	0,000	0	0,985	1,483
	-5	0	0,000	0	0,996	
	0	7459	7,459	7	1,000	
	5	1295	1,295	1	0,996	
	10	1266	1,266	1	0,985	
	15	1247	1,247	1	0,966	
	20	1925	1,925	2	0,940	
	Feff (total)					
Feff (dominan)						54,023

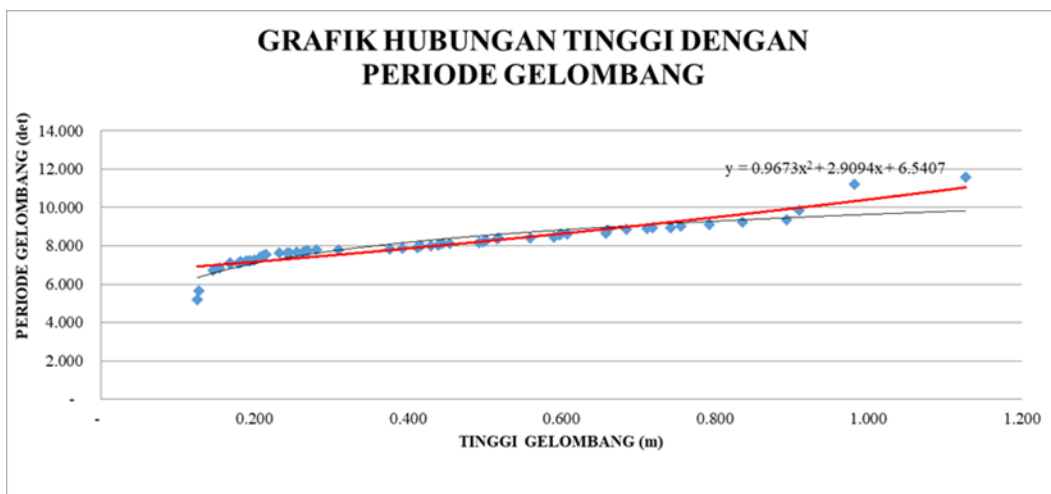
Tabel 6. Rekapitulasi Arah, Tinggi dan Periode Dari Masing-Masing Fetch Berdasarkan Hindcasting (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang					Max Tiap Bulan	
		NW	W	E	W	NE	Arah	H - T
JANUARI	H (m)	0.181	0.129	0.103	0.128		NW	0.181
	T (det)	1.582	1.360	1.209	1.357			1.582
FEBRUARI	H (m)	0.088	0.131				W	0.131
	T (det)	1.306	1.365					1.365
MARET	H (m)	0.163		0.109			NW	0.163
	T (det)	1.536		1.142				1.536
APRIL	H (m)			0.083		1.127	NE	1.127
	T (det)			1.142		3.297		3.297
MEI	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
JUNI	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
JULI	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
AGUSTUS	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
SEPTEMBER	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
OKTOBER	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
NOVEMBER	H (m)						-	0.000
	T (det)							0.000
DESEMBER	H (m)		0.170				W	0.170
	T (det)		1.463					1.463
MAX TIAP ARAH	H (m)	0.181	0.170	0.109	0.128	1.127	E	1.127
	T (det)	1.582	1.463	1.209	1.357	3.297		3.297

Didapat pada Bulan Maret arah Timur paling maksimum dengan:
 Tinggi Gelombang (H) = **1.127** meter
 Periode Gelombang (T) = **3.297** detik

3.5 Analisa Tranformasi Gelombang

Untuk memperoleh periode gelombang maksimum berdasarkan perubahan kedalaman, maka dibuat hubungan antara tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum (5 tahun data masukan) yang telah dihitung dengan metode hindcasting untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan.



Gambar 5. Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang

Berikut merupakan hasil perhitungan Shoaling berdasarkan grafik hubungan.

Tabel 7. Perhitungan Shoaling (*Sumber: Hasil Analisis, 2023*)

Lo	d/Lo	d/L	L	no	n	Kr	Ks	H
187,770	0,053	0,098	102,492	0,500	0,894	1,408	1,025	1,626
13,601	0,588	0,588	13,612	0,500	0,505	1,000	0,990	1,610
14,282	0,350	0,350	14,282	0,500	0,550	1,000	0,909	1,463
20,032	0,100	0,141	14,200	0,500	0,811	1,196	0,869	1,521
17,845	0,056	0,100	9,969	0,500	0,889	1,344	1,007	2,059
0,151	3,306	1,000	0,500	0,500	0,500	0,538	0,303	0,335

Tabel 8. Perhitungan Refraksi (*Sumber: Hasil Analisis, 2023*)

a _o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L
45	10	1,127	10,971	187,770	0,0533	0,09757
22,7035	8	1,626	2,953	13,601	0,5882	0,58770
22,7233	5	1,610	3,026	14,282	0,3501	0,35010
22,7218	2	1,463	3,583	20,032	0,0998	0,14085
15,8908	1	1,521	3,382	17,845	0,0560	0,10031
8,7984	0,5	2,059	0,311	0,151	3,3057	1,00000

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah (*Sumber: Hasil Analisis, 2023*)

H'o	'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
1,0993	0,0009	0,0065	1,61	1,770
1,6421	0,0192	0,0071	0,98	1,609
1,7706	0,0197	0,0089	0,98	1,735
1,6832	0,0134	0,0098	1,00	1,683
1,5102	0,0135	0,0101	0,90	1,359
6,8065	7,1562	0,0102	1,00	6,807

3.6 Perhitungan Angkutan Sedimen Metode CERC

Rumus yang di pakai dalam hal pengangkutan sedimen sepanjang pantai adalah mengikuti perhitungan CERC (dari *Army Coastal Engineering Research Center*. Berdasarkan Tabel 6, diperoleh arah dominan Timur Laut.

1. Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (Longshore Transport)

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 H_b &= 1.770 \text{ m} \\
 g &= 9.810 \text{ m/s}^2 \\
 db &= 2.283 \text{ m} \\
 K &= 0.390 \text{ (Shore Protection Manual, chapter 4-96)} \\
 n &= 0.4 \\
 \alpha_b &= 45^\circ \\
 \rho &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_s &= 2650 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \frac{K}{(\rho_s - \rho) \times g \times (1 - n)} \times P_l \\
 P_l &= \frac{\rho \cdot g}{8} \times H_b^2 \times C_b \times \sin \alpha_b \times \cos \alpha_b \\
 C_b &= \sqrt{g \cdot db}
 \end{aligned}$$

Jawaban:

$$\begin{aligned}
 C_b &= \sqrt{9.81 \times 2.283} \\
 &= 4.732 \text{ m/d} \\
 P_l &= \frac{1025 \times 9.81}{8} \times 1.770^2 \times 4.732 \times \sin 45 \times \cos 45 \\
 &= 931,67 \text{ kg m/d} \\
 Q_s &= \frac{0.39}{(2650 - 1025) \times 9.81 \times (1 - 0.4)} \times P_l \\
 &= 0.0379 \text{ kgm}^3/\text{d} \\
 &= 0.0000379 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 0.0000379 \times 24 \times 3600 = 3,282/\text{hari} \\
 &= 3,282 \times 365 = 1190,826 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Nilai angkutan sedimen untuk sejajar pantai adalah **1190,826m³/tahun**.

2. Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai (*Onshore-Offshore Transport*)

Nilai $f = d$ dipakai 0.49 yang diambil dari referensi penelitian terdahulu dikarenakan asumsi distribusi ukuran butiran sedimen lokasi penelitian memiliki kemiripan dengan referensi yang digunakan.

Diketahui:

$$\begin{aligned} f=d(D) &= 0.49 \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ H_b &= 1.769 \text{ m} \\ \alpha_b &= 45^\circ \\ \rho &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_s &= 2650 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) \times g \times D} \\ \tau_b &= \rho_s \times U_*^2 \\ U_* &= \sqrt{D/2} \end{aligned}$$

Jawaban:

$$\begin{aligned} U_* &= \sqrt{0.49/2} \\ &= 0.495 \\ \tau_b &= 2650 \times 0.495^2 \\ &= 649.250 \\ Q_s &= \frac{649.250}{(2650 - 1025) \times 9.81 \times 0.49} \\ &= 0.0831 \text{ kg m}^3/d \\ &= 0.0000831 \text{ m}^3/d \\ &= 0.000083 \times 24 \times 3600 = 7,1814 \text{ m}^3/hari \\ &= 2621.200 \text{ m}^3/tahun \end{aligned}$$

Didapat nilai angkutan sedimen tegak lurus pantai adalah **2621,200 m³/tahun**.

3.7 Perhitungan Gelombang Rencana dan Gelombang Pecah untuk Revetment

Tinggi gelombang rencana terpilih adalah tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi di lokasi pekerjaan, maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah (H_b) di lokasi pekerjaan. Tinggi gelombang pecah ini biasanya dikaitkan dengan kedalaman perairan (d_s) dan landai dasar pantai (m). Apabila pantai relatif datar, maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus (CERC,1984):

$$H_b = 2,050 d_s$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} H_b &= \text{Tinggi gelombang pecah} \\ d_s &= \text{Kedalaman air lokasi bangunan} \end{aligned}$$

Dengan demikian tinggi gelombang rencana (H_d) dapat ditentukan dengan rumus :

$$H_d = H_b$$

Elevasi dasar revetment direncanakan LLWL= 0,5 m . Ketinggian muka air pada ujung bangunan sebesar HHWL= 2,4 m dari dasar laut, sehingga didapatkan $d_s = HHWL$. dari penjelasan diatas maka untuk perhitungan gelombang rencana pada revetment Pantai Makatana adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d_s = HHWL &= 2,34 \text{ m} \\ H_b &= 2,050 \times d_s \\ &= 2,050 \times 2,34 = 2,25 \text{ m} \\ H_d = H_b &= 4,79 \text{ m} \end{aligned}$$

3.8 Perhitungan Elevasi Mercu

$$\text{Elevasi Mercu} = DWL + Ru + F_b$$

Dimana :

DWL : *Design Water Level* (elevasi muka air rencana)

Ru : Run-up gelombang (Rayapan gelombang) yang merupakan fungsi dari bilangan *Irrabaren* (Ir)

Fb : Tinggi jagaan direncanakan = 0,5 meter

▪ *Run-up* gelombang

Direncanakan :

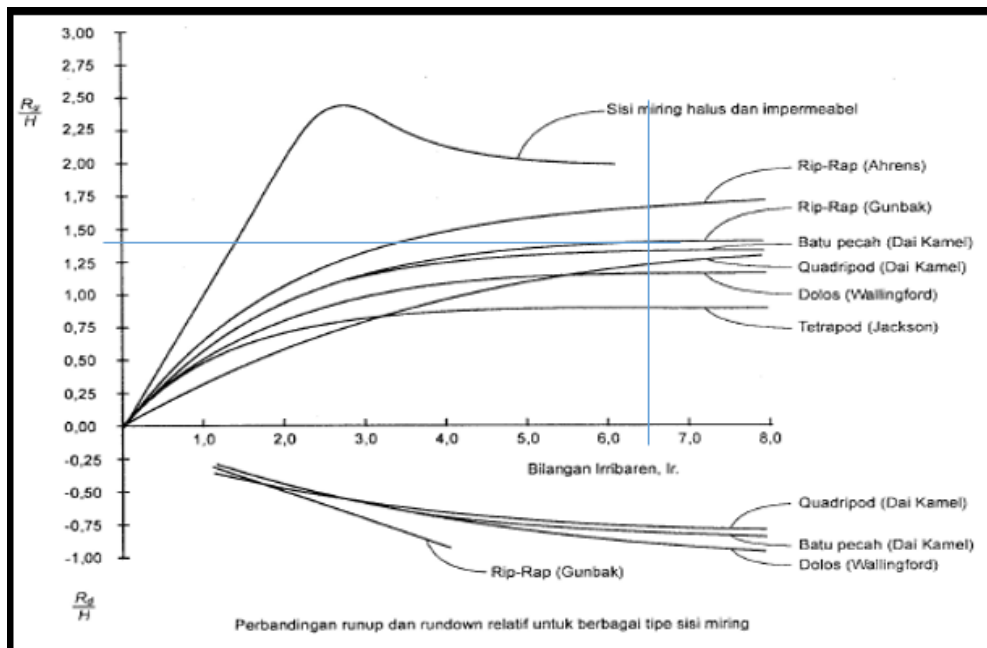
Jenis bangunan = Revetment

Lapis lindung = Batu Boulder

Tinggi gelombang (Hd) = 2.050 meter

$$- Lo = 1,56 T^2 = 1,56 \times 3,297^2 = 187,770 \text{ meter}$$

$$- I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{T}{Lo}\right)^{0,5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{3,279}{187,770}\right)^{0,5}} = 6,45$$



Gambar 6. Grafik *Run Up* Gelombang

Bilangan *Irrabaren* di atas, maka didapat :

$$\frac{Ru}{H} = 1,4$$

$$Ru = 1,4 / 134$$

$$= 0,68$$

$$\text{Elevasi Mercu} = \text{DWL} + Ru + Fb$$

$$= 2,12 + 0,68 + 0,5$$

$$= 3,31 \text{ m}$$

3.9 Perhitungan Lapis Lindung

Berat butir lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini. Untuk lapis lindung dari Beton kubus modifikasi dengan $n = 2$, penempatan random, gelombang telah pecah dan K_D lengan bangunan = 6,5. Perhitungan sebagai berikut :

Lapis pelindung luar (*armour stone*)

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \text{ untuk } S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_\alpha}$$

Dimana : γ_r = berat jenis batu ($2,3 \text{ t/m}^2$)

γ_α = berat jenis air laut ($1,025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$)

$$W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,65 \times 2,050^3}{6,5 \times \left(\frac{2,65}{1,025} - 1\right)^3 \times 2}$$

$$= 1.432 \text{ ton} = 1432 \text{ kg}$$

Tebal Lapis Lindung (t_1)

Untuk nilai dari Koefisien Lapis (K_Δ) = 1,10.

$$t_1 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,10 \times \left(\frac{1.432}{2,3}\right)^{1/3} = 1.79 \text{ m} = 179 \text{ cm}$$

Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

Dikarenakan pada lapis 2 menggunakan Batu Boulder, maka untuk nilai W pada Perhitungan W_2 diambil 1535 kg.

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{W}{10} = \frac{1.432}{10} \\ &= 0,1432 \text{ ton} \\ &= 143.20 \text{ kg} \end{aligned}$$

Diameter batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,1432}{2,3}\right)^{1/3} = 0.38 \text{ m}$$

Tebal Lapis Lindung (t_2)

Untuk nilai dari Koefisien Lapis (K_Δ) = 1,10

$$t_2 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,10 \times \left(\frac{0,1432}{2,3}\right)^{1/3} = 0.83 \text{ m}$$

Lebar puncak *Revetment* untuk $n = 3$ (minimum) dan koefisien lapis (K_Δ) = 1.10, maka untuk B puncak:

$$B = n K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3} = 3 \times 1,10 \times \left[\frac{1.432}{2,65}\right]^{1/3} = 2,2 \text{ m}$$

Jumlah butir Batu pelindung tiap satu satuan luas (10 m^2) dan porositas = 47, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$N = A \cdot n \cdot K_\Delta \cdot \left[1 - \frac{P}{100}\right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} = 10 \times 3 \times 1,10 \times \left[1 - \frac{47}{100}\right] \times \left[\frac{2,65}{1.432}\right]^{2/3} = 26 \text{ buah}$$

3.10 Toe Protection

Perhitungan tinggi *toe protection* dengan r (tebal lapis pelindung ($r \sim 2H$) = 1,542 m, tinggi gelombang rencana H_d = 2,050m

Tinggi *toe protection* (t) = 1,792 m

Lebar *toe protection* = 4,10 m

Berat butir *toe protection* = $W_{\text{toe}} = 0.5 \times 1,299 \text{ ton} = 0,650 \text{ ton} = 650 \text{ kg}$

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis serta berdasarkan permasalahan yang ada di pantai Makatana Likupang Timur yaitu terjadi kemunduran garis pantai karena adanya abrasi maka direncanakan *Revetment* untuk mempertahankan garis pantai dari abrasi dan mengurangi limpasan gelombang ke arah darat. Pemilihan pengaman ini juga dikarenakan agar nelayan tetap dapat menaikkan atau memarkirkan perahu mereka dengan mudah. Dari hasil perhitungan dimensi *Revetment* diperoleh:

- Elevasi mercu = 3,31 m.
- Lebar puncak = 2.7 m
- Kemiringan = 1 : 3
- Tinggi *toe protection* = 1,792 m
- Lebar *toe protection* = lebar bawah: 4.10 m; lebar atas: 5.07 m

Referensi

Faron V. H. Sumampouw, Arthur H. Thambas, M. Ihsan Jasin, Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat. TEKNO Vol 21 No. 85 Tahun 2023 (167-174) p-ISSN: 0215-9617. Universitas Sam Ratulangi Manado.

- Fridolin Manuel, M. Ihsan Jasin, Jeffry D. Mamoto, Perencanaan bangunan pengaman pantai pada daerah pantai Bulu Desa rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik* Vol.5 No.6 Agustus 2017 (325-334) ISSN: 2337-6732325. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Jurnal Sipil Statik Vol.9 No.4 Juli 2021 (699-708) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Masita Aisza mokodongan, Muh. Ihsan Jasin, Arthur H. Thambas, Analisis Karakteristik Gelombang Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat.
- Moses Liunsanda, J. D. Mamoto, A. K. T. Dundu, Perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Pal Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik* Vol.5 No.9 November 2017 (613-623) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Nur Yuwono, 1982, Teknik Pantai, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Nur Yuwono, 1992, Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai, Vol 2, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM, Yogyakarta.
- Refly Mare, Nicolaas J. A. Tangkudung, Hans J. Tawas, Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Pada Daerah Pantai Lakban Kecamatan Rataotok Kabupaten Minahasa Tenggara, *TEKNO*, Vol. 21 No. 85 (2023), p-ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Theodorus Pasomba, M. Ihsan Jasin, Tommy Jansen, Analisis Pasang Surut Pada Daerah Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara, *Jurnal Sipil Statik* Vol.7 No.11 November 2019 (1515-1526) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Triatmodjo, B. 1996. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta
- Triatmodjo, B. 2012. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.