



Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Pada Daerah Pantai Lakban Kecamatan Ratatotok Kabupaten Minahasa Tenggara

Refly Mare^{#a}, Nicolaas J. A. Tangkudung^{#b}, Hansje J. Tawas^{#c}

^{#Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam ratulangi, Manado, Indonesia}
^areflymare02@gmail.com ; ^btangkudungnicolaas@gmail.com ; ^chanstawas2@gmail.com

Abstrak

Pantai Lakban terletak di wilayah kelurahan Desa Ratatotok Timur, Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara, Kestabilan Pantai mulai terganggu akibatnya proses abrasi mulai terjadi. Abrasi pantai dapat menimbulkan kerugian sangat besar dengan rusaknya kawasan pemukiman. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan perencanaan bangunan pengaman Pantai dengan mengumpulkan data sekunder berupa data angin, data gelombang, data pasang surut juga melalui softwer penunjang yang ada. Kemudian data tersebut dikelolah sehingga didapatkan desain pengaman pantai yang di butuhkan. Hasil dari analisis data maka didapatkan pola arus dominan yang terjadi adalah dari arah tenggara dan angkutan sedimen yang terjadi adalah angkutan sejajar pantai. Dengan jenis bangunan Revetment dengan lapis lindung batu kasar yang di modifikasi, tinggi mercu 4,23 m, lebar puncak 3,8 m kemiringan bangunan 1:3. Material yang digunakan yaitu batu yang disusun, dengan lapis lindung sebanyak 3 kali, t1 2,51 m ; t2 1,17 m ; t3 0,43 m, dan tinggi toe protection 2,51 m, lebar toe protection 5,46.

Kata kunci: Ratatotok, abrasi pantai, revetment

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia adalah Negara kepulauan terbesar di dunia, luas perairan di Indonesia lebih besar dari luas daratan yang ada. Hal ini menyebabkan banyak sekali terdapat pantai di Indonesia dengan panjang garis pantai yang ada kurang lebih 108.000 km². Provinsi Sulawesi Utara adalah salah satu provinsi yang memiliki beberapa kawasan di wilayah pesisir pantai, baik di bagian utara maupun bagian selatan (Manuel dkk., 2017). Daerah pesisir khususnya kawasan pantai dan sekitarnya menyimpan potensi kekayaan alam yang besar dan merupakan daerah yang paling banyak dimanfaatkan. Menurut Mubekti dkk., (2008), Erosi pantai merupakan pengikisan daratan pantai akibat arus, gelombang dan pasang surut air laut, erosi pantai dengan tingkat kerusakan yang cukup tinggi mempunyai dampak bagi pelestarian lingkungan, kehidupan sosial ekonomi dan kesehatan masyarakat. Desa Ratatotok Timur yang terdapat di Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara yang memiliki wilayah pantai khususnya Pantai Lakban kawasan pemukiman dipilih dan dijadikan sebagai lokasi penelitian karena di wilayah pantai tersebut merupakan salah satu sektor pariwisata Kabupaten Minahasa Tenggara yang berada di kecamatan Ratatotok, namun berdasarkan hasil survey dan pengamatan yang dilakukan di lokasi penelitian, terlihat adanya erosi pantai akibat terpaan gelombang sehingga mengakibatkan kerusakan serta kerugian bagi masyarakat pesisir yang tinggal di sekitar pantai tersebut maka diperlukan perencanaan bangunan pengaman pantai untuk mencegah bahkan menghentikan kerusakan yang ada di kawasan pemukiman Pantai Lakban Desa Ratatotok Timur Jaga V, Kabupaten Minahasa Tenggara.

1.2 Rumusan Masalah

Salah satu daerah di Sulawesi Utara yang memiliki sektor pariwisata yang sangat potensial adalah Kabupaten Minahasa Tenggara Wilayah Pantai Lakban kawasan pemukiman. Namun erosi pantai yang mengakibatkan kerusakan yang diakibatkan oleh gejala alam dan perilaku manusia sehingga sebagai daerah pariwisata perlu dilindungi dengan membangun pemangaman pantai untuk mencegah kerusakan yang lebih parah akibat erosi yang terjadi terus menerus.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan dan arah angin di Kawasan Permukiman Pantai Lakban serta mengetahui tipe dan desain bangunan pemangaman pantai yang tepat sesuai dengan analisa permasalahan yang ada. Agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah akibat erosi di Kawasan Permukiman Pantai Lakban.

2. Metode

Sebelum melakukan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu pengumpulan data dengan melakukan survey lokasi untuk mendapatkan data akurat yang terjadi di lapangan adapun survey yang dilakukan sebagai berikut:

2.1 Dokumentasi foto lokasi penelitian

Lokasi penelitian ini terletak Desa Ratatotok Timur Kecamatan Ratatotok Kabupaten Minahasa Tenggara. Secara Geografis, Kabupaten Minahasa Tenggara terletak antara $124^{\circ} 30'24''$ - $124^{\circ} 56'24''$ BT dan $1^{\circ} 08'19''$ - $0^{\circ} 50'46''$ LU.



(a) (b)
Gambar 1. (a) Lokasi Desa Ratatotok; (b) Kondisi Pantai Ratatotok
 (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Perhitungan pasang surut dengan metode Admiralty berdasarkan data pasang surut pada Tabel 1. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2, diperoleh jenis pasang surut, yakni termasuk tipe Pasang Surut Semi Campuran Condong ke Harian Ganda (*mixed tide prevailig semidiurnal*) dengan nilai $F > 0.25$, dimana $F = 0.68$.

3.2 Penentuan Elevasi Muka Air

Penentuan elevasi muka air ditampilkan pada Tabel 3.

3.3 Angin

Kecepatan angin diukur dengan anemometer dan biasanya dinyatakan dalam knot. Satu

knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang di tempuh dalam satu jam , atau 1 knot = 1,852 km/jam = 0,514 m/dt. Data angin di catat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Pasang surut pantai Desa Ratatotok Timur

No	Tanggal	Jam																							Jumlah	Bacaan	
		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	12/01/2015	40	80	120	170	220	250	250	240	200	160	130	110	120	150	200	260	310	340	340	310	250	180	110	60	4600	191,67
2	12/02/2015	40	50	90	140	200	250	270	270	240	190	140	100	90	110	160	220	280	330	350	340	290	230	150	80	4610	192,08
3	12/03/2015	60	40	60	110	180	240	280	290	270	220	140	120	90	80	120	170	240	300	340	350	320	270	190	120	4600	191,67
4	12/04/2015	90	40	50	90	150	220	272	300	290	250	170	140	90	80	90	130	190	260	310	340	330	290	230	160	4562	190,08
5	12/05/2015	130	50	50	70	130	190	250	290	300	280	200	170	120	80	90	100	150	220	280	320	330	300	250	190	4540	189,17
6	12/06/2015	150	80	60	70	110	170	230	280	300	290	230	200	150	100	80	90	130	180	230	280	300	290	260	210	4470	186,25
7	12/07/2015	170	110	80	80	110	160	210	260	290	290	260	230	180	130	100	100	120	150	200	240	270	270	260	220	4490	187,08
8	12/08/2015	180	130	100	100	110	150	200	240	280	290	270	250	210	170	130	120	120	140	170	210	230	240	240	210	4490	187,08
9	12/09/2015	180	150	130	120	120	150	190	230	260	280	280	260	230	200	160	140	140	140	160	180	200	210	210	200	4520	188,33
10	12/10/2015	170	160	140	130	150	160	180	210	240	260	280	260	240	220	200	170	160	160	160	170	180	180	180	180	4540	189,17
11	12/11/2015	160	160	150	150	170	160	180	200	220	240	270	250	250	240	220	210	190	180	170	170	160	160	160	160	4580	190,83
12	12/12/2015	140	160	160	160	170	170	180	190	210	220	250	240	240	240	240	230	220	210	190	170	160	140	160	130	4580	190,83
13	13/12/2015	120	150	160	170	180	180	190	190	190	200	230	210	230	240	250	260	250	240	220	190	160	140	160	110	4620	192,50
14	14/12/2015	100	140	160	180	190	190	200	200	190	180	180	180	200	220	250	270	280	270	250	220	180	140	160	100	4630	192,92
15	15/12/2015	80	120	150	180	210	210	220	210	190	170	150	150	170	200	230	270	290	300	280	250	200	150	160	80	4620	192,50

(sumber: Lantamal Kairagi TNI AL)

Keterangan : Air tertinggi =35 Air terendah =40

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Analisis untuk Lokasi Pengukuran di Pantai Desa Ratatotok

	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	190	74	43	12	41	29	1	19	12	13
g°	0,00	-93,9	195,9	468,5	54,9	145,5	289,1	78,0	195,9	54,9

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{41 + 29}{-93,9 + 195,9} = 0.68$$

Tabel 3. Elevasi Muka Air
(Analisa Data, 2023)

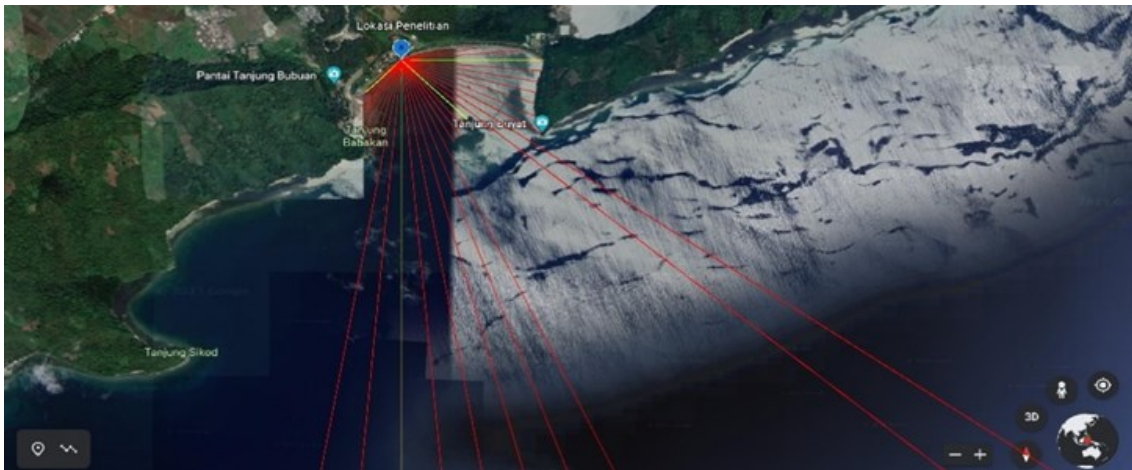
Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	350
MHWL	cm	285,53
MSL	cm	190
MLWL	cm	94,65
LLWL	cm	40
Range	cm	190,88

Tabel 4. Perhitungan Faktor Tekanan Angin Pada Tahun 2016

Perhitungan Wind Stress Factor /				Z = ±	10
Faktor Tegangan Angin				RT	1,1
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	RL	UA= RT . RL . U10
2016					
Januari	S	1,914	1,9	1,91	1,79
					3,77

Perhitungan Wind Stress Factor /				Z = ±	10	
Faktor Tegangan Angin				RT	1,1	
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	R _L	$U_A = R_T \cdot R_L \cdot U_{10}$	
2016						
Februari	SW	1,988	2	1,99	1,78	3,89
Maret	SE	2,010	2	2,01	1,78	3,94
April	S	1,327	1,3	1,33	1,89	2,76
Mei	S	1,295	1,3	1,29	1,89	2,69
Juni	SW	1,473	1,5	1,47	1,85	3,00
Juli	S	2,241	2,2	2,24	1,71	4,22
Agustus	S	2,706	2,7	2,71	1,65	4,91
September	SW	1,781	1,8	1,78	1,8	3,53
Oktober	SW	1,490	1,5	1,49	1,85	3,03
November	SW	1,314	1,3	1,31	1,89	2,73
Desember	W	1,645	1,6	1,64	1,84	3,33

3.4 Hindcasting Gelombang



Gambar 2. Gambar Fetch

Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin di Pantai Lakban ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Fetch Efektif Pantai Lakban Desa Ratatotok Timur.
Hasil dari Perhitungan Fetch fektif dari Delapan Arah Mata Angin di Pantai Desa Ratatotok Timur.

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
UTARA (N)	-20	0	0	0	0,940	0,000
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
TIMUR LAUT (NE)	20	0	0	0	0,940	0,000
	-20	0	0	0	0,940	
	-15	0	0	0	0,966	

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
TIMUR (E)	-20	619,98	0,620	0,583	0,940	0,565
	-15	405,67	0,406	0,392	0,966	
	-10	245,34	0,245	0,242	0,985	
	-5	117,42	0,117	0,117	0,996	
	0	751,09	0,751	0,751	1	
	5	741,88	0,742	0,739	0,996	
	10	731,76	0,732	0,721	0,985	
	15	739,47	0,739	1	0,966	
	20	746,23	0,746	1	0,940	
TENGGARA (SE)	-20	786,17	0,78617	0,738758	0,940	66,997
	-15	850,74	0,85074	0,821752	0,966	
	-10	200000	200	196,9616	0,985	
	-5	200000	200	199,2389	0,996	
	0	492,3	0,4923	0,4923	1	
	5	509,19	0,50919	0,507252	0,996	
	10	548,46	0,54846	0,540128	0,985	
	15	557,41	0,55741	0,538417	0,966	
	20	200000	200	187,9385	0,940	
SELATAN (S)	-20	2583,62	2,58362	2,427809	0,940	3,886
	-15	5125,1	5,1251	4,950466	0,966	
	-10	5264,3	5,2643	5,184323	0,985	
	-5	5365,7	5,3657	5,345282	0,996	
	0	5513,9	5,5139	5,5139	1	
	5	5868,3	5,8683	5,845969	0,996	
	10	3811,1	3,8111	3,753201	0,985	
	15	585,6	0,5856	0,565646	0,966	
	20	537,7	0,5377	0,505273	0,940	
BARAT DAYA (SW)	-20	475,44	0,47544	0,446767	0,940	0,218
	-15	397,12	0,39712	0,383588	0,966	
	-10	356,28	0,35628	0,350867	0,985	
	-5	315,84	0,31584	0,314638	0,996	
	0	266,43	0,26643	0,26643	1	
	5	152,53	0,15253	0,15195	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
BARAT (W)	-20	0	0,000	0	0,940	0,000
	-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	
	5	0	0	0	0,996	

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya	Jarak Sebenarnya	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
		(m)	(km)			
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
BARAT LAUT (NW)	-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	0,000
	5	0	0,000	0,000	0,996	
	10	0	0,000	0,000	0,985	
	15	0	0,000	0,000	0,966	
	20	0	0,000	0,000	0,940	
	Feff (total)					
Feff (dominan)						0,000

Tabel 6. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin (Analisa Data, 2023)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		S	E	W	SW	Arah	H - T
JANUARI	H (m)	0,138	0,065	0,000	0,051	E	0,138
	T (det)	1,671	1,056	0,000	0,874		1,671
FEBRUARI	H (m)	0,153	0,150	0,054	0,055	SE	0,153
	T (det)	1,718	1,710	0,887	0,889		1,718
MARET	H (m)	0,368	0,125	0,065	0,041	SE	0,368
	T (det)	3,176	1,056	0,873	1,629		3,176
APRIL	H (m)	0,106	0,101	0,052	0,035	E	0,106
	T (det)	1,559	1,557	1,538	0,997		1,559
MEI	H (m)	0,128	0,116	0,114	0,104	SE	0,128
	T (det)	1,638	1,596	1,590	1,550		1,638
JUNI	H (m)	0,152	0,149	0,137	0,132	SE	0,152
	T (det)	1,716	1,707	1,669	1,653		1,716
JULI	H (m)	0,178	0,177	0,159	0,151	SE	0,178
	T (det)	0,000	1,634	1,787	1,789		1,789
AGUSTUS	H (m)	0,206	0,178	0,172	0,164	S	0,206
	T (det)	1,861	1,789	1,772	1,752		1,861
SEPTEMBER	H (m)	0,190	0,136	0,055	0,050	S	0,190
	T (det)	1,821	1,820	1,667	0,890		1,821
OKTOBER	H (m)	0,138	0,127	0,051	0,049	SE	0,138
	T (det)	1,673	1,634	0,871	0,865		1,673
NOVEMBER	H (m)	0,047	0,043	0,039	0,040	SE	0,047
	T (det)	0,853	0,835	0,820	0,813		0,853
DESEMBER	H (m)	0,042	0,040	0,039	0,000	S	0,042
	T (det)	0,831	0,819	0,816	0,000		0,831
MAX TIAP ARAH	H (m)	0,368	0,178	0,172	0,164	SE	0,368
	T (det)	3,176	1,820	1,787	1,789		3,176

Didapat arah Tenggara paling maksimum dengan tinggi gelombang (H) = 0.368 m dan periode (T) = 3,176 d.

3.5 Gelombang

Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang

membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut berbentuk gelombang transversal dengan membentuk lembah dan puncak yang berbeda dengan gelombang longitudinal yang mempunyai regangan dan rapatan. Gelombang sinusoidal atau gelombang transversal memiliki komponen tertentu. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$\frac{H_b}{H'o} = \frac{1}{3.3 \left(\frac{H'o}{L_0}\right)^{1/3}}$$

Kedalaman air di mana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{gT^2}\right)}$$

dimana *a* dan *b* merupakan fungsi kemiringan pantai *m* dan di berikan oleh persamaan berikut:

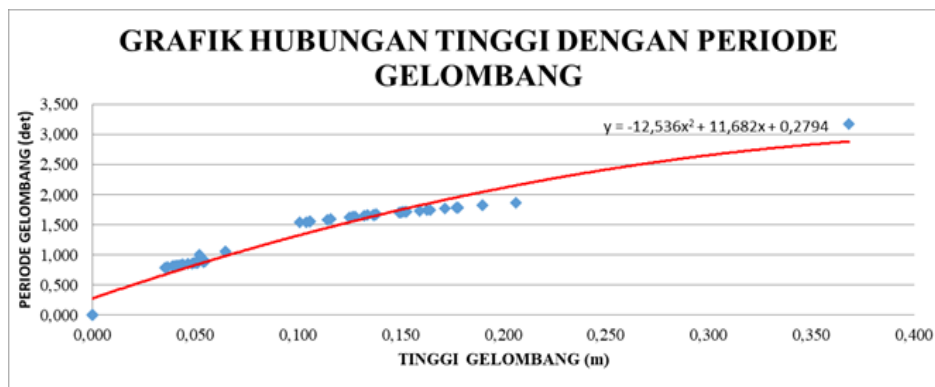
$$a = 43,75(1 - e^{-19m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})}$$

dimana:

- H_b* : tinggi gelombang pecah
- H'o* : tinggi gelombang laut dalam ekivalen
- L₀* : panjang gelombang di laut dalam
- d_b* : kedalaman air pada saat gelombang pecah
- m* : kemiringan dasar laut
- g* : percepatan gravitasi
- T* : periode 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 3. Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang

Berikut merupakan hasil perhitungan Shoaling berdasarkan grafik hubungan

Tabel 7. Perhitungan Shoaling untuk arah Tenggara

Lo	d/Lo	d/L	L	no	n	Kr	Ks	H
12,955	0,772	0,772	12,954	0,500	0,501	1,000	0,999	0,368
25,871	0,309	0,320	24,966	0,500	0,572	1,023	0,906	0,341
10,007	0,500	0,502	9,969	0,500	0,512	1,002	0,981	0,335
9,777	0,205	0,229	8,731	0,500	0,663	1,070	0,845	0,303
8,492	0,118	0,156	6,396	0,500	0,782	1,172	0,849	0,302
8,431	0,059	0,104	4,826	0,500	0,883	1,339	0,989	0,400

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

Tentukan nilai $H'o$ dan H_b

Dik :

$$H_o = 0,368 \text{ m}$$

$$T = 2,882 \text{ detik}$$

$$H = 0,3681 \text{ m}$$

$$K_s = 0,9990$$

$$d/L_o = 0,7719$$

maka'

$$H'o = H_o/K_s$$

$$= 0,368/0,9990$$

$$= 0,3688$$

$$H'o/gT^2 = 0,3688 / 9,81 \times 2,882^2$$

$$= 0,0045$$

$$H'o/gT^2 = 0,0045$$

$$m = 0,0287$$

Tabel 8. Hasil Perhitungan Gelombang Pecah, (Analisa, 2023)

H'o	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
0,3688	0,0045	0,0287	1,18	0,435
0,4063	0,0025	0,0262	1,32	0,536
0,3476	0,0055	0,0239	1,12	0,389
0,3971	0,0065	0,0240	1,06	0,421
0,3572	0,0067	0,0240	1,07	0,382
0,3049	0,0058	0,0242	1,10	0,335

$$Hb/H'o = 1.18$$

$$Hb = (Hb/H_o) \times H'o$$

$$= 1,18 \times 0,3688$$

$$= 0,435 \text{ m}$$

Untuk nilai db didapat dari hasil plot Hb/gT² dan kemiringan (m) pada grafik.

Plot pada grafik: Hb/gT² = 0,0053 dan m = 0,0287

$$db/Hb = 1,20$$

$$db = (db/Hb) \times Hb = 1,20 \times 0,435 = 0,522 \text{ m}$$

Jadi, Tinggi Gelombang pecah (Hb) = 0,435 m

Gelombang pecah pada kedalaman (db) = 0,522 m

3.6 Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai

Rumus yang di pakai dalam hal pengangkutan sedimen sepanjang pantai adalah mengikuti perhitungan CERC (dari *Army Coastal Engineering Research Center*). Di ambil sampel tinggi dan Periode gelombang pada bulan Maret dari arah Tenggara.

Arah Tenggara bulan Maret

Dik :

$$f = d = 0,25$$

$$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81$$

$$Hb = 0,435 \text{ m}$$

$$\alpha_b = 45^\circ$$

$$Q_s = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) \times g \times D}$$

$$\tau_b = \rho_s \times U_*^2$$

$$U_* = \sqrt{f/2}$$

Penyelesaian :

$$U_* = \sqrt{0,25/2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.354 \\
 \tau b &= 2650 \times 0.354^2 \\
 &= 331,250 \\
 Q_s &= \frac{331,250}{(2650-1025) \times 9.81 \times 0.25} = 0.083 \text{ kg m}^3/\text{d} = 0.000083 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 0.000083 \times 24 \times 3600 = 7,181 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 7,181 \times 365 = 2621,20 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

3.7 Angkutan Sedimen Sejajar Pantai

Bulan Maret arah Tenggara

Dik :

$$\begin{aligned}
 H_b &= 0,435 \text{ m} \\
 G &= 9,81 \\
 D_b &= 0,522 \text{ m} \\
 K &= 0,39 \\
 N &= 0,4 \\
 A_b &= 45^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rapat masa air laut} &= \rho = 1025 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Rapat masa sedimen} &= \rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$Q_s = \frac{k}{(\rho_s - \rho) \times g \times (1 - n)} \times P1$$

$$P1 = \frac{\rho \cdot g}{8} \times H_b^2 \times C_b \times \sin \alpha_b \times \cos \alpha_b$$

$$C_b = \sqrt{g \cdot d_b}$$

Jawaban :

$$C_b = \sqrt{9.81 \times 0.522} = 2,263 \text{ m/d}$$

$$pl = \frac{1025 \cdot 9.81}{8} \times 0.435^2 \times 2,263 \times \sin 45 \times \cos 45 = 269,424 \text{ kg m/d}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \frac{0.39}{(2650-1025) \times 9.81 \times (1-0.4)} \times 269,424 = 0.011 \text{ kgm}^3/\text{d} = 0.011 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 0.000011 \times 24 \times 3600 = 0,949 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,949 \times 365 = 346,444 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

3.8 Perhitungan Elevasi Mercu

Perhitungan Elevasi Mercu Revetmen bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

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

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

Fb : Tinggi jagaan, direncanakan = (0,5 - 1 meter)

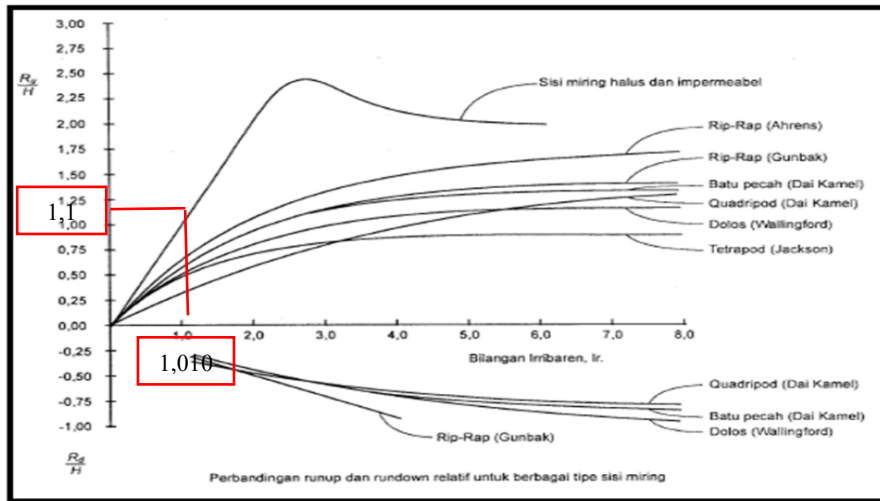
- *Run-up* gelombang

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis bangunan} &= \text{Revetmen} \\
 \text{Lapis lindung} &= \text{Blok beton} \\
 \text{Tinggi gelombang} &= 0,368 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

$$- L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 2,882^2 = 12,955 \text{ meter}$$

$$- I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{T}{L_o}\right)^{0.5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{3,176}{12,955}\right)^{0.5}} = 1,010$$



Gambar 4. Grafik *run up* gelombang
(Sumber: Nur Yuwono, 1992)

Bilangan *Irrabaren* di atas, maka didapat :

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

$$Ru = 1,1 / 0,368 = 2,99 \text{ meter}$$

$$\text{Elevasi mercu} = DWL + Ru + Fb = 3,12 + 2,53 + 0,5 = 6,15 \text{ meter}$$

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 = 2,0. Perhitungan sebagai berikut :

a) 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 (2,65 t/m²)
 γ_α = berat jenis air laut (1,03 t/m²)

$$- W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,6 \times 2,730^3}{2,0 \times \left(\frac{2,3}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 3,464 \text{ ton} = 3464 \text{ kg}$$

Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{3,464}{2,65}\right)^{1/3} = 1,09 \text{ m}$$

- Tebal Lapis Lindung (t_1)

Untuk nilai dari Koefisien Lapis (K_Δ) = 1,15. (lih. Lampiran)

$$t_1 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left(\frac{3,464}{2,6}\right)^{1/3} = 2,51 \text{ meter}$$

b) Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

$$- W_2 = \frac{W}{10} = \frac{3,464}{10} = 0,3464 \text{ ton} = 346 \text{ kg}$$

Diameter batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,3464}{2,65}\right)^{1/3} = 0,51 \text{ m}$$

- Tebal Lapis Lindung (t_2)

Untuk nilai dari Koefisien Lapis (K_Δ) = 1,15. (lih. Lampiran)

$$t_2 = n K_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,3464}{2,6} \right)^{1/3} = 1,17 \text{ meter}$$

c) **Lapis pelindung ketiga**

$$- W_3 = \frac{W_1}{200} = \frac{3,464}{200} = 0,01732 \text{ ton} = 17,32 \text{ kg}$$

Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = \left(\frac{0,01732}{2,65} \right)^{1/3} = 0,19 \text{ m}$$

Tebal Lapis Lindung (t_3)

Pada lapis lindung kedua digunakan susunan batu alam (kasar) dengan γ_r = berat jenis batu (2,65 t/m²).

$$t_3 = n K_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,01732}{2,65} \right)^{1/3} = 0,43 \text{ meter}$$

3,10 Lebar Puncak Revetment

Lebar puncak *Revetment* untuk $n = 3$ (minimum) dan koefisien lapis (K_{Δ}) = 1.15 maka untuk B puncak adalah sebagai berikut :

$$B = n K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 3 \times 1,15 \times \left[\frac{0,409}{2,65} \right]^{1/3} = 3,8 \text{ meter} \approx 4 \text{ meter}$$

3,11 Jumlah Block Beton Pelindung

Jumlah butir batu pelindung tiap satu satuan luas (10 m²) dan porositas = 37, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N = A \cdot n \cdot K_{\Delta} \cdot \left[1 - \frac{P}{100} \right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} = 10 \times 2 \times 1,15 \times \left[1 - \frac{37}{100} \right] \times \left[\frac{2,6}{3,464} \right]^{2/3} = 12 \text{ buah}$$

3,12 Toe Protection

Perhitungan tinggi *toe protection* direncanakan = 1 m, tinggi gelombang rencana $H = 0,368$ m, maka:

- **Tinggi toe protection (t)**

$$t_{toe} = 2,51 \text{ meter}$$

- **Lebar toe protection**

$$B = 2H = 2 \times 2,730 = 5,46 \text{ meter}$$

- **Berat butir toe protection**

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N s^3 (S_r - 1)^3} = \frac{2,65 \times 2,730^3}{35 \times (2,23 - 1)^3} = 2,888 \text{ ton} = 2888 \text{ kg}$$

Berat batu lapis lindung *toe protection* dipergunakan kira-kira setengah dari yang dipergunakan pada dinding tembok (0.5W).

$$W = 0,5 \times 2,888 = 1,444 \text{ ton} = 1,444 \text{ kg}$$

Maka berat butir *toe protection* (W) diambil sebesar yaitu $W = 1444 \text{ kg}$

4. Kesimpulan

1. Berdasarkan permasalahan yang ada di pantai Desa Ratatotok Timur yaitu terjadi kemunduran garis pantai karena adanya abrasi maka direncanakan dinding pantai atau *Revetmen* untuk mempertahankan garis pantai dari abrasi dan mengurangi limpasan gelombang ke arah darat. Pemilihan *revetmen* juga dikarenakan agar nelayan setempat tetap dapat menaikkan atau memarkirkan perahu mereka dengan mudah
2. Dari hasil perhitungan dimensi *revetmen* diperoleh:
 - Elevasi mercu = 4,23 m.
 - Lebar puncak = 3,8 m
 - Lapis lindung sebanyak 3 lapis : $t_1 = 2,51 \text{ m}$; $t_2 = 1,17 \text{ m}$; $t_3 = 0,43 \text{ m}$

- Tinggi toe protection = 2,51 m
- Lebar toe protection = 5,46 m

Referensi

- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Kota Bitung
Goda Foley, 1993. Pemanasan Global, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta
Higgins, Stewart, Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts
Mubekti, Alhasana., dan Fauziah. 2008, Mitigasi Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Teknik Pemodelan Sistem Informasi Geografis. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol 9 No 2 Mei 2018. Hal 121-129
Manuel, A., Jasin M. I., dan J.D. Mamoto. 2017. Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Pada Daerah Pantai Desa Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado. Jurnal Sipil Statik Vol. 5 No. 6 hal 1-10.
Rashid, 2012, Analisa Pasang Surut dengan metode *Admiralty*
Rizky, Yuliani, Abdi. Analisa Pasang Surut Dengan Metode Admiralty dan Least Square
Triatmodjo, B. 1996. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset, Yogyakarta.
Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta.
Yuwono, Nur., 1982, Teknik Pantai, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.