



Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Batu Putih Atas Kecamatan Ranowulu Kota Bitung

Paul V. M. Walean^{#a}, Jeffry D. Mamoto^{#b}, Ariestides K. T. Dundu^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^apaulwalean@gmail.com, ^bjeffrymamoto@unsrat.ac.id, ^ctorry@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Batu Putih yang berada di Kecamatan Ranowulu, Kelurahan Batu Putih Atas, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara, dan berada pada posisi 10 38' 22" LU – 1240 52' 38" BT. Letak geografis provinsi Sulawesi Utara terletak pada 00 LU – 30 dan 1230 dan 126 Bujur Timur. Daerah pantai ini merupakan salah satu lokasi pariwisata yang ada di Kota Bitung. 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 Abrasi 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 Batu Putih, Ranowulu, Bitung. 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 Block Beton modifikasi, dengan Tinggi Mercuri 4.01 m, Lebar Puncak 2 m, dengan Kemiringan Pengaman 1:3, Lebar *Toe Protection* 3.68 m, serta Tinggi *Toe Protection* 1.38 m.

Kata kunci: Pantai Batu Putih, gelombang, abrasi, pengaman pantai, revetment

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak wilayah pantai. Wilayah pantai umumnya berkembang lebih cepat dibandingkan wilayah pedalaman, sehingga pantai di Indonesia mempunyai potensi yang besar sebagai wilayah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk aktivitas manusia.

Meningkatnya pemanfaatan wilayah Pantai untuk aktivitas manusia dapat menimbulkan permasalahan di wilayah pantai, seperti abrasi gelombang yang menyebabkan mundurnya garis pantai, yang dapat berdampak pada kawasan pemukiman pantai.

Pantai Batu Putih adalah salah satu pantai yang terletak di Sulawesi Utara tepatnya di Kota Bitung Kecamatan Ranowulu. Pantai Batu Putih merupakan bagian dari wilayah perairan Indonesia yang berada di Provinsi Sulawesi Utara Bitung, dimana pantainya sangat dinamis.

Pantai Batu Putih terletak dekat dengan fasilitas-fasilitas yang dibangun pemerintah dan juga masyarakat setempat banyak melakukan aktifitas di sekitar pantai tersebut, namun terdapat abrasi dan ketika musim gelombang besar dapat mengganggu aktifitas masyarakat setempat juga berpotensi merusak fasilitas disekitarnya. Sehubungan dengan kondisi tersebut maka diperlukan perencanaan bangunan pengaman pantai untuk mencegah bahkan menghentikan kerusakan yang ada.

1.2. Rumusan Masalah

Menentukan pengaman pantai yang tepat serta efektif, untuk mencegah bahkan menghentikan, kerusakan pantai dan kemunduran garis pantai yang terjadi akibat gelombang tinggi serta abrasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Untuk menentukan tipe pengaman pantai yang tepat sesuai dengan analisa permasalahan yang ada serta dapat merencanakan pengaman pantai yang sesuai pada pantai Batu Putih, Ranowulu.

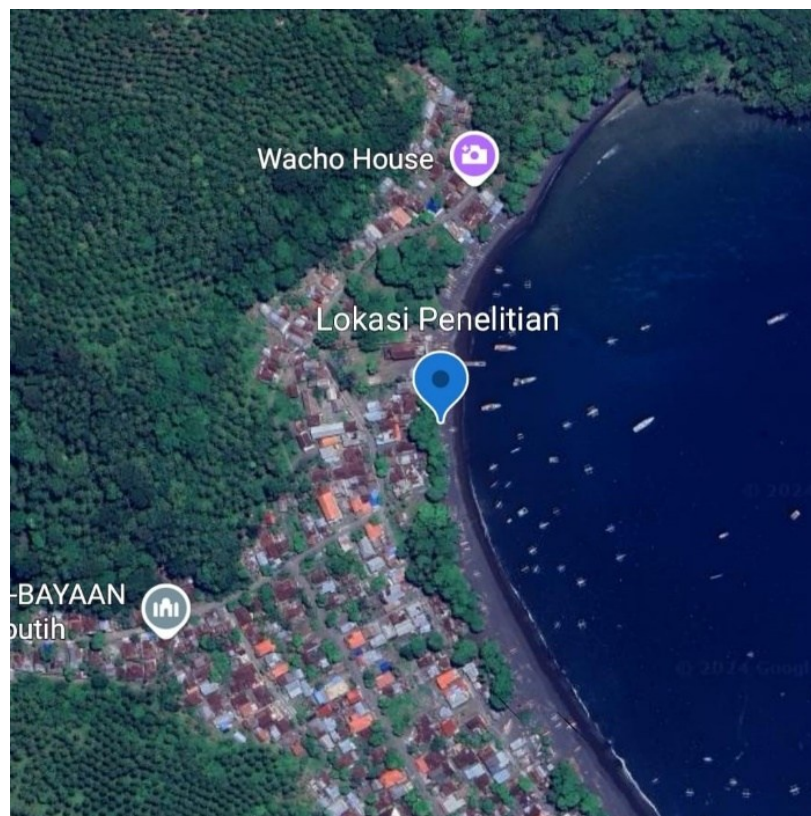
1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dalam penyusunan studi ini adalah:

1. Perhitungan dilakukan hanya pada Pantai Batu Putih, Ranowulu.
2. Perencanaan pengaman pantai menggunakan data yang sudah ada.
3. Tidak memperhitungkan Rincian Anggaran Biaya.

1.5. Manfaat Penelitian

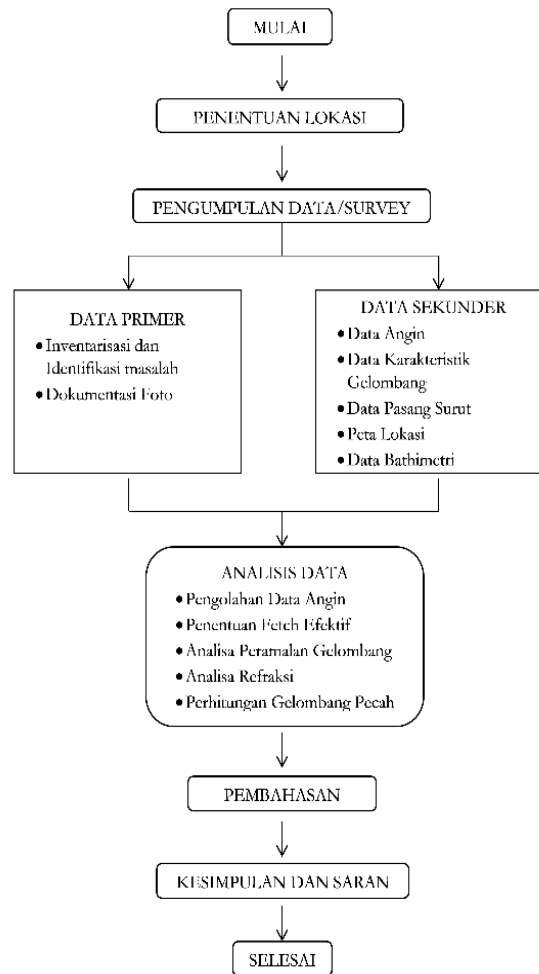
Untuk memperoleh pengetahuan tentang teknik pantai khususnya dalam mendesain pengaman pantai dan dapat menjadi referensi sebagai alternatif penanganan kerusakan pantai bagi pemerintah maupun pihak terkait.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelittian

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Pantai Batu Putih, Kecamatan Ranowulu, Bitung yang secara geografis berada $1^{\circ} 38' 22''$ LU – $124^{\circ} 52' 38''$ BT.



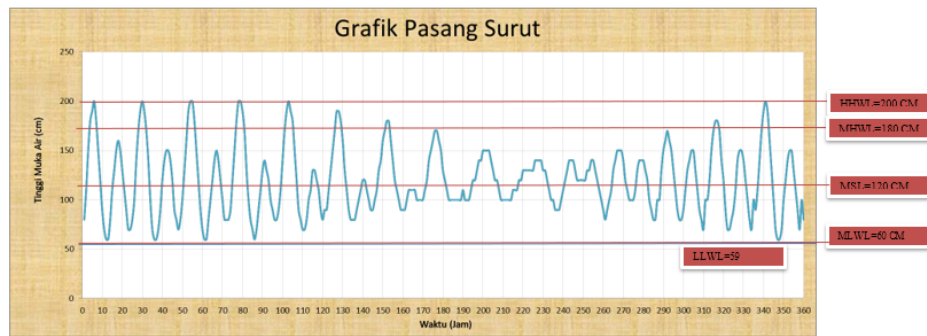
Gambar 2. Bagan Alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Pasang Surut Dengan Metode Admiralty

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pasang Surut Pantai Batu Putih

No	Tanggal	Jam																								Jumlah	Bacaan
		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	0:00	Bacaan	Rerata/jam
1	1/12/2020	0.8	1.1	1.5	1.8	1.9	2.0	1.8	1.5	1.2	0.9	0.7	0.6	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.6	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.7	28.9	1.20
2	1/13/2020	0.8	1.0	1.4	1.7	1.9	2.0	1.9	1.7	1.4	1.0	0.7	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	0.9	0.8	0.7	28.9	1.20
3	1/14/2020	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.0	2.0	1.8	1.5	1.2	0.9	0.7	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.8	29	1.21
4	1/15/2020	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.0	2.0	1.9	1.7	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	28.8	1.20
5	1/16/2020	0.8	0.9	1.1	1.4	1.7	1.9	2.0	1.9	1.8	1.5	1.2	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	28.8	1.20
6	1/17/2020	0.9	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.9	1.8	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	28.7	1.20
7	1/18/2020	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	29	1.21
8	1/19/2020	1.0	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	29	1.21
9	1/20/2020	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	29	1.21
10	1/21/2020	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	28.6	1.19
11	1/22/2020	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	1.1	28.7	1.20
12	1/23/2020	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	28.4	1.18
13	1/24/2020	1.3	1.5	1.6	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.8	1.0	28.4	1.18
14	1/25/2020	1.2	1.5	1.7	1.8	1.8	1.7	1.4	1.2	0.9	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.7	0.9	28.5	1.19
15	1/26/2020	1.1	1.4	1.7	1.9	2.0	1.9	1.6	1.3	1.0	0.7	0.6	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.7	0.8	28.6	1.19



Gambar 3. Grafik Pasang Surut Pantai Batu Putih

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Analisa Di Pantai Batu Putih

	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	120	32	26	6	23	13	1	4	7	8
g°	0.00	52.6	215.3	301.7	324.0	50.6	3.9	243.9	215.3	324.0

3.2. Penentuan Tipe Pasang Surut

Berdasarkan komponen-komponen Pasang Surut yang didapat dari hasil analisis dengan menggunakan metode *Admiralty* maka dapat ditentukan tipe pasang surut yang terjadi di Pantai Batu Putih Atas, Kecamatan Ranowulu, Kota Bitung dengan menggunakan angka pasang surut “F” (*tide form number “Formzahl”*). Dimana F ditentukan sebagai berikut :

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{18 + 13}{45 + 31} = 0.395$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka pantai batu putih termasuk dalam tipe Pasang Surut Campuran Condong Ke Harian Ganda (*mixed tide prevailing semiurdinal*) dengan nilai $0.25 < F \leq 1.5$, dimana $F = 0,395$.

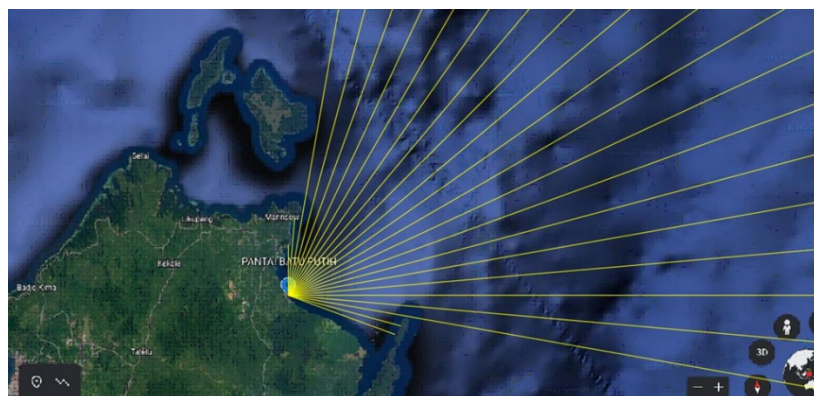
3.3. Penentuan Elevasi Muka Air Laut

Tabel 3. Elevasi Muka Air Laut

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	200
MHWL	cm	180.88
MSL	cm	120
MLWL	cm	59.53
LLWL	cm	60

Range	cm	121.34
-------	----	--------

3.4. Perhitungan Fetch Efektif



Gambar 4. Fetch Lokasi Penelitian

Tabel 4. Perhitungan Panjang Fetch Untuk 8 Arah Mata Angin

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	$F \cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	F_{eff} (km)	Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	$F \cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	F_{eff} (km)
UTARA (N)	-24	0.000	0.000	0.000	0.914	56.031	SELATAN (S)	-18	0.000	0.000	0.000	0.951	0.000
	-18	0.000	0.000	0.000	0.951			-12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	-12	0.000	0.000	0.000	0.978			-6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	-6	0.000	0.000	0.000	0.995			0	0.000	0.000	0.000	1.000	
	0	6784.950	6.785	6.785	1			6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	6	9960.000	9.960	9.905	0.995			12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	12	80790.000	80.790	79.025	0.978			18	0.000	0.000	0.000	0.951	
	18	58230.000	58.230	55.380	0.951			24	0.000	0.000	0.000	0.914	
TIMUR LAUT (NE)	-24	366650.000	366.650	334.951	0.914	260.577	BARATDAYA (SW)	-24	0.000	0.000	0.000	0.914	0.000
	-18	366650.000	366.650	334.951	0.914			-18	0.000	0.000	0.000	0.951	
	-12	58230.000	58.230	55.380	0.951			-12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	-6	80790.000	80.790	79.025	0.978			-6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	0	9960.000	9.960	9.905	0.995			0	0.000	0.000	0.000	1.000	
	6	308940.000	308.940	308.940	1			6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	12	297340.000	297.340	295.711	0.995			12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	18	289270.000	289.270	282.949	0.978			18	0.000	0.000	0.000	0.951	
TIMUR (E)	-24	698000.000	698.000	637.655	0.914	261.654	BARAT (W)	-24	0.000	0.000	0.000	0.914	0.000
	-18	269040.000	269.040	255.872	0.951			-18	0.000	0.000	0.000	0.951	
	-12	289270.000	289.270	282.949	0.978			-12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	-6	297340.000	297.340	295.711	0.995			-6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	0	263290.000	263.290	263.290	1			0	0.000	0.000	0.000	1.000	
	6	257370.000	257.370	255.960	0.995			6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	12	256590.000	256.590	250.983	0.978			12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	18	14860.000	14.860	14.133	0.951			18	0.000	0.000	0.000	0.951	
TENGGARA (SE)	-24	14420.000	14.420	13.173	0.914	0.000	BARATLAUT (NW)	-24	0.000	0.000	0.000	0.914	0.000
	-18	0.000	0.000	0.000	0.914			-18	0.000	0.000	0.000	0.951	
	-12	0.000	0.000	0.000	0.951			-12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	-6	0.000	0.000	0.000	0.978			-6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	0	0.000	0.000	0.000	0.995			0	0.000	0.000	0.000	1.000	
	6	0.000	0.000	0.000	0.995			6	0.000	0.000	0.000	0.995	
	12	0.000	0.000	0.000	0.978			12	0.000	0.000	0.000	0.978	
	18	0.000	0.000	0.000	0.951			18	0.000	0.000	0.000	0.951	
													$F_{eff}(\text{total})$
													578.262
													$F_{eff}(\text{dominan})$
													261.654

3.5. Analisa Data Angin

Data yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari BMKG Kota Bitung untuk lokasi Pantai Batu Putih.

Tabel 5. Perhitungan Faktor Tekanan Angin Tahun 2020

Perhitungan Wind Stress Factor Pada Tahun 2020					Z = $\pm$	10
					RT	1.1
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{Z} \right)^{1/4}$	R _L	$U_A = R_T \cdot R_L \cdot U_{10}$
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

3.6. Peramalan Tinggi Gelombang

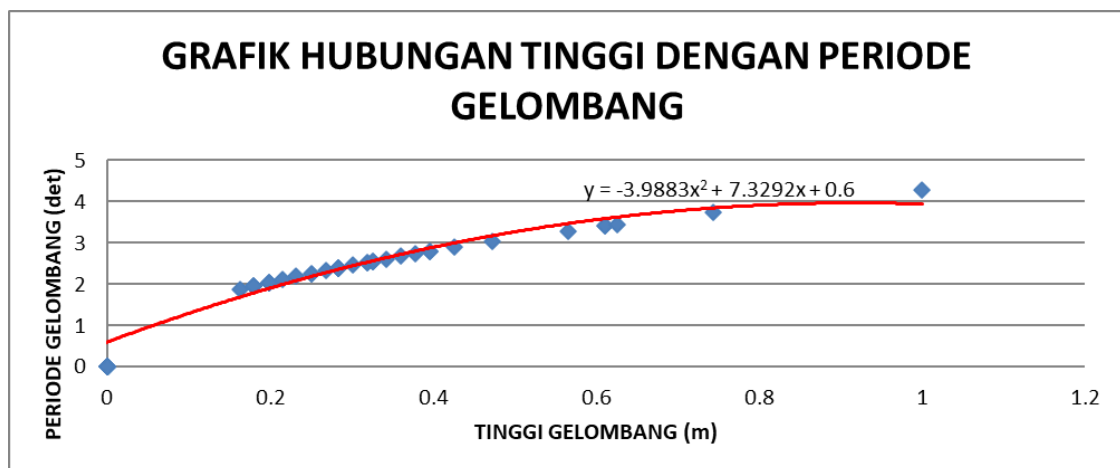
Rekapitulasi peramalan tinggi gelombang ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Arah, Tinggi dan Periode Gelombang dari tiap Fetch Berdasarkan Hindcasting Gelombang Tahun 2019-2023

Bulan	H-T	Arah datang gelombang			Max Tiap Bulan	
		N	NW	W	H-T	Arah
Januari	H	0.396	0	0.320	0.396	NE
	T	2.794	0	0.000	2.794	
Februari	H	0.396	0.000	0.302	0.396	W
	T	2.794	0.000	2.467	2.794	
Maret	H	0.326	0.000	0.326	0.326	E
	T	2.556	0.000	2.556	2.556	
April	H	0.000	0	0.000	0.000	S
	T	0.000	0	0.000	0.000	
Mei	H	0.180	0	0.163	0.180	NE
	T	1.949	0	1.863	1.949	
Juni	H	0.000	0	0.199	0.199	W
	T	0.000	0	2.037	2.037	
Juli	H	0.000	0.000	0.283	0.283	W
	T	0.000	0.000	2.398	2.398	
Agustus	H	1.000	0	0.782	1.000	N
	T	4.273	0	3.819	4.273	
September	H	0.000	0	0.000	0.000	W
	T	0.000	0	0.000	0.000	
Oktober	H	0.000	0	0.250	0.250	W
	T	0.000	0	2.266	2.266	
November	H	0.000	0.000	0.180	0.180	W
	T	0.000	0.000	1.949	1.949	
Desember	H	0.000	0.000	0.283	0.283	W
	T	0.000	0.000	2.398	2.398	
MAX TIAP ARAH					0.9999	NE
					4.273	

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas, dapat kita ketahui bahwa gelombang dominan maksimum datang dari arah timur. Dengan nilai tinggi gelombang signifikan $H = 0,999$ m dan Periode Gelombang signifikan $T = 4,273$ detik.

3.7. Analisa Transformasi Gelombang



Gambar 5. Hubungan Tinggi dan 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.

Tabel 7. Perhitungan Refraksi Untuk Arah Timur Laut

a_o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L	L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
60	10	0.9999	3.9413	24.2326	0.41267	0.41706	23.9774	6.1484	6.0836	0.8569	58.9706	1.0175	1.0087
58.9706	8	0.9656	4.2939	28.7622	0.27814	0.29257	27.3442	6.6984	6.3682	0.8147	54.5537	1.0810	1.0397
54.5537	7	0.8902	4.1408	26.7481	0.26170	0.27810	25.1711	6.4596	6.0788	0.7666	50.0521	1.0899	1.0440
50.0521	5	0.8146	3.9683	24.5654	0.20354	0.22811	21.9195	6.1905	5.5237	0.6841	43.1614	1.1596	1.0769
43.1614	2	0.7406	3.7810	22.3019	0.08968	0.13224	15.1245	5.8984	4.0001	0.4639	27.6395	1.5616	1.2496
27.6395	1	0.8249	3.9928	24.8702	0.04021	0.08353	11.9721	6.2288	2.9984	0.2233	12.9040	2.1419	1.4635

Tabel 8. Perhitungan Shoaling Untuk Arah Timur Laut

Lo	d/Lo	d/L	L	no	n	Kr	Ks	H
24.2326	0.41267	0.41706	23.9774	0.5	0.5278	1.0087	0.9575	0.9656
28.7622	0.27814	0.29257	27.3442	0.5	0.5931	1.0397	0.8867	0.8902
26.7481	0.26170	0.27810	25.1711	0.5	0.6062	1.0440	0.8765	0.8146
24.5654	0.20354	0.22811	21.9195	0.5	0.6637	1.0769	0.8443	0.7406
22.3019	0.08968	0.13224	15.1245	0.5	0.8272	1.2496	0.8913	0.8249
24.8702	0.04021	0.08353	11.9721	0.5	0.9188	1.4635	1.1305	1.3647

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan Arah Timur Laut

H'o	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
1.0086	0.0066	0.01	1.20	1.2103
1.0890	0.0060	0.01	1.15	1.2524
1.0157	0.0060	0.01	1.14	1.1579
0.9648	0.0062	0.01	1.14	1.0999
0.8310	0.0059	0.01	1.05	0.8725
0.7297	0.0047	0.01	1.00	0.7297

3.8. Perhitungan Angkutan Sedimen

Tabel 10. Hasil Perhitungan Angkutan Sedimen

Angkutan Sedimen	Qs (m ³ /tahun)
Sejajar pantai	2621.200
Tegak lurus pantai	3869.277

Nilai angkutan sedimen diperoleh menggunakan metode CERC. Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa nilai terbesar adalah angkutan sedimen tegak lurus pantai, maka pengaman pantai yang direncanakan mengikuti garis pantai.

3.9. Perhitungan Gelombang Rencana Dan Gelombang Pecah Untuk Revetment

Elevasi dasar revetment direncanakan LLWL = 0.5 m. ketinggian air pada ujung bangunan yang menghadap ke laut direncanakan sebesar HHWL = 2.00 m dari dasar laut. Sehingga didapatkan $d_s = HHWL$. Maka untuk perhitungan gelombang rencana pada revetment pantai Batu Putih adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_s &= HHWL \\
 H_b &= 0,87d_s \\
 &= 0,87 \times 2 \\
 H_d = H_b &= 1,750 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.10. Perhitungan Elevasi Mercu

Elevasi mercu = DWL + Ru + tinggi jagaan

Run up gelombang (Ru)

Direncanakan :

Jenis bangunan = Revetment

Lapis lindung = Blok Beton

Tinggi gelombang (H_D) = H_b
= 1,210 m

Kemiringan bangunan = 1:3

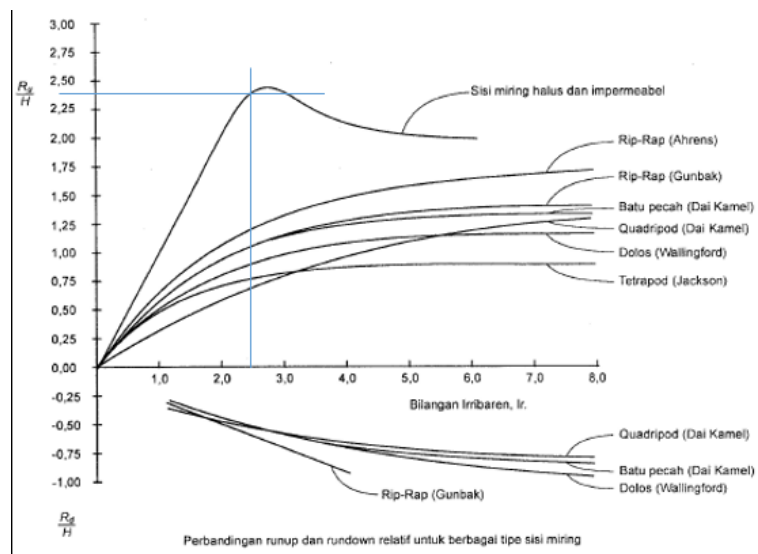
Panjang gelombang dilaut dalam:

L_0 = $1,56 T^2$
= $1,56 \times 3,939^2 = 23,450$ m

Bilangan Irribaren:

$$I_r = \frac{tg \theta}{\left(\frac{T}{L_0}\right)^{0,5}} v = \frac{\frac{1}{2}}{\left(\frac{3,939}{23,450}\right)^{0,5}} = 2,42$$

Dari bilangan Irrabaren di atas, diperoleh:



Gambar 6. Grafik Run-Up Gelombang

$$\frac{Ru}{H} = 2,3$$

$$Ru = 2,4 \times 1,750 = 1,14$$

Tinggi jagaan diperkirakan sebesar 0,5 meter, maka elevasi mercu adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Elevasi mercu} &= \text{DWL} + Ru + \text{tinggi jagaan} \\ &= 2,25 + 1,31 + 0,5 \\ &= 4,06 \text{ m} \end{aligned}$$

3.11. Perhitungan Lapis Lindung

Rumus yang digunakan dalam menentukan berat batu lapis lindung adalah rumus Hudson. Untuk lapis lindung dari Beton kubus modifikasi dengan $n=2$, penempatan acak, gelombang pecah dan koefisien stabilitas (K_D) lengan bangunan = 6,5. Perhitungannya sebagai berikut:

- Lapisan pelindung luar (armour stone)

$$W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Dimana: γ_r = berat jenis beton ($2,3 \text{ t/m}^3$)
 γ_a = berat jenis air laut ($1,025 \text{ t/m}^3$)

Maka:
$$W_1 = \frac{2,3 \times 1,750^3}{6,5 \left(\frac{2,3}{1,025} - 1 \right)^3 2} = 0,570 \text{ ton} \approx 578 \text{ kg}$$

Tebal lapisan pelindung luar (armour stone) (t_1)

$$t_1 = n K_{\Delta} \left(\frac{W_1}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

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

Maka:
$$t_1 = 2 \times 0,95 \left(\frac{0,570}{2,3} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,375 \approx 1,38 \text{ m}$$

- Lapis pelindung kedua (secondary stone)

$$W_2 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Dimana: γ_r = berat jenis batu ($2,65 \text{ t/m}^3$)

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

Maka:
$$W_2 = \frac{2,65 \times 1,70^3}{6,5 \left(\frac{2,65}{1,025} - 1 \right)^3 2} = 1,032 \text{ ton} \approx 1032 \text{ kg}$$

Material yang digunakan pada lapis lindung ke-2 adalah batu boulder, maka untuk nilai W diambil 1,032 ton dari perhitungan W_2 .

$$W_2 = \frac{W_1}{10} = \frac{1,032}{10} = 0,1032 \approx 103,2 \text{ kg}$$

Tebal lapis pelindung kedua (secondary stone) (t_2)

$$t_2 = n K_{\Delta} \left(\frac{W_2}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Dimana: γ_r = berat jenis batu ($2,65 \text{ t/m}^3$)

Maka:
$$t_2 = 2 \times 1,10 \left(\frac{0,1032}{2,65} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,751 \text{ m} \approx 0,75 \text{ m}$$

- Lebar Puncak Revetment

Lebar puncak revetment untuk $n = 3$ (minimum) dan koefisien lapis (K_{Δ}) = 1,10. dapat dihitung dengan rumus:

$$B = n K_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} = 3 \times 1,10 \left(\frac{0,570}{2,3} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,01 \text{ m} \approx 2,0 \text{ m}$$

Jumlah butir batu pelindung tiap satu satuan luas (10 m^2) dan prioritas = 47 (tabel koefisien lapis) dapat dihitung sebagai berikut:

$$N = A n K_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{\frac{1}{3}} = 10 \times 2 \times 1,10 \left[1 - \frac{47}{100} \right] \times \left[\frac{2,3}{0,570} \right]^{\frac{1}{3}} = 49 \text{ buah}$$

3.12. Pelindung Kaki Pemecah Gelombang (Toe Protection)

Perhitungan tinggi *toe protection* dengan r (tebal lapis pelindung ($r \sim 2H$)) = 1,58 m, tinggi gelombang rencana $H_d = 1,750 \text{ m}$, maka:

Tinggi Toe Protection = 1,382 m

Lebar Toe Protection = Diambil $B = 2H$

$$= 2H_D = 3,680 \text{ m}$$

Berat batu pelindung kaki pemecah gelombang yang dipergunakan kira-kira setengah dari yang dipergunakan dinding tembok ($0,5W$)

$$W = 0,5 \times 936 = 0,468 \text{ ton} = 468 \text{ kg}$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat perbedaan tinggi gelombang antara tinggi gelombang yang ada di lokasi yaitu 1,5 -

2 meter dengan hasil dari tinggi gelombang teoritis yang hanya 0,999 meter. Dari hasil analisa pasang surut yang didapatkan pasang tertinggi (HHWL) mencapai 2 meter. Berdasarkan Perhitungan Angkutan Sedimen, di dapatkan angkutan sedimen dominam yaitu Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai sebesar 3869,277 m³/tahun, mengacu dari hal tersebut maka arah pengaman direncanakan mengikuti Garis Pantai untuk mengurangi, Transport Sedimen yang terjadi.

2. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, dimensi revetment yang disarankan adalah sebagai berikut:

- Jenis bangunan : Revetment
- Elevasi mercu : 4,01 m
- Lebar puncak : 2 m
- Kemiringan : 1:3
- Tinggi toe protection : 1,382 m
- Lebar Toe Protection : 3,68 m

Referensi

- Bambang Triatmodjo, 1999. *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Anggi Cindy Wakkary M. Ihsan Jasin, A.K.T. Dundu, *Studi Karakteristik Gelombang Pada Daerah Pantai Desa Kalinaung Kab. Minahasa*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.3 Mei 2017 (167-174) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Arthur H. Thambas, Jeffry Dantje Mamoto, *Studi Karakteristik Gelombang Pada Pantai Manembo-Nembo Kecamatan Matuari Kota Bitung Provinsi Sulawesi Utara*. TEKNO – Volume 20 Nomor 80 – April 2022. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- CERC, 1984, *Shore Protection Manual, US Army Coastal Of Engineering Research Center (CERC)*, Washington. (SPM 1984) .
- Goda Foley, 1993, *Pemanasan Global* (terjemahan), Yayasan Obor Indonesia Jakarta.
- Kirsty McConnell, 1998 *Revetment systems against wave attack. A design manual*.
- Masita Aisza Mokodongan, Muh. Ihsan Jasin, Arthur H. Thambas, *Analisis Karakteristik Gelombang Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat*. Jurnal Sipil Statik Vol.9 No.4 Juli 2021 (699-708) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Natania Rorimpandey, Muh. Ihsan. Jasin, A. K. T. Dundu, *Perencanaan Pengamanan Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.5 Agustus 2020 (795-808) 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.
- Satria Putra Tawoeda, Hanjse. J Tawas, Fuad Halim. *Studi Transformasi Gelombang terhadap Perubahan Garis Pantai Beo Barat Kabupaten Kepulauan Talaud*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.3 Maret 2016 (155-164) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Sumampouw, F. V., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2023). Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat. TEKNO, 21(85), 837-848.
- 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
- ..., *Autocad Map 2016, Peta Batimetri*
- ..., *Global Mapper 20, Peta Topografi*
- ..., *Google Eearth, 2016, Gambar Lokasi Penelitian*.