

PERENCANAAN PENGAMANAN PANTAI TOBOLOLO KELURAHAN TOBOLOLO KOTA TERNATE PROVINSI MALUKU UTARA

Natania Rorimpandey

Muh. Ihsan. Jasin, A. K. T. Dundu

Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado

Email: natania.rorimpandey@gmail.com

ABSTRAK

Pantai Tobololo terletak di Kelurahan Tobololo, Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara adalah salah satu kawasan pariwisata yang ada di Kota Ternate. Tujuan wisata yang tidak hanya dinikmati oleh warga sekitar namun juga wisatawan dari luar daerah menjadikan Pantai Tobololo sebagai sumber mata pencaharian bagi masyarakat sekitar. Namun pada kenyataan dilapangan, Pantai Tobololo sudah mengalami erosi yang disebabkan oleh gelombang yang mengakibatkan pengerusan pada tebing pantai. Perencanaan pengaman pantai harus direncanakan dengan mengumpulkan data sekunder yang didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya berupa data angin, data gelombang, data pasang surut, juga melalui software penunjang yang ada. Kemudian data tersebut di analisis sehingga didapatkan desain dari pengaman pantai yang diperlukan.

Dari hasil analisis data maka didapatkan perencanaan bangunan pengaman pantai dengan jenis bangunan Revetment dengan lapis lindung Buis beton yang dimodifikasi, tinggi mercu 2,9 m, lebar puncak 1,2 m, kemiringan bangunan 1:6, untuk mencegah erosi, yang dilengkapi dengan penambahan pasir (Beach Nourishment) guna mempertahankan kealamian pantai yang diperuntukan sebagai kawasan pariwisata.

Kata Kunci: *Pantai Tobololo, Erosi, Pengaman Pantai, Revetment, Beach Nourishment*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

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 km (Badan Informasi Geospasial Indonesia (BIG)).

Erosi atau biasa disebut abrasi pantai adalah salah satu kerusakan yang disebabkan oleh alam. 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.

Pantai Tobololo yang berada di Kelurahan/Desa Tobololo, Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara adalah salah satu pantai yang dipergunakan sebagai sektor pariwisata. Daerah pantai ini merupakan salah satu objek

wisata di kota Ternate, namun kondisi pantai yang curam yang disebabkan oleh erosi terus-menerus mengakibatkan kerusakan yang cukup parah untuk daerah pantai tersebut. Sehubungan dengan kondisi tersebut maka diperlukan perencanaan pengaman pantai untuk mencegah bahkan menghentikan kerusakan yang ada.

Perumusan Masalah

1. Apakah terjadi erosi pada pantai Tobololo?
2. Apa pengaruh yang ditimbulkan akibat erosi pada pantai tobololo?
3. Bagaimana cara menanggulangi kerusakan akibat erosi pada pantai Tobololo?

Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan pada pantai Tobololo.
2. Perencanaan pengaman pantai menggunakan data yang sudah ada.
3. Tidak memperhitungkan Rincian Anggaran Biaya.

Tujuan Penelitian

Untuk menentukan pengaman pantai yang tepat dan sesuai dengan analisa permasalahan yang ada pada pantai Tobololo agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah akibat erosi pada pantai Tobololo.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

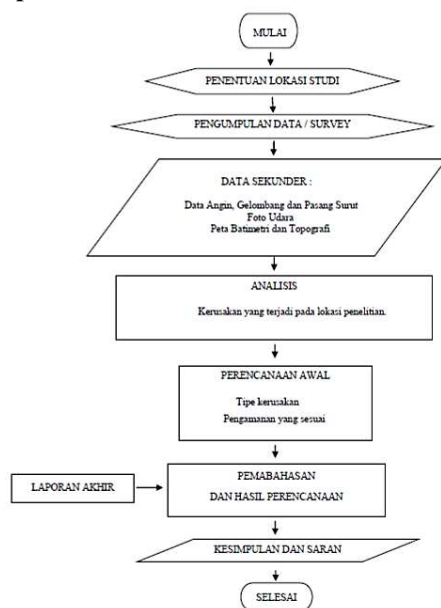
1. Memperoleh pengetahuan mengenai teknik pantai khususnya dalam penanganan pengaman pantai.
2. Sebagai referensi pengamanan pantai Tobololo bagi pemerintah maupun kontraktor dan pihak terkait lainnya agar tidak terjadi masalah yang lebih parah akibat abrasi laut pada bibir pantai.

Metodologi Studi

Studi Kasus

Melakukan analisis terhadap permasalahan yang ada pada lokasi penelitian dengan mengolah data pasang surut, gelombang, arus, dan angin yang sudah tersedia agar mendapatkan pengamanan yang tepat, serta dapat merencanakan pengaman pantai yang diperlukan.

Tahapan Pelaksanaan Studi



Gambar 1. Tahapan studi

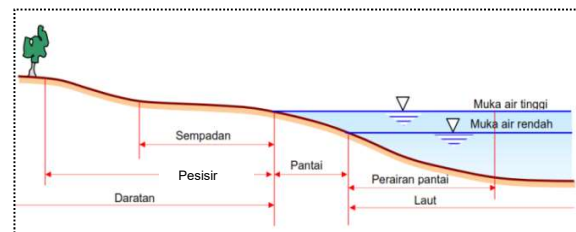
LANDASAN TEORI

Kerusakan Pantai

Secara umum, gaya yang menyebabkan terjadinya kerusakan pantai adalah gelombang angin. Gelombang angin adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut. Gelombang angin merupakan faktor paling dominan dalam analisis gelombang. Dalam penjalaran ke pantai, gelombang mengalami proses shoaling refraksi dan difraksi yang menyebabkan gelombang selalu berusaha tegak lurus garis pantai. Gerakan osilasi partikel air berperan penting dalam transportasi sedimen pantai

Gambaran Umum Pantai

Istilah pantai sering rancu dalam pemakaiannya yaitu antara *coast* (pesisir) dan *shore* (pantai). Defenisi *coast* (pesisir) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan *shore* (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah.



Gambar 2. Defenisi Pantai dan Batasan Pantai
Sumber : <http://eprints.undip.ac.id/>

Angin

Angin merupakan sirkulasi yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi (Bambang Triatmodjo, 1999). Angin terjadi akibat adanya perubahan ataupun perbedaan suhu antara suatu tempat dengan tempat yang lain. Salah satu contoh yang dapat di ambil adalah perubahan suhu yang terjadi antara daratan dan lautan.

Gelombang

Gelombang laut tercipta karena adanya transfer energi dari angin ke permukaan laut. Energi yang ditransferkan ini akan bergerak

melintasi permukaan laut, dimana air laut sendiri bergerak dalam gerakan membundar (*circular motion*) di bawah permukaan laut (Kusumastuti, 2011). Gelombang juga dapat diakibatkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi yang disebut gelombang pasang surut. Sedangkan gaya seismik yang berupa gempa tektonik dan vulkanik akan menimbulkan tsunami yang jarang terjadi.

Gelombang Pecah

Jika gelombang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3.3 \left(\frac{H'_0}{L_0}\right)^{1/3}} \dots\dots\dots(1)$$

Kedalaman air di mana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut:

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

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

$$a = 43,75(1 - e^{-19m})m \dots\dots\dots(3)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \dots\dots\dots(4)$$

dengan,

- H_b* : tinggi gelombang pecah
- H'₀*: tinggi gelombang laut dalam ekivalen
- L₀* : panjang gelombang di laut dalam
- d_b* : kedalaman air pada saat gelombang pecah
- m* : kemirigan dasar laut
- g* : percepatan gravitasi
- T* : periode gelombang

a. Wave set up

Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap

elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah.

Wave set up di pantai diberikan oleh bentuk berikut:

$$S_w = 0.19 \left(1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}}\right) H_b \dots\dots\dots(5)$$

b. Run Up

Struktur bangunan pantai juga harus mampu menahan gesekan air laut akibat adanya rayapan gelombang air laut, terutama pada saat badai atau akibat pasang surut.

$$I_r = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- I_r* = bilangan Irrabaren
- θ* = sudut kemiringan sisi bangunan
- H* = tinggi gelombang dilokasi bangunan
- L₀* = panjang gelombang di laut dalam

Tinggi Gelombang Rencana

Langkah-langkah perhitungan tinggi gelombang rencana:

$$UA = 0.71. U^{1,23} \dots\dots\dots(7)$$

$$T = 6,238 \times 10^{-1} (UA.F)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(8)$$

$$H_0 = 1.616 \times 10^{-2} . UA.F^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(9)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots(10)$$

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos a\theta}{\cos}} \dots\dots\dots(11)$$

$$H = H_0.Ks.Kr \dots\dots\dots(12)$$

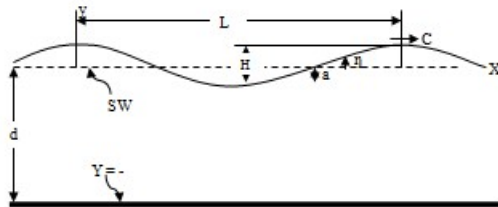
Dimana :

- H* = tinggi gelombang rencana (m)
- UA* = kecepatan (m/dt)
- F* = fetch efektif (m)
- T* = periode gelombang (dt)
- H₀* = tinggi gelombang (m)
- L₀* = panjang gelombang (m)

Teori Gelombang Amplitudo Kecil (Airy)

Teori paling sederhana adalah teori gelombang Airy, yang juga disebut teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Sir. George Biddell Airy pada tahun 1845.

Selain mudah dipahami, teori tersebut sudah dapat digunakan sebagai dasar dalam merencanakan bangunan pantai.



Gambar 3. Teori gelombang

Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang adalah teknik peramalan gelombang yang akan datang dengan menggunakan data angin dimasa lampau. Data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan periode gelombang di laut. Terjadinya gelombang di laut paling dipengaruhi oleh tiupan angin.

Fetch

Fetch adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah *fetch* adalah daerah dengan kecepatan angin konstan. Sedangkan jarak *fetch* merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup³. Arah *fetch* bisa datang dari segala arah, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

- F_{eff} : *Fetch* efektif
- F : Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.
- α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Angkutan Sedimen Pantai

Angkutan sedimen yang terjadi di pantai merupakan akibat dari gabungan antara osilasi gelombang dengan aliran searah yang berupa arus sejajar pantai. Gabungan arus tersebut ditambah dengan olakan turbulensi oleh

gelombang pecah menjadikan angkutan sedimen pantai sangat dinamis.

a. Angkutan Sedimen Sejajar Pantai

Angkutan sedimen sejajar pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Beberapa cara yang biasanya digunakan untuk memprediksi transpor sedimen sejajar pantai.

Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris, yang dikembangkan berdasar data pengukuran model dan prototip pada pantai berpasir; dan merupakan hubungan antara transport sedimen dan komponen fluks energy gelombang sepanjang pantai dalam bentuk (US Army,2002):

$$Q_s = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \dots\dots\dots (14)$$

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} \times H_b^2 \times C_b \times \sin \alpha_b \times \cos \alpha_b \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

- Q_s = Jumlah angkutan sedimen sepanjang pantai (m³/d)
- P₁ = Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (kg m/d)
- ρ = rapat massa air laut (kg/m³)
- ρ_s = rapat massa pasir (kg/m³)
- H_b = Tinggi gelombang (m)
- C_b = Cepat rambat gelombang pecah (m/d) = $\sqrt{gd_b}$
- α_{br} = Sudut datang gelombang pecah
- K = konstanta (CERC (1984) memeberikan nilai K=0,39)
- n = porositas (n~4)

Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai

Gerakkan air di dekat dasar menimbulkan tegangan geser pada sedimen dasar. Bila tegangan geser (τ_b) melampaui batas kritis, maka akan terjadi gerakan sedimen.

Untuk arah angkutan sedimen ditentukan berdasarkan penelitian Sunamura (1982) yang mendapatkan hubungan antara parameter Shield

ψ_m dan parameter Ursell U_R dalam bentuk grafik (lampiran).

$$\psi = \frac{\tau b}{(\rho_s - \rho)gD} = \frac{u_b^2}{sgD} \dots\dots\dots (16)$$

Didalam mempelajari transport sedimen, kecepatan partikel air di dekat dasar (u_b) dinyatakan dalam bentuk tegangan geser dasar τb . Hubungan antara tegangan geser dasar dan kecepatan partikel air dinyatakan dalam bentuk :

$$\tau b = \rho \cdot u_*^2 \dots\dots\dots (17)$$

Dengan :

$$u_* = \sqrt{f/2} \dots\dots\dots (18)$$

Pasang Surut

Pasang Surut Metode Admiralty

Metode Admiralty merupakan metode empiris berdasarkan tabel-tabel pasang surut yang dikembangkan pada awal abad ke 20. Metode ini terbatas untuk menguraikan data pasang surut selama 15 atau 29 hari dengan interval pencatatan 1 jam. Metode ini menghitung amplitudo dan ketertinggalan *phasa* dari sembilan komponen pasut serta muka laut rata-rata (MSL). Tinggi muka air laut rata-rata (MSL) biasanya ditetapkan dari suatu *bench mark* tertentu yang dijadikan acuan leveling di daerah survey.

Dinding Pantai (Revetment)

Dinding pantai (revetmet) adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (overtopping) ke darat.

Beach Nourishment

Beach nourishment adalah kegiatan menambang pasir di lepas-pantai atau didaerah lain dan ditempatkan di pantai untuk mengganti pasir yang tererosi oleh badai atau ombak. Hal ini dilakukan untuk melindungi fungsi dari pantai dan fungsi pantai sebagai tempat rekreasi.

Pengamanan Pantai Metode Konstruksi Bangunan Revetment dengan penambahan pasir (*Beach Nourishment*)

Eastern Solent Coastal Partnership (ESPC) adalah kementerian yang dibentuk pada tahun 2012 yang tergabung dalam tim perwira dan Insinyur spesialis pantai yang mengelolah 162 km garis pantai di Hampshire, South East England yang mempunyai visi "Untuk mengurangi risiko banjir dan erosi pantai bagi komunitas kami dan mendorong penyediaan perlindungan pantai yang berkelanjutan secara teknis, lingkungan, dan ekonomi." (<https://www.escp.org.uk/about>). Pada tanggal 11 bulan November tahun 2013, Eastern Solent Coastal Partnership menyelesaikan proyek pertahanan pesisir yang dirancang untuk mengurangi resiko banjir hingga lebih dari 1.700 rumah di Pulau Hayling, yang melibatkan pembangunan lebih dari 650m Rock Revetment . (<https://www.escp.org.uk/eastoke>)

METODOLOGI PENELITIAN

Data Sekunder

Pengumpulan data-data sekunder pada prinsipnya dilaksanakan dengan cara mengunjungi lembaga-lembaga atau instansi-instansi yang terkait sebagai sumber data untuk dimintai keterangan dan bahkan data-data yang berhubungan dengan studi ini misalnya hasil penelitian sebelumnya, ataupun dengan menggunakan *software-software* penunjang. Data sekunder yang di maksud ialah data Angin, Gelombang dan Pasang Surut, Foto Udara, Peta Batimetri dan Topografi.

Metode Analisis Data Sekunder

1. Data Angin, Gelombang, dan Pasang Surut

Data angin, gelombang, dan pasang surut diperlukan untuk menghitung dimensi, tinggi dan detail dari perencanaan pengamanan yang dikerjakan.

2. Foto udara

Foto udara dari *software* Google Earth diperlukan untuk mengetahui posisi pantai sebagai daerah studi.

3. Peta Topografi dan Batimetri

Peta Topografi dan Batimetri diperlukan untuk penempatan pengamanan pantai yang direncanakan.

ANALISA DAN PEMBAHASAN



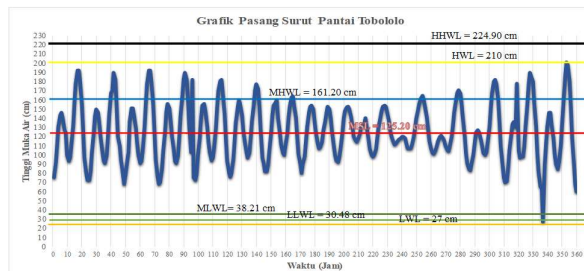
Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian
Sumber : Google Earth

Perhitungan Pasang Surut Dengan Metode Admiralty

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pasang Surut

No	Tanggal	000	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	Jumlah	Rataan			
1	17/1/2014	75	85	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235	250	265	280	295	310	325	340	355	370	385	400	415	430	445	460	475	127	127,08
2	20/1/2014	72	82	97	112	127	142	157	172	187	202	217	232	247	262	277	292	307	322	337	352	367	382	397	412	427	442	457	472	127	126,88
3	23/1/2014	69	79	94	109	124	139	154	169	184	199	214	229	244	259	274	289	304	319	334	349	364	379	394	409	424	439	454	469	127	126,68
4	26/1/2014	66	76	91	106	121	136	151	166	181	196	211	226	241	256	271	286	301	316	331	346	361	376	391	406	421	436	451	466	127	126,48
5	29/1/2014	63	73	88	103	118	133	148	163	178	193	208	223	238	253	268	283	298	313	328	343	358	373	388	403	418	433	448	463	127	126,28
6	31/1/2014	60	70	85	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235	250	265	280	295	310	325	340	355	370	385	400	415	430	445	460	127	126,08
7	3/2/2014	57	67	82	97	112	127	142	157	172	187	202	217	232	247	262	277	292	307	322	337	352	367	382	397	412	427	442	457	127	125,88
8	6/2/2014	54	64	79	94	109	124	139	154	169	184	199	214	229	244	259	274	289	304	319	334	349	364	379	394	409	424	439	454	127	125,68
9	9/2/2014	51	61	76	91	106	121	136	151	166	181	196	211	226	241	256	271	286	301	316	331	346	361	376	391	406	421	436	451	127	125,48
10	12/2/2014	48	58	73	88	103	118	133	148	163	178	193	208	223	238	253	268	283	298	313	328	343	358	373	388	403	418	433	448	127	125,28
11	15/2/2014	45	55	70	85	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235	250	265	280	295	310	325	340	355	370	385	400	415	430	445	127	125,08
12	18/2/2014	42	52	67	82	97	112	127	142	157	172	187	202	217	232	247	262	277	292	307	322	337	352	367	382	397	412	427	442	127	124,88
13	21/2/2014	39	49	64	79	94	109	124	139	154	169	184	199	214	229	244	259	274	289	304	319	334	349	364	379	394	409	424	439	127	124,68
14	24/2/2014	36	46	61	76	91	106	121	136	151	166	181	196	211	226	241	256	271	286	301	316	331	346	361	376	391	406	421	436	127	124,48
15	27/2/2014	33	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	193	208	223	238	253	268	283	298	313	328	343	358	373	388	403	418	433	127	124,28

(Sumber: Theodorus Pasomba, 2019)



Gambar.4 Grafik Pasang Surut Pantai Tobololo
(Sumber: Theodorus Pasomba, 2019)

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

	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	125.20	43.05	18.45	4.89	8.01	9.10	0.08	8.49	4.98	2.64
g ²	0.00	30.96	157.52	211.04	98.20	86.26	356.38	207.13	157.52	98.20

(Sumber: Theodorus Pasomba, 2019)

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 Tobololo dengan menggunakan angka pasang surut “F” (tide form number “Formzahl”). Dimana F ditentukan sebagai berikut:

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{8.01 + 9.10}{43.05 + 18.45} = 0.28$$

Pasang Surut termasuk tipe Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (mixed tide prevailing semi diurnal) dengan nilai 0.25 < F ≤ 1.5, dimana F = 0.28.

Penentuan Elevasi Muka Air Laut

Tabel 3. Elevasi Muka Air Laut

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	224.90
MHWL	cm	161.20
MSL	cm	125.20
MLWL	cm	38.21
LLWL	cm	30.48
Z0	cm	99.70

(Sumber: Theodorus Pasomba, 2019)

Angin, Arah Angin dan Tekanan Angin.

Tabel.4 Perhitungan Faktor Tekanan Angin Pada Tahun 2014

Perhitungan Wind Stress Factor Pada Tahun 2014						
					Z = ±	3.2
					RT	1.1
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	U ₁₀ = Uz (10/Z) ^{0.167}	R _L	U _A = R _L . R _T . U ₁₀
2014						
Januari	NE	3.605	3.6	3.05	1.54	5.17
Februari	NE	3.605	3.6	3.05	1.54	5.17
Maret	NW	5.150	5.2	4.36	1.4	6.72
April	NW	2.575	2.6	2.18	1.66	3.98
Mei	SW	2.060	2.1	1.74	1.72	3.30
Juni	SW	2.060	2.1	1.74	1.72	3.30
Juli	S	2.575	2.6	2.18	1.66	3.98
Agustus	S	2.060	2.1	1.74	1.72	3.30
September	NE	4.120	4.1	3.49	1.49	5.72
Oktober	NE	3.605	3.6	3.05	1.54	5.17
November	NE	6.180	6.2	5.23	1.32	7.60
Desember	NE	5.150	5.2	4.36	1.4	6.72

(Sumber: Kurniawan Munirianto Hi. Sabatun, 2019)

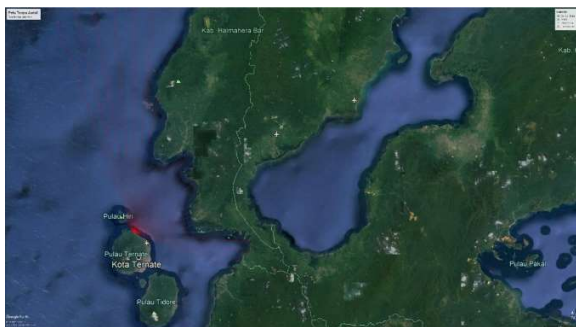
Hindcasting Gelombang

Perhitungan Fetch Efektif Pantai Tobololo.

Tabel.5 Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari delapan Arah Mata Angin Di Pantai Tobololo.

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
UTARA (N)	-20	0	0	0	0.940	9.205675
	-15	0	0	0	0.966	
	-10	0	0	0	0.985	
	-5	0	0	0	0.996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0.996	
	10	38548	38.548	37.967	0.985	
	15	22930	22.930	22.148	0.966	
20	21978	21.978	20.652	0.940		
TIMUR LAUT (NE)	-20	23241	23.241	21.839	0.940	23.35993
	-15	25848	25.848	24.967	0.966	
	-10	28062	28.062	27.636	0.985	
	-5	26285	26.285	26.185	0.996	
	0	22121	22.121	22.121	1	
	5	22886	22.886	22.799	0.996	
	10	22598	22.598	22.255	0.985	
	15	20957	20.957	20.243	0.966	
20	17982	17.982	16.898	0.940		
TIMUR (E)	-20	18995	18.995	17.849	0.940	23.25579
	-15	15936	15.936	15.393	0.966	
	-10	14016	14.016	13.803	0.985	
	-5	12778	12.778	12.729	0.996	
	0	18465	18.465	18.465	1	
	5	33298	33.298	33.171	0.996	
	10	33308	33.308	32.802	0.985	
	15	31855	31.855	30.770	0.966	
20	30910	30.910	29.046	0.940		
20	0	0	0	0.940		

(Sumber: Kurniawan Munirianto Hi. Sabtu, 2019)



Gambar 5. Fetch Arah Utara, Timur Laut, dan Timur
Sumber : Google Earth

Tabel.6 Tabel rekapitulasi arah, tinggi dan periode gelombang dari masing – masing fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang tahun 2008 – 2017.

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		NE	ENE	E	ESE	Arah	H - T
JANUARI	H (m)	0.405	0	0	0	NE	0.405
	T (det)	2.830	0	0	0		2.830
FEBRUARI	H (m)	0.354	0	0	0	NE	0.354
	T (det)	2.730	0	0	0		2.730
MARET	H (m)	0	0	0	0	-	0.000
	T (det)	0	0	0	0		0.000
APRIL	H (m)	0	0	0	0	-	0.000
	T (det)	0	0	0	0		0.000
MEI	H (m)	0	0	0	0	-	0.000
	T (det)	0	0	0	0		0.000
JUNI	H (m)	0	0	0	0	-	0.000
	T (det)	0	0	0	0		0.000
JULI	H (m)	0	0	0	0	-	0.000
	T (det)	0	0	0	0		0.000
AGUSTUS	H (m)	0	0	0	0.042	ESE	0.042
	T (det)	0	0	0	1.085		1.085
SEPTEMBER	H (m)	0.384	0.384	0.430	0	ENE	0.430
	T (det)	2.790	2.790	2.873	0		2.873
OKTOBER	H (m)	0.449	0.405	0.430	0	NE	0.449
	T (det)	2.908	2.830	2.873	0		2.908
NOVEMBER	H (m)	0.449	0.384	0.325	0	NE	0.449
	T (det)	2.908	2.790	2.667	0		2.908
DESEMBER	H (m)	0.405	0	0	0	NE	0.405
	T (det)	2.830	0	0	0		2.830
MAX TIAP ARAH	H (m)	0.449	0.405	0.430	0.042	NE	0.449
	T (det)	2.908	2.830	2.873	1.085		2.908

(Sumber: Kurniawan Munirianto Hi. Sabtu, 2019)

Didapat arah Timur Laut paling maksimum dengan:

- Tinggi Gelombang (H) : 0.449 meter
- Periode Gelombang (T) : 2.908 detik

Perhitungan Refraksi Gelombang

Tabel.7. Perhitungan Refraksi Untuk Arah Timur Laut

a_0	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L
45	10	0.4487	2.8222	12.4247	0.805	0.80010
45.3408	8	0.4440	3.0219	14.2453	0.562	0.56300
45.1958	5	0.4406	3.0067	14.1029	0.355	0.36250
43.9422	2	0.4169	2.9007	13.1261	0.152	0.18500
34.8570	1	0.3895	2.7727	11.9929	0.083	0.12590
22.2421	0.5	0.4385	2.9975	14.0170	0.036	0.07867

(Sumber: Kurniawan Munirianto Hi. Sabtu, 2019)

Tabel 8. Lanjutan Perhitungan Refraksi Untuk Arah Timur Laut

L	Co	C	sin a	a	cos a0/cos a	Kr
12.4984	4.4026	4.4287	0.7113	45.3408	0.9925	0.9962
14.2096	4.7141	4.7023	0.7095	45.1958	1.0032	1.0016
13.7931	4.6905	4.5874	0.6939	43.9422	1.0285	1.0142
10.8108	4.5251	3.7269	0.5715	34.8570	1.2606	1.1228
7.9428	4.3254	2.8647	0.3785	22.2421	1.5672	1.2519
6.3557	4.6762	2.1203	0.1716	9.8827	2.2506	1.5002

(Sumber: Kurniawan Munirianto Hi. Sabtu, 2019)

Perhitungan Gelombang Pecah

Tabel.9. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan Arah Timur Laut

H _o	H _o /gT ²	m	H _b /H _o	H _b
0.4517	0.0058	0.0150	1.08	0.4879
0.4482	0.0050	0.0145	1.10	0.4930
0.4722	0.0053	0.0147	1.11	0.5241
0.5010	0.0061	0.0153	1.10	0.5511
0.4331	0.0057	0.0133	1.09	0.4721
0.3686	0.0042	0.0105	1.11	0.4091

(Sumber: Kurniawan Munirianto Hi. Sabatun, 2019)

Perhitungan Angkutan Sedimen Metode CERC

Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (longshore transport)

Bulan November arah Timur Laut

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

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

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

Maka :

$$C_b = \sqrt{9.81 \times 4.8} = 6.862 \text{ m/d}$$

$$pl = \frac{1030 \cdot 9.81}{8} \times 0.4879^2 \times 6.862 \times \sin 45 \times \cos 45 = 922.2 \text{ kg m/d}$$

$$Q_s = \frac{0.39}{(2650 - 1030) \times 9.81 \times (1 - 0.4)} \times 922.2 = 0.03772 \text{ kg m}^3/\text{d}$$

$$= 0.038 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$$

$$= 0.00003772 \times 24 \times 3600 = 3.259 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 3.259 \times 365 = 1189.53 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Didapat nilai angkutan sedimen untuk sejajar pantai adalah 1189.53 m³/tahun

Angkutan Sedimen Tegak lurus Pantai (onshore-offshore transport)

Arah Timur Laut Bulan November

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

$$\tau b = \rho_s \times U_*^2$$

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

Maka :

$$U_* = \sqrt{0.48/2} = 0.4899$$

$$\tau b = 2650 \times 0.49^2 = 636$$

$$Q_s = \frac{636}{(2650 - 1030) \times 9.81 \times 0.48} = 0.08337424 \text{ kg m}^3/\text{d}$$

$$= 0.0000834 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$= 0.0000834 \times 24 \times 3600 = 7.2035 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2629.29 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Didapat nilai angkutan sedimen tegak lurus pantai adalah 2629.29 m³/tahun.

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen didapat Tabel 10. Tabel angkutan sedimen

Angkutan Sedimen	Qs (m ³ /tahun)
Sejajar Pantai	1189.5285
Tegak Lurus Pantai	2629.2898

(sumber : Hasil Perhitungan)

Seleksi Tipe Pengaman Pantai

Berdasarkan hasil analisa kerusakan pada Pantai Tobololo adalah disebabkan oleh erosi dan diperkuat dengan perhitungan sedimen transport yang di dapat maksimalnya pada sedimen transport tegak lurus pantai. Sehingga untuk bangunan pengaman pantai direncanakan dengan metode perhitungan Revetment untuk mempertahankan tebing pantai yang tererosi, yang konstruksinya direncanakan akan di timbun kembali dengan pasir (*Becah Nourishment*) di atasnya seperti contoh pembangunan Rock Revetment dari Kementerian Pesisir Solent Timur (ESCP), agar tetap mempertahankan pemandangan alamia pantai karena fungsi Pantai Tobololo sendiri yaitu sebagai Pantai Parawisata, namun direncanakan menggunakan lapis lindung Block beton yang dimodifikasi karena ketersediaan material yang mudah dicari.

Perhitungan Dimensi Bangunan Pengaman Pantai

Perhitungan Gelombang Rencana dan Gelombang Pecah

Untuk arah Timur Laut Bulan November:

$$H_o = 0.449$$

$$T = -14.974H_o^2 + 13.022H_o + 0.0029 = 2.8222$$

Hitung panjang gelombang laut dalam dengan rumus :

$$L_o = 1.56T^2,$$

dimana : L_o = Panjang gelombang laut dalam
 T = Periode gelombang laut dalam

$$L_o = 1.56 \times 2.8222$$

$$= 12.4247 \text{ m}$$

$$d/L_o = 10/12.4247$$

$$= 0.80$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/L_o = 0.80

Tabel 11. Pembacaan Nilai d/L dan n

d/L _o	d/L	n	K _r	K _s	n _o	n _o / L _o	n _o / d	n _o / T	n _o / H	n _o / H _b	n _o / H _o	n _o / H _o / K _r	n _o / H _o / K _s
0.100	0.100	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.125	0.125	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.150	0.150	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.175	0.175	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.200	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.225	0.225	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.275	0.275	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.300	0.300	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.325	0.325	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.350	0.350	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.375	0.375	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.400	0.400	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.425	0.425	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.450	0.450	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.475	0.475	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.525	0.525	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.550	0.550	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.575	0.575	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.600	0.600	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.625	0.625	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.650	0.650	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.675	0.675	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.700	0.700	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.725	0.725	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.750	0.750	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.775	0.775	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.800	0.800	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.825	0.825	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.850	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.875	0.875	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.900	0.900	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(Sumber : Triatmodjo B, "Teknik Pantai")

Untuk d/L_o = 0.80 (di tabel lihat yang diberikan lingkaran biru), didapat nilai

$$d/L = 0.8001$$

Maka L = 12.4984

Cepat rembat gelombang :

$$C_o = L_o/T = 12.4247 / 2.8222 = 4.4026 \text{ m/det}$$

$$C = L/T = 12.4984 / 2.8222 = 4.4287 \text{ m/det}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \times \sin \alpha = \frac{4.4287}{4.4026} \times \sin \alpha = 0.7113 = 45.3408^\circ$$

Tentukan nilai koefisien refraksi (K_r)

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

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos 45}{\cos 45.3408}}$$

$$K_r = 0.9962$$

Perhitungan Koefisien Shoaling

Koefisien pendangkalan :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{nL}}$$

Dimana : n_o = (dilaut dalam) 0.5 ;
L_o = 12.4247 m

Dari tabel perhitungan shoaling untuk nilai d/L_o = 0.80, diperoleh nilai n = 0.5004

$$K_s = \sqrt{\frac{0.5 \times 12.4247}{0.5004 \times 12.4984}}$$

$$K_s = 0.9933$$

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

$$H = H_o \cdot K_r \cdot K_s = 0.449 \times 0.9962 \times 0.9933 = 0.444$$

Perhitungan Gelombang Pecah

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara H'o/gT². Tentukan nilai H'o dan H_b

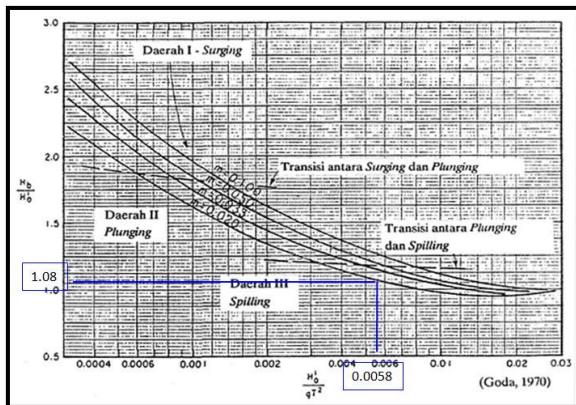
Dik : H_o = 0.449 m
T = 2.8222 detik
H = 0.444 m
K_s = 0.9933
d/L_o = 0.80

maka H'o = H_o/K_s = 0.449 / 0.9933 = 0.4517
H'o/gT² = 0.4517 / 9.81 × 2.8222² = 0.0058

Nilai H_b didapat dari hasil plot antara nilai $H'o/gT^2$ dan kemiringan pantai (m) pada grafik "Penentuan Tinggi Gelombang Pecah, Bambang Triatmodjo, 'Teknik Pantai'".

Plot pada grafik untuk :

$$H'o/gT^2 = 0.0058 \text{ dan } m = 0.015$$



Gambar.6 Penentuan Tinggi Gelombang Pecah (Sumber : Triatmodjo B, "Pelabuhan")

$$\begin{aligned} H_b/H'o &= 1.08 \\ H_b &= (H_b/H'o) \times H'o \\ &= 1.08 \times 0.4517 \\ &= 0.4879 \end{aligned}$$

Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DWL = MHWL + S_w + SLR$$

Dimana :

DWL : *Design water Level* / Elevasi muka air rencana

S_w : *Wave set-up*

SLR : Kenaikan elevasi muka air laut karena pemanasan global (*Sea Level Rise*)

Wave set-up

Untuk perhitungan *wave set-up* menggunakan teori dari Longuet-Higgins dan Stewart (1963, dalam CERC, 1984). Untuk H_b dan T diambil dari perhitungan gelombang rencana :

$$H_b : 0,4879 \text{ meter}$$

$$T : 2,8222 \text{ detik}$$

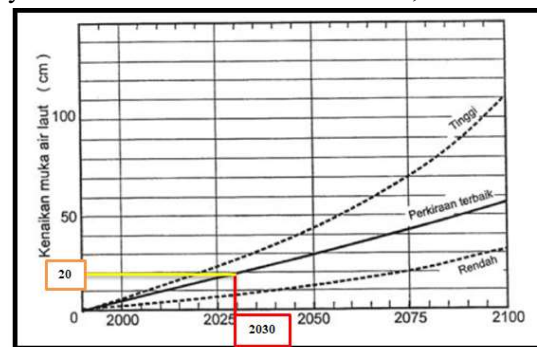
Maka besar *wave set-up* adalah :

$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right) H_b$$

$$\begin{aligned} S_w &= 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{0,4873}{9,81 \times 2,8222^2}} \right) \times 0,4879 \\ &= 0.072 \text{ meter} \end{aligned}$$

Sea Level Rise

Direncanakan umur bangunan adalah 10 tahun, dihitung dari tahun 2020 didapatkan perkiraan terbaik kenaikan muka air 10 tahun mendatang yaitu tahun 2030 adalah 20 cm = 0,2 meter .



Gambar.7. Grafik perkiraan besarnya kenaikan muka air laut (*Sea Level Rise*) dari tahun 1990-2100.

(Sumber: Goda Foley, 1993)

Sehingga didapatkan elevasi muka air rencana adalah sebagai berikut :

$$DWL = MHWL + S_w + SLR$$

$$DWL = 1,1612 \text{ m} + 0,072 \text{ m} + 0,2 \text{ m}$$

$$DWL = + 1,88 \text{ meter}$$

Perhitungan Elevasi Mercu Revetment

Elevasi mercu bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

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

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

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

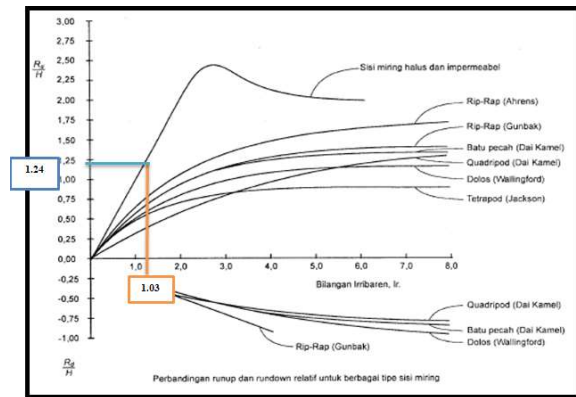
Run-up gelombang

Direncanakan:

- Jenis bangunan = Revetment
- Lapis lindung = Buis beton dengan pemasangan diamond
- Tinggi gelombang(H) = 0,449 meter

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 2,8222^2 = 12,425 \text{ meter}$$

$$I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{T}{L_o}\right)^{0.5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{2,8222}{12,425}\right)^{0.5}} = 1,03$$



Gambar.6. Grafik Run up Gelombang (Sumber: Nur Yuwono, 1992)

Bilangan Irrabaren di atas, maka didapat :

$$\frac{Ru}{H} = 1,24$$

$$Ru = 1,24 \times 0,449 = 0,3286 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi mercu} &= DWL + Ru + Fb \\ &= 1,88 + 0,5506 + 0,5 \\ &= +2,935 \text{ meter} \end{aligned}$$

Perhitungan Lapis Lindung

Berat Butir 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 :

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 beton (2,3 t/m²)

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

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \\ &= \frac{2,3 \times 0,449^3}{6,5 \times \left(\frac{2,3}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} \\ &= 0,00854 \text{ ton} = 8.54 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,00854}{2,65}\right)^{1/3} = 0.148 \text{ m}$$

c. Tebal Lapis Lindung (t₁)

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

$$\begin{aligned} t_1 &= n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \\ &= 2 \times 1,10 \times \left(\frac{0,00854}{2,3}\right)^{1/3} \\ &= 0.34071 \text{ meter} \end{aligned}$$

Lapis pelindung kedua (secondary stone)

$$\begin{aligned} a. W_2 &= \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \\ &= \frac{2,3 \times 0,449^3}{6,5 \times \left(\frac{2,3}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} \\ &= 0,00854 \text{ ton} = 8.54 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,00854}{2,65}\right)^{1/3} = 0.148 \text{ m}$$

c. Tebal Lapis Lindung (t₂)

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

$$\begin{aligned} t_2 &= n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \\ &= 2 \times 1,10 \times \left(\frac{0,00854}{2,3}\right)^{1/3} \\ &= 0.34071 \text{ meter} \end{aligned}$$

Lapis pelindung ketiga

$$\frac{W}{10} = \frac{0,00854}{10} = 0.000854$$

a. Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,00854}{2,65}\right)^{1/3} = 0.148 \text{ m}$$

b. Tebal Lapis Lindung (t3)

Pada lapis lindung ketiga digunakan susuna batu alam (kasar) dengan

γ_r = berat jenis beton (2,65 t/m²).

$$t_3 = n K_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$= 2 \times 1,10 \times \left(\frac{0,000854}{2,65}\right)^{1/3}$$

$$= 0.15085 \text{ meter}$$

Lebar Puncak Revetment

Lebar puncak *Revetment* untuk $n = 6$ (minimum) dan koefisien lapis (K_{Δ}) = 1.10 maka untuk B puncak adalah sebagai berikut:

$$B = n K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3}$$

$$= 6 \times 1,10 \times \left[\frac{0,00854}{2,3}\right]^{1/3}$$

$$= 1,19249 \text{ meter} \approx 1,2 \text{ meter}$$

Jumlah Block Beton Pelindung

Jumlah butir Beton pelindung tiap satu satuan luas (10 m²) dan porositas = 47, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N = A \cdot n \cdot K_{\Delta} \cdot \left[1 - \frac{P}{100}\right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3}$$

$$= 10 \times 2 \times 1,10 \times \left[1 - \frac{47}{100}\right] \times \left[\frac{2,3}{0,00854}\right]^{2/3}$$

$$= 486.147 \text{ buah} \approx 486 \text{ buah}$$

Toe Protection

Perhitungan tinggi *toe protection* dengan r (tebal lapis merata) direncanakan = 0,85 m, tinggi gelombang rencana $H = 0,44$ m, maka:

a. Tinggi toe protection (t)

$$t_{toe} = r = 0,85 \text{ meter}$$

b. Lebar toe protection

$$B = 2H = 2 \times 0,44 = 1,175 \text{ meter}$$

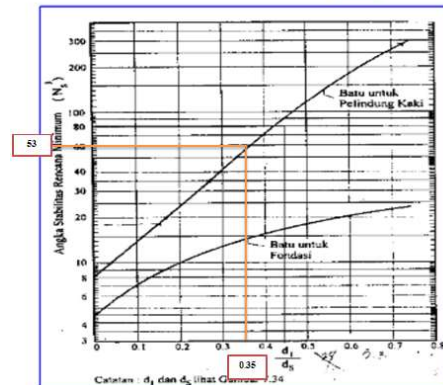
c. Berat butir toe protection

$$d_s = 1,3 \text{ m}$$

$$d_l = d_s - t_{toe} = 1,3 - 0,85 = 0,45 \text{ m}$$

$$\frac{d_l}{d_s} = \frac{0,45}{1,3} = 0.35$$

Untuk harga N_s^3 dapat dicari dari sebagai berikut :



Gambar.7 Angka stabilitas N_s untuk pondasi pelindung kaki
(Sumber: Nur Yuwono, 1992)

Harga N_s^3 (Angka stabilisasi rencana untuk pelindung kaki) diperoleh sebesar = 53 berdasarkan hasil plot grafik di atas.

Maka ,

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3}$$

$$= \frac{2,65 \times 0,449^3}{53 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3}$$

$$= 0.00116 \text{ ton} = 1.1 \text{ kg}$$

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

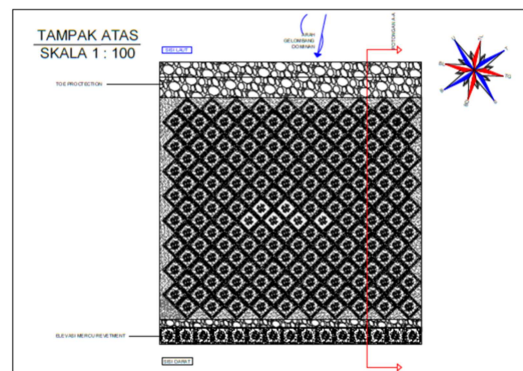
$$W = 0.5 \times 0,0854 \text{ ton}$$

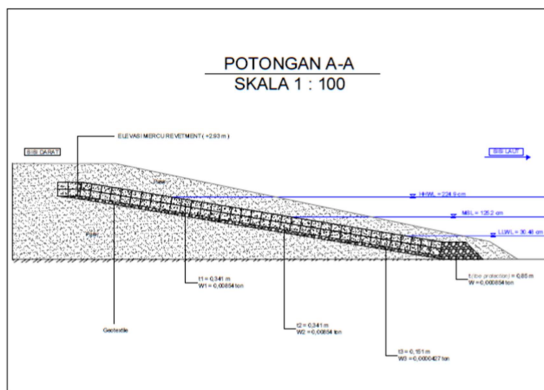
$$= 0.00427 \text{ ton}$$

$$= 4.27 \text{ kg}$$

Maka berat butir *toe protection* (W) diambil sebesar yaitu $W = 4.27\text{kg}$.

Dimensi Revetment





PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan yang ada bahwa Pantai Tobololo mengalami pengikisan tebing pantai akibat erosi, maka direncanakan bangunan pengaman pantai dengan perhitungan konstruksi Revetment dengan, elevasi mercu = 2.9 m, lebar puncak = 1.17 m, lapis lindung

sebanyak 3 lapis $t_1 = 0.34$ m ; $t_2 = 0.34$ m ; $t_3 = 0.15$ m, tinggi toe protection = 0.85 m, lebar toe protection = 1.175 m untuk mempertahankan garis pantai yang ada, namun dilengkapi dengan penambahan pasir (*Beach Nourishment*) pada atas bangunan guna untuk mempertahankan kealamian pantai untuk para wisatawan karena salah satu fungsi pantai yang diperuntukan sebagai kawasan pariwisata.

Saran

Diharapkan agar hasil analisis ini dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pihak terkait, agar dapat dilakukan pembangunan pengamanan pantai yang lebih serius, dengan penambahan perhitungan volume galian timbunan yang diperlukan untuk mencegah kerusakan yang lebih parah akibat erosi yang terjadi pada Pantai Tobololo yang juga dilihat dari fungsinya yang merupakan kawasan pariwisata di daerah tersebut

DAFTAR PUSTAKA

- CERC, 1984. *Shore Protection Manual, US Army Coastal of engineering research center (CERC)*, Washington. (SPM 1984).
- Foley, G., 1993. *Pemanasan Global* (terjemahan), Yayasan Obor Indonesia Jakarta.
- Liunsanda, Moses., J. D. Mamoto, A. K. T. Dundu, 2017., *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.
- Manuel, Afridolin, M. Ihsan Jasin, Jeffry Mamoto, 2017., *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: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Pasomba, Theodorus., M. Ihsan Jasin, Tommy Jansen, 2019. *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.
- Sabatun, Kurniawan M. H., Tommy Jansen, M. Ihsan Jasin, 2019. *Analisis Karakteristik Gelombang Daerah Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku*

Utara. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.8 Agustus 2019 (999-1006) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Triatmodjo, Bambang., 1999. *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.

Triatmodjo, Bambang., 2010. *Perencanaan Pelabuhan*, Beta Offset, Yogyakarta.

Triatmodjo, Bambang., 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.

Yuwono, Nur., 1982. *Teknik Pantai*, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.

Yuwono, Nur., 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Vol 2, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM, Yogyakarta.