

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN PANTAI DI PANTAI PAL KABUPATEN MINAHASA UTARA

Moses Liunsanda

J. D. Mamoto, A. K. T. Dundu

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: mosesliu64@gmail.com

ABSTRAK

Pantai Pal yang terletak di Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara adalah satu kawasan wisata yang ramai dikunjungi oleh wisatawan. Bukan hanya masyarakat Sulawesi Utara tetapi juga oleh wisatawan dari luar negeri. Namun Pantai Pal ternyata sudah mulai mengalami erosi yang di akibatkan oleh gelombang yang cukup besar yang membuat penggerusan tebing pantai. Bila dibiarkan maka lama-kelamaan keadaan ini akan menyebabkan dampak yang negatif yaitu rusaknya pantai. Untuk melindungi pantai Pal dari erosi pantai dan gelombang air laut, maka dibangun bangunan pelindung pantai.

Data primer antara lain : inventarisasi dan identifikasi masalah. Data-data sekunder antara lain : Data angin dengan periode ulang 10-100 tahun, dan data pasang surut. Kemudian data tersebut di analisa untuk mendapatkan gelombang rencana dan angkutan sedimen pantai.

Berdasarkan hasil analisa Tugas akhir ini didapatkan perencanaan bangunan pengaman pantai yang digunakan adalah Revetment dengan lapis lindung Blok Beton, tinggi mercu 4,85 meter, lebar puncak 1,4 meter, kemiringan 1 : 5, dan fungsi bangunan untuk mencegah erosi.

Kata kunci : Pantai Pal, Gelombang, Pengaman Pantai.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pantai yang indah dan tertata baik merupakan salah satu Objek Wisata yang banyak orang kunjungi. Pantai juga memiliki potensi sumber daya pesisir dan lautan yang sangat besar. Kegiatan yang dapat dikembangkan di daerah Pantai diantaranya adalah kegiatan Perikanan dan Pertanian, Wisata, Industry, Perdagangan, Pemukiman, Cagar alam, Sumber Energy, Pertambangan, tempat Penyediaan air baku (Nur Yuwono, 1998).

Daerah Studi di kabupaten Minahasa utara, kecamatan Likupang timur, di Pantai Pal Secara geografis terletak pada 1° 39' 44.65" LU dan 125° 09' 45.54" BT, dengan batas-batasnya adalah sebagai berikut :

- Sebelah Utara dengan Kabupaten Sangihe dan Laut Sulawesi
- Sebelah Timur dengan Kota Bitung
- Sebelah Selatan dengan kota Manado

Pantai Pal, merupakan Objek Wisata Kabupaten Minahasa Utara yang yang sangat indah. Pantai yang di Promosikan pada akhir tahun 2014 ini mendapatkan perhatian dari banyak orang, Sehingga banyak Pengunjung/

wisatawan yang datang baik orang dewasa sampai anak-anak Kecil (Beritamanado.com 21/3/2015).

Daerah pantai yang panjangnya ± 1000 meter ini pada bulan-bulan tertentu terjadi gelombang yang cukup tinggi (Menurut wawancara dengan warga yang tinggal di daerah pantai Pal). sehingga pada waktu-waktu tertentu terjadi penggerusan di tebing pantai yang mengakibatkan terjadinya erosi.

Untuk itu dalam upaya menangani masalah tersebut di butuhkan sistem Perlindungan Pantai. Perlindungan Pantai di bagi dalam 2 bagian yaitu: Perlindungan Alami Dan Buatan. Perlindungan alami meliputi: Tanaman pelindung, Bukit pasir, Pantai karang. Perlindungan Buatan Meliputi: Perkuatan Pantai, Bangunan Stabilisasi Pantai, Restorasi Pantai, (Bambang Triatmodjo 2012)

Rumusan Masalah

Dari latar belakang, Pantai Pal merupakan salah satu Objek Wisata yang banyak di datangi atau di kunjungi Wisatawan (Beritamanado.com 21/3/2015). Pada bulan-bulan tertentu terjadi gelombang yang cukup besar/tinggi di daerah pantai tersebut, sehingga pada waktu-waktu tertentu terjadi penggerusan di tebing pantai, yang mengakibatkan terjadinya erosi. Untuk itu di

perlu penangan khusus dengan merencanakan Perlindungan pantai.

Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin di capai dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

- Memperoleh solusi teknik pengamanan daerah pantai yang diakibatkan oleh gelombang yang cukup tinggi/besar. Solusi teknik yang dimaksud adalah dalam bentuk *layout* dan desain bangun pengaman Pantai.
- Dapat menentukan *jenis* Bangunan pengaman pantai sesuai kondisi dan permasalahan yang terjadi.

Batasan Masalah

- Dalam tugas akhir ini maka di batasi permasalahan:
- Data Karakteristik gelombang dan Pasang Surut di ambil pada perhitungan sebelumnya
- Daerah tinjauan adalah di Pantai Pal kecamatan Likupang timur kabupaten Minahasa Utara.
- Tidak memperhitungkan biaya konstruksi.

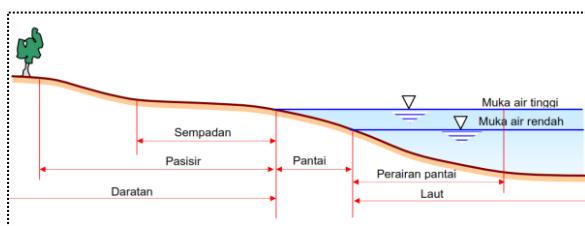
Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu mengetahui jenis pengaman pantai yang sesuai dengan masalah yang terjadi di daerah pantai Pal.

LANDASAN TEORI

Definisi Pantai

Dalam Triatmodjo (1999) ada dua istilah tentang kepantaian yaitu pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*)



Gambar 1. Defenisi Pantai dan Batasan Pantai (Sumber : Bambang Triatmodjo,1999)

Angin

Angin merupakan sirkulasi yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi. Angin terjadi akibat adanya perubahan ataupun perbedaan suhu antara suatu tempat dengan tempat yang lain. Dalam perhitungan ini digunakan kecepatan angin maksimum,

dimaksudkan agar dapat diperoleh kondisi-kondisi gelombang yang ekstrim. Angin maksimum yang digunakan, terlebih dahulu dikoreksi untuk mendapatkan factor stress-angin (*wind-stress factor*). Koreksi-koreksi tersebut adalah:

✚ Koreksi Elevasi

Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin yang diukur pada elevasi 10 meter. Jika data angin didapat dari pengukuran pada elevasi yang lain (misalnya y meter), maka dapat dikonversi dengan persamaan :

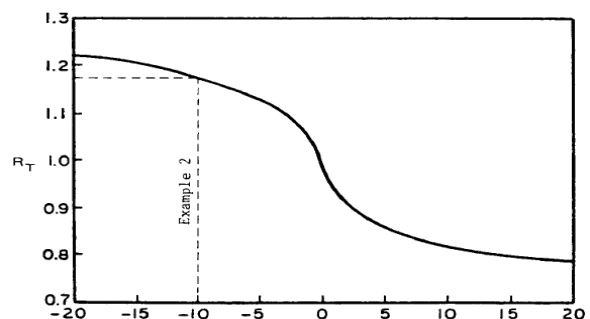
$$U_{(10)} = U(y) \left(\frac{10}{y} \right)^{\frac{1}{7}} \dots \dots \dots (1)$$

dimana : $U_{(10)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m.

y = Ketinggian pengukuran angin (y < 20 m)

✚ Koreksi Stabilitas

Koreksi ini diperlukan, jika terdapat perbedaan temperatur antara udara dan air laut. Besarnya koreksi dilambangkan dengan R_T , dimana : $U = R_T \times U_{10}$,Jika tidak terdapat perbedaan data temperature, maka $R_T = 1.1$

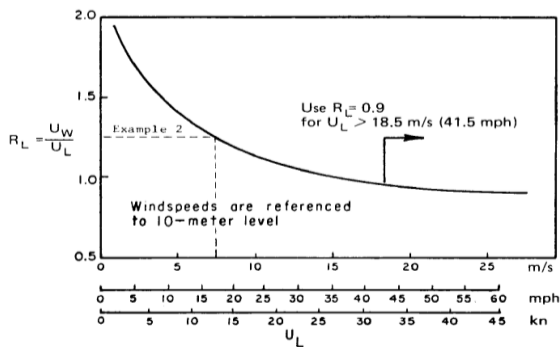


Gambar 2.. Faktor koreksi beda suhu di laut dan di darat (Sumber : Bambang Triatmodjo, 1999)

✚ Koreksi Lokasi Pengamatan

Jika data angin yang dimiliki adalah data angin pengukuran di darat, perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai kecepatan di laut. Faktor koreksi dilambangkan dengan R_L , yang nilainya disajikan Gambar 2. Di dalam gambar tersebut, U_w adalah kecepatan angin di atas laut, sedangkan U_L adalah kecepatan angin di darat. Apabila data kecepatan angin disuatu perairan memerlukan penyesuaian atau koreksi terhadap elevasi, koreksi stabilitas dan efek lokasi maka dapat digunakan persamaan:

$$U = R_T \times R_L \times U_{10} \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 3. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat
(Sumber : Bambang Triatmodjo, 1999)

Gelombang

Gelombang laut adalah satu fenomena alam yang sering terjadi di laut. Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang membentuk kurva/grafik sinusoidal.

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.

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

Kedalaman air di mana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{gT^2}\right)} \dots \dots \dots (4)$$

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

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) \dots \dots \dots (5)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \dots \dots \dots (6)$$

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:

$$S_w = 0.19 \left(1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}}\right) H_b \dots \dots \dots (7)$$

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.

$$I_r = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \dots \dots \dots (8)$$

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:

$$UA = 0.71 \cdot U^{1,23} \dots \dots \dots (9)$$

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

$$H_0 = 1.616 \times 10^{-2} \cdot UA \cdot F^{1/2} \dots \dots \dots (11)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots \dots \dots (12)$$

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos a0}{\cos a2}} \dots \dots \dots (13)$$

$$H = H_0 \cdot K_s \cdot K_r \dots \dots \dots (14)$$

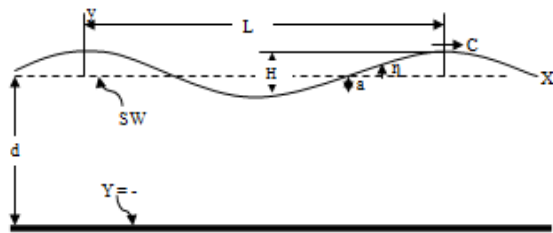
dimana :

- H* = tinggi gelombang rencana (m)
- UA* = kecepatan (m/dt)
- F* = fetch efektif (m)
- T* = periode gelombang (dt)
- Ho* = tinggi gelombang (m)
- Lo* = 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 4. Sketsa Definisi Gelombang (Sumber : Bambang Triatmodjo,1999)

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 :

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots \dots \dots (15)$$

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.

a. Angkutan Sedimen Sejajar Pantai

Angkutan sedimen sejajar pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya.

Rumus yang dipakai dalam hal pengangkutan sedimen sepanjang pantai adalah :

Penjabaran rumus CERC :

$$S = 0.014 \times 10^6 \times H_o^2 \times C_o \times K_{KBR}^2 \times \sin \alpha_{br} \times \cos \alpha_{br} \dots \dots \dots (16)$$

dimana :

- S = Jumlah angkutan sedimen per tahun (m³/tahun)
- H_o = Tinggi gelombang (m/det)
- K_{KBR} = Koefisien refraksi di sisi luar break zone
- α_{br} = Sudut antara puncak gelombang dengan garis pantai di sisi luar break zone

b. 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.

$$\psi_m = \left[\frac{\frac{H}{\sin h.kh}}{[s.g.d]} \sigma \right]^2 \dots \dots \dots (17)$$

$$U_R = H \times \frac{L^2}{H^3} \dots \dots \dots (18)$$

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 keteringgalan *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

Tipe Bangunan Pengaman Pantai

Dalam usaha penanggulangan dan perbaikan pantai, terdapat alternatif sistem pengaman pantai yang dapat dipilih dengan pertimbangan-pertimbangan tertentu. Alternatif system pengaman pantai dapat berupa:

a. Revetment

Revetment adalah bangunan yang dibangun pada garis pantai dan digunakan untuk melindungi pantai dari serangan gelombang dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat.

b. Tembok Laut (seawall)

Seawall berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap serangan gelombang dan untuk menahan terjadinya limpasan gelombang ke daratan di belakangnya.

c. Pemecah gelombang (Breakwater)

Breakwater dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang lepas pantai dan pemecah gelombang sambung pantai. Pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai.

d. Groin

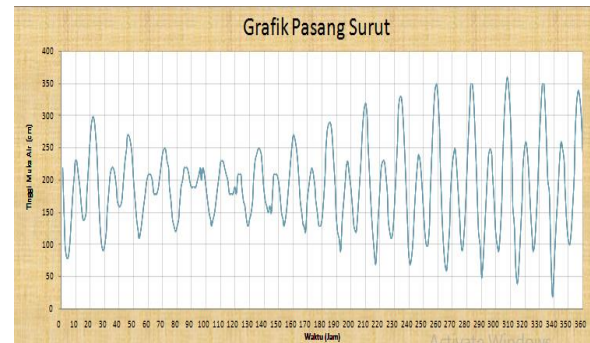
Groin adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus garis pantai, dan berfungsi untuk menahan transport sedimen sepanjang pantai, sehingga bisa mengurangi/menghentikan erosi yang terjadi.

Pasang Surut dan Penentuan Elevasi Muka Air.

Tabel 1 Data Hasil Pengukuran Pasang Surut

No	Tanggal	jam																											
		00.00	01.00	02.00	03.00	40.00	50.00	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	1/12/2015	230	140	100	80	60	100	140	200	210	230	230	220	190	160	140	150	180	220	250	290	330	360	350	320	280	240	200	
2	2/12/2015	240	150	110	90	70	110	150	200	210	230	230	220	190	160	140	150	180	220	250	290	330	360	350	320	280	240	200	
3	3/12/2015	240	150	110	90	70	110	150	200	210	230	230	220	190	160	140	150	180	220	250	290	330	360	350	320	280	240	200	
4	4/12/2015	230	140	100	80	60	100	140	200	210	230	230	220	190	160	140	150	180	220	250	290	330	360	350	320	280	240	200	
5	5/12/2015	200	120	90	70	50	90	130	180	190	210	210	200	170	140	120	130	160	200	230	270	310	340	330	300	260	220	180	140
6	6/12/2015	180	100	70	50	30	70	110	160	170	190	190	180	150	120	100	110	140	180	210	250	290	320	310	280	240	200	160	120
7	7/12/2015	250	160	120	100	80	120	160	210	220	240	240	230	200	170	150	160	190	230	260	300	340	370	360	330	290	250	210	170
8	8/12/2015	110	70	50	30	10	50	90	130	170	180	180	170	140	110	90	100	130	170	200	240	280	310	300	270	230	190	150	110
9	9/12/2015	90	50	30	10	0	30	70	110	150	160	160	150	120	90	70	80	110	150	180	220	260	290	280	250	210	170	130	90
10	10/12/2015	70	30	10	0	0	20	60	100	140	150	150	140	110	80	60	70	100	140	180	220	260	290	280	250	210	170	130	90
11	11/12/2015	70	30	10	0	0	20	60	100	140	150	150	140	110	80	60	70	100	140	180	220	260	290	280	250	210	170	130	90
12	12/12/2015	70	30	10	0	0	20	60	100	140	150	150	140	110	80	60	70	100	140	180	220	260	290	280	250	210	170	130	90
13	13/12/2015	100	50	30	10	0	30	70	110	150	160	160	150	120	90	70	80	110	150	180	220	260	290	280	250	210	170	130	90
14	14/12/2015	130	60	40	20	0	40	80	120	160	170	170	160	130	100	80	90	120	160	200	240	280	310	300	270	230	190	150	110
15	15/12/2015	180	80	50	30	10	50	90	130	170	180	180	170	140	110	90	100	130	170	210	250	290	320	310	280	240	200	160	120

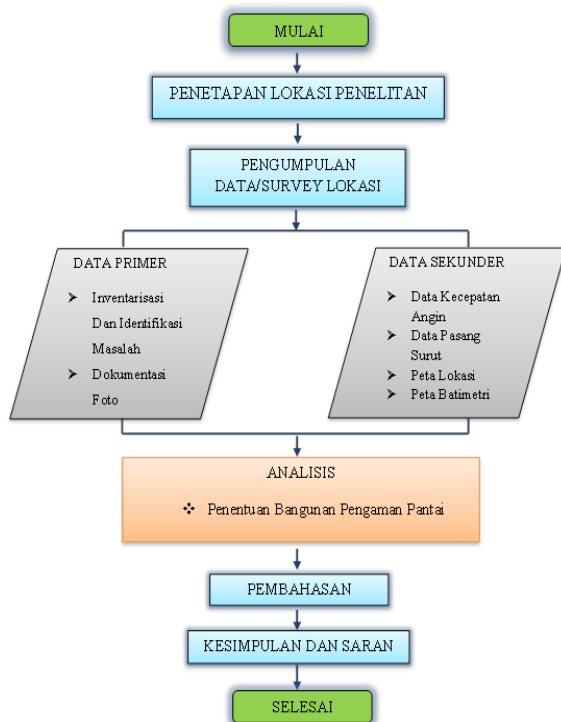
Air Tertinggi : 360 cm
Air Rerendah : 20cm



Gambar 6 Grafik Pasang Surut Pantai PAL MSL (Sumber: (Chandrika Mulyabakti, 2016))

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan studi :



Gambar 5. Tahapan Pelaksanaan Studi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini diambil dari penelitian sebelumnya.

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

	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
Acm	190	121	46	14	28	14	1	9	12	9
g ⁰	0.00	106.62	203.44	238.59	350.50	64.90	111.96	286.13	203.44	350.50

Penentuan Elevasi Muka Air Laut.

Tabel 3. Elevasi Muka Air Laut Hasil dari Perhitungan Pasang Surut

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	360
MHWL	cm	334.42
MSL	cm	190
MLWL	cm	45.90
LLWL	cm	20
Range	cm	288.52

Angin, Arah Angin dan Koreksi Kecepatan Angin.

Tabel 4. Perhitungan Faktor Tekanan Angin Pada Bulan April 2005

Tanggal	Arah	Uz	$U_{10} = Uz \left(\frac{10}{Z}\right)^{0.7}$	R _L	U _A = R _F · R _L · U ₁₀
1/4/2005	NE	2.83	2.60	1.63	4.66
2/4/2005	NE	3.38	3.11	1.56	5.33
3/4/2005	N	2.94	2.70	1.62	4.81
4/4/2005	NNE	4.29	3.94	1.47	6.38
5/4/2005	NNE	5.54	5.09	1.38	7.73
6/4/2005	NNW	4.87	4.48	1.42	7.00
7/4/2005	NNW	5.88	5.40	1.34	7.96
8/4/2005	NNW	4.30	3.95	1.47	6.39
9/4/2005	NNW	2.78	2.56	1.63	4.58
10/4/2005	N	1.65	1.52	1.83	3.06
11/4/2005	W	2.61	2.40	1.66	4.38
12/4/2005	NW	2.96	2.72	1.61	4.81
04/13/2005	NW	3.55	3.27	1.54	5.53
04/14/2005	NW	2.98	2.74	1.61	4.85
04/15/2005	NNW	3.42	3.15	1.56	5.40
04/16/2005	NNW	1.91	1.75	1.79	3.45
04/17/2005	W	1.85	1.70	1.8	3.37
04/18/2005	WSW	1.26	1.16	1.89	2.40
04/19/2005	WSW	2.63	2.41	1.66	4.41
04/20/2005	SW	1.61	1.48	1.84	2.99
04/21/2005	WSW	1.52	1.40	1.85	2.84
04/22/2005	SSW	1.85	1.70	1.8	3.37
04/23/2005	SSW	2.93	2.69	1.62	4.79
04/24/2005	SSW	2.62	2.41	1.66	4.39
04/25/2005	S	2.64	2.42	1.66	4.43
04/26/2005	SE	2.96	2.72	1.61	4.82
04/27/2005	ENE	2.98	2.74	1.61	4.86
04/28/2005	E	3.46	3.18	1.55	5.42
04/29/2005	ENE	2.75	2.53	1.63	4.53
04/30/2005	SSE	2.39	2.20	1.69	4.08

April

Sumber : Chandrika Mulyabakti, (2016)

Hindcasting Gelombang

Tabel 5. Perhitungan Fetch Efektif Pantai Pal.

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
UTARA (N)	-20	0	0	0	0.940	0.281664
	-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	0	0	0	0.985	
	15	1243	1.243	1.200646	0.966	
	20	1352	1.352	1.270464	0.940	
	-20	1535	1.535	1.442428	0.940	
TIMUR LAUT (NE)	-15	1608	1.608	1.553209	0.966	0.595813
	-10	2266	2.266	2.231574	0.985	
	-5	0	0	0	0.996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0.996	
	10	0	0	0	0.985	
	15	0	0	0	0.966	
	20	0	0	0	0.940	
	-20	0	0	0	0.940	
	-15	420731	420.731	406.3949	0.966	
TIMUR (E)	-10	292018	292.018	287.5816	0.985	239.865
	-5	275848	275.848	274.7983	0.996	
	0	255878	255.878	255.878	1	
	5	261580	261.58	260.5846	0.996	
	10	251117	251.117	247.302	0.985	
	15	136973	136.973	132.3058	0.966	
	20	254922	254.922	239.5483	0.940	
	-20	304877	304.877	286.4907	0.940	
	-15	317073	317.073	306.269	0.966	
	-10	18073	18.073	17.79843	0.985	
TENGGARA (SE)	-5	17122	17.122	17.05685	0.996	81.4249
	0	19024	19.024	19.024	1	
	5	19975	19.975	19.89899	0.996	
	10	20926	20.926	20.60809	0.985	
	15	15219	15.219	14.70043	0.966	
	20	13317	13.317	12.51389	0.940	
	20	0	0	0	0.940	



Gambar 7 Fetch Arah Utara, Timur Laut, Timur, dan Tenggara

Tabel 6. Tabel rekapitulasi arah, tinggi dan periode gelombang dari masing – masing fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang tahun 2005 – 2014.

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		U	TL	T	TG	Arah	H - T
JANUARI	H (m)	0.108	0.144	0	0.257	TG	0.257
	T (det)	1.184	1.317	0	2.292		2.292
FEBRUARI	H (m)	0.113	0.136	0.281	0.266	T	0.281
	T (det)	1.205	1.297	2.389	2.330		2.389
MARET	H (m)	0.112	0.113	0.389	0.254	T	0.389
	T (det)	1.136	1.235	2.772	2.280		2.772
APRIL	H (m)	0.094	0.111	0.485	0.394	T	0.485
	T (det)	1.139	1.230	3.068	2.787		3.068
MEI	H (m)	0	0	0.404	0.537	TG	0.537
	T (det)	0	0	2.820	3.213		3.213
JUNI	H (m)	0	0	0.359	1.165	TG	1.165
	T (det)	0	0	2.674	4.583		4.583
JULI	H (m)	0	0	0	1.230	TG	1.230
	T (det)	0	0	0	4.698		4.698
AGUSTUS	H (m)	0	0	0	0.733	TG	0.733
	T (det)	0	0	0	3.706		3.706
SEPTEMBER	H (m)	0	0	0	0.853	TG	0.853
	T (det)	0	0	0	3.973		3.973
OKTOBER	H (m)	0	0	0.567	0.571	TG	0.571
	T (det)	0	0	3.294	3.305		3.305
NOVEMBER	H (m)	0.079	0	0.425	0.335	T	0.425
	T (det)	1.015	0	2.888	2.588		2.888
DESEMBER	H (m)	0.095	0.106	0.248	0.297	TG	0.297
	T (det)	1.139	1.214	2.257	2.451		2.451
MAX TIAP ARAH	H (m)	0.113	0.144	0.567	1.230	TG	1.230
	T (det)	1.205	1.317	3.294	4.698		4.698

Sumber : Chandrika Mulyabakti, (2016)

Perhitungan Refraksi Gelombang

Tabel 7. Perhitungan Refraksi Untuk Potongan 1 Arah Tenggara

a ₀	d	H ₀	T	Lo	d/Lo	d/L
45	25	1,2303	4.,1405	26,7437	0,93	0,93002
45,2952	20	1,2198	4,1560	26,9455	0,74	0,74014
45,4597	15	1,2122	4,1668	27,0847	0,55	0,55108
45,7496	10	1,1863	4,2002	27,5207	0,36	0,36720
45,1383	5	1,1058	4,2717	28,4659	0,18	0,20833
36,6996	1	1,0510	4,2927	28,7462	0,03	0,07135
16,9402	0.5	1,6898	2,6522	10,9733	0,05	0,09415

Sumber : Chandrika Mulyabakti (2016)

Tabel 8. Lanjutan Perhitungan Refraksi untuk Potongan 1 Arah Tenggara

L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
26,8811	6,4591	6,4923	0,7107	45,2952	0,9935	0,9967
27,0219	6,4834	6,5018	0,7128	45,4597	0,9964	0,9982
27,2193	6,5002	6,5325	0,7163	45,7496	0,9937	0,9968
27,2331	6,5523	6,4838	0,7088	45,1383	1,0135	1,0067
24,0004	6,6638	5,6185	0,5976	36,6996	1,2299	1,1090
14,0154	6,6966	3,2650	0,2914	16,9402	2,1664	1,4719
5,3107	4,1374	2,0024	0,1410	8,1066	2,0897	1,4456

Sumber: Chandrika Mulyabakti, (2016)

Perhitungan Gelombang Pecah

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan 1 Arah Tenggara

H'o	H'o/gT ²	M	Hb/H'o	Hb
1.2369	0.0074	0.068	1.16	1.4348
1.2252	0.0072	0.062	1.18	1.4458
1.2348	0.0072	0.067	1.16	1.4324
1.2812	0.0074	0.077	1.17	1.4989
1.2904	0.0072	0.091	1.19	1.5355
0.9621	0.0053	0.040	1.19	1.1449
1.4719	0.0213	0.025	0.90	1.3247

Sumber : Chandrika Mulyabakti (2016)

Perhitungan Angkutan Sedimen Metode CERC

Angkutan Sedimen Sejajar Pantai

Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (*longshore transport*) Bulan Juli arah Tenggara

Dik:

- Hb = 1,35
- Cb = 6,492
- K = 0,39
- n = 0,4
- αb = 45°
- g = 9,81

Rapat massa air Laut = 1025 = ρ

Rapat massa Sedimen = 2650 = ρs

$$QS = \frac{k}{(\rho_s - \rho) \times (g(1-n))} \times (p1)$$

$$p1 = \frac{\rho_g}{8} \times (H_b^2) \times (C_b) \times (\sin \alpha_b) \times (\cos \alpha_b)$$

Penyelesaian :

$$p1 = \frac{1025}{8} \times (1,35)^2 \times 6,492 \times \sin 45^0 \times \cos 45^0$$

$$\begin{aligned}
 Qs &= \frac{0,39}{(2650-1025) \times 9,81 \times (1-0,4)} * 757,966 \\
 &= 0,030 \text{kgm}^3 / d \\
 &= 3,1 * 10^{-5} \text{m}^3 / d \\
 &= 3,1 * 10^{-5} * 24 * 3600 = 2,678 \text{m}^3 / \text{hari} \\
 &= 2,678 * 365 = 977,47 \text{m}^3 / \text{tahun}
 \end{aligned}$$

Tabel 10. Jumlah sedimen bulan juli dan juni

SEDIMEN SEJAJAR PANTAI		
Arah	Qs	Total (m³/tahun)
TG(bulan Juli)	977,47	1860,48
TG(bulan Juni)	883,008	

Sumber : Hasil Perhitungan

Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai (*onshore-offshore transport*) Arah Tenggara

Diketahui : f = d = 0,49

$$\rho_s = 2650$$

$$\rho = 1025$$

$$g = 9,81$$

$$Hb = 1,434$$

$$\alpha_b = 45^\circ$$

Di tanya :

Berapa besar sedimen transpor tegak lurus Pantai

Penyelesaian:

$$Qs = \frac{\tau b}{(\rho_s - \rho) \times g \times d}$$

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

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

$$= \sqrt{0,5 / 2}$$

$$= 0,5$$

$$\begin{aligned}
 \tau b &= 2650 \times 0,5^2 \\
 &= 662,5
 \end{aligned}$$

$$Qs = \frac{662,5}{(2650-1025) \times 9,81 \times 0,5} = 0,08311 \text{kgm}^3 / d$$

$$= 8,311 \times 10^{-5} m^3 / d$$

$$= 8,311 \times 10^{-5} \times 24 \times 3600 = 7,17 m^3 / hari$$

$$Q_s = 7,17 \times 365 = 2617,05 m^3 / tahun$$

Seleksi Tipe Bangunan Pengaman Pantai

Berdasarkan hasil analisis tinggi gelombang di Pantai Pal dan Perhitungan sedimen transpor yang di dapat maksimalnya pada sedimen transport tegak lurus pantai Sehingga untuk bangunan yang cocok adalah *Sea wall* atau *Revetment* namun di sini saya mengambil *revetment* karena lebih cocok untuk daerah Parawisata. Bangunan *Revetment* ini akan di timbun kembali dengan pasir di atasnya untuk tetap mencegah pemandangan Pantai sebagai Pantai Parawisata.

Perhitungan Dimensi Bangunan Pengaman Pantai

Perhitungan Gelombang Rencana dan Gelombang Pecah

Untuk arah Tenggara Potongan 1

$$H_o = 1,2303$$

$$T = -3,742H_o^2 + 7,688H_o + 0,346$$

$$= 4,1405$$

- Hitung panjang gelombang laut dalam dengan rumus :

$$L_o = 1,56T^2, \text{ dimana :}$$

$$L_o = \text{Panjang gelombang laut dalam}$$

$$T = \text{Periode gelombang laut dalam}$$

$$L_o = 1,56 \times 4,1405^2$$

$$= 26,7437 \text{ m}$$

- Hitung nilai α
- $$d/L_o = 25/26,7437$$
- $$= 0,93$$

Cari nilai d/L untuk nilai $d/L_o = 0,93$

Tabel 11. Pembacaan Nilai d/L dan n

$\frac{d}{L_o}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2nd}{L}$	$\tanh \frac{2nd}{2nd/L}$	$\sinh \frac{2nd}{2nd/L}$	$\cosh \frac{2nd}{2nd/L}$	K_s	K	$\frac{4nd}{L}$	$\sinh \frac{4nd}{4nd/L}$	$\cosh \frac{4nd}{4nd/L}$	n
0.9000	0.90002	5.6550	1.0000	142.86	142.86	1.000	0.0070	11.310	40817	40817	0.5001
0.9100	0.91002	5.7178	1.0000	152.12	152.12	1.000	0.0066	11.436	46281	46281	0.5001
0.9200	0.92002	5.7806	1.0000	161.98	161.98	1.000	0.0062	11.561	52477	52477	0.5001
0.9300	0.93002	5.8435	1.0000	172.48	172.49	1.000	0.0058	11.687	59503	59503	0.5001
0.9400	0.94001	5.9063	1.0000	183.67	183.67	1.000	0.0054	11.813	67469	67469	0.5001
0.9500	0.95001	5.9691	1.0000	195.58	195.58	1.000	0.0051	11.938	76501	76501	0.5001
0.9600	0.96001	6.0319	1.0000	208.26	208.26	1.000	0.0048	12.064	86743	86743	0.5001
0.9700	0.97001	6.0948	1.0000	221.76	221.76	1.000	0.0045	12.190	98357	98357	0.5001
0.9800	0.98001	6.1576	1.0000	236.14	236.14	1.000	0.0042	12.315	111525	111525	0.5001
0.9900	0.99001	6.2204	1.0000	251.45	251.45	1.000	0.0040	12.441	126457	126457	0.5000
1.0000	1.00001	6.2832	1.0000	267.76	267.76	1.000	0.0037	12.566	143388	143388	0.5000

Sumber : Bambang Triatmodjo, (1999)

Untuk $d/L_o = 0,93$ (di tabel lihat yang diberikan lingkaran biru), didapat nilai
 $d/L = 0,93002$
 Maka $L = 26,8811$
 Cepat rambat gelombang :

$$C_o = L_o/T$$

$$= 26,7437 / 4,1405$$

$$= 6,4591 \text{ m/det}$$

$$C = L/T$$

$$= 26,8811/4,1405$$

$$= 6,4923 \text{ m/det}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \times \sin \alpha$$

$$= \frac{6,4923}{6,4591} \times \sin 45$$

$$= 0,7107$$

$$\alpha = 45,2952^\circ$$

Tentukan nilai koefisien Refraksi (K_r)

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

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos 45}{\cos 45,2952}}$$

$$K_r = 0,9967$$

Suatu deret gelombang merambat dari laut dalam menuju pantai yang mempunyai kontur dasar laut sejajar dalam arah utara di laut dalam.

- Periode gelombang 4,2238 detik
- Arah datang gelombang dari Tenggara (α_{45})

Koefisien Pendangkalan

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

- Dimana: $n_o =$ (dilaut dalam) 0,5 ; $L_o = 26,7437 \text{ m}$ (Bulan Juli)

Dari tabel perhitungan *shoaling* untuk nilai $d/L_o = 0,93$, diperoleh nilai $n = 0,5001$

$$K_s = \sqrt{\frac{0,5 \times 26,7437}{0,5001 \times 26,8811}}$$

$$K_s = 0,9947$$

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

$$H = H_o \times K_r \times K_s$$

$$= 1,2303 \times 0,9967 \times 0,9947$$

$$= 1,2198$$

Perhitungan Gelombang Pecah

- Tentukan nilai $H'o$ dan H_b di (bulan juli)

Dik: $H_o = 1,2303$ m
 $T = 4,1405$ detik
 $H = 1,2198$ m
 $K_s = 0,994$
 $d/L_o = 0,93$

maka

$$H'o = H_o/K_s$$

$$= 1,2303 / 0,9947$$

$$= 1,2369$$

$$H'o/gT^2 = 1,2369 / 9,81 \times 4,1405^2$$

$$= 0,0074$$

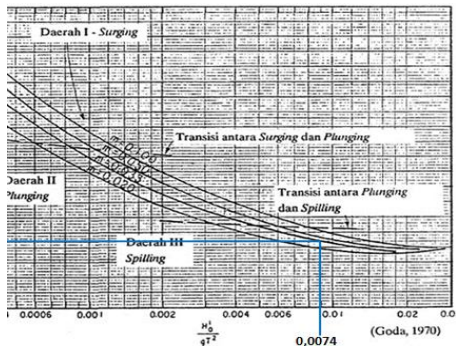
Nilai H_b didapat dari hasil plot antara nilai $H'o/gT^2$ dan kemiringan pantai (m) pada grafik "Penentuan Tinggi Gelombang Pecah, Bambang Triatmodjo, 'Teknik Pantai'".

Plot pada grafik untuk :

$$H'o/gT^2 = 0.0074 \text{ dan } m = 0,068$$

Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut :



Gambar 4.8. Penentuan Tinggi Gelombang Pecah

Sumber : Bambang Triatmodjo, (1999)

$$H_b/H'o = 1,16$$

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

$$= 1,16 \times 1,2369$$

$$= 1,4348$$

Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DWL = MHWL + S_w + SLR$$

$H_b : 1,35$ meter
 $T : 4,1405$ detik

Maka besar wave set-up adalah :

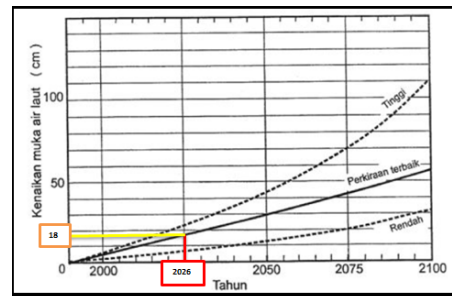
$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right) H_b$$

$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{1,35}{9,81 \times 4,1405^2}} \right) \times 1,35$$

$$= 0.191 \text{ meter}$$

Sea Level Rise

Peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan kenaikan suhu bumi sehingga mengakibatkan kenaikan muka air laut. Perkiraan besar kenaikan muka air laut diberikan pada **Gambar IV.4**. Dari gambar didapatkan kenaikan muka air laut yang terjadi tahun 2026 dengan perkiraan terbaik adalah 18 cm = 0,18 meter (direncanakan umur bangunan = 10 tahun).



Gambar 4.12. 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 :

$$DWL = MHWL + S_w + SLR$$

$$DWL = 3,34 \text{ m} + 0,19 \text{ m} + 0,18 \text{ m}$$

$$DWL = + 3,71 \text{ meter}$$

Perhitungan Elevasi Mercu Revetment

Elevasi mercu bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Run-up gelombang

Direncanakan:

Jenis bangunan = revetment

Lapis lindung = Block Beton

Tinggi gelombang(H) = 1,23 meter

- $L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 4,6^2$
 $= 33,0096 \text{ meter}$
- $I_r = \frac{tg \theta}{\left(\frac{T}{L_o}\right)^{0,5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{4,6}{33,009}\right)^{0,5}}$
 $= 1,33$

Berdasarkan Bilangan *Irrabaren* di atas, maka didapat :

$$\frac{Ru}{H} = 0,5$$

$$Ru = 0,5 \times 1,23 = 0,62 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi mercu} &= \text{DWL} + Ru + Fb \\ &= 3,71 + 0,62 + 0,52 \\ &= +4,85 \text{ meter} \\ &= +5.959894 \text{ meter} \end{aligned}$$

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 dengan 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 beton (2,3 t/m²)
 γ_α = berat jenis air laut (1,03 t/m²)

- $W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$
 $= \frac{2,3 \times 1,23^3}{6,5 \times \left(\frac{2,3}{1,03} - 1\right)^3 \times 2}$
 $= 0,175 \text{ ton} = 175 \text{ kg}$

- **Tebal Lapis Lindung (t_1)**

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

$$\begin{aligned} t_1 &= n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \\ &= 2 \times 1,10 \times \left(\frac{0,175}{2,3}\right)^{1/3} \\ &= 0,93 \text{ meter} \end{aligned}$$

- ⊕ **Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)**

$$\frac{W}{10} = \frac{0,175}{10} = 0,0175 \text{ ton}$$

- **Tebal Lapis Lindung (t_2)**

$$\begin{aligned} t_2 &= n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \\ &= 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,0175}{2,65}\right)^{1/3} \\ &= 0,431 \text{ meter} \end{aligned}$$

Lebar Puncak *Revetment*

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

$$\begin{aligned} B &= n K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3} \\ &= 3 \times 1,10 \times \left[\frac{0,175}{2,3}\right]^{1/3} \\ &= 1,39 \text{ meter} \approx 1,4 \text{ meter} \end{aligned}$$

Jumlah Batu Pelindung

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

$$\begin{aligned} N &= A \times n \times K_\Delta \cdot \left[1 - \frac{P}{100}\right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} \\ &= 10 \times 2 \times 1,10 \times \left[1 - \frac{47}{100}\right] \times \left[\frac{2,3}{0,175}\right]^{2/3} \\ &= 64,936 \text{ buah} \approx 65 \text{ buah} \end{aligned}$$

Toe Protection

Perhitungan tinggi *toe protection* dengan r (tebal lapis merata) direncanakan = 1,4 m, tinggi gelombang rencana $H = 1,23$ m, maka:

- **Tinggi *toe protection* (t)**

$$t_{\text{toe}} = r = 1,4 \text{ meter}$$

- **Lebar *toe protection***

$$B = 2H = 2 \times 1,23 = 2,46 \text{ meter}$$

- **Berat butir *toe protection***

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

$$d1 = ds - t_{\text{toe}} = 1,3 - 1,2 = 0,1 \text{ m}$$

$$\frac{d1}{ds} = \frac{0,1}{1,3} = 0,1$$

Harga N_s^3 (Angka stabilisasi rencana untuk pelindung kaki) diperoleh sebesar = 14 berdasarkan hasil plot grafik di atas.

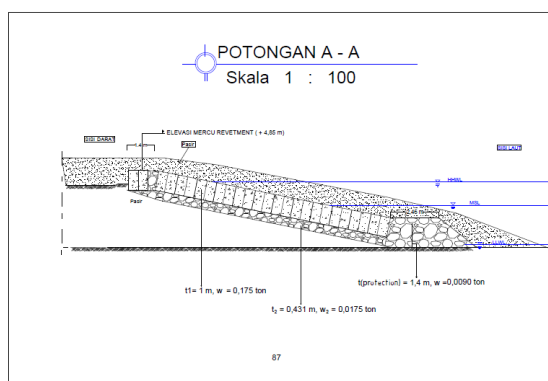
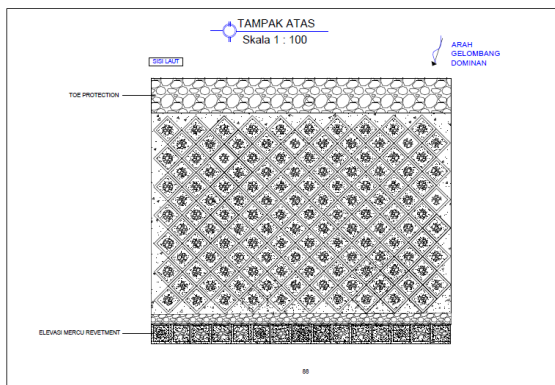
$$\begin{aligned} W &= \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \\ &= \frac{2,65 \times 1,23^3}{14 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3} \\ &= 0,0905 \text{ ton} = 91 \text{ kg} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} W &= 0,5 \times 0,175 \text{ ton} \\ &= 0,0875 \text{ ton} \\ &= 88 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka berat butir *toe protection* (W) diambil sebesar yaitu $W = 88$ kg.

Dimensi Revetment



PENUTUP

Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian proses pengamatan sampai dengan analisis dapat disimpulkan beberapa hal penting berkaitan dengan perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Pal, antara lain adalah :

1. Bangunan terpilih adalah *Revetment*.
2. Dimensi Bangunan terpilih (*Revetment*)
3. Berdasarkan hasil analisis, di peroleh perencanaan dimensi *Revetment* sebagai berikut :

- Jenis Bangunan : *Revetment*
- Elevasi Mercu : 4,85 meter
- Lebar Puncak : 1,4 meter
- Kemiringan : 1 : 5
- Fungsi Bangunan : Mencegah erosi

Saran

1. Diharapkan hasil studi ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi instansi terkait untuk mengatasi masalah di lokasi studi Pantai Pal.
2. Diharapkan dapat digunakan untuk perencanaan-perencanaan bangunan pengaman pantai pada segmen-segmen berikutnya di lokasi studi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo, 1999. *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Bambang Triatmodjo, 2010. *Perencanaan Pelabuhan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Bambang Triatmodjo, 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- CERC, 1984. *Shore protection manual, US Army Coastal of engineering research center (CERC)*, Washington. (SPM 1984) Hal :65
- Chandrika Mulyabakti, 2016. *Analisis Karakteristik Gelombang Dan Pasang Surut Pada Daerah Pantai Paal Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara*, Skripsi S1, Program Studi Teknik Sipil Unsrat, Manado.
- Goda Foley, 1993. *Pemanasan Global* (terjemahan), Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Nur Yuwono, 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Vol 2, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM, Yogyakarta.
- Nur Yuwono, 1998. *Perencanaan Pola Pembangunan Jangka Panjang Daerah Pantai di Indonesia*