



Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Daerah Pantai Ranowangko Kecamatan Tombariri Kabupaten Minahasa

Andrew W. Winowatan^{#a}, Tommy Jansen^{#b}, Jeffry D. Mamoto^{#c}

Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam ratulangi, Manado, Indonesia
^awinowatan68@yahoo.com; ^btommijansen@yahoo.com; ^cjeffry.mamoto@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Ranowangko terletak di Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara. Daerah Pantai ini merupakan pantai yang terletak tepat di belakang pemukiman warga. Berdasarkan hasil pengamatan dilokasi, telah terjadi abrasi sehingga mengakibatkan mundurnya garis pantai yang berdampak pada lokasi masyarakat setempat beraktivitas. Dalam penelitian ini dilakukan survey lokasi penelitian, pengambilan data pasang surut dan data kecepatan angin agar dapat merencanakan suatu perencanaan bangunan pengaman pantai. Berdasarkan pengolahan data maka didapatkan bangunan non overtopping revetment dengan tinggi bangunan 5,36 m dan lebar puncak 1 m. Fungsi dari bangunan pengaman pantai revetment ialah menahan gelombang tinggi dan melindungi tanah dibelakang bangunan pengaman pantai dari gempuran gelombang supaya tidak terjadi abrasi serta memberikan kemudahan untuk menyediakan akses ke pantai atau badan air untuk memancing, rekreasi dan tempat berlabuhnya perahu.

Kata kunci: pantai Ranowangko , bangunan pengaman pantai , revetment, perencanaan

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim karena memiliki wilayah perairan yang lebih luas dari pada daratan. Luas wilayah perairannya ialah 6.400.000 km² dengan jumlah pulau 17.504, serta panjang garis pantai 108.000 km² (PUSHIDROSAL, Badan Informasi Geospasial, Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman. 2018). Oleh karena itu wilayah pantai merupakan wilayah yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan bagi kegiatan manusia. Contohnya sebagai kawasan pemerintahan, pemukiman bagi nelayan, kawasan industri, pelabuhan, wisata dan lain sebagainya. Dengan adanya kegiatan tersebut tentunya dapat menimbulkan peningkatan kebutuhan terhadap lahan tapi juga prasarana yang akan mengakibatkan timbulnya masalah-masalah baru, seperti hilangnya daratan akibat dari abrasi pantai yang terjadi secara alami oleh serangan gelombang. Gelombang yang berinteraksi dengan pantai secara langsung dapat menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai. Untuk itu diperlukan penanganan yang serius terhadap permasalahan abrasi pantai. Pantai Ranowangko secara geografis terletak di Desa Ranowangko, Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa. Pantai Ranowangko merupakan pantai yang terletak tepat di belakang pemukiman warga. Hal ini tentunya memberikan dampak bagi kehidupan masyarakat, apalagi ketika terjadinya gelombang dan pasang air laut yang tinggi sehingga menyebabkan abrasi dan mengakibatkan kemunduran garis pantai. Kemunduran garis pantai yang disebabkan oleh gelombang tinggi air laut memberikan efek yang kurang baik bagi kehidupan masyarakat. Khususnya ketika memasuki bulan Desember sampai Maret.

Gelombang yang datang memasuki rumah warga bahkan melewati dan bisa sampai ke area jalan. Tentunya hal ini mulai mengancam kehidupan dari masyarakat yang tinggal di daerah tepi pantai. Untuk itu sehubungan dengan hal ini, tentunya diperlukan sebuah bangunan pengaman

pantai yang dapat mencegah kerusakan— kerusakan yang akan terjadi dikarenakan abrasi ataupun kemunduran garis pantai. Rumusan Masalah Gelombang tinggi dan arus laut menyebabkan terjadinya abrasi di Pantai Ranowanko sehingga memberikan dampak negatif, yaitu rusaknya lingkungan dan tempat tinggal dari masyarakat yang bermukim di pinggir pantai. Dengan demikian, dibutuhkan penanganan yang khusus yaitu dengan membuat bangunan pengaman pantai yang tepat di lokasi studi yang telah mengalami masalah akibat gelombang laut.

1.2 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini maka di batasi permasalahan:

- Data Karakteristik Gelombang, Data Pasang Surut, Peta Bathimetri, dan Data Angin diambil dari BMKG Kota Bitung.
- Hanya menghitung dimensi bangunan.
- Tidak memperhitungkan biaya perencanaan (RAB) dan perhitungan volume pekerjaan (BOQ).
- Gelombang yang ditinjau tidak dipengaruhi oleh sungai sekitar.

1.3 Tujuan Penelitian

- Mendapatkan jenis desain bangunan pengaman pantai yang sesuai.
- Membuat perencanaan bangunan pengaman pantai di daerah Pantai Ranowanko.

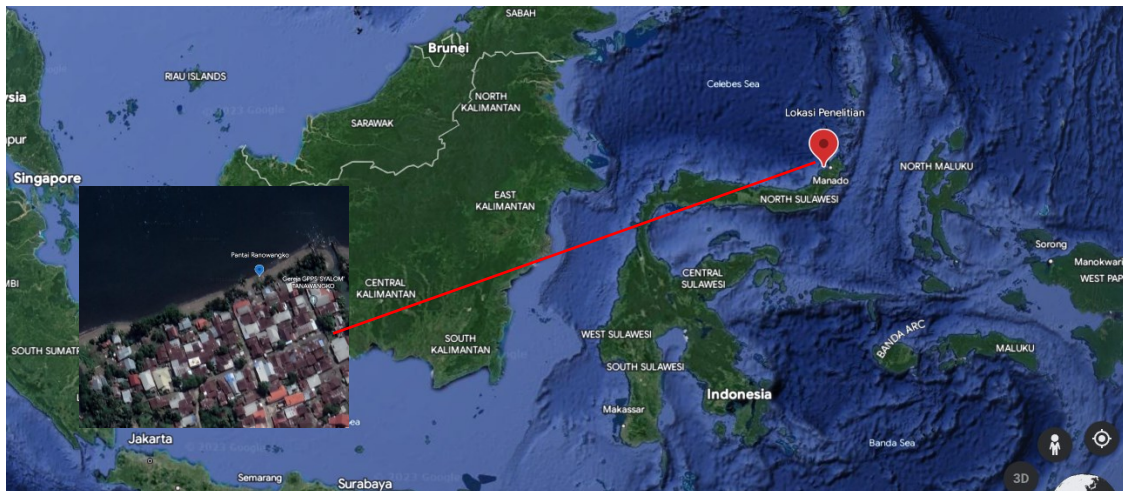
1.4 Manfaat Penelitian

- Memberikan pemahaman mengenai bangunan pengaman pantai yang sesuai dengan permasalahan yang terjadi di lokasi Pantai Ranowanko.
- Sebagai bahan referensi dalam mempelajari mengenai bangunan pengaman pantai.

2. Metode

2.1 Lokasi Penelitian

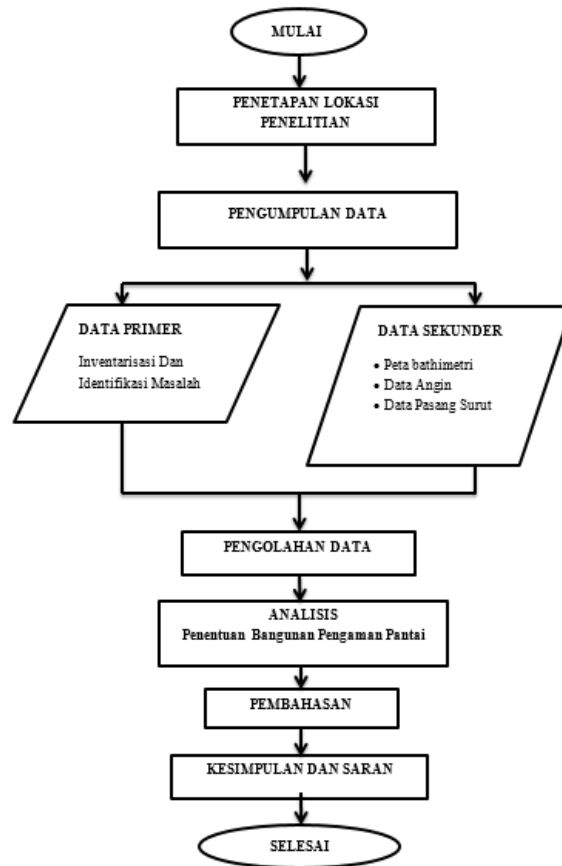
Lokasi penelitian di Desa Ranowanko, Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth)

2.2 Bagan Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

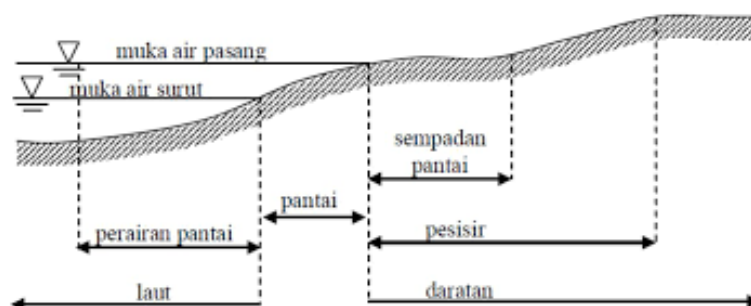


Gambar 2. Bagan Alir

3. Kajian literatur

3.1 Definisi Pantai

Pantai dipahami sebagai perbatasan wilayah darat dan wilayah laut. Namun kata pantai (shore) juga biasa di samakan dengan kata pesisir (coast). Pengertian pantai dapat dijelaskan secara skematik pada Gambar 3.



Gambar 3. Definisi Pantai dan Batasan Pantai
(Sumber: Bambang Triatmodjo, 1999)

3.2 Kerusakan Pantai

Proses kerusakan pantai yang berupa abrasi/erosi pantai dapat terjadi karena sebab alami dan buatan. Pemahaman akan sebab abrasi/erosi merupakan dasar yang penting dalam perencanaan perlindungan pantai. Perlindungan pantai yang baik seharusnya bersifat komprehensif dan efektif untuk menanggulangi permasalahan kerusakan yang ada.

3.3 Metode Pengaman Pantai Alami

Perlindungan Alami dapat dilakukan dengan penanaman tanaman yang dapat berfungsi sebagai pelindung pantai, seperti pohon bakau, api-api, nipah; atau dengan adanya bukit atau gemuk pasir (sand dunes).

3.4 Metode Pengaman Pantai Buatan

Jika pengaman pantai secara alami belum efektif, dapat dibuat perlindungan tambahan seperti:

1) Revetment, 2) Tembok Laut, 3) Groin, 4) Jetty, 5) Breakwater .

3.5 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 laut berbentuk gelombang transversal dengan membentuk lembah dan puncak yang berbeda dengan gelombang longitudinal yang mempunyai regangan dan rapatan. Gelombang sinusoidal atau gelombang transversal memiliki komponen tertentu. Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random.

3.6 Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang adalah teknik peramalan gelombang yang akan datang dengan menggunakan data angin dimasa lampau.

a. Fetch

Arah fetch bisa datang dari segala arah, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

b. Refraksi Gelombang

$$Kr = \sqrt{\frac{b_o}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}}$$

c. Pendangkalan Gelombang

$$K_s = \sqrt{\frac{C_o}{2\sqrt{gh}}}$$

d. Proses Pecahnya Gelombang

Tipe gelombang pecah dapat dibedakan sebagai berikut :

1. $0 < \xi_o < 0,5$: *Spilling*, 2. $0,5 < \xi_o < 3,3$: *Plunging*, 3. $\xi_o < 3,3$: *Surgling*

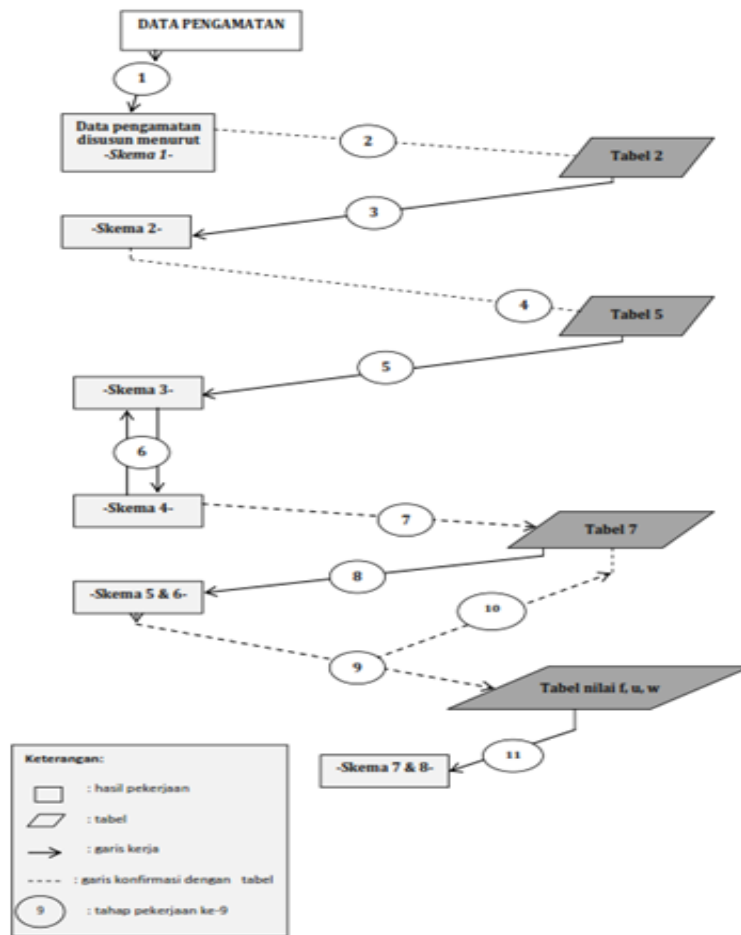
3.7 Pasang Surut

Klasifikasi pasang surut dilakukan sebagai berikut:

1. Pasang surut harian ganda jika $F \leq 0.25$
2. Pasang surut campuran condong harian ganda jika $0.25 < F \leq 1.5$
3. Pasang surut campuran condong harian tunggal jika $1.5 < F \leq 3$
4. Pasang surut harian tunggal jika $F > 3$

3.8 Metode Admiralty

Metode ini menghitung amplitudo dan ketertinggalan fasa dari sembilan komponen pasut yaitu M2, S2, N2, K1, O1, M4, MS4, K2 dan P1. Dari ke sembilan komponen pasut tersebut dapat dihitung referensi tinggi muka air laut yang diinginkan. Skema Perhitungan pasang surut metode admiralty ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Perhitungan Pasang Surut Metode Admiralty

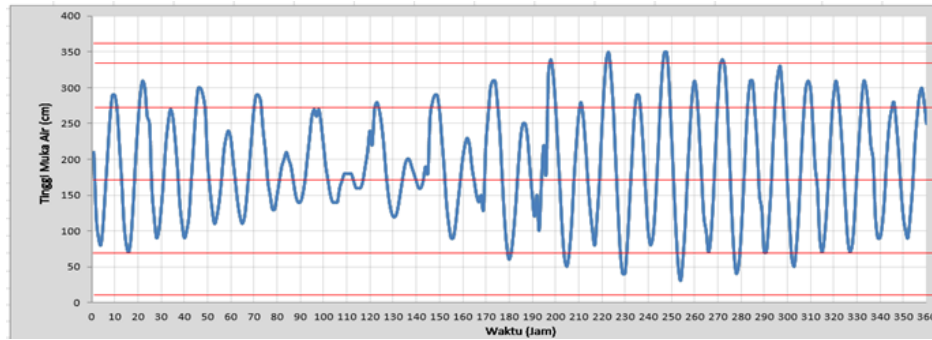
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pasang Surut (Analisa Data, 2023)

No	Tanggal	Jam																							Jumlah Bacaan	Bacaan Rerata/jam	
		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00			23:00
1	01/06/22	210	120	90	80	110	160	210	260	290	290	270	220	170	110	80	70	90	140	200	250	290	310	300	260	4380	190,83
2	02/06/22	250	160	120	90	100	130	170	220	250	270	260	230	190	140	110	90	100	120	170	220	270	300	300	290	4350	189,58
3	03/06/22	270	200	160	130	110	120	140	170	210	230	240	280	200	170	140	120	110	120	150	190	230	270	290	290	4480	187,08
4	04/06/22	280	240	210	170	150	130	130	150	170	190	200	210	200	190	170	150	140	140	150	170	200	230	260	270	4300	187,50
5	05/06/22	260	270	250	220	190	170	150	140	140	140	160	170	180	180	180	180	170	160	160	160	170	190	210	240	4440	185,00
6	06/06/22	220	270	280	270	250	220	180	150	130	120	120	130	150	170	190	200	200	190	180	170	160	160	170	190	4470	186,75
7	07/06/22	180	260	280	290	290	270	230	190	140	110	90	90	110	140	170	200	220	230	220	190	170	150	140	150	4510	187,92
8	08/06/22	130	220	260	300	310	310	280	240	180	120	80	60	70	100	140	190	230	250	250	230	190	150	120	120	4390	188,75
9	09/06/22	100	170	220	180	320	340	320	280	220	160	100	60	50	70	110	170	220	260	280	260	220	170	130	100	4310	187,92
10	10/06/22	80	120	170	240	300	340	350	320	270	200	130	70	40	40	80	140	200	260	290	290	260	210	150	100	4650	193,75
11	11/06/22	80	90	130	190	260	320	350	350	310	240	170	100	50	30	60	110	180	240	290	310	290	240	180	120	4680	195,42
12	12/06/22	100	70	90	140	210	280	330	340	330	280	210	130	70	40	50	90	150	220	280	310	310	270	220	150	4670	194,58
13	13/06/22	130	70	70	110	160	230	290	320	330	290	240	170	110	60	50	80	130	200	260	300	310	300	250	190	4650	193,75
14	14/06/22	160	90	70	90	130	190	250	290	310	290	250	200	140	90	70	80	120	180	230	280	310	300	270	220	4610	192,08
15	15/06/22	200	120	90	90	110	150	210	250	270	280	250	210	160	120	100	90	120	160	220	260	290	300	280	250	4380	190,83

Ket.: Air Tertinggi : 350
Air Terendah : 30



Gambar 5. Grafik Pasang Surut

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

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{24 + 24}{129 + 64} = 0.25$$

Maka dapat disimpulkan pasang surut yang terjadi termasuk tipe Pasang Surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevealling diurnal*) dengan nilai $1,5 < F < 3$, dimana $F = 0.25$.

4.3 Hindcasting Gelombang

Tabel 2. Penentuan Tinggi dan Periode Gelombang

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang					Max Tiap Bulan	
		N	S	SW	W	NW	Arah	H - T
JANUARI	H (m)	0,000		0,185		0,000	SW	0,185
	T (det)	0,000		2,262		0,000		2,262
FEBRUARI	H (m)	0,000	0,457			0,000	S	0,457
	T (det)	0,000	3,086			0,000		3,086
MARET	H (m)	0,000	0,000				N	0,000
	T (det)	0,000	0,000					0,000
APRIL	H (m)		0,000			0,000	NW	0,000
	T (det)		0,000			0,000		0,000
MEI	H (m)		0,000	0,000	0,000		SW	0,000
	T (det)		0,000	0,000	0,000			0,000
JUNI	H (m)		0,000	0,040			SW	0,040
	T (det)		0,000	1,047				1,047
JULI	H (m)		0,000	0,000			SW	0,000
	T (det)		0,000	0,000				0,000
AGUSTUS	H (m)		0,000				S	0,000
	T (det)		0,000					0,000
SEPTEMBER	H (m)		0,000	0,035			SW	0,035
	T (det)		0,000	0,982				0,982
OKTOBER	H (m)		0,000	0,000			S	0,000
	T (det)		0,000	0,000				0,000
NOVEMBER	H (m)		0,094		0,000	0,000	S	0,094
	T (det)		1,610		0,000	0,000		1,610
DESEMBER	H (m)	0,000		0,125	0,000	0,000	SW	0,125
	T (det)	0,000		1,859	0,000	0,000		1,859
MAX TIAP ARAH	H (m)	0,000	0,457	0,185	0,000	0,000	SW	0,457
	T (det)	0,000	3,086	2,262	0,000	0,000		3,086

Didapat arah Selatan paling maximum dengan:

- Tinggi Gelombang (H) = 0,457
- Periode Gelombang (T) = 3,086

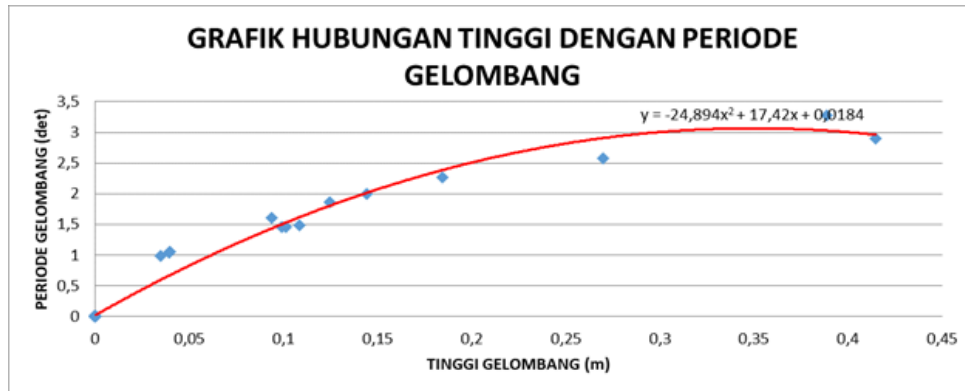
4.4 Perhitungan Angkutan Sedimen

Rumus yang akan di pakai dalam pengangkutan sedimen sepanjang pantai adalah rumus perhitungan CERC (dari Army Coastal Engineering Research Center). Di ambil sampel tinggi dan Periode gelombang pada bulan Februari dari arah Selatan. Hasil perhitungan angkutan sedimen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Angkutan Sedimen

Angkutan Sedimen	Qs (m ³ /tahun)
Sejajar Pantai	778.623
Tegak Lurus Pantai	2.629

4.5 Perhitungan Transformasi Gelombang

**Gambar 6.** Hubungan Tinggi dan Periode Gelombang

Berdasarkan grafik hubungan H dan T didapat persamaan :

$y = -24,894x^2 + 17,420x + 0,0184$ (persamaan didapat menggunakan *trendline* di program MS. Excel)

Untuk arah Selatan

$$H_o = 0,457 \text{ m}$$

$$T_o = -24,894x^2 + 17,420x + 0,0184 = 2,782 \text{ det}$$

- Hitung panjang gelombang dengan rumus :

$$L_o = 1,56 T^2, \text{ dimana : } \begin{array}{l} L_o = \text{panjang gelombang laut dalam} \\ T = \text{periode gelombang laut dalam} \end{array}$$

$$\begin{aligned} L_o &= 1,56 \times 2,782^2 \\ &= 12,073 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d/L_o &= 10/12,073 \\ &= 0,828 \end{aligned}$$

Cari nilai d/l untuk nilai $d/L_o = 0,828 \sim 0,82$

$$\text{Maka } d/L = 0,82001$$

$$n = 0,5003$$

$$\text{maka } L = 12,194 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$\begin{aligned} C_o &= L_o/T \\ &= 12,076 / 2,782 = 4,340 \text{ m/d} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= L/T \\ &= 12,194 / 2,782 = 4,383 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{C}{C_o} \times \sin \alpha \\ &= \frac{4,383}{4,340} \times \sin \alpha = 0,714 \end{aligned}$$

$$\alpha = 45,565^\circ$$

- Tentukan nilai koefisien Refraksi (Kr)

$$\begin{aligned} K_r &= \frac{\sqrt{\cos \alpha o}}{\cos \alpha} \\ &= \frac{\sqrt{\cos 45}}{\cos 45,565} = 0,994 \end{aligned}$$

- Tentukan Nilai Koefisien *Shoaling*

Koefisien Pendangkalan :

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

Dimana n_o = (di laut dalam) 0,5 ; L_o = 12,076 m

Dari tabel perhitungan shoaling untuk nilai $d/L_o = 8,28$ diperoleh nilai $n = 0,5003$

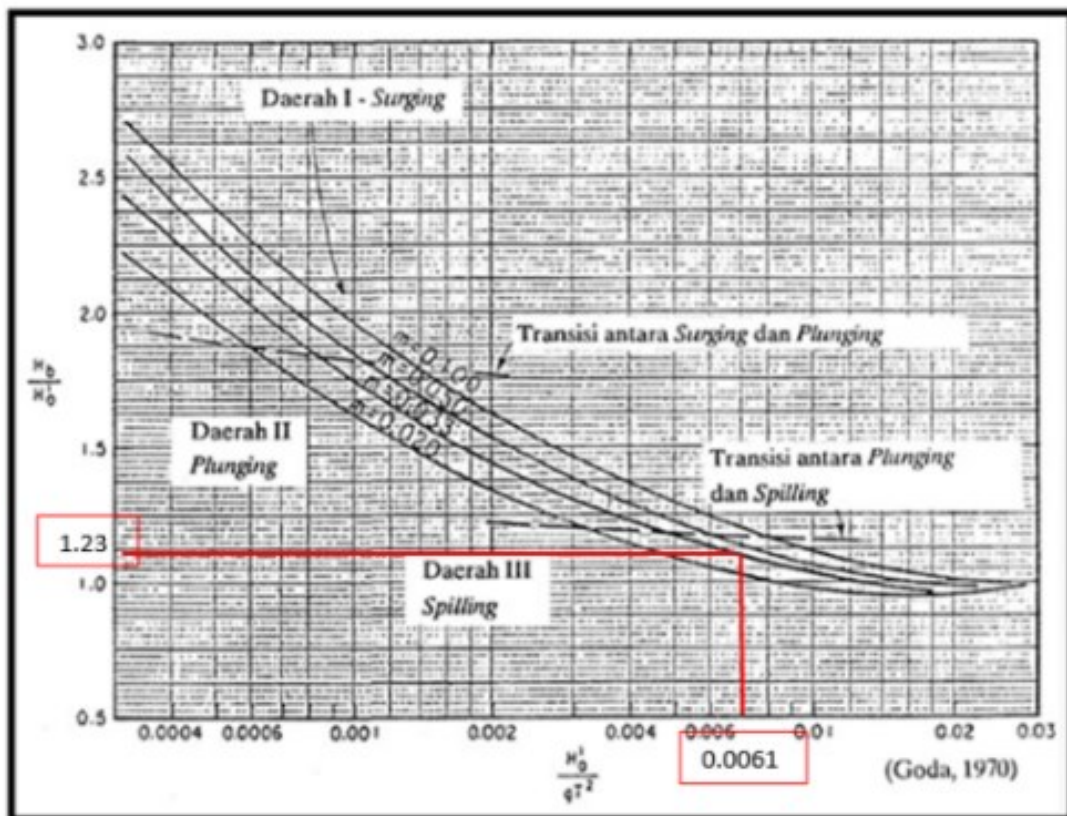
$$K_s = \frac{\sqrt{0,5 \times 12,076}}{0,5003 \times 12,194} \quad K_s = 0,9897$$

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

$$H = H_o \times K_r \times K_s = 0,457 \times 0,994 \times 0,9897 = 0,449$$

- Perhitungan Gelombang Pecah

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara $H'o/gT^2$ dan $H_b/H'o$. Nilai H_b didapatkan dari hasil nilai $H'o/gT^2$ dan kemiringan (m) pada grafik penentuan "Tinggi Gelombang Pecah, Bambang Triatmodjo Teknik Pantai". Plot pada grafik untuk $H'o/gT^2 = 0,0061$.



Gambar 7. Hubungan $H'o/gT^2$ dan $H_b/H'o$

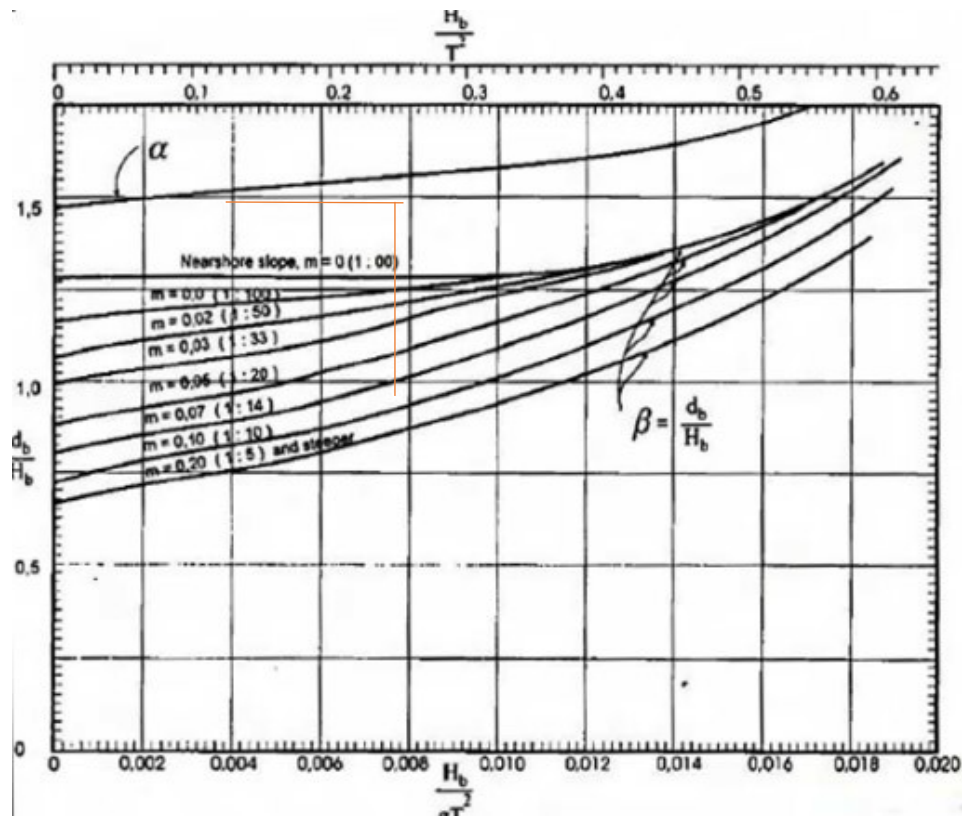
Maka didapat :

$$H_b/H'o = 1.23$$

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

$$= 1.23 \times 0.4614 = 0.5675 \text{ m}$$

Untuk nilai H_b didapat dari hasil plot H_b/gT^2 dan kemiringan (m) pada grafik. Plot pada grafik : $H_b/gT^2 = 0,0568$ dan $m = 0,520$.

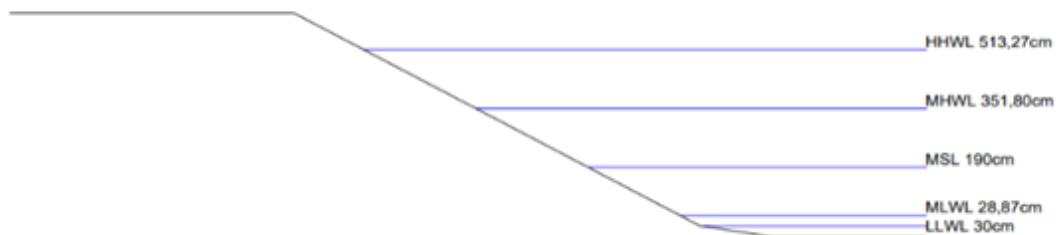


Gambar 8. Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah

4.6 Perhitungan Dimensi Bangunan Pengaman Pantai

Dari pemilihan alternatif bangunan pengaman pantai maka yang digunakan di pantai Desa Ranwangko adalah Dinding pantai atau *Revetment*.

- Penentuan Elevasi Revetment



Gambar 8. Elevasi Muka Air

Elevasi dasar *Revetment* akan direncanakan pada LLWL yaitu 0,3 m. Ketinggian muka air pada ujung bangunan revetment yang menghadap ke laut direncanakan sebesar HHWL yaitu 5,13 m dari dasar laut.

- 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 :

$$H_b = 0,568 \text{ meter}$$

$$T = 2,782 \text{ detik}$$

Maka besar *wave set-up* adalah :

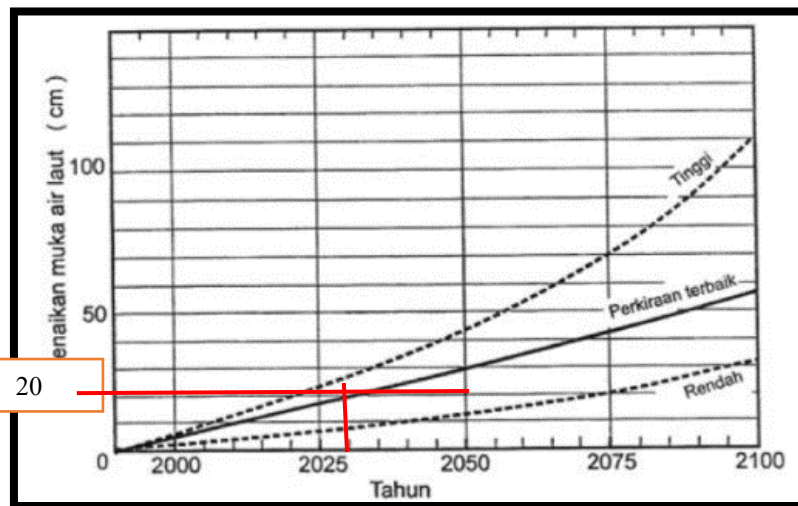
$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right) H_b$$

$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{0,492}{9,81 \times 2,782^2}} \right) \times 0,568$$

$$= 0,084 \text{ m}$$

- *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 9. 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 9. Kenaikan Muka Air Laut

Sehingga didapatkan elevasi muka air rencana adalah sebagai berikut :

$$DWL = HHWL + S_w + SLR$$

$$DWL = 3,518 \text{ m} + 0,084 \text{ m} + 0,2 \text{ m}$$

$$DWL = 3,802 \text{ meter (+)}$$

Perhitungan Elevasi Mercu *Revetment*

Elevasi mercu bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

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 = 1 meter

- *Run-up* gelombang

Direncanakan :

Jenis bangunan :

Revetment

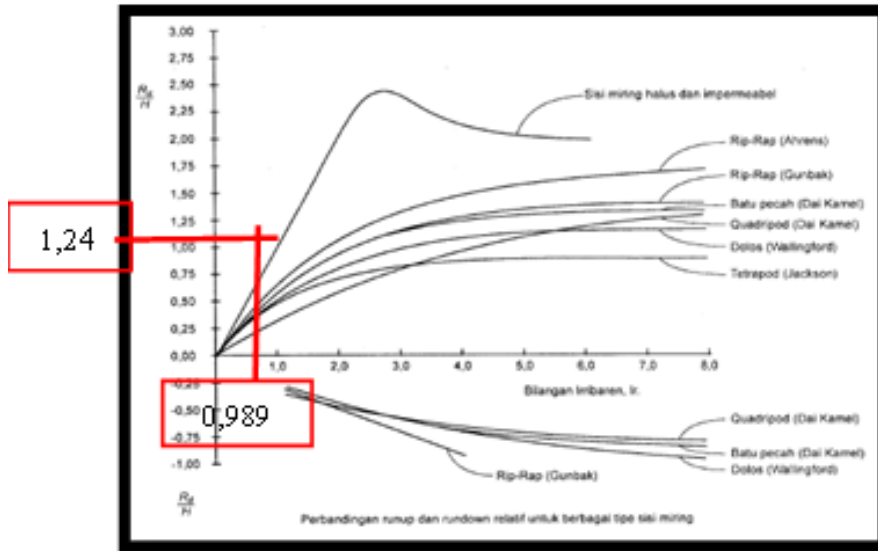
Lapis lindung:

Buis beton dengan pemasangan diamond

Tinggi gelombang: 0,457 meter
 Kemiringan Bangunan 1:3

$$- L_o = 1.56T^2 = 1,56 \times 2,782^2 = 12,076 \text{ meter}$$

$$- I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{T}{L_o}\right)^{0.5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{2,782}{12,076}\right)^{0.5}} = 0,989$$



Gambar 10. Perbandingan Run-up

R_u/H : 1,24 (dari grafik)

Run up gelombang didapat dari grafik berdasar Irrabaren di atas, maka $R_u = 0,56$.

$$\circ \text{ Elevasi Mercu} = DWL + R_u + F_b = 3,792 + 0,56 + 1 = 5,36 \text{ m}$$

4.7 Perhitungan Lapis Lindung

1. Berat butir lapis lindung

Berat butir lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini. Untuk lapis lindung dari batu pecah bersudut kasar dengan $n = 2$, penempatan acak, gelombang telah pecah dan K_D lengan bangunan = 2.

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

γ_α = berat jenis air laut ($1,03 \text{ t/m}^2$)

Perhitungan sebagai berikut :

a) Lapis pelindung luar (*armour stone*)

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

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

$$= \frac{2,65 \times 0,457^3}{2 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 0,984 \text{ ton} = 984 \text{ kg}$$

b) Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,984}{2,65}\right)^{1/3} = 0,719 \text{ m}$$

c) Tebal Lapis Lindung (t_1)

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

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

$$= 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,984}{2,65}\right)^{1/3} = 1,653 \text{ meter}$$

2. Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

$$W_2 = \frac{W}{10} = \frac{0,984}{10} = 0,0984$$

$$= 0,0984 \text{ ton} = 98,41 \text{ kg}$$

a) Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0,0984}{2,65}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,334 \text{ m}$$

b) Tebal Lapis Lindung (t_2)

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

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

$$= 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,0984}{2,65}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,767 \text{ meter}$$

3. Lapis pelindung ketiga

$$W_3 = \frac{W}{200} = \frac{0,984}{200} = 0,00492 \text{ ton} = 4,92 \text{ kg}$$

a) Diameter Batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0,00492}{2,65}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,123 \text{ m}$$

b) Tebal Lapis Lindung (t_3)

Pada lapis lindung ketiga digunakan susunan beton dengan berat jenis $\gamma_r = 2,65 \text{ t/m}^2$.

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

$$= 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,00492}{2,65}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,283 \text{ meter}$$

4. Lebar Puncak *Revetment*

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

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

$$= 3 \times 1,15 \times \left[\frac{0,984}{2,65}\right]^{\frac{1}{3}} = 2,5 \text{ m}$$

5. Jumlah Batu Pelindung

Jumlah butir batu pelindung tiap satu satuan luas (10 m^2) dan porositas = 37, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

$$= 10 \times 3 \times 1,15 \times \left[1 - \frac{37}{100}\right] \times \left[\frac{2,65}{0,984}\right]^{\frac{2}{3}}$$

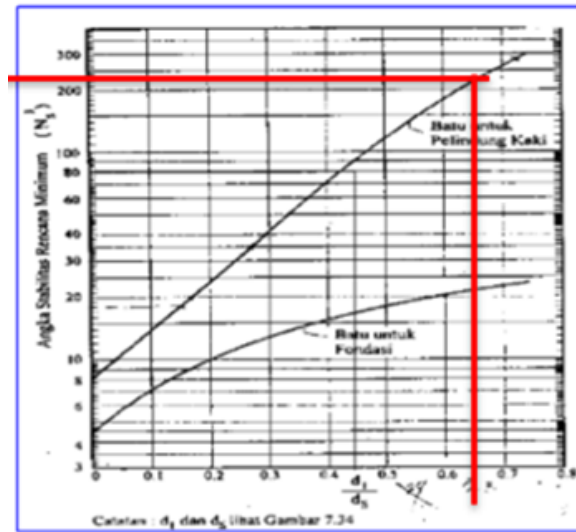
$$= 28 \text{ buah}$$

6. Toe Protection

Perhitungan tinggi *toe protection* dengan r (tebal lapis merata) direncanakan = 1 m, tinggi gelombang rencana $H = 0,46 \text{ m}$, maka:

- Tinggi *toe protection* (t)
 $t_{toe} = r = 1 \text{ meter}$
- Lebar *toe protection*
 $B = 2H = 2 \times 0,46 = 0,913 \text{ meter}$

- Berat butir *toe protection*
 $ds = 2,9 \text{ m}$
 $d1 = ds - t_{toe} = 2,9 - 1 = 1,9 \text{ m}$
 $\frac{d1}{ds} = \frac{1,9}{2,9} = 0,69$



Gambar 11. Angka Stabilitas Rencana Minimum

Untuk harga N_s^3 diperoleh $N_s^3 = 210$.

$$\begin{aligned} \text{Maka, } W &= \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \\ &= \frac{2,65 \times 0,457^3}{210 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3} = 0,005 \text{ ton} = 5 \text{ kg (berat butir } toe \text{ protection)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} W &= 0.5 \times 0,984 \text{ ton} \\ &= 0.492 \text{ ton} = 492 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka berat batu lapis lindung *toe protection* $W = 492 \text{ kg}$.

5. Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan yang ada di pantai Desa Ranowanko yang mengalami pengikisan garis pantai oleh gelombang tinggi dan menyebabkan abrasi, maka direncanakan untuk membuat Dinding Pantai / Revetment sebagai pelindung untuk mempertahankan garis pantai dengan data sebagai berikut:

- Elevasi mercu : 5,36 m
- Lebar puncak : 1 m
- Lapis lindung sebanyak 3 (tiga) lapis: $t_1 : 1,653 \text{ m}$; $t_2 : 0,767 \text{ m}$; $t_3 : 0,283 \text{ m}$.
- Tinggi toe protection : 1 m.
- Lebar toe protection : 0,913 m.

Referensi

- 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) .
 Goda Foley, 1993, *Pemanasan Global* (terjemahan), Yayasan Obor Indonesia Jakarta.

- Kurniawan M. Hi. Sabatun, Tommy Jansen, M. Ihsan Jasin, *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.
- Liunsanda, Moses, J. D. Mamoto, A. K. T. Dundu, *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Pal Kabupaten Minahasa Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.9 November 2017 (613-623) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Manuel, Afridolin, M. Ihsan Jasin, Jeffry Mamoto, *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Pada Daerah Pantai Bulu Desa Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.6 Agustus 2017 (325-334) ISSN: 2337-6732, 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.
- ..., *Autocad Map 2016, Peta Batimetri*
- ..., *GlobalMapper20, Peta Topografi*
- ..., *Google Eearth, 2016, Gambar Lokasi Studi*.
- ..., http://eprints.undip.ac.id/34654/5/2050_chapter_II.pdf
- ..., https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/laut/erosi-pantai/Erosi_pantai
- ..., <https://www.jawapos.com/photo/garis-pantai-indonesia-terpanjang-ke-2-di-dunia/>
- ..., <https://www.pushidrosal.id/berita/5256/DATA-KELAUTAN-YANG-MENJADI-RUJUKAN-NASIONAL-DILUNCURKAN/>