



Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Bulotoan Desa Rerer I Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa

Javier J. Wajong^{#a}, Arthur H. Thambas^{#b}, Ariestides K. T. Dundu^{#c}
Jeffrey D. Mamoto^{#d}, Muhammad I. Jasin^{#e}, Cindy J. Supit^{#f}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ajavierwajong6@gmail.com, ^barthur.thambas@unsrat.ac.id, ^ctorry@unsrat.ac.id, ^djeffreymamoto@gmail.com
^emuhammad.jasin@unsrat.ac.id, ^fcindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Bulotoan yang berada di Kecamatan Kombi, Desa Rerer I, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara, terletak pada posisi 1°15'18.46" LU – 125°03'22.30" BT. Kawasan pesisir ini dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk berbagai aktivitas, namun kondisi energi gelombang laut yang cukup tinggi di wilayah tersebut menyebabkan terjadinya abrasi pantai. Energi gelombang yang besar secara terus-menerus mengakibatkan pengikisan pada garis pantai sehingga berpotensi menyebabkan mundurnya garis pantai dan dapat berdampak terhadap lingkungan pesisir serta infrastruktur yang berada di sekitarnya. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu perencanaan bangunan pengaman pantai yang efektif untuk mengurangi dampak abrasi di Pantai Bulotoan, Kecamatan Kombi, Kabupaten Minahasa. Perencanaan pengaman pantai dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder yang diperoleh dari Power DAV NASA dan SRGI berupa data angin, pasang surut, serta data penunjang lainnya yang kemudian dianalisis menggunakan metode perencanaan bangunan pantai dan software penunjang. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan jenis dan dimensi bangunan pengaman pantai yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Dari hasil analisis data diperoleh bangunan pengaman pantai tipe Hard Structure berupa Groin tipe T yang berfungsi untuk mengendalikan transport sedimen sepanjang pantai serta mengurangi energi gelombang pada area yang dilindungi, dengan tinggi mercu 8,3 m, lebar puncak 4,4 m, kemiringan bangunan 1:2, lebar toe protection 7,99 m, serta tinggi toe protection 3,101 m.

Kata kunci: bangunan pengaman pantai, groin tipe T, Pantai Bulotoan

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Wilayah pesisir merupakan kawasan yang memiliki peran penting dalam aktivitas sosial, ekonomi, dan ekologi. Namun, keberadaan pantai terus menghadapi tekanan dari berbagai faktor alam maupun aktivitas manusia. Salah satu faktor alam yang dominan di kawasan pesisir adalah gelombang laut yang berperan besar dalam perubahan garis pantai. Energi gelombang yang tinggi, terutama saat pasang dan kondisi cuaca ekstrem, dapat menyebabkan terjadinya abrasi pantai. Abrasi merupakan proses pengikisan daratan oleh aksi gelombang dan arus laut yang berlangsung secara terus-menerus. Jika tidak dikendalikan, proses abrasi dapat menyebabkan mundurnya garis pantai serta merusak berbagai infrastruktur yang berada di wilayah pesisir.

Pantai Bulotoan memiliki peran strategis sebagai batas alam sekaligus penyangga infrastruktur transportasi utama di kawasan tersebut. Namun, kondisi pantai saat ini mengalami abrasi yang cukup signifikan akibat gelombang laut yang tinggi. Energi gelombang yang terus-menerus menghantam garis pantai menyebabkan terjadinya pengikisan material tanah di sepanjang tepi pantai. Proses abrasi ini secara perlahan mengurangi kestabilan tanah di sekitar badan jalan yang berada sangat dekat dengan garis pantai. Seiring berjalannya waktu, tanah penyangga pada bagian bawah dan sisi jalan mengalami pengikisan sehingga daya dukung tanah

menurun. Kondisi tersebut mengakibatkan struktur jalan menjadi tidak stabil dan pada beberapa bagian mengalami penurunan hingga akhirnya ambles dan terputus.

Kerusakan jalan akibat abrasi ini memberikan dampak yang cukup besar terhadap mobilitas masyarakat serta aktivitas sosial dan ekonomi di wilayah tersebut. Jalan tersebut merupakan akses penting yang digunakan oleh masyarakat dalam melakukan berbagai kegiatan sehari-hari. Apabila kondisi abrasi terus berlangsung tanpa adanya upaya penanganan yang tepat, maka kerusakan yang terjadi berpotensi semakin meluas dan dapat mengancam keberadaan infrastruktur lainnya di kawasan pesisir.

Oleh karena itu, penelitian skripsi dengan judul “Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Pantai Bulotoan Desa Rerer I Kecamatan Kombi, Kabupaten Minahasa” ini difokuskan pada permasalahan abrasi pantai yang disebabkan oleh gelombang laut yang tinggi hingga menyebabkan kerusakan dan amblesnya akses jalan di kawasan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan perencanaan teknis bangunan pengaman pantai yang mampu mengurangi dampak abrasi, menahan energi gelombang, serta melindungi infrastruktur jalan agar tetap stabil dan berfungsi secara berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi hidrodinamika dari Pantai Bulotoan?
2. Apa jenis bangunan pengaman Pantai yang sesuai untuk diterapkan di Pantai Bulotoan berdasarkan kondisi hidrodinamika (gelombang dan pasang surut serta karakteristik pantai)?

1.3. Batasan Penelitian

1. Penelitian difokuskan pada permasalahan abrasi pantai yang dipengaruhi oleh energi gelombang laut yang menyebabkan kerusakan dan amblesnya akses jalan di Pantai Bulotoan
2. Data yang telah tersedia, khususnya data gelombang, pasang surut digunakan sebagai dasar utama dalam analisis dan perencanaan bangunan pengaman pantai
3. Perencanaan dibatasi pada penentuan jenis bangunan pengaman pantai yang sesuai untuk mereduksi gelombang serta perhitungan dimensi teknis struktur tanpa membahas metode pelaksanaan konstruksi dan analisis biaya

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis kondisi hidrodinamika Pantai Bulotoan yang meliputi parameter gelombang, dan pasang surut sebagai dasar dalam memahami dinamika pesisir yang terjadi
2. Untuk menentukan jenis bangunan pengaman pantai yang paling sesuai diterapkan di Pantai Bulotoan berdasarkan kondisi hidrodinamika (gelombang dan pasang surut) serta karakteristik fisik pantai guna mengurangi dampak abrasi dan kerusakan wilayah pesisir

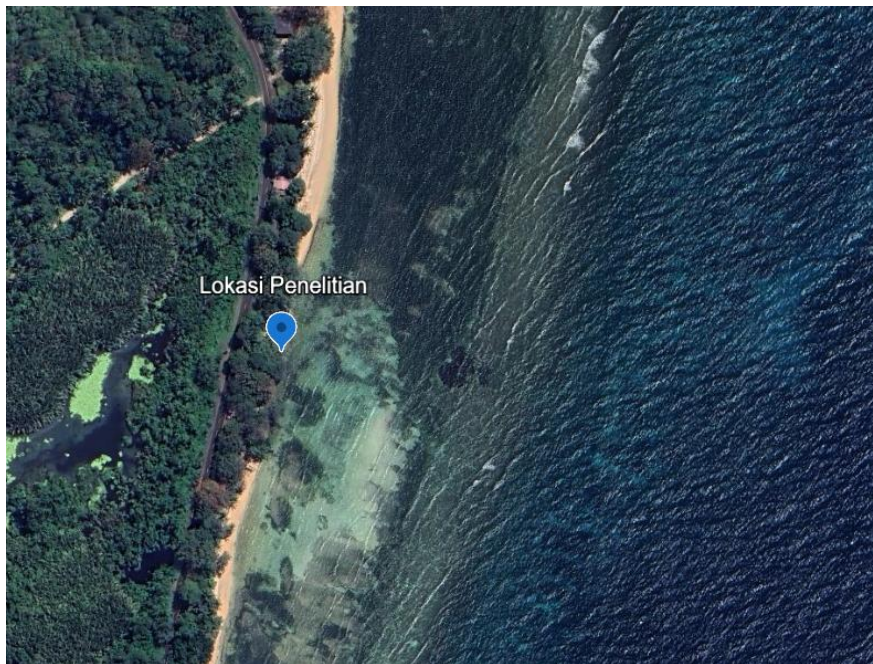
1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa kajian teknis mengenai kondisi abrasi dan perubahan garis pantai di Pantai Bulotoan, serta menyajikan alternatif perencanaan bangunan pengaman pantai yang efektif untuk meminimalkan risiko kerusakan infrastruktur di sekitarnya.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

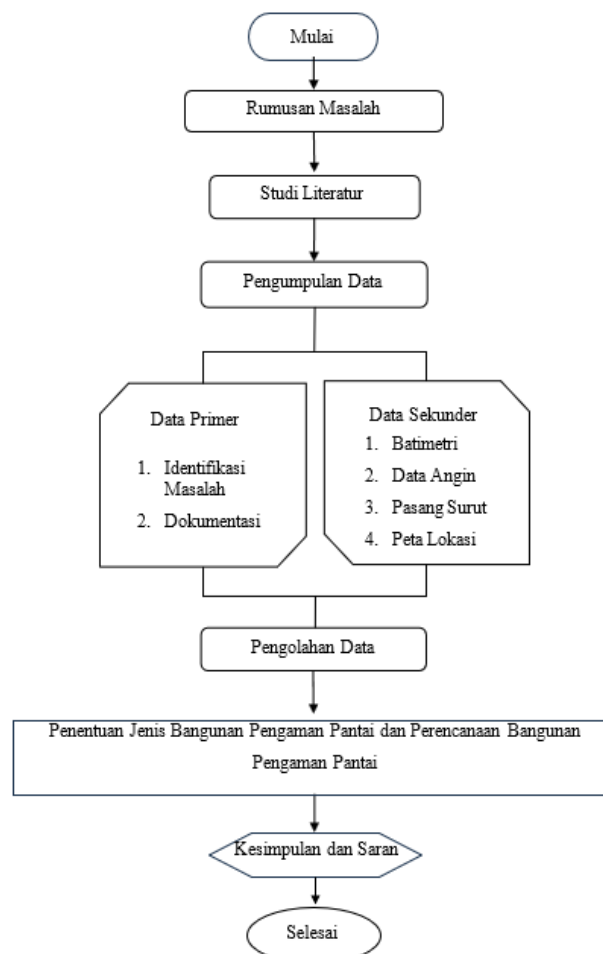
Lokasi Penelitian terletak di Pantai Mokupa, Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa yang secara geografis berada 1°25'39"LU dan 124°43'37"BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth Pro)

2.2. Bagan Alir Penelitian

Metode penelitian pada Tugas Akhir ini disusun ke dalam suatu bagan alir. Bagan alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



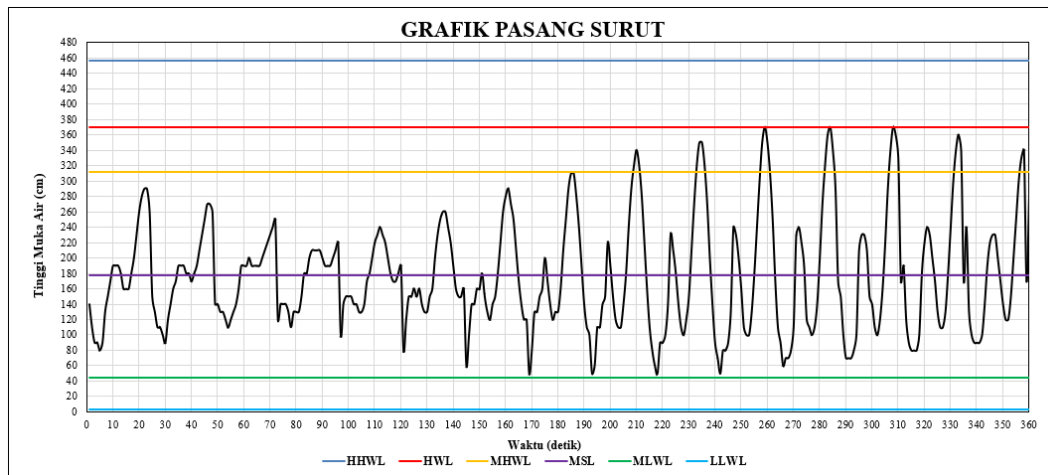
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pasang Surut

No	Tanggal	Jam																						Jumlah	Bacaan		
		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00			22:00	23:00
1	1-Nov-2023	1.4	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	1.3	1.5	1.7	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.6	1.6	1.8	2	2.3	2.6	2.8	2.9	2.9	2.6	42.7	178
2	2-Nov-2023	1.5	1.3	1.1	1.1	1	0.9	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.7	2.6	42.3	176
3	3-Nov-2023	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	2	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	41.9	175
4	4-Nov-2023	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.3	1.3	1.3	1.5	1.7	1.8	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2	1.9	1.9	1.9	2	2.1	2.2	41.1	171
5	5-Nov-2023	1	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	1.8	2	2.2	2.3	2.4	2.3	2.2	2	1.8	1.7	1.7	1.8	1.9	41.3	172
6	6-Nov-2023	0.8	1.2	1.5	1.5	1.6	1.5	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	2	2.3	2.5	2.6	2.6	2.4	2.2	1.9	1.6	1.5	1.5	1.6	41.4	173
7	7-Nov-2023	0.6	1	1.4	1.4	1.6	1.6	1.8	1.5	1.3	1.2	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	2.8	2.9	2.7	2.5	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	41.3	172
8	8-Nov-2023	0.5	0.8	1.3	1.3	1.5	1.6	2	1.7	1.4	1.2	1.1	1.3	1.6	2.1	2.5	2.9	3.1	3.1	2.8	2.4	1.9	1.4	1.1	1	41.6	173
9	9-Nov-2023	0.5	0.6	1.1	1.1	1.4	1.5	2.2	1.9	1.5	1.2	1.1	1.1	1.4	1.8	2.4	2.9	3.2	3.4	3.2	2.8	2.2	1.6	1.1	0.8	42	175
10	10-Nov-2023	0.6	0.5	0.9	0.9	1.2	1.4	2.3	2.1	1.8	1.4	1.1	1	1.2	1.5	2.1	2.7	3.2	3.5	3.5	3.2	2.7	2	1.4	0.9	43.1	180
11	11-Nov-2023	0.7	0.5	0.8	0.8	1	1.3	2.4	2.3	2	1.6	1.2	1	1	1.3	1.8	2.4	3	3.5	3.7	3.5	3.1	2.5	1.7	1.1	44.2	184
12	12-Nov-2023	0.9	0.6	0.7	0.7	0.9	1.1	2.3	2.4	2.2	1.9	1.5	1.1	1	1.1	1.4	2	2.7	3.2	3.6	3.7	3.4	2.9	2.2	1.5	45	188
13	13-Nov-2023	1	0.7	0.7	0.7	0.8	1	2.1	2.3	2.3	2.1	1.8	1.4	1.1	1	1.2	1.6	2.2	2.9	3.4	3.7	3.6	3.3	2.7	1.9	45.5	190
14	14-Nov-2023	1.2	0.9	0.8	0.8	0.8	1	1.8	2.2	2.4	2.3	2	1.7	1.3	1.1	1.1	1.3	1.8	2.4	3	3.4	3.6	3.4	3	2.4	45.7	190
15	15-Nov-2023	1.3	1	0.9	0.9	0.9	1	1.4	1.9	2.2	2.3	2.3	2	1.7	1.4	1.2	1.2	1.5	2	2.5	3	3.3	3.4	3.2	2.8	45.3	189



Gambar 3. Grafik Pasang Surut Pantai Mokupa

Selanjutnya adalah perhitungan tipe pasang surut di Pantai Bulotoan, Desa Rerer I, Kecamatan Kombi, Kabupaten Minahasa, menggunakan data pasang surut yang tertera pada Tabel 1 dan Gambar 3.

3.2. Penentuan Tipe Pasang Surut

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Analisis untuk Lokasi Penelitian di Pantai Mokupa

	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	178.09	92	42	8	70	24	2	6	11	23
g°	0.00	349.7	-1.2	354.8	149.1	223.1	346.9	349.7	-1.2	149.1

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{70 + 24}{349.7 + (-2)} = 0.27$$

Pasang Surut termasuk tipe harian ganda (semi diurnal tide) dengan nilai $F < 0,25$, dimana $F = 0,27$.

3.3. Penentuan Elevasi Muka Air

Tabel 3. Elevasi Muka Air
(Hasil Analisis, 2026)

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	456.62
HWL	cm	370.00
MHWL	cm	412.57
MSL	cm	178.09
MLWL	cm	144.50
LLWL	cm	86.42
Range	cm	279

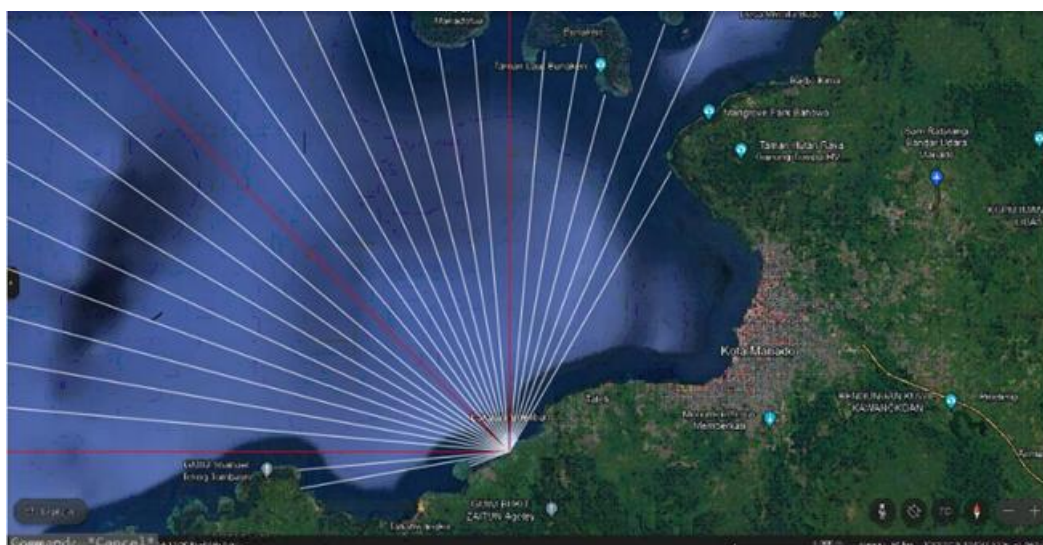
3.4. Perhitungan Angin, Arah Angin dan Tekanan Angin

Tabel 4. Perhitungan Tegangan Angin Tahun 2019
(Hasil Analisis, 2026)

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z = ±	10
					RT	1.1
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	$U_{10} = Uz \left(\frac{10}{Z} \right)^{1/7}$	R _L	U _A = R _T · R _L · U ₁₀
2021						
Januari	S	5.174	5.2	5.17	1.4	7.97
Februari	S	5.605	5.6	5.61	1.38	8.51
Maret	S	4.274	4.3	4.27	1.47	6.91
April	SE	3.565	3.6	3.57	1.54	6.04
Mei	S	2.462	2.5	2.46	1.68	4.55
Juni	SE	2.325	2.3	2.33	1.7	4.35
Juli	S	3.306	3.3	3.31	1.57	5.71
Agustus	S	3.983	4	3.98	1.5	6.57
September	S	3.960	4	3.96	1.5	6.53
Oktober	S	2.056	2.1	2.06	1.72	3.89
November	W	2.804	2.8	2.80	1.63	5.03
Desember	SW	3.589	3.6	3.59	1.54	6.08

3.5. Hindcasting Gelombang

Gambar interpretasi Fetch dan hasil perhitungan untuk lokasi perencanaan Pantai Bulotoan, Kecamatan Kombi, Kabupaten Minahasa, ditampilkan dalam Gambar 4 dan Tabel 5.



Gambar 4. Fetch Lokasi Penelitian

Tabel 5. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin (Hasil Analisis, 2026)

PERHITUNGAN FETCH						
Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya	Jarak Sebenarnya	$F\cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	Feff (km)
		(m)	(km)			
UTARA (N)	-20	673	0.673	1	0.940	69.350
	-15	695	0.695	1	0.966	
	-10	784	0.784	1	0.985	
	-5	10742	10.742	11	0.996	
	0	10716	10.716	11	1.000	
	5	6876	6.876	7	0.996	
	10	200000	200.000	197	0.985	
	15	200000	200.000	193	0.966	
	20	200000	200.000	188	0.940	
TIMUR LAUT (NE)	-20	200000	200.000	188	0.940	200.000
	-15	200000	200.000	193	0.966	
	-10	200000	200.000	197	0.985	
	-5	200000	200.000	199	0.996	
	0	200000	200.000	200	1.000	
	5	200000	200.000	199	0.996	
	10	200000	200.000	197	0.985	
	15	200000	200.000	193	0.966	
	20	200000	200.000	188	0.940	
TIMUR (E)	-20	200000	200.000	188	0.940	200.000
	-15	200000	200.000	193	0.966	
	-10	200000	200.000	197	0.985	
	-5	200000	200.000	199	0.996	
	0	200000	200.000	200	1.000	
	5	200000	200.000	199	0.996	
	10	200000	200.000	197	0.985	
	15	200000	200.000	193	0.966	
	20	200000	200.000	188	0.940	
TENGARA (SE)	-20	200000	200.000	188	0.940	200.000
	-15	200000	200.000	193	0.966	
	-10	200000	200.000	197	0.985	
	-5	200000	200.000	199	0.996	
	0	200000	200.000	200	1.000	
	5	200000	200.000	199	0.996	
	10	200000	200.000	197	0.985	
	15	200000	200.000	193	0.966	
	20	200000	200.000	188	0.940	
SELATAN (S)	-20	200000	200.000	188	0.940	200.000
	-15	200000	200.000	193	0.966	
	-10	200000	200.000	197	0.985	
	-5	200000	200.000	199	0.996	
	0	200000	200.000	200	1.000	
	5	200000	200.000	199	0.996	
	10	200000	200.000	197	0.985	
	15	200000	200.000	193	0.966	
	20	200000	200.000	188	0.940	
BARAT DAYA (SW)	-20	0	0.000	0	0.940	0.000
	-15	0	0.000	0	0.966	
	-10	0	0.000	0	0.985	
	-5	0	0.000	0	0.996	
	0	0	0.000	0	1.000	
	5	0	0.000	0	0.996	
	10	0	0.000	0	0.985	
	15	0	0.000	0	0.966	
	20	0	0.000	0	0.940	
BARAT (W)	-20	0	0.000	0	0.940	0.000
	-15	0	0.000	0	0.966	
	-10	0	0.000	0	0.985	
	-5	0	0.000	0	0.996	
	0	0	0.000	0	1.000	
	5	0	0.000	0	0.996	
	10	0	0.000	0	0.985	
	15	0	0.000	0	0.966	
	20	0	0.000	0	0.940	
BARAT LAUT (NW)	-20	0	0.000	0	0.940	0.000
	-15	0	0.000	0	0.966	
	-10	0	0.000	0	0.985	
	-5	0	0.000	0	0.996	
	0	0	0.000	0	1.000	
	5	0	0.000	0	0.996	
	10	0	0.000	0	0.985	
	15	0	0.000	0	0.966	
	20	0	0.000	0	0.940	
Feff (total)						869.350
Feff (dominan)						200.000

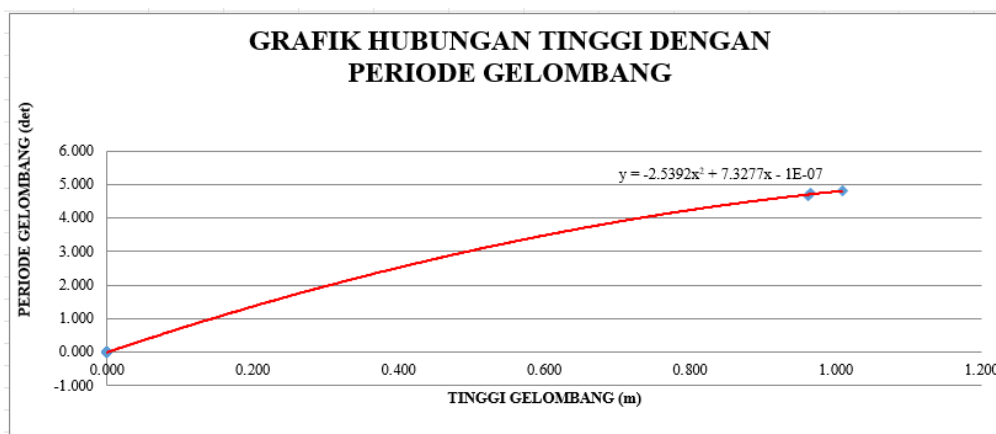
Tabel 6. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin (Hasil Analisis, 2026)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		S	W	-	-	Arah	H - T
JANUARI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
FEBRUARI	H (m)	1.009				S	1.009
	T (det)	4.806					4.806
MARET	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
APRIL	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
MEI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
JUNI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
JULI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
AGUSTUS	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
SEPTEMBER	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
OKTOBER	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
NOVEMBER	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
DESEMBER	H (m)		0.964			W	0.964
	T (det)		4.749				4.749
MAX TIAP ARAH	H (m)	1.009	0.964	0.000	0.000	S	1.009
	T (det)	4.806	4.749	0.000	0.000		4.806

Berdasarkan rekapitulasi Tinggi Gelombang Signifikan (H) dan Periode Gelombang Signifikan (T) dari hasil Hindcasting Gelombang, didapatkan nilai Tinggi Gelombang Signifikan H = 1.009 m, dan Periode Gelombang Signifikan T = 4.806 m dengan arah dominan Barat Laut (Northwest).

3.6. Analisa Transformasi Gelombang

Untuk memperoleh periode gelombang maksimum berdasarkan perubahan kedalaman, maka dibuat hubungan antara tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum (5 tahun data masukan) yang telah dihitung dengan metode hindcasting (Tabel 6) untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan.



Gambar 5. Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang

Berikut merupakan hasil perhitungan Shoaling berdasarkan grafik hubungan pada Gambar 5.

Tabel 7. Perhitungan Shoaling
(Hasil Analisis, 2026)

Lo	d/Lo	d/L	L	no	n	Kr	Ks	H
36.035	0.278	0.295	33.885	0.500	0.591	1.039	0.900	0.943
33.993	0.235	0.262	30.557	0.500	0.623	1.066	0.893	0.898
32.413	0.154	0.201	24.899	0.500	0.704	1.159	0.925	0.963
34.623	0.058	0.120	16.731	0.500	0.852	1.460	1.215	1.707
35.527	0.028	0.074	13.541	0.500	0.935	1.330	1.403	3.187
29.937	0.017	0.046	10.841	0.500	0.973	1.664	1.419	7.522

Tabel 8. Perhitungan Refraksi
(Hasil Analisis, 2026)

a _o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L
45	10	1.009	4.806	36.035	0.2775	0.29512
41.6749	8	0.943	4.668	33.993	0.2353	0.26181
36.7037	5	0.898	4.558	32.413	0.1543	0.20081
27.3307	2	0.963	4.711	34.623	0.0578	0.11954
12.8184	1	1.707	4.772	35.527	0.0281	0.07385
7.2450	0.5	3.187	-4.381	29.937	0.0167	0.04612

L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
33.885	7.498	7.050	0.665	41.675	1.080	1.039
30.557	7.282	6.546	0.598	36.704	1.135	1.066
24.899	7.111	5.462	0.459	27.331	1.343	1.159
16.731	7.349	3.551	0.222	12.818	2.132	1.460
13.541	7.445	2.837	0.085	7.245	1.769	1.330
10.841	-6.834	-2.475	0.046	2.618	2.768	1.664

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah
(Hasil Analisis, 2026)

Hb/gT2	m	db/Hb	db
0.0049	0.0079	1.19	1.682
0.0049	0.0070	1.27	1.690
0.0048	0.0087	1.29	1.415
0.0036	0.0080	1.26	1.158
0.0054	0.0067	1.24	1.916
0.0119	0.0073	1.25	3.509

3.7. Perhitungan Angkutan Sedimen Metode CERC

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

1. Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (*Longshore Transport*)

Bulan Maret Arah Timur

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 H_b &= 1.143 \text{ m} \\
 g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 db &= 1.682 \text{ m} \\
 K &= 0.39 \text{ (Shore Protection Manual, chapter 4-96)} \\
 n &= 0.4 \\
 \alpha_b &= 45^\circ \\
 \rho &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_s &= 2650 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \frac{K}{(\rho_s - \rho) \times g \times (1-n)} \times P_l \\
 P_l &= \frac{\rho \cdot g}{8} \times H_b^2 \times C_b \times \sin \alpha_b \times \cos \alpha_b \\
 C_b &= \sqrt{g \cdot db}
 \end{aligned}$$

Jawaban:

$$\begin{aligned}
 C_b &= \sqrt{9.81 \times 1,682} \\
 &= 4,061 \text{ m/d} \\
 P_1 &= \frac{1025 \times 9,81}{8} \times 1.143^2 \times 4.061 \times \sin 45^\circ \times \cos 45^\circ \\
 &= 5,096.377 \text{ kg m/d} \\
 Q_s &= \frac{0.39}{(2650-1025) \times 9.81 \times (1-0.4)} \times 5,096.377 \\
 &= 0.2078 \text{ kgm}^3/\text{d} \\
 &= 0.002078 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 0.002078 \times 24 \times 3600 = 17,954/\text{hari} \\
 &= 17,954 \times 365 = 6,553.287 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Nilai angkutan sedimen untuk sejajar pantai adalah **6553.287 m³/tahun**

2. Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai (*Onshore-Offshore Transport*)

Nilai $f=d$ dipakai 0.49 yang di ambil dari refrensi penelitian terdahulu dikarenakan ausmsi distribusi ukuran butiran sedimen lokasi penelitian berdekatan dengan refrensi yang digunakan.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 D &= 0.49 \\
 g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 H_b &= 1.143 \text{ m} \\
 \alpha_b &= 45^\circ \\
 \rho &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_s &= 2650 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) \times g \times D} \\
 \tau_b &= \rho_s \times U_*^2 \\
 U_* &= \sqrt{D/2}
 \end{aligned}$$

Jawaban:

$$\begin{aligned}
 U_* &= \sqrt{0.49/2} \\
 &= 0.495 \\
 \tau_b &= 2650 \times 0.495^2 \\
 &= 649.250 \\
 Q_s &= \frac{649.250}{(2650-1025) \times 9.81 \times 0.49} \\
 &= 0.0831 \text{ kg m}^3/\text{d} \\
 &= 0.0000831 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 0.0000831 \times 24 \times 3600 = 7,1814 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 2621.200 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Didapat nilai angkutan sedimen tegak lurus pantai adalah **2621,200 m³/tahun**.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Angkutan Sedimen
(Hasil Analisis, 2026)

Angkutan Sedimen	Qs (m ³ /tahun)
Sejajar Pantai	6553.287
Tegak Lurus Pantai	2621.200

3.8. Perhitungan Gelombang Pecah dan Gelombang Rencana untuk Groin

Tinggi gelombang rencana terpilih adalah tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi dilokasi pekerjaan, maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah (H_b) dilokasi pekerjaan. Tinggi gelombang pecah ini biasanya dikaitkan dengan kedalaman perairan (d_s) dan landai dasar pantai(m). maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus (CERC,1984):

$$H_b = 0,875 \cdot d_s$$

Keterangan :

H_b = Tinggi gelombang pecah

d_s = Kedalaman air lokasi bangunan

Dengan demikian tinggi gelombang rencana (H_d) dapat ditentukan dengan rumus :

$$H_d = H_b$$

Elevasi dasar *Groin* direncanakan LLWL= 0,0267 m . Ketinggian muka air pada ujung bangunan sebesar HHWL= 4,566 m dari dasar laut, sehingga didapatkan $d_s = HHWL$. dari penjelasan diatas maka untuk perhitungan gelombang rencana pada *Groin* Pantai Mokupa adalah sebagai berikut:

$$d_s = HHWL$$

$$= 4,566 \text{ m}$$

$$H_b = 0,875 \times d_s = 0,875 \times 4,566$$

$$= 3,995 \text{ m}$$

$$H_d = H_b$$

$$= 3,995 \text{ m}$$

3.9. Perhitungan Elevasi Mercu

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

Dimana :

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

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

F_b : Tinggi jagaan direncanakan = 0,5 meter

Run-up gelombang

Direncanakan :

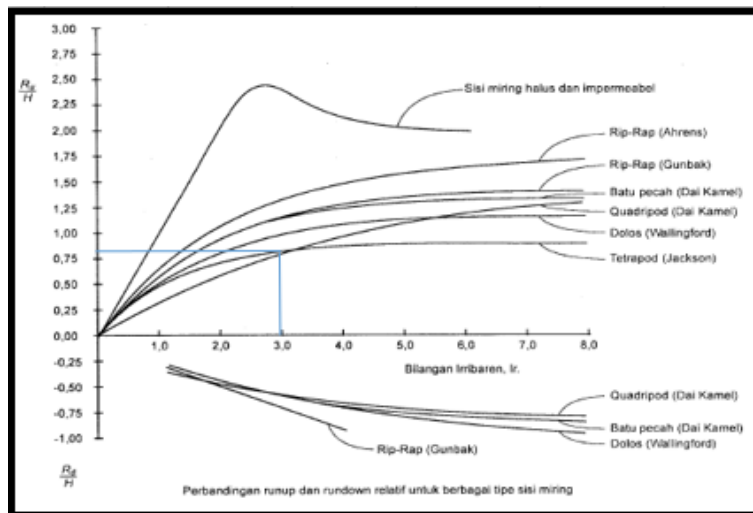
Jenis bangunan = *Groin*

Lapis lindung = *Tetrapod*

Tinggi gelombang (H_d) = 3,995 meter

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 4,806^2 = 36,035 \text{ meter}$$

$$I_r = \frac{\text{tg } \theta}{\left(\frac{T}{L_o}\right)^{0.5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{4,773}{35,541}\right)^{0.5}} = 2,99$$



Gambar 6. Grafik Run Up Gelombang

Bilangan *Irrabaren* di atas, maka didapat :

$$\frac{R_u}{H} = 0,80$$

$$R_u = 0,80 \times 3,995 = 3,196$$

$$\text{Elevasi Mercu} = \text{DWL} + R_u + F_b = 4,58 + 3,196 + 0,5 = 8,3 \text{ m}$$

3.10. Perhitungan Lapis Lindung

Berat butir lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini. Untuk lapis lindung dari Tetrapod dengan $n = 2$, penempatan random, gelombang pecah dan K_D ujung (Kepala) bangunan = 5.

Perhitungan sebagai berikut :

Lapis pelindung luar (*armour stone*)

$$W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,3 \times 3,995^3}{5 \times \left(\frac{2,3}{1,025} - 1\right)^3 \times 2} = 7,619 \text{ ton} = \mathbf{7619 \text{ kg}}$$

Tebal Lapis Lindung (t_1)

Untuk nilai dari Koefisien Lapis (K_Δ) = 1,04

$$t_1 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,04 \times \left(\frac{7,619}{2,3}\right)^{1/3} = \mathbf{3,28 \text{ m}}$$

Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

$$W_2 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,65 \times 3,995^3}{1,1 \times \left(\frac{2,65}{1,025} - 1\right)^3 \times 1,6} = 24,093 \text{ ton} = \mathbf{24093 \text{ kg}}$$

Dikarenakan pada lapis 2 menggunakan Batu Boulder, maka untuk nilai W pada Perhitungan W_2 diambil **24093 kg**

Diameter batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{24093}{2,65}\right)^{1/3} = \mathbf{0,97 \text{ m}}$$

Tebal Lapis Lindung (t_2)

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

$$t_2 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,10 \times \left(\frac{0,97}{2,65}\right)^{1/3} = \mathbf{2,13 \text{ m}}$$

Lebar Puncak *Groin*

Lebar puncak *Groin* untuk $n = 3$ (minimum) dan koefisien lapis (K_Δ) = 1,04 maka B puncak:

$$B = n K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3} = 3 \times 1,04 \times \left[\frac{7,619}{2,3}\right]^{1/3} = \mathbf{4,4 \text{ m}}$$

Jumlah Block Beton Pelindung

Jumlah butir Beton pelindung tiap satu satuan luas (10 m^2) dan porositas = 50, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N = A \cdot n \cdot K_\Delta \cdot \left[1 - \frac{P}{100}\right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} = 10 \times 2 \times 1,04 \times \left[1 - \frac{47}{100}\right] \times \left[\frac{2,3}{7,619}\right]^{2/3} = \mathbf{7 \text{ buah}}$$

3.11. Toe Protection

Perhitungan tinggi *Toe Protection* dengan r (tebal lapis pelindung ($r \sim 2H$) = 3,217 m, tinggi gelombang rencana $H_d = 3,919 \text{ m}$, maka:

Tinggi *Toe Protection* (t) = **3,101 m**

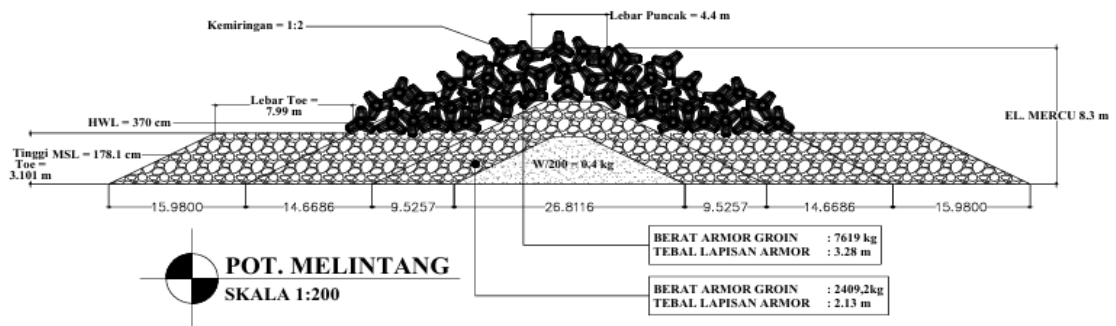
Lebar *Toe Protection* = Diambil $B = 2H = 2 \times 3,919 = \mathbf{7,99 \text{ m}}$

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

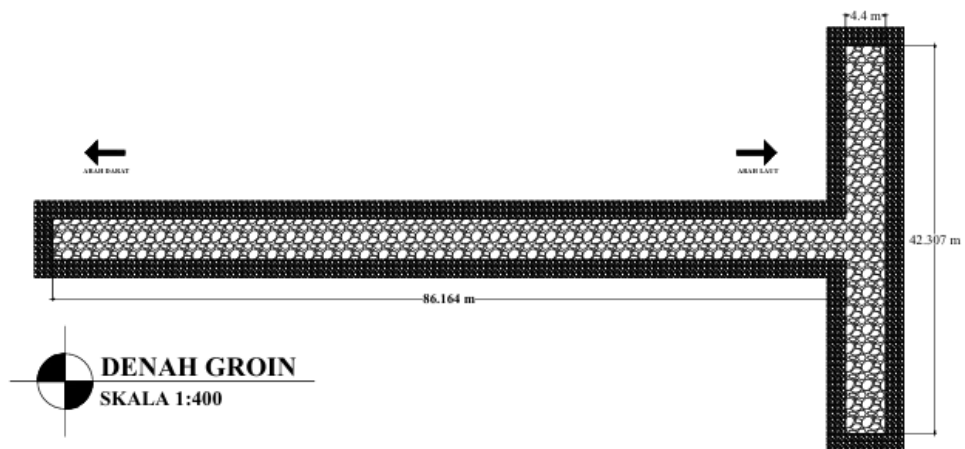
Berat butir *Toe Protection* = $W_{\text{toe}} = 0.5 \times 15657 = 7,829 \text{ ton} = \mathbf{7829 \text{ kg}}$



Gambar 7. Denah Groin di Google Earth



Gambar 8. Tampak Samping Groin



Gambar 9. Tampak Atas Groin

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Mokupa, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis hidrodinamika, elevasi pasang tertinggi (HHWL) di lokasi penelitian tercatat sebesar 4,56 meter. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dinamika Pantai Bulotoan, Kecamatan Kombi, didominasi oleh angkutan sedimen sejajar pantai (*longshore sediment transport*) sebesar 6553,287 m³/tahun. Kondisi tersebut memicu ketidakseimbangan profil pantai berupa akumulasi sedimen di sisi hulu dan abrasi di sisi hilir.
2. Sebagai langkah mitigasi, direncanakan pembangunan sistem pengaman pantai berupa Groin Seri tipe T yang dipasang tegak lurus garis pantai untuk mereduksi transpor sedimen dan mengurangi energi gelombang yang akan masuk.

Referensi

- Anggi Cindy Wakkary M. Ihsan Jasin, A.K.T. Dundu, Studi Karakteristik Gelombang Pada Daerah Pantai Desa Kalinaung Kab. Minahasa. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.3 Mei 2017 (167-174) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Arthur H. Thambas, Jeffry Dantje Mamoto, Studi Karakteristik Gelombang Pada Pantai Manembo-Nembo Kecamatan Matuari Kota Bitung Provinsi Sulawesi Utara. TEKNO – Volume 20 Nomor 80 – April 2022. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- CERC, 1984, Shore Protection Manual, US Army Coastal Of Engineering Research Center (CERC), Washington. (SPM 1984) .
- Goda Foley, 1993, Pemanasan Global (terjemahan), Yayasan Obor Indonesia Jakarta.
- Kirsty McConnell, 1998 Revetment systems against wave attack. A design manual.
- Masita Aisza Mokodongan, Muh. Ihsan Jasin, Arthur H. Thambas, Analisis Karakteristik Gelombang Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat. Jurnal Sipil Statik Vol.9 No.4 Juli 2021 (699-708) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Natania Rorimpandey, Muh. Ihsan. Jasin, A. K. T. Dundu, Perencanaan Pengamanan Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.5 Agustus 2020 (795-808) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Nur Yuwono, 1982, Teknik Pantai, Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Nur Yuwono, 1992, Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai, Vol 2, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM, Yogyakarta.
- Sumajow A.P., Jasin, M. I., Dundu A. K. T., Evaluasi Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Mokupa Kabupaten Minahasa. TEKNO – Volume 22 Nomor 88 – Tahun 2024 Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Sumampouw, F. V., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2023). Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat. TEKNO, 21(85), 837-848..
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta
- Triatmodjo, B. 2012. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta