



Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Mokupa Kabupaten Minahasa

Rafael C. Wenur^{#a}, Arthur H. Thambas^{#b}, Ariestides K. T. Dundu^{#c}, Jeffry D. Mamoto^{#d},
Muhammad I. Jasin^{#e}, Cindy J. Supit^{#f}

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

^awenurrafael332@gmail.com, ^barthur.thambas@unsrat.ac.id, ^ctorry@unsrat.ac.id, ^djeffrymamoto@gmail.com,

^emuhammad.jasin@unsrat.ac.id, ^fcindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Mokupa di Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa, merupakan kawasan strategis yang dilalui Jalan Trans Sulawesi serta dimanfaatkan sebagai lokasi aktivitas perikanan nelayan. Kedekatan infrastruktur jalan dengan garis pantai menyebabkan kawasan ini rentan terhadap dinamika pesisir, terutama abrasi yang berlangsung secara berkelanjutan. Perubahan garis pantai yang terus mengarah ke daratan menunjukkan perlunya perencanaan bangunan pengaman yang mampu mengendalikan pergerakan sedimen sesuai karakteristik hidrodinamika setempat. Penelitian ini bertujuan merencanakan bangunan pengaman pantai berupa groin tipe T sebagai upaya menstabilkan garis pantai dan mengurangi dampak abrasi di Pantai Mokupa. Metode penelitian meliputi analisis gelombang rencana, pasang surut, serta perhitungan transport sedimen sejajar pantai sebagai dasar penentuan dimensi dan tata letak bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa transport sedimen sejajar pantai mencapai 5689,428 m³/tahun, yang mengindikasikan dominasi pergerakan material sepanjang pantai sehingga pendekatan pengendalian menggunakan groin tipe T dinilai paling sesuai. Berdasarkan hasil perencanaan diperoleh dimensi groin tipe T dengan elevasi mercu 7,4 m, lebar puncak 4,6 m, lebar *toe protection* 7,84 m, dan tinggi *toe protection* 3,217 m. Dimensi tersebut dirancang untuk mampu menahan perpindahan sedimen dan mendorong terbentuknya akumulasi material di sekitar bangunan. Penerapan groin tipe T diharapkan dapat meningkatkan stabilitas garis pantai, melindungi keberadaan Jalan Trans Sulawesi, serta mendukung keberlanjutan aktivitas masyarakat pesisir di Pantai Mokupa.

Kata kunci: groin tipe T, abrasi pantai, transport sedimen sejajar pantai, stabilitas garis pantai, bangunan pengaman pantai

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Wilayah pesisir merupakan kawasan yang memiliki peran penting sebagai pusat aktivitas sosial, ekonomi, dan transportasi. Namun, kawasan pesisir juga sangat dinamis karena dipengaruhi oleh interaksi antara gelombang, pasang surut, dan pergerakan sedimen. Dinamika tersebut sering menimbulkan permasalahan berupa abrasi pantai yang dapat mengancam keberadaan infrastruktur dan aktivitas masyarakat di sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan dan perlindungan pantai yang tepat sesuai dengan karakteristik hidrodinamika lokal.

Pantai Mokupa yang terletak di Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa, merupakan kawasan strategis karena dilalui oleh Jalan Trans Sulawesi serta dimanfaatkan sebagai lokasi aktivitas nelayan. Posisi jalan yang sangat dekat dengan garis pantai menyebabkan kawasan ini rentan terhadap perubahan morfologi pantai. Berdasarkan kondisi eksisting, terlihat adanya kemunduran garis pantai yang mengindikasikan terjadinya abrasi secara terus-menerus. Apabila kondisi ini tidak ditangani dengan baik, maka keberadaan infrastruktur jalan dan aktivitas masyarakat pesisir dapat terganggu.

Permasalahan abrasi di Pantai Mokupa berkaitan erat dengan karakteristik gelombang, pasang surut, dan pola pergerakan sedimen sepanjang garis pantai. Proses alami tersebut

berlangsung terus-menerus dan dapat menimbulkan ketidakseimbangan antara suplai dan kehilangan material pantai. Kondisi ini menyebabkan perubahan bentuk pantai yang tidak terkontrol, sehingga diperlukan pemahaman mengenai mekanisme dinamika pesisir di lokasi tersebut.

Setiap upaya penanganan abrasi harus didasarkan pada analisis teknis sesuai kondisi lapangan. Perencanaan bangunan pengaman pantai memerlukan kajian parameter oseanografi dan morfologi pantai agar solusi yang diterapkan dapat bekerja efektif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengkaji karakteristik hidrodinamika Pantai Mokupa sebagai dasar perumusan konsep penanganan abrasi guna menjaga stabilitas garis pantai dan melindungi fungsi kawasan pesisir.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apa jenis bangunan pengaman pantai yang sesuai untuk diterapkan di Pantai Mokupa berdasarkan kondisi hidrodinamika (gelombang dan pasang surut) serta karakteristik pantai?
2. Seberapa besar dimensi bangunan pengaman pantai yang efektif untuk mengurangi laju abrasi berdasarkan kondisi hidrodinamika di Pantai Mokupa?

1.3. Batasan Penelitian

1. Penelitian difokuskan pada permasalahan abrasi yang terjadi di Pantai Mokupa.
2. Data yang telah tersedia menjadi dasar utama dalam perencanaan bangunan pengaman pantai pada penelitian ini.
3. Rincian anggaran biaya tidak dimasukkan dalam lingkup penelitian ini.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menentukan tipe bangunan pengaman pantai yang sesuai berdasarkan hasil analisis hidrodinamika di Pantai Mokupa.
2. Menentukan dimensi bangunan pengaman pantai yang efektif untuk mengurangi laju abrasi berdasarkan kondisi hidrodinamika di Pantai Mokupa.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa kajian teknis mengenai kondisi abrasi dan perubahan garis pantai di Pantai Mokupa, 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.

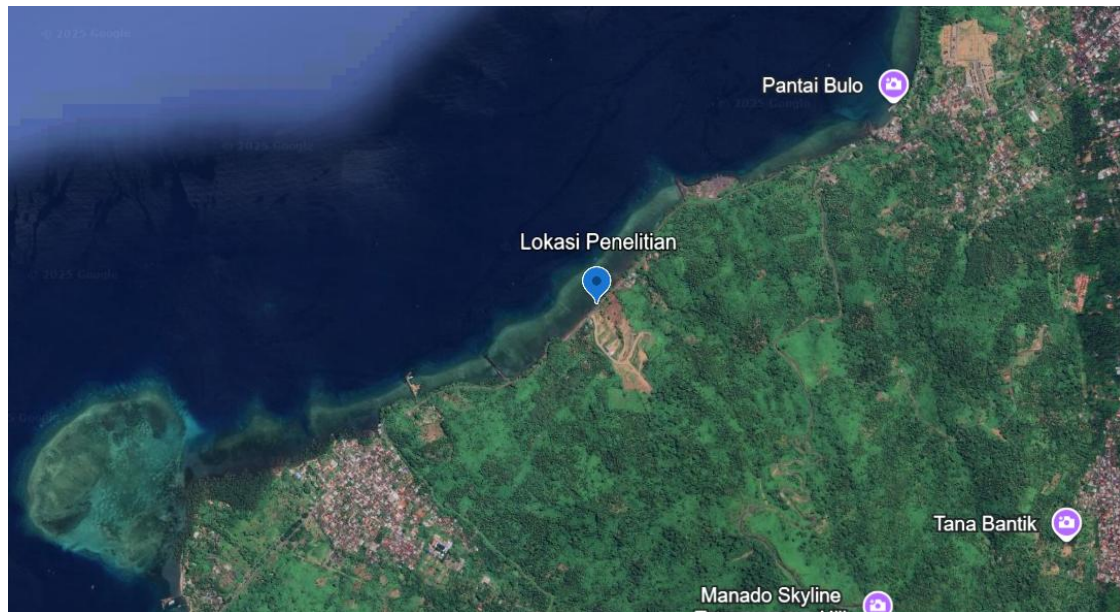
2.2. Bagan Alir Penelitian

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

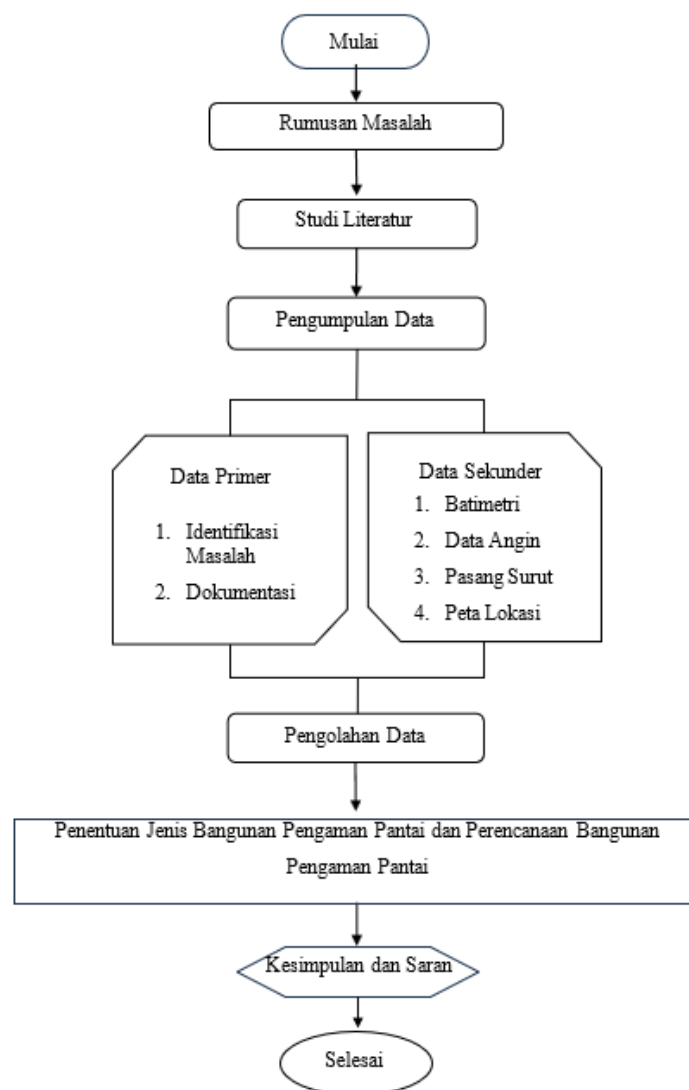
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Hasil perhitungan pasang surut di lokasi penelitian dengan metode Admiralty dapat dilihat pada Tabel 1.



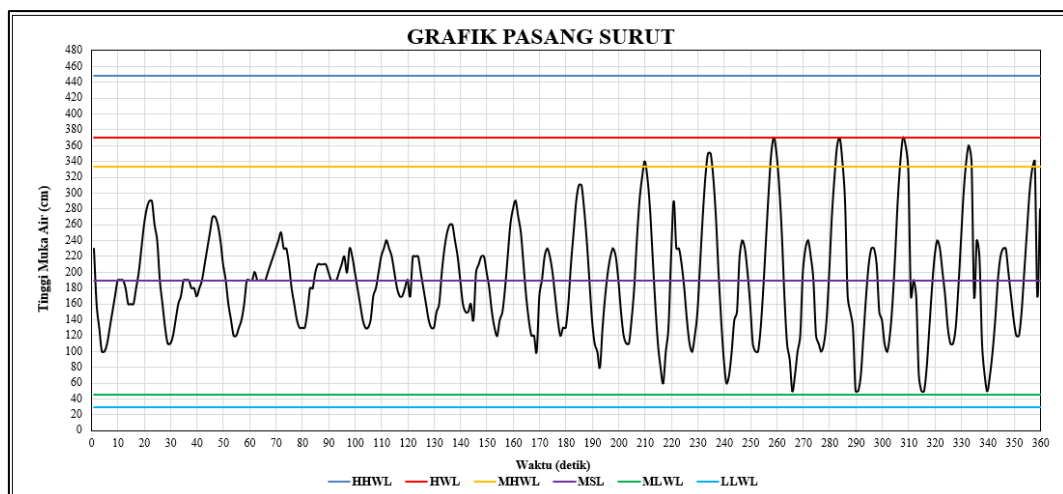
Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth Pro)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pasang Surut

No	Tanggal	Jam																							Jumlah	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	Bacaan	
1	3-Dec-2023	2.3	1.6	1.3	1	1	1.1	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	45	1.88
2	4-Dec-2023	2.4	1.9	1.6	1.3	1.1	1.1	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	44.8	1.87
3	5-Dec-2023	2.4	2.1	1.9	1.6	1.4	1.2	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	44.8	1.87
4	6-Dec-2023	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	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	44.8	1.87
5	7-Dec-2023	2	2.3	2.2	2	1.8	1.6	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	44.9	1.87
6	8-Dec-2023	1.7	2.2	2.2	2.2	2	1.8	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	45.4	1.89
7	9-Dec-2023	1.4	2	2.1	2.2	2.2	2	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	45.6	1.90
8	10-Dec-2023	1	1.7	1.9	2.2	2.3	2.2	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	45.9	1.91
9	11-Dec-2023	0.8	1.3	1.7	2	2.2	2.3	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	46.1	1.92
10	12-Dec-2023	0.6	1	1.3	2.2	2.1	2.3	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	47.1	1.96
11	13-Dec-2023	0.6	0.7	1	1.4	2.9	2.2	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	47.9	2.00
12	14-Dec-2023	0.9	0.5	0.7	1	1.5	2	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	46.7	1.95
13	15-Dec-2023	1.3	0.5	0.5	0.7	1.2	1.7	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	46.5	1.94
14	16-Dec-2023	1.7	0.7	0.5	0.5	0.8	1.3	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	1.90
15	17-Dec-2023	2.2	1.1	0.7	0.5	0.7	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	45.5	1.90

**Gambar 3.** Grafik Pasang Surut Pantai Mokupa

3.2. Penentuan Tipe Pasang Surut

Perhitungan tipe pasang surut yang ada di lokasi pengukuran, yaitu di Pantai Mokupa, Kecamatan Tombariri, Kabupaten Minahasa berdasarkan data pasang surut yang tertera pada Tabel 1 dan Gambar 3.

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	189.53	106	38	10	40	25	2	14	10	13
g°	0.00	289.7	-7.6	244.5	154.0	130.8	224.2	280.5	-7.6	154.0

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{40 + 25}{106 + 38} = 0.2322$$

Pasang Surut termasuk tipe harian ganda (semi diurnal tide) dengan nilai $F < 0.25$, dimana $F = 0.2322$.

3.3. Elevasi Muka Air

Hasil analisis elevasi muka air ditampilkan pada Tabel 3.

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

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	447.91
HWL	cm	370.00
MHWL	cm	333.33
MSL	cm	189.53
MLWL	cm	45.73
LLWL	cm	30.00
Z0	cm	258.38

3.4. Tegangan Angin

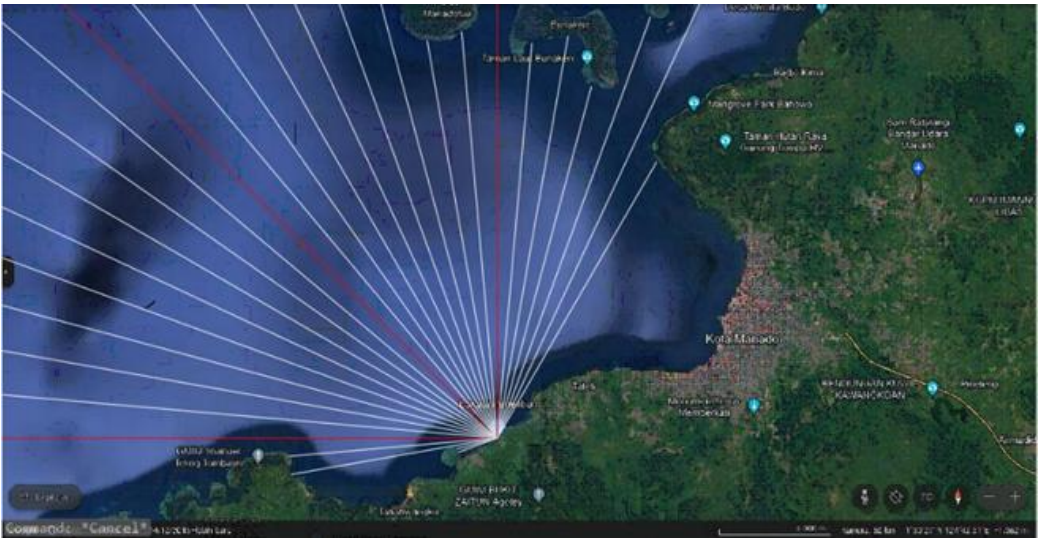
Hasil analisis tegangan angin untuk lokasi penelitian ditampilkan pada Tabel 4

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

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z = ±	10
					RT	1.1
Bulan	Arah	U _z	U _z (BULAT)	$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{Z} \right)^{\frac{1}{7}}$	R _L	U _A = R _T . R _L . U ₁₀
2019						
Januari	S	5.067	5.1	5.07	1.4	7.80
Februari	NW	5.496	5.5	5.50	1.38	8.34
Maret	S	4.167	4.2	4.17	1.48	6.78
April	SE	3.459	3.5	3.46	1.55	5.90
Mei	S	2.357	2.4	2.36	1.69	4.38
Juni	S	2.224	2.2	2.22	1.71	4.18
Juli	S	3.201	3.2	3.20	1.59	5.60
Agustus	S	3.884	3.9	3.88	1.51	6.45
September	S	3.855	3.9	3.86	1.51	6.40
Oktober	S	1.947	1.9	1.95	1.79	3.83
November	SW	2.699	2.7	2.70	1.65	4.90
Desember	SW	3.482	3.5	3.48	1.55	5.94

3.5. Hindcasting Gelombang

Gambar interpretasi Fetch dan hasil perhitungan untuk lokasi perencanaan Pantai Mokupa, Kecamatan Tombariri, 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 Sebenarinya (m)	Jarak Sebenarinya (km)	$F\cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	F_{eff} (km)
UTARA (N)	-20	200000	200.000	188	0.940	80.850
	-15	200000	200.000	193	0.966	
	-10	21788	21.788	21	0.985	
	-5	22008	22.008	22	0.996	
	0	200000	200.000	200	1.000	
	5	21429	21.429	21	0.996	
	10	22053	22.053	22	0.985	
	15	19672	19.672	19	0.966	
	20	24200	24.200	23	0.940	
TIMUR LAUT (NE)	-20	200000	200.000	188	0.940	43.442
	-15	200000	200.000	193	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	
TIMUR (E)	-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	
TENGGARA (SE)	-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	
SELATAN (S)	-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 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	200000	200.000	188	0.940	114.427
	-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	11249	11.249	11	0.996	
	10	11292	11.292	11	0.985	
	15	2273	2.273	2	0.966	
	20	2184	2.184	2	0.940	
BARAT LAUT (NW)	-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	
Feff (total)						438.718
Feff (dominan)						200.000

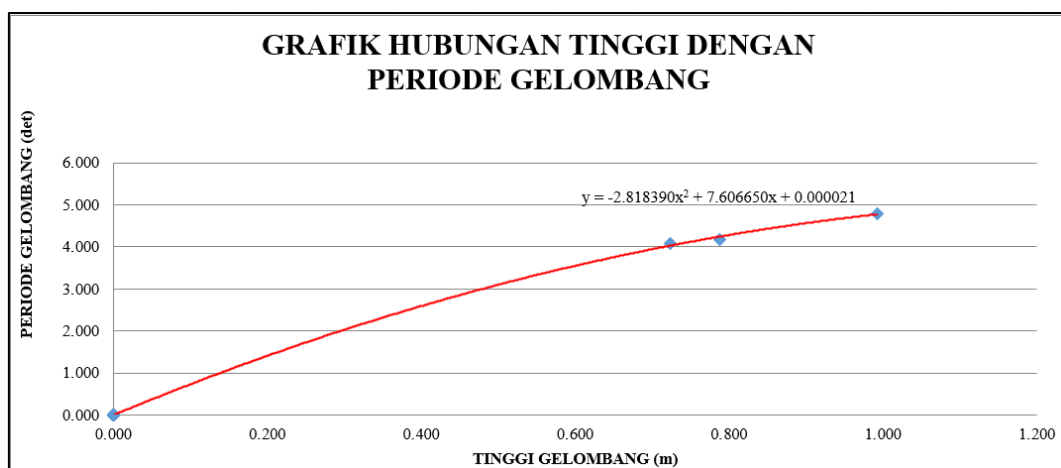
Tabel 6. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin (Hasil Analisis, 2026)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		NW	W	-	-	Arah	H - T
JANUARI	H (m)					NW	0.000
	T (det)						0.000
FEBRUARI	H (m)	0.992				NW	0.992
	T (det)	4.785					4.785
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)		0.787			W	0.787
	T (det)		4.176				4.176
MAX TIAP ARAH	H (m)	0.992	0.787	0.000	0.000	NW	0.992
	T (det)	4.785	4.176	0.000	0.000		4.785

Berdasarkan rekapitulasi Tinggi Gelombang Signifikan (H) dan Periode Gelombang Signifikan (T) dari hasil Hindcasting Gelombang, didapatkan nilai Tinggi Gelombang Signifikan $H = 0.992$ m, dan Periode Gelombang Signifikan $T = 4.785$ 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
35.541	0.281	0.295	33.885	0.500	0.591	1.030	0.887	0.907
32.746	0.244	0.262	30.557	0.500	0.623	1.043	0.860	0.814
29.178	0.171	0.201	24.899	0.500	0.704	1.096	0.833	0.743
26.164	0.076	0.120	16.731	0.500	0.852	1.272	0.918	0.867
31.264	0.032	0.074	13.541	0.500	0.935	1.532	1.235	1.641
37.365	0.013	0.046	10.841	0.500	0.973	1.860	1.771	5.403

Tabel 8. Perhitungan Refraksi
(Hasil Analisis, 2026)

a _o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L
45	10	0.992	4.773	35.541	0.2814	0.29512
42.3880	8	0.907	4.582	32.746	0.2443	0.26181
38.9824	5	0.814	4.325	29.178	0.1714	0.20081
32.4685	2	0.743	4.095	26.164	0.0764	0.11954
20.0767	1	0.867	4.477	31.264	0.0320	0.07385
8.5505	0.5	1.641	4.894	37.365	0.0134	0.04612

L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
33.885	7.446	7.099	0.674	42.388	1.062	1.030
30.557	7.147	6.669	0.629	38.982	1.087	1.043
24.899	6.747	5.757	0.537	32.468	1.201	1.096
16.731	6.389	4.085	0.343	20.077	1.617	1.272
13.541	6.984	3.025	0.149	8.550	2.348	1.532
10.841	7.635	2.215	0.043	2.472	3.458	1.860

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah
(Hasil Analisis, 2023)

H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
0.0050	0.0065	1.25	1.3976
0.0051	0.0071	1.26	1.3284
0.0053	0.0089	1.28	1.2512
0.0049	0.0098	1.30	1.0520
0.0036	0.0101	1.48	1.0390
0.0039	0.0102	1.40	1.2969

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:

- Hb = 1.397 m
- g = 9.81 m/s²
- db = 1.324 m
- K = 0.39 (*Shore Protection Manual, chapter 4-96*)
- n = 0.4
- αb = 45°
- ρ = 1025 kg/m³
- ps = 2650 kg/m³

Penyelesaian:

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

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

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

Jawaban:

$$C_b = \sqrt{9.81 \times 1.324}$$

$$= 3.604 \text{ m/d}$$

$$P_l = \frac{1025 \times 9.81}{8} \times 1.397^2 \times 3.604 \times \sin 45 \times \cos 45$$

$$= 4424.570 \text{ kg m/d}$$

$$Q_s = \frac{0.39}{(2650-1025) \times 9.81 \times (1-0.4)} \times 4424.570$$

$$= 0.1804 \text{ kgm}^3/\text{d}$$

$$= 0.001804 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$= 0.001804 \times 24 \times 3600 = 15.587/\text{hari}$$

$$= 15.587 \times 365 = 5689.428 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Nilai angkutan sedimen untuk sejajar pantai adalah **5689.428 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:

$$D = 0.49$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H_b = 1.397 \text{ m}$$

$$\alpha_b = 45^\circ$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$$

Penyelesaian:

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

$$\tau_b = \rho_s \times U_*^2$$

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

Jawaban:

$$U_* = \sqrt{0.49/2}$$

$$= 0.495$$

$$\tau_b = 2650 \times 0.495^2$$

$$= 649.250$$

$$Q_s = \frac{649.250}{(2650-1025) \times 9.81 \times 0.49}$$

$$= 0.0831 \text{ kg m}^3/\text{d}$$

$$= 0.0000831 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$= 0.000083 \times 24 \times 3600 = 7,1814 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2621.200 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

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

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen didapat:

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

Angkutan Sedimen	Qs (m ³ /tahun)
Sejajar Pantai	5689.428
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 (ds) dan landai dasar pantai (m). maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus (CERC,1984):

$$H_b = 0,875ds$$

Keterangan :

H_b = Tinggi gelombang pecah

ds = Kedalaman air lokasi bangunan

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

$$H_d = H_b$$

Elevasi dasar *Groin* direncanakan LLWL= 0,3 m. Ketinggian muka air pada ujung bangunan sebesar HHWL= 4,4791 m dari dasar laut, sehingga didapatkan $ds = HHWL$ dari penjelasan diatas maka untuk perhitungan gelombang rencana pada *Groin* Pantai Mokupa adalah sebagai berikut:

$$ds = HHWL = 4,4791m$$

$$H_b = 0,875 \times ds = 0,875 \times 4,4791 = 3,919 m$$

$$H_d = H_b = 3,919 m$$

3.9. Perhitungan Elevasi Mercu

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

Dimana :

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

Ru : Run-up gelombang (Rayapan gelombang) merupakan fungsi bilangan *Irrabaren* (Ir)

Fb : Tinggi jagaan direncanakan = 0,5 meter

Run-up gelombang

Direncanakan :

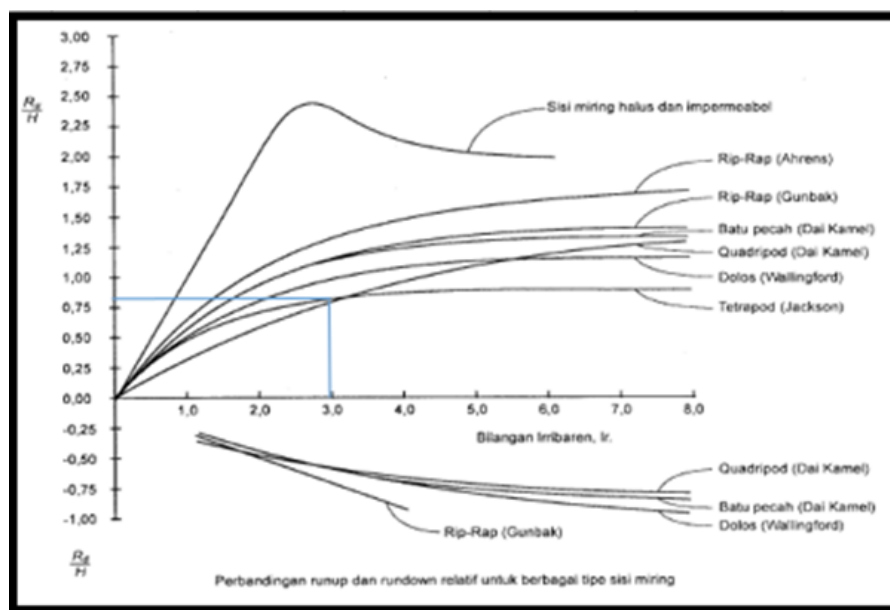
Jenis bangunan = Groin

Lapis lindung = Tetrapod

Tinggi gelombang (H_d) = 3,919 meter

$$Lo = 1,56 T^2 = 1,56 \times 4,773^2 = 35,541 \text{ meter}$$

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



Gambar 6. Grafik Run Up Gelombang

Bilangan *Irrabaren* di atas, maka didapat :

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

$$Ru = 0,80 \times 3,919 = 3,135$$

$$\text{Elevasi Mercu} = DWL + Ru + Fb = 3,76 + 3,135 + 0,5 = \mathbf{7,4\ m}$$

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*)

$$W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,3 \times 3,919^3}{5 \times \left(\frac{2,3}{1,025} - 1\right)^3 \times 2} = 7,194 \text{ ton} = \mathbf{7194\ kg}$$

Tebal Lapis Lindung (t_1)

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

$$t_1 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,04 \times \left(\frac{7,194}{2,3}\right)^{1/3} = \mathbf{3,22\ m}$$

Lapis pelindung kedua (*secondary stone*)

$$W_2 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,65 \times 3,919^3}{1,1 \times \left(\frac{2,65}{1,025} - 1\right)^3 \times 1,6} = 1.0009 \text{ ton} = \mathbf{1000.9\ kg}$$

Dikarenakan pada lapis 2 menggunakan Batu Boulder, maka untuk nilai W pada Perhitungan W_2 diambil **1000.9 kg**

Diameter batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = \left(\frac{1,0009}{2,65}\right)^{1/3} = \mathbf{0.72\ m}$$

Tebal Lapis Lindung (t_2)

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

$$t_2 = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1,15 \times \left(\frac{0,7960}{2,65}\right)^{1/3} = \mathbf{1,59\ m}$$

Lebar Puncak *Groin*

Lebar puncak *Groin* untuk $n = 3$ (minimum) dan koefisien lapis (K_Δ) = 1.04 maka B puncak:

$$B = n K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3} = 3 \times 1,04 \times \left[\frac{7,194}{2,3}\right]^{1/3} = \mathbf{4,6\ m}$$

Jumlah Block Beton Pelindung

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

$$N = A \cdot n \cdot K_\Delta \cdot \left[1 - \frac{P}{100}\right] \times \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} = 10 \times 2 \times 1,04 \times \left[1 - \frac{50}{100}\right] \times \left[\frac{2,3}{7,194}\right]^{2/3} = \mathbf{9\ buah}$$

3.11. Toe Protection

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

$$\text{Tinggi Toe Protection (t)} = \mathbf{3,217\ m}$$

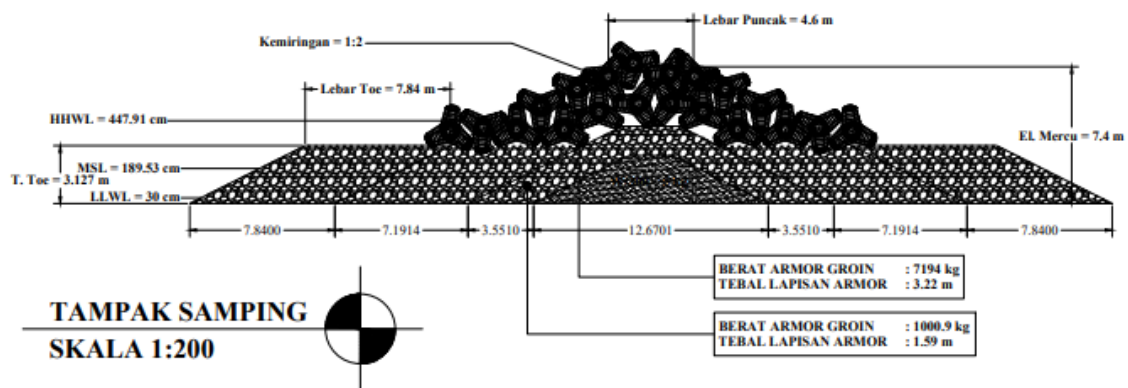
$$\text{Lebar Toe Protection} = \text{Diambil } B = 2H = 2 \times 3,919 = \mathbf{7,84\ m}$$

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

$$\text{Berat butir Toe Protection} = W_{\text{toe}} = 0.5 \times 15892 = 7,946 \text{ ton} = \mathbf{7946\ kg}$$



Gambar 7. Denah Groin di Google Earth



Gambar 8. Tampak Samping Groin

4. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil analisis kondisi hidrodinamika dan karakteristik pantai di Pantai Mokupa, tipe bangunan pengaman pantai yang sesuai untuk diterapkan adalah groin seri tipe T yang dipasang tegak lurus terhadap garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk mengendalikan angkutan sedimen sejajar pantai (*longshore sediment transport*), sehingga mampu mengurangi laju abrasi dan membantu menstabilkan garis pantai.
2. Dimensi bangunan pengaman pantai yang dinilai efektif berdasarkan hasil perencanaan adalah sebagai berikut:
 - elevasi mercu 7,4 m
 - panjang lengan 108,7 m
 - lebar kepala (*head*) 54,35 m
 - lebar puncak 4,6 m
 - jarak antar bangunan 108,7 m
 - kemiringan lereng 1:2
 - perlindungan kaki (*toe protection*) dengan tinggi 3,127 m dan lebar 7,84 m.

Dimensi tersebut dirancang berdasarkan parameter hidrodinamika setempat agar bangunan mampu bekerja secara optimal dalam mereduksi abrasi.

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