Available online https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno

T E K N O

OPEN ACCESS

Volume 24, No. 97, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Bungalawang Kecamatan Tahuna Kabupaten Kepulauan Sangihe

Margino T. Malingkonor[#a], Arthur H. Thambas[#b], Cindy J. Supit[#c]
Jeffry D. Mamoto[#d], Muhammad I. Jasin[#e], Ariestides K. T. Dundu[#f]

[#]*Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]marginomalingkonor021@student.unsrat.ac.id, [b]arthurthambas@unsrat.ac.id, [c]cindyjeanesupit@unsrat.ac.id
[d]jeffrymamoto@student.ac.id, [e]muhammadjasin@unsrat.ac.id, [f]torry@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Bungalawang di Kecamatan Tahuna, Kabupaten Kepulauan Sangihe merupakan kawasan pesisir yang mengalami ancaman abrasi akibat pengaruh gelombang, arus, dan pasang surut. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan kemunduran garis pantai serta mengancam permukiman dan infrastruktur di sekitar pantai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hidrodinamika Pantai Bungalawang serta menentukan jenis dan dimensi bangunan pengaman pantai yang sesuai berdasarkan karakteristik lokasi penelitian. Pelaksanaan penelitian diawali oleh kegiatan survei lapangan dan dilanjutkan dengan analisis data sekunder yang meliputi data angin, pasang surut, dan batimetri. Analisis gelombang dilakukan menggunakan metode hindcasting berdasarkan Shore Protection Manual (SPM 1984), sedangkan analisis pasang surut menggunakan Metode Admiralty. Selanjutnya dilakukan analisis transformasi gelombang, gelombang pecah, angkutan sedimen, serta perencanaan dimensi bangunan pengaman pantai berdasarkan parameter hidrodinamika yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan pengaman pantai yang paling sesuai diterapkan di Pantai Bungalawang adalah groin seri tipe T, yang berfungsi mengendalikan angkutan sedimen sejajar pantai (longshore sediment transport) sehingga mampu mengurangi laju abrasi dan membantu menstabilkan garis pantai. Dimensi bangunan yang diperoleh meliputi elevasi mercu sebesar 3,93 m, panjang lengan 51 m, lebar kepala 26 m, lebar puncak lengan 2,1 m, lebar puncak kepala 2,4 m, jarak antar groin 153 m, kemiringan lereng 1:2, serta perlindungan kaki (toe protection) dengan tinggi 1,468 m pada lengan dan 1,701 m pada kepala serta lebar 4,23 m. Dimensi tersebut diharapkan mampu memberikan perlindungan terhadap abrasi serta meningkatkan kestabilan garis pantai di lokasi penelitian.

Kata kunci: abrasi pantai, bangunan pengaman pantai, hidrodinamika, pantai Bungalawang

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah pesisir yang sangat luas dan dinamis. Kawasan pesisir memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap pengaruh gelombang, arus, pasang surut, serta perubahan iklim yang dapat menyebabkan abrasi pantai dan kemunduran garis pantai secara bertahap. Fenomena abrasi telah banyak terjadi di berbagai wilayah pesisir Indonesia dan menimbulkan kerusakan infrastruktur serta gangguan terhadap aktivitas sosial-ekonomi masyarakat (Gerrits et al., 2020).

Kabupaten Kepulauan Sangihe sebagai wilayah kepulauan di bagian utara Sulawesi berbatasan langsung dengan laut lepas yang memiliki karakteristik gelombang relatif tinggi pada musim-musim tertentu. Kondisi tersebut menyebabkan kawasan pesisir di wilayah ini berpotensi mengalami tekanan hidrodinamika yang signifikan. Studi-studi perencanaan bangunan pengaman pantai di berbagai daerah menunjukkan bahwa wilayah yang berhadapan langsung dengan laut terbuka memiliki risiko abrasi dan akresi yang lebih besar apabila tidak dilindungi oleh struktur pengaman yang memadai (Budiman, 2024).

Pantai Bungalawang yang terletak di Kecamatan Tahuna merupakan kawasan pesisir yang dimanfaatkan sebagai area permukiman dan aktivitas masyarakat. Dengan karakteristik geografis

tersebut, pantai ini berpotensi terdampak proses abrasi akibat energi gelombang yang terus-menerus bekerja pada garis pantai. Apabila tidak dilakukan penanganan yang tepat, kemunduran garis pantai dapat mengancam keberadaan infrastruktur pesisir serta meningkatkan risiko kerugian ekonomi dan sosial.

Salah satu upaya mitigasi yang umum diterapkan untuk mengurangi dampak abrasi adalah pembangunan bangunan pengaman pantai (Paotonan dan Nurdin, 2020). Namun demikian, perencanaan bangunan pengaman pantai harus mempertimbangkan karakteristik hidrodinamika lokasi, termasuk tinggi gelombang rencana, periode gelombang, elevasi muka air laut, serta kondisi geoteknik lokasi. (Yong et al., 2019). Perencanaan yang tidak berbasis analisis teknis yang memadai dapat mengakibatkan kegagalan struktur atau bahkan memperparah erosi di lokasi lain (Siregar et al., 2022; Wibowo & Kurniawan, 2018).

Setiap pantai memerlukan kajian khusus terhadap perencanaan bangunan yang disesuaikan dengan kondisi lokalnya. Hingga saat ini, belum terdapat kajian teknis yang secara spesifik membahas perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Bungalawang berdasarkan analisis kondisi hidrodinamika dan karakteristik fisik setempat. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian mengenai perencanaan bangunan pengaman pantai yang sesuai dengan karakteristik Pantai Bungalawang di Kecamatan Tahuna. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi desain teknis jenis pengaman pantai yang efektif dalam mengurangi dampak abrasi maupun akresi, serta menjadi referensi bagi perencanaan pengamanan pantai di wilayah Kabupaten Kepulauan Sangihe secara umum.

2. Landasan Teori

2.1. Definisi Pantai

Pantai adalah daerah tepi perairan yang dipengaruhi air pasang tertinggi dan air surut terendah (Gerrits et al., 2020). Garis pantai adalah pertemuan antara daratan dan air laut yang posisinya tidak tepat karena dipengaruhi pasang surut air laut dan erosi pantai. Interaksi tersebut menghasilkan fenomena perubahan garis pantai, seperti abrasi, akresi, dan transport sedimen. Perubahan garis pantai dipengaruhi oleh energi gelombang dan arus, yang menentukan bagaimana sedimen bergerak di sepanjang pantai. (Prasetyo & Hidayat, 2019).

Terdapat perbedaan definisi antara coast (pesisir) dan shore (pantai). Definisi coast (pesisir) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan shore (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah (Sumampouw, 2023).

2.2. Kerusakan Pantai

Pantai dalam kondisi tidak seimbang apabila muncul proses erosi dan akresi pantai yang selanjutnya menyebabkan kerusakan garis pantai (Herawati, 2020). Erosi pantai merupakan proses pengikisan garis pantai oleh kekuatan gelombang, arus laut, dan angin. Fenomena ini dapat mengakibatkan dampak negatif yang signifikan, seperti hilangnya lahan produktif, kerusakan infrastruktur, dan meningkatnya risiko banjir rob (Wangsa et al., 2024).

2.3. Angin

Angin merupakan sirkulasi yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi (Bambang Triatmodjo, 1999). Data angin diperlukan untuk peramalan tinggi dan periode gelombang. Dari data angin yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk bentuk tabel (ringkasan) atau diagram yang disebut mawar angin (wind rose). Dengan wind rose ini maka karateristik angin dapat di baca. Tabel dan gambar wind rose menunjukan presentase kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Pengukuran angin ini digunakan untuk peramalan gelombang.

2.4. Gelombang

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. Gelombang laut tercipta karena adanya transfer energi dari angin ke permukaan laut. Energi yang tertransferkan ini akan bergerak melintasi permukaan laut, dimana air laut sendiri bergerak dalam gerakan membundar (circular motion) di bawah permukaan laut (Kusumastuti, 2011).

Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya – gaya yang bekerja pada bagunan pantai. Gelombang merupakan faktor utama didalam penentuan tata letak pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya. Pada saat gelombang menjalar dari tengah laut ke pantai dimana bangunan pantai tersebut akan dibangun, maka gelombang tersebut mengalami proses perubahan tinggi. Perubahan ini antara lain disebabkan karena refraksi gelombang, difraksi gelombang, gelombang pecah, dan tinggi gelombang rencana

2.5. Teori Gelombang Amplitudo Kecil (Airy)

Teori gelombang amplitudo kecil diperoleh dari penyelesaian persamaan Laplace dengan kondisi batas yang disederhanakan, menghasilkan fungsi potensial kecepatan periodik untuk aliran tak berotasi. Dari fungsi tersebut dapat diturunkan parameter gelombang seperti elevasi muka air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, serta kecepatan rambat gelombang.

2.6. Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang adalah teknik peramalan gelombang yang akan datang dengan menggunakan data angin dimasa lampau. Hindcasting gelombang akan mengasilkan perkiraan tinggi (H) dan periode (T) gelombang akibat adanya angin dengan besar, arah, dan durasi tertentu. Jadi, hindcasting gelombang dimaksudkan untuk mengalihragamkan (transformasi) data angin menjadi data gelombang. Metode peramalan gelombang dapat dibedakan atas peramalan gelombang laut dalam dan peramalan gelombang laut dangkal. Metode peramalan laut dangkal meperhitungkan faktor gesekan antara gerak air dan dasar laut sehingga mengurangi tinggi gelombang yang terbentuk, sedangkan metode peramalan laut dalam tanpa dipengaruhi dasar laut jadi gelombang yang terbentuk tidak dipengaruhi oleh keadaan dasar laut.

2.7. Transport Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen dibedakan menjadi 2 macam yaitu: transpor menuju dan meninggalkan pantai (Onshore-Offshore Transport) yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedangkan transpor sepanjang pantai (Longshore Transport) mempunyai arah rata-rata sejajar pantai.

2.8. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi (gerakan naik turunnya) muka air laut secara berirama karena adanya gaya tarik benda - benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Sedangkan menurut Dronkers (1964) pasut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pantai. Terdapat empat jenis tipe pasang surut yang didasarkan pada periode dan keteraturannya, yaitu pasang surut harian (Diurnal), tengah harian (Semi Diurnal), campuran condong ke harian ganda (mixed tides) dan campuran condong ke harian tunggal (Prevailing Diurnal).

2.9. Pengaman Pantai

Salah satu dari masalah yang ada di daerah pantai adalah erosi pantai. Erosi pantai dapat

menimbulkan kerugian sangat besar dengan rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, seperti: 1) Memperkuat/melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang, 2) Mengubah laju transport sedimen sepanjang pantai, 3) Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai, 4) Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain.

Pengaman pantai terbagi menjadi dua jenis, diantaranya pengaman secara alami (*soft)* yang dapat dilakukan dengan penanaman tanaman yang dapat berfungi sebagai pelindung pantai, seperti pohon bakau, api-api, nipah; atau dengan adanya bukit atau gumuk pasir (*sand dunes*) pada kerusakan pantai yang tidak parah serta tidak mengancam keselamatan area sekitar pantai, dan pengaman buatan (*hard*) yang merupakan bangunan berupa perkuatan pantai dan bangunan stabilitas pantai yang meliputi groin, jetty dan pemecah gelombang, serta restorasi pantai yang berupa pengisian pasir pada pantai yang rusak

3. Metodologi Penelitian

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian terletak di Pantai Bungalawang, Tahuna, Kepulauan Sangihe yang secara geografis berada 3°36'27.18"N dan 125°28'37.72"E.



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

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilaksanakan dengan cara mengunjungi lembaga- lembaga atau instansi-instansi terlibat sebagai sumber data-data sekunder yang diperlukan dalam menganalisis permasalahan pada penelitian. Data-data yang dimaksud meliputi: data kecepatan angin minimal 5 tahun terakhir dari power dav nasa, data angin, data pasang surut, peta satelit dari software google earth, foto citra satelit dari software google earth, dan data batimetri.

3.3. Metode Analisis Survey Lokasi

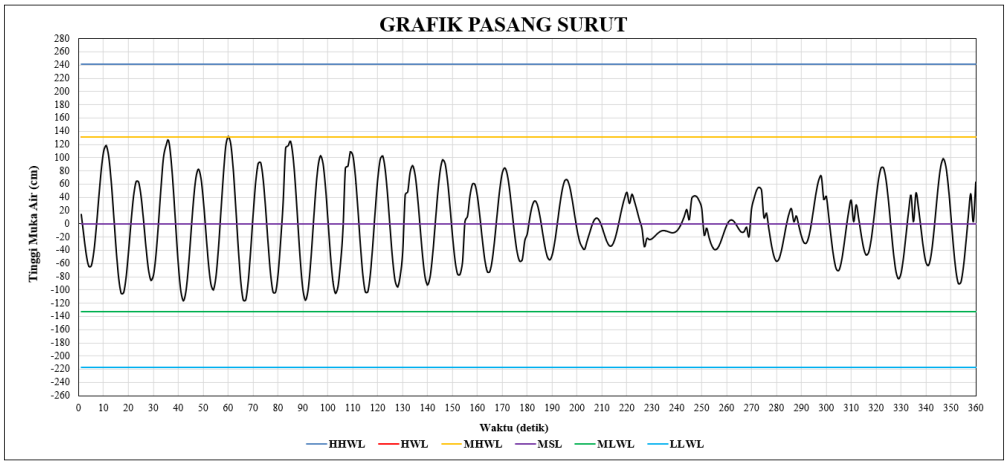
Berdasarkan hasil inventarisasi dan identifikasi permasalahan pantai dapat diketahui kebutuhan yang di perlukan bagi Pantai Bungalawang, Kecamatan Tahuna, Kepulauan Sangihe, agar kondisinya menjadi lebih baik. Dengan demikian, langkah-langkah yang sesuai dapat ditetapkan berdasarkan kondisi alam serta kehidupan masyarakat di sekitar wilayah tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Tabel 1. 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	Bacaan	Rerata/jam
1	*9-Feb-2024*	0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,4	-0,1	0,4	0,8	1,1	1,2	1,0	0,6	0,1	-0,4	-0,8	-1,1	-1,0	-0,8	-0,4	0,0	0,4	0,6	0,6	0,2	0,01
2	*10-Feb-2024*	0,4	0,0	-0,4	-0,7	-0,9	-0,8	-0,5	0,0	0,6	1,0	1,3	1,3	1,0	0,5	-0,1	-0,6	-1,0	-1,2	-1,0	-0,7	-0,2	0,3	0,7	0,8	-0,1	0,00
3	*11-Feb-2024*	0,7	0,3	-0,1	-0,6	-0,9	-1,0	-0,8	-0,4	0,2	0,7	1,1	1,3	1,2	0,8	0,2	-0,4	-0,9	-1,2	-1,2	-0,9	-0,4	0,2	0,6	0,9	-0,3	-0,01
4	*12-Feb-2024*	0,9	0,7	0,2	-0,3	-0,8	-1,0	-1,0	-0,8	-0,3	0,3	0,8	1,2	1,2	1,0	0,5	0,0	-0,6	-1,0	-1,2	-1,0	-0,6	-0,1	0,5	0,9	-0,5	-0,02
5	*13-Feb-2024*	1,0	0,9	0,6	0,0	-0,5	-0,9	-1,1	-1,0	-0,6	-0,1	0,4	0,9	1,1	1,0	0,7	0,2	-0,3	-0,8	-1,0	-1,0	-0,8	-0,3	0,2	0,7	-0,5	-0,02
6	*14-Feb-2024*	1,0	1,0	0,8	0,4	-0,1	-0,6	-0,9	-1,0	-0,8	-0,4	0,0	0,5	0,8	0,9	0,7	0,4	-0,1	-0,5	-0,8	-0,9	-0,8	-0,5	0,0	0,4	-0,4	-0,02
7	*15-Feb-2024*	0,8	1,0	0,9	0,6	0,2	-0,2	-0,6	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0,1	0,4	0,6	0,6	0,4	0,1	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,5	-0,2	0,2	-0,2	-0,01
8	*16-Feb-2024*	0,5	0,8	0,8	0,7	0,5	0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,3	0,0	0,1	0,00
9	*17-Feb-2024*	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1	0,3	0,01
10	*18-Feb-2024*	0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,4	0,02
11	*19-Feb-2024*	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,02
12	*20-Feb-2024*	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	0,02
13	*21-Feb-2024*	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	0,0	0,2	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,01
14	*22-Feb-2024*	0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	0,0	0,4	0,7	0,8	0,8	0,7	0,3	-0,1	-0,5	-0,7	-0,8	-0,8	-0,5	-0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,2	0,01
15	*23-Feb-2024*	0,2	-0,1	-0,4	-0,6	-0,6	-0,5	-0,2	0,2	0,6	0,9	1,0	0,9	0,6	0,1	-0,3	-0,7	-0,9	-0,9	-0,7	-0,3	0,1	0,4	0,6	0,6	0,1	0,00



Gambar 2. Grafik Pasang Surut Pantai Bungalawang

4.2. Penentuan Tipe Pasang Surut

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Analisis untuk Lokasi Pengukuran Di Pantai Bungalawang, Kepulauan Sangihe

	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	-1	93	38	16	46	14	2	7	10	15
g⁰	0,00	234,0	189,6	158,2	40,3	142,5	366,7	39,6	189,6	40,3

(Sumber: Hasil Analisis 2026)

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{46 + 14}{234{,}0 + 189{,}6} = 0{,}143$$

4.3. Penentuan Elevasi Muka Air

Tabel 3. Elevasi Muka Air

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	241,82
HWL	cm	131,70
MHWL	cm	131,30
MSL	cm	(0,55)
MLWL	cm	(132,40)
LLWL	cm	(232,56)

Range	cm	242,37

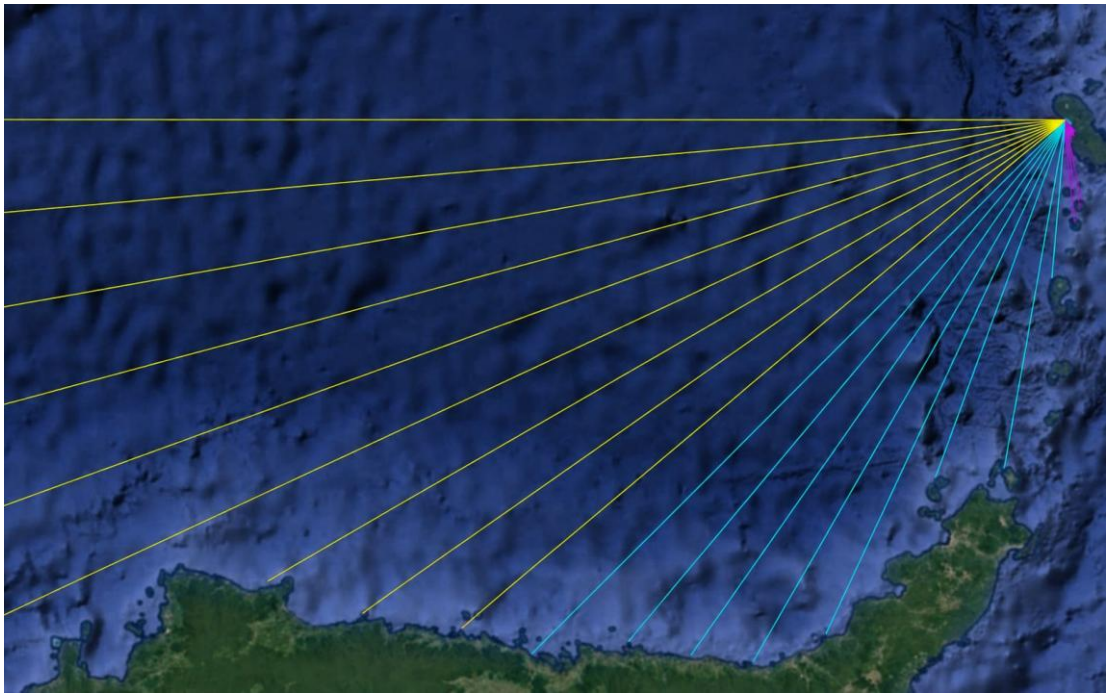
4.4. Perhitungan Angin, Arah Angin dan Tekanan Angin

Tabel 4. Perhitungan Tegangan Angin Tahun 2021

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z = ± RT	10 1,1
Bulan	**Arah**	**Uz**	**Uz (BULAT)**	$U_{10} = Uz\left(\frac{10}{Z}\right)^{\frac{1}{7}}$	**R_L**	**$U_A = R_T \cdot R_L \cdot U_{10}$**
2021						
Januari	NE	9,360	9,400	9,36	1,74	17,95
Februari	W	8,810	8,800	8,81	1,74	16,83
Maret	NE	10,430	10,4	10,43	1,57	17,99
April	SW	10,370	10,4	10,37	1,57	17,88
Mei	W	7,000	7	7,00	1,70	13,07
Juni	SE	5,830	5,8	5,83	1,67	10,70
Juli	SW	8,320	8,3	8,32	1,73	15,81
Agustus	S	7,600	7,6	7,60	1,71	14,32
September	W	6,940	6,9	6,94	1,70	12,94
Oktober	W	7,600	7,6	7,60	1,71	14,32
November	E	6,430	6,4	6,43	1,68	11,90
Desember	SW	9,630	9,6	9,63	1,74	18,48

4.5. Hindcasting Gelombang

Gambar interpretasi Fetch dan hasil perhitungan untuk lokasi perencanaan Pantai Bungalawang, Kecamatan Tahuna, Kabupaten Kepulauan Sangihe. ditampilkan dalam Gambar 3 dan Tabel 5.



Gambar 3. Fetch Lokasi Penelitian

Tabel 5. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin

Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
UTARA (N)	-20	0	0	0	0,940	
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	**0,000**
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
TIMUR LAUT (NE)	-20	0	0	0	0,940	
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	**0,000**
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
TIMUR (E)	-20	0	0	0	0,940	
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	**0,000**
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
TENGGARA (SE)	-20	0	0,000	0	0,940	
	-15	0	0,000	0	0,966	
	-10	0	0,000	0	0,985	
	-5	1600	1,600	2	0,996	
	0	1540	1,540	2	1,000	**1,021**
	5	1520	1,520	2	0,996	
	10	1490	1,490	1	0,985	
	15	1470	1,470	1	0,966	
	20	1510	1,510	1	0,940	
SELATAN (S)	-20	2920	2,92	3	0,940	
	-15	7210	7,21	7	0,966	
	-10	8130	8,13	8	0,985	
	-5	12000	12,00	12	0,996	
	0	95170	95,170	95	1,000	**86,557**
	5	79970	79,970	80	0,996	
	10	182220	182,220	179	0,985	
	15	194100	194,100	187	0,966	
	20	200000	200,000	188	0,940	
BARAT DAYA (SW)	-20	200000	200	188	0,940	
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	200000	200	197	0,985	
	-5	200000	200	199	0,996	
	0	200000	200	200	1,000	**200,000**
	5	200000	200	199	0,996	
	10	200000	200	197	0,985	
	15	200000	200	193	0,966	
	20	200000	200	188	0,940	
BARAT (W)	-20	200000	200	188	0,940	
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	200000	200	197	0,985	
	-5	200000	200	199	0,996	
	0	200000	200	200	1,000	**178,578**
	5	200000	200	199	0,996	
	10	200000	200	197	0,985	
	15	200000	200	193	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
BARAT LAUT (NW)	-20	0	0	0	0,940	
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	**0,000**
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,940	
			Feff (total)			**466,155**
			Feff (dominan)			**200,000**

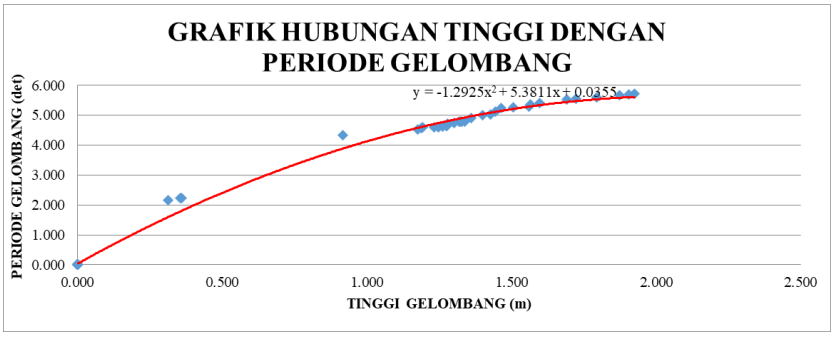
Tabel 6. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		SW	W	SE	S	Arah	H - T
JANUARI	H (m)						
	T (det)						
FEBRUARI	H (m)		1,715			W	**1,715**
	T (det)		5,454				**5,454**
MARET	H (m)		1,544			W	**1,544**
	T (det)		5,303				**5,303**
APRIL	H (m)	1,872	1,461			SW	**1,872**
	T (det)	5,668	5,225				**5,668**
MEI	H (m)		1,389	0,183		W	**1,389**
	T (det)		5,156	1,509			**5,156**
JUNI	H (m)	1,400	1,555	0,210		SW	**1,555**
	T (det)	5,245	5,313	1,565			**5,313**
JULI	H (m)		1,691		1,285	W	**1,691**
	T (det)		5,516		4,585		**5,516**
AGUSTUS	H (m)				1,343	S	**1,343**
	T (det)				4,639		**4,639**
SEPTEMBER	H (m)	1,566	1,377		1,217	SW	**1,566**
	T (det)	5,405	5,144		4,519		**5,405**
OKTOBER	H (m)	1,906	1,868			SW	**1,906**
	T (det)	5,695	5,580				**5,695**
NOVEMBER	H (m)		1,825			W	**1,825**
	T (det)		5,545				**5,545**
DESEMBER	H (m)	1,925	1,567			SW	**1,925**
	T (det)	5,710	5,324				**5,710**
MAX TIAP ARAH	H (m)	**1,925**	**1,872**	**0,210**	**1,343**	**SW**	**1,925**
	T (det)	**5,710**	**5,668**	**1,565**	**4,639**		**5,710**

Berdasarkan rekapitulasi Tinggi Gelombang Signifikan (H) dan Periode Gelombang Signifikan (T) dari hasil Hindcasting Gelombang, didapatkan nilai Tinggi Gelombang Signifikan H = 1.925 m, dan Periode Gelombang Signifikan T = 5.710 m dengan arah dominan Barat Daya (Southwest)

4.6. 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 4. Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang

Berikut merupakan hasil perhitungan Shoaling berdasarkan grafik hubungan pada Gambar 4.

Tabel 7. Perhitungan Shoaling

Lo	d/Lo	d/L	L	no	n	Kr	Ks	H
49,003	0,204	0,229	43,749	0,500	0,663	0,955	0,919	1,689
46,123	0,173	0,200	39,971	0,500	0,705	0,963	0,905	1,471
41,455	0,121	0,152	32,912	0,500	0,789	0,964	0,893	1,267
35,623	0,056	0,089	22,515	0,500	0,910	0,968	0,933	1,144
31,579	0,032	0,060	16,728	0,500	0,956	0,986	0,994	1,121
30,788	0,016	0,016	30,340	0,500	0,996	1,000	0,714	0,800

(Hasil Analisis, 2026)

Tabel 8. Perhitungan Refraksi

a_o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L	L
45	10	1,925	5,605	49,003	0,2041	0,22858	43,749
39,1463	8	1,689	5,437	46,123	0,1734	0,20015	39,971
33,1676	5	1,471	5,155	41	0,1206	0,15192	32,912
25,7435	2	1,267	4,779	35,623	0,0561	0,08883	22,515
15,9334	1	1,144	4,499	31,579	0,0317	0,05978	16,728
8,3613	0,5	1,121	4,443	30,788	0,0162	0,01648	30,340

L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
43,749	8,743	7,806	0,631	39,146	0,912	0,955
39,971	8,482	7,351	0,547	33,168	0,926	0,963
32,912	8,042	6,384	0,434	25,743	0,929	0,964
22,515	7,455	4,712	0,275	15,933	0,937	0,968
16,728	7,019	3,718	0,145	8,361	0,972	0,986
30,340	6,930	6,829	0,143	8,239	1,000	1,000

(Hasil Analisis, 2026)

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah

$H'o/gT^2$	m	Hb/H'o	Hb
0,0068	0,0327	1,21	2,534
0,0064	0,0320	1,23	2,297
0,0063	0,0296	1,26	2,075
0,0061	0,0281	1,35	1,834
0,0058	0,0245	1,31	1,508
0,0081	0,0196	2,25	3,533

(Hasil Analisis, 2026)

4.7. 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 Desember dari arah Barat Daya.

1. Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (Longshore Transport)
   Bulan Desember Arah Barat Daya
   Diketahui:
   Hb = 2.534 m
   g = 9.810 m/s2
   db = 3.041 m
   K = 0.39 (Shore Protection Manual, chapter 4-96)
   n = 0.4
   ab = 45º
   p = 1025 kg/m³
   ps = 2650 kg/m³
   Penyelesaian:
   Qs = $\frac{K}{(\rho_s-\rho)\times g\times(1-n)}\times Pl$
   Pl = $\frac{p.g}{8}\times {H_b}^2\times C_b\times sin\alpha_b\times cos\alpha_b$
   Cb = $\sqrt{g.db}$
   Jawaban:
   Cb = $\sqrt{9.810\ \times 3{,}041}$
   = 5.462 m/d
   Pl = $\frac{1025\ x\ 9{,}81}{8}\times 2.534^2\times 5.462\times sin45\times cos45$
   = 22.049,337kg m/d
   Qs = $\frac{0.39}{(2650-1025)\times 9.81\times(1-0.4)}\times 22.049{,}337$
   = 0.8991 kgm3/d

= 0.0008991 m3/d
= 0.0008991×24 ×3600=77.678 / hari
= 77.678 ×365=28.352,615m^3/ tahun

Nilai angkutan sedimen untuk sejajar pantai adalah 28.352,615m^3/tahun.

2. Sedimen Tegak Lurus Pantai (Onshore-Offshore Transport)
Nilai f=d dipakai 0,49 yang di ambil dari refrensi penelitian terdahulu dikarenakan asumsi distribusi ukuran butiran sedimen lokasi penelitian berdekatan dengan refrensi yang digunakan.
Diketahui:
f=d (D) = 0.49
g = 9.81 m/s2
Hb = 2,283 m
ab = 45º
p = 1025 kg/m3
ps = 2650
Penyelesaian:

$$Qs = \frac{\tau b}{(\rho s - \rho) \times g \times D}$$

$$\tau b = \rho s \times \cup_*^2$$

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

Jawaban:

$\cup_*$ $= \sqrt{0.49/2}$
$= 0.700$
τb $= 2650 \times 0.700^2$
$= 1.298{,}500$
Qs $= \frac{1.298{,}500}{(2650-1025) \times 9.81 \times 0.49}$
$= 0.1662\ kg\ m^3/d$
$= 0.0001662\ m^3/d$
$= 0.0001662 \times 24 \times 3600 = 14.3627\ m^3/hari$
$= 5.242{,}399\ m^3/tahun$

Didapat nilai angkutan sedimen tegak lurus pantai adalah **5.242,399 m^3/tahun.**

Tabel 10. Hasil Perhitungan Angkutan Sedimen

Angkutan Sedimen	Qs (m^3/tahun)
Sejajar Pantai	28352,615
Tegak Lurus Pantai	5242,399

(Hasil Analisis, 2026)

4.8. 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 (Hb) 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):

Hb = 0,875.ds

Keterangan :
Hb = Tinggi gelombang pecah
ds = Kedalaman air lokasi bangunan
Dengan demikian tinggi gelombang rencana (Hd) dapat ditentukan dengan rumus :

Hd = Hb

Elevasi dasar Groin direncanakan LLWL= -2,33 m . Ketinggian muka air pada ujung bangunan sebesar HHWL= 2,42 m dari dasar laut, sehingga didapatkan ds = HHWL. dari penjelasan diatas maka untuk perhitungan gelombang rencana pada Groin Pantai Bungalawang adalah sebagai berikut:

ds = HHWL = 2,42 m
Hb = 0,875× ds
= 0,875 × 2,42 = 2,25 m
Hd = Hb = 2,116 m

4.9. Perhitungan Elevasi Mercu

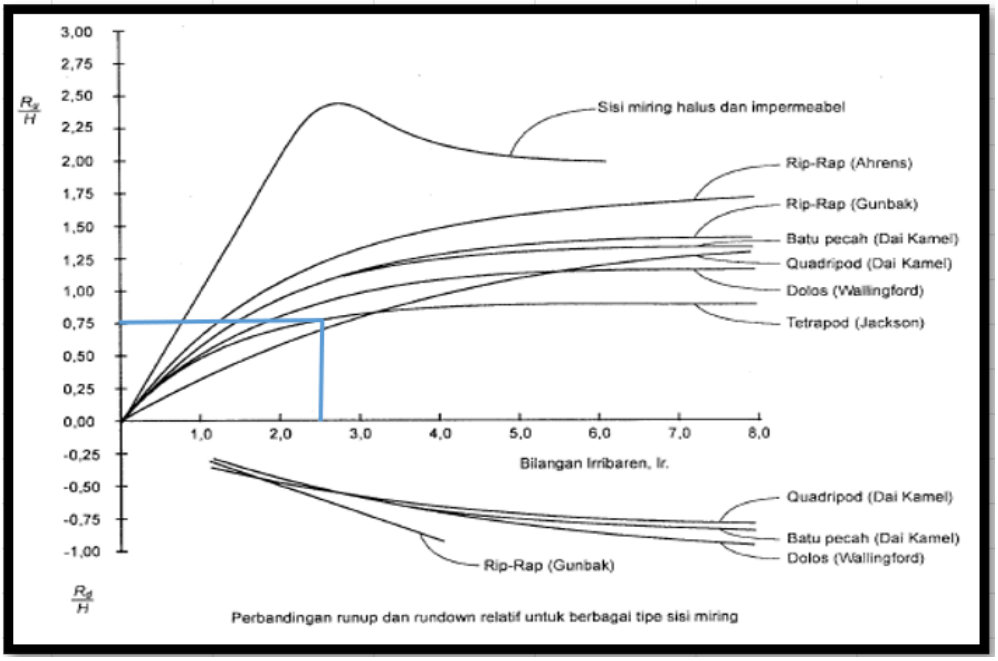
Elevasi Mercu = DWL + Ru + Fb, dimana:

DWL : *Design Water Level* (elevasi muka air rencana)
Ru : *Run-up* gelombang (Rayapan gelombang) yang merupakan fungsi dari bilangan Irrabaren (Ir)
Fb : Tinggi jagaan direncanakan = 0,5 m

- *Run-up* gelombang

Direncanakan :
Jenis bangunan = Groin tipe T
Lapisan = Tetrapod
Tinggi gelombang = 2,116 meter
Kemiringan lereng = 1:2

- Lo =1,56 T^2 = 1,56 x $5{,}605^2$ = 49,003 m
- Ir = $\frac{\text{tg }\theta}{\left(\frac{T}{Lo}\right)^{0.5}} = \frac{1/2}{\left(\frac{1{,}925}{49{,}003}\right)^{0.5}}$ = 2,52



Gambar 5. Grafik Run Up Gelombang

Bilangan Irrabaren di atas, maka didapat :

$\frac{Ru}{H}$ = 0,75
Ru = 0,75 x 2,116
= 1,59
Elevasi Mercu = DWL + Ru + Fb = 1,84 + 1,59 + 0,5 = 3,93 m

4.10. Perhitungan Lapis Lindung

Berat butir lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini. Untuk lapis lindung dari Tetrapod dengan n = 2, penempatan random, gelombang telah pecah dan K_D lengan bangunan = 7. Perhitungan sebagai berikut:

Lapis pelindung luar (armour stone)

$W_1 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot\theta} = \frac{2{,}3 \text{ x } 2{,}116^3}{7 \text{ x } (\frac{2{,}3}{1.025} - 1)^3 \text{ x } 2}$ = 0,809 ton = **809 kg**

Tebal Lapis Lindung (t1) Untuk nilai dari Koefisien Lapis (KΔ) = 1,04

$t_1 = n\ K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \text{ x } 1{,}04 \text{ x } \left(\frac{0{,}809}{2{,}3}\right)^{1/3} = 1{,}5 \text{ m}$

Lapis pelindung kedua (secondary stone)

$W_2 = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot\theta} = \frac{2{,}65 \text{ x } 2{,}116^3}{2 \text{ x } (\frac{2{,}65}{1.025} - 1)^3 \text{ x } 2}$ = 1,575 ton = **1575 kg**

Dikarenakan pada lapis 2 menggunakan Batu Boulder, maka untuk nila W pada Perhitungan W_2 diambil **1575 kg**.

Diameter batu

$D = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0{,}1575}{2{,}65}\right)^{\frac{1}{3}} = \mathbf{0.39\ m}$

Tebal Lapis Lindung (t2) Untuk nilai dari Koefisien Lapis (KΔ) = 1,10

$t_2 = n\ K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \text{ x } 1{,}10 \text{ x } \left(\frac{0{,}1575}{2{,}65}\right)^{1/3} =$ **0,86 m**

Lebar Puncak Groin

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

$B = n\ K_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3} = 3 \text{ x } 1{,}04 \text{ x } \left[\frac{0{,}809}{2{,}65}\right]^{1/3} = 2{,}1 \text{ m}$

Jumlah Tetrapod Pelindung

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

$N = A \,.\, n \,.\, K_\Delta \,.\, \left[1 - \frac{P}{100}\right] \text{ x } \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} = 10 \text{ x } 3 \text{ x } 1{,}10 \text{ x } \left[1 - \frac{50}{100}\right] \text{ x } \left[\frac{2{,}65}{0{,}809}\right]^{2/3} = 36$ buah

4.11. Toe Protection

Perhitungan tinggi Toe Protection dengan r (tebal lapis pelindung (r ~ 2H) = 1,468 m, tinggi gelombang rencana Hd = 2,116 m, maka:

Tinggi Toe Protection (t)

Tebal lapis pelindung lengan groin (r) = 1,50 m

Tebal lapis pelindung kepala groin (r) = 1,70 m

Lebar Toe Protection = Diambil B = 2H = 2 x 2,116 = 4,23 m

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

Berat butir Toe Protection = Wtoe = 0.5 x 1,667 = 0,834 ton = 834 kg, dan Wtoe = 0.5 x 2,501 = 1,250 ton = 1250 kg

Layout Groin

a) Lebar Surfzone = db/m
= 93 m

b) Panjang Groin = 55% x lebar surfzone

= 55% x 93 m
= 51 m

c) Jarak Antar Groin = 3 x Panjang Groin
= 3 x 51 m
= 153 m

d) Panjang Kepala Groin = 0,5 x Panjang Groin
= 0,5 x 51 m
= 25,5 m



Gambar 6. Denah Groin

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kondisi hidrodinamika dan karakteristik pantai di Pantai Bugalawang, tipe bangunan pengaman yang sesuai untuk diterapkan adalah groin seri tipe T yang dipasang tegak lurus dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk mengendalikan angkutan sedimen sejajar pantai (longshore sediment transport), sehingga mampu mengurangi laju abrasi dan membantu mengstabilkan garis pantai.

Dimensi bangunan pengaman pantai yang dinilai efektif berdasarkan hasil perencanaan adalah sebagai berikut:

- Elevasi Mercu = 3,93 m
- Panjang lengan = 51 m
- Lebar kepala (head) = 26 m
- Lebar puncak lengan = 2,1 m
- Lebar puncak kepala = 2,4 m
- Jarak antar bangunan = 153 m
- Kemiringan lereng = 1:2

Perlindungan kaki (toe protection) dengan tinggi 1,468 m (arm), 1,701 m (head) dan lebar 4,23 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).
Gerrits, L., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2020). Analisis Kinerja Gelombang di Pantai Malalayang II. Jurnal Sipil Statik, 8(1), 39-44.
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 Provisi 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, 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.
Satria Putra Tawoeda, Hanjse. J Tawas, Fuad Halim. Studi Transformasi Gelombang terhadap Perubahan Garis Pantai Beo Barat Kabupaten Kepulauan 74 Talaud. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.3 Maret 2016 (155-164) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi Manado. 72
Sumajow A.P., Jasin, M. I., Dundu A. K. T., Evaluasi Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Bungalawang Kabupaten Minahasa. TEKNO, 22(88)
Sumampouw, F. V., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2023). Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat. TEKNO, 21(85), 837-848.
Theodorus Pasomba, M. Ihsan Jasin, Tommy Jansen, Analisis Pasang Surut Pada Daerah Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara, Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.11.
Triatmodjo, B. 1996. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta. Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta
Triatmodjo, B. 2012. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta
Yong, A. G., Thambas, A., & Jansen, T. (2019). Alternatif Bangunan Pengaman Pantai di Desa Saonek, Kabupaten Raja Ampat. Jurnal Sipil Statik, 7(9), 1127-1140.
..., Autocad Map 2016, Peta Batimetri
..., Global Mapper 20, Peta Topografi
..., Google Earth, 2016, Gambar Lokasi Penelitian.