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 Pengaman Pantai Di Pantai Pananekeng Kecamatan Tahuna Barat

Gratia M. N. Paila[#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]gratiapaila021@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

Penelitian ini dilakukan di Pantai Pananekeng, Kecamatan Tahuna Barat, Kabupaten Kepulauan Sangihe, yang merupakan salah satu wilayah pesisir dengan kondisi dinamis dan rentan terhadap kerusakan pantai. Berdasarkan kondisi eksisting, kawasan ini mengalami abrasi akibat pengaruh gelombang dan arus laut yang menyebabkan kemunduran garis pantai secara bertahap. Kondisi tersebut berpotensi mengancam keberadaan infrastruktur di sekitar pantai, khususnya bangunan Tahuna Transmission Station (Tahuna TS), sehingga diperlukan suatu perencanaan bangunan pengaman pantai yang tepat dan efektif. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data sekunder berupa data angin, gelombang, dan pasang surut yang diperoleh dari instansi terkait serta didukung dengan analisis menggunakan metode perhitungan teknik pantai. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan karakteristik hidrodinamika serta jenis bangunan pengaman pantai yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis bangunan pengaman pantai yang paling sesuai untuk diterapkan di Pantai Pananekeng adalah pengaman pantai tipe keras (hard structure) berupa groin. Struktur ini direncanakan mampu meredam energi gelombang, mengurangi laju abrasi, serta melindungi garis pantai dan infrastruktur di sekitarnya dari kerusakan lebih lanjut. Dari hasil analisis data didapatkan pengaman pantai tipe (Hard) jenis Groin menggunakan Tetrapod, dengan Tinggi Mercu 3,95 m, Lebar Puncak 2,1 m, dengan Kemiringan Pengaman 1:2, Lebar Toe Protection 4,23 m, serta Tinggi Toe Protection 1,468 m.

Kata kunci: gelombang, abrasi, pengaman pantai, groin, pantai Pananekeng

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki garis pantai sangat panjang serta potensi sumber daya pesisir yang besar. Wilayah pantai dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas, seperti permukiman, pariwisata, perikanan, pelabuhan, dan infrastruktur pendukung lainnya. Tingginya tingkat pemanfaatan wilayah pantai tersebut menyebabkan daerah pesisir menjadi kawasan yang sangat rentan terhadap berbagai permasalahan lingkungan pantai.

Kawasan pantai merupakan wilayah yang umumnya berupa dataran rendah dan secara morfologi dikenal sebagai dataran pantai. Wilayah ini bersifat dinamis karena selalu mengalami perubahan akibat proses geomorfologi yang dipengaruhi oleh tenaga endogen dan tenaga eksogen. Tenaga endogen meliputi aktivitas dari dalam bumi seperti pergerakan tektonik dan gempa, sedangkan tenaga eksogen berasal dari luar bumi, seperti gelombang, arus, pasang surut, angin, dan tsunami, yang berperan dalam proses erosi, transportasi, dan sedimentasi. Proses-proses tersebut umumnya berlangsung secara bertahap dan berkesinambungan sehingga perubahan yang terjadi baru tampak dalam jangka waktu tertentu.

Pantai Pananekeng yang berada di Kecamatan Tahuna Barat, Sangihe, Provinsi Sulawesi Utara merupakan kawasan pesisir dengan tutupan lahan berupa hutan, tanah kosong, dan permukiman berpenduduk, serta material pantai yang terdiri dari batuan sedang, batuan kecil, kerikil, dan pasir halus.

Berdasarkan kondisi eksisting, kawasan pantai ini mengalami kerusakan berupa abrasi yang disebabkan oleh pengaruh gelombang dan arus laut, sehingga mengakibatkan terjadinya pengikisan garis pantai secara bertahap. Kondisi tersebut berpotensi mengancam keberadaan infrastruktur di sekitarnya, khususnya bangunan Tahuna Transmission Station (Tahuna TS) yang berada tidak jauh dari garis pantai dan memerlukan perlindungan dari dampak abrasi yang berkelanjutan dan gelombang.

Oleh karena itu, diperlukan perencanaan bangunan pengaman pantai yang tepat dan efektif sesuai dengan kondisi eksisting Pantai Pananekeng guna mengendalikan abrasi, mencegah kemunduran garis pantai, serta melindungi lingkungan dan infrastruktur strategis di sekitarnya.

2. Landasan Teori

2.1. Gambaran Umum Pantai

Pantai merupakan wilayah peralihan antara daratan dan lautan yang memiliki karakteristik fisik dan dinamika yang dipengaruhi oleh berbagai proses alam, seperti pasang surut, gelombang, arus laut, serta transportasi sedimen. Dalam kajian teknik pantai, istilah pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*) memiliki pengertian yang berbeda. Pesisir merupakan wilayah daratan yang masih dipengaruhi oleh proses kelautan, sedangkan pantai merupakan zona peralihan antara daratan dan perairan yang batasnya dipengaruhi oleh kondisi pasang surut. Garis pantai adalah garis pertemuan antara daratan dan laut yang posisinya dapat berubah akibat perubahan muka air laut maupun proses abrasi dan sedimentasi.

Secara umum, wilayah pantai memiliki karakteristik morfologi yang beragam, bergantung pada kondisi topografi, batimetri, serta karakteristik gelombang yang bekerja di wilayah tersebut. Interaksi antara gelombang dan garis pantai dapat memengaruhi distribusi sedimen, perubahan bentuk pantai, serta tingkat kerentanan wilayah terhadap abrasi. Oleh karena itu, pemahaman mengenai kondisi pantai menjadi salah satu aspek penting dalam perencanaan bangunan pengaman pantai untuk mengurangi dampak kerusakan akibat dinamika perairan.

2.2. Kerusakan Pantai

Kerusakan pantai merupakan kondisi degradasi wilayah pantai yang disebabkan oleh faktor alam dan aktivitas manusia. Faktor alam meliputi ketidakstabilan morfologi pantai, peningkatan tinggi dan energi gelombang, berkurangnya pelindung alami pantai, serta kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim. Sementara itu, aktivitas manusia dapat menyebabkan kerusakan melalui penghilangan ekosistem pelindung pantai, seperti mangrove dan terumbu karang, pengambilan pasir, serta pembangunan struktur pantai yang mengganggu transportasi sedimen sejajar pantai. Oleh karena itu, identifikasi penyebab kerusakan pantai perlu dilakukan sebagai dasar dalam menentukan upaya penanganan dan perencanaan bangunan pengaman pantai yang tepat dan efektif.

2.3. Angin

Angin merupakan pergerakan massa udara yang terjadi akibat perbedaan tekanan udara yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu. Dalam perencanaan bangunan pengaman pantai, data angin berperan penting dalam analisis dan peramalan gelombang laut. Data yang digunakan meliputi kecepatan angin, arah angin, durasi tiupan, dan panjang lintasan angin di atas permukaan air (*fetch*). Data tersebut umumnya disajikan dalam bentuk tabel distribusi angin dan diagram mawar angin (*wind rose*) untuk mengetahui frekuensi, arah, serta kecepatan angin selama periode tertentu. Analisis data angin diperlukan untuk memperkirakan karakteristik gelombang yang terbentuk sebagai dasar perencanaan bangunan pengaman pantai yang sesuai dengan kondisi lokasi.

2.4. Gelombang

Gelombang *sinusoidal (transversal)* memiliki unsur puncak, lembah, panjang gelombang, periode, dan tinggi gelombang. Namun, gelombang laut di alam bersifat tidak linier, tiga dimensi, dan acak sehingga tidak sesederhana bentuk teoritis.

Gelombang laut umumnya terbentuk akibat *transfer* energi angin ke permukaan air, dengan partikel air bergerak mendekati lintasan melingkar. Selain angin, gelombang juga dapat dipengaruhi gaya gravitasi matahari dan bulan (pasang surut) serta aktivitas seismik yang menimbulkan tsunami.
Gelombang berperan penting dalam dinamika pantai karena membentuk morfologi, menimbulkan arus, menggerakkan sedimen, serta memberikan gaya pada bangunan pantai. Oleh karena itu, karakteristik gelombang menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan pelabuhan dan struktur pantai. Saat merambat dari laut dalam ke perairan dangkal, gelombang mengalami transformasi yang dipengaruhi oleh refraksi, difraksi, gelombang pecah, penentuan tinggi gelombang rencana..

2.5. Teori Gelombang Amplitudo Kecil

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 merupakan metode untuk memperkirakan karakteristik gelombang laut berdasarkan data angin pada periode waktu sebelumnya. Data yang digunakan meliputi kecepatan, arah, dan durasi angin, yang kemudian diolah untuk menentukan tinggi (H) dan periode (T) gelombang melalui pendekatan empiris maupun analitis. Proses ini didasarkan pada prinsip bahwa gelombang terbentuk akibat perpindahan energi dari angin ke permukaan laut. Semakin besar kecepatan angin dan semakin lama angin bertiup, maka energi yang ditransfer ke air semakin besar sehingga tinggi dan periode gelombang yang terbentuk juga meningkat.

2.7. Transport Sedimen Pantai

Transport sedimen pantai merupakan proses perpindahan material sedimen akibat pengaruh gelombang dan arus yang dapat memengaruhi perubahan morfologi serta kestabilan garis pantai. Pergerakan sedimen dibedakan menjadi dua jenis, yaitu angkutan melintang pantai (*onshore-offshore transport*), yang terjadi tegak lurus terhadap garis pantai, dan angkutan sejajar pantai (*longshore transport*), yang berlangsung sepanjang garis pantai. Kedua proses tersebut berperan dalam terjadinya erosi dan sedimentasi di wilayah pesisir. Oleh karena itu, analisis transport sedimen diperlukan dalam perencanaan bangunan pengaman pantai untuk memahami pola perubahan garis pantai serta menentukan upaya perlindungan pantai yang sesuai dengan kondisi lokasi.

2.8. Pasang Surut

Pasang surut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut secara periodik akibat pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari. Dalam perencanaan bangunan pengaman pantai, analisis pasang surut sangat penting untuk menentukan elevasi bangunan serta kedalaman perairan yang menjadi dasar perencanaan. Muka air pasang tertinggi digunakan sebagai salah satu acuan dalam menentukan elevasi puncak bangunan, seperti pemecah gelombang dan dermaga, sedangkan muka air surut terendah digunakan sebagai acuan dalam menentukan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan. Oleh karena itu, data pasang surut diperlukan untuk mendukung perencanaan bangunan pengaman pantai yang aman dan sesuai dengan kondisi muka air laut di lokasi perencanaan.

2.9. Pengaman Pantai

Salah satu permasalahan utama di wilayah pesisir adalah abrasi atau erosi pantai yang dapat menyebabkan mundurnya garis pantai, kerusakan permukiman, serta terganggunya infrastruktur dan fasilitas umum. Upaya penanganan dilakukan dengan memperkuat pantai agar mampu menahan gelombang, mengubah laju transpor sedimen, mengurangi energi gelombang yang mencapai pantai, serta melakukan reklamasi melalui penambahan suplai sedimen.

Sesuai fungsinya, bangunan pantai dibedakan menjadi konstruksi yang dibangun sejajar garis pantai seperti groin dan dinding pantai, konstruksi yang tegak lurus dan tersambung ke pantai seperti groin, serta konstruksi yang dibangun di lepas pantai seperti pemecah gelombang lepas pantai dan pemecah gelombang sambung pantai.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Lokasi Penelitian

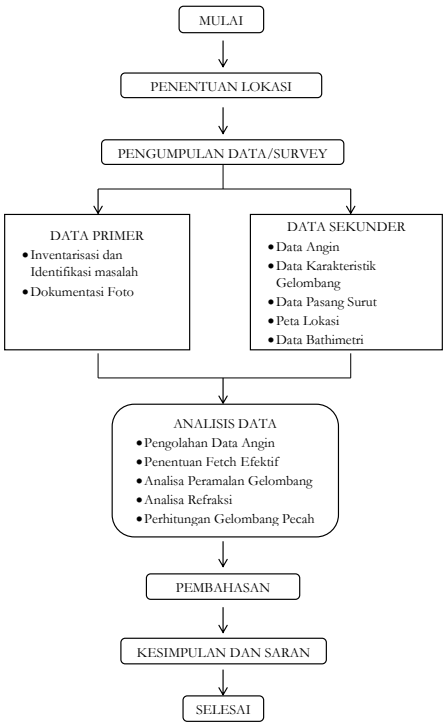
Lokasi Penelitian terletak di Pantai Pananekeng Kecamatan Tahuna Barat, Kepulauan Sangihe yang secara geografis berada 3°36’58.97’’N dan 125°27’20.77’’ E.



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

3.2. Bagan Alir Penelitian

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



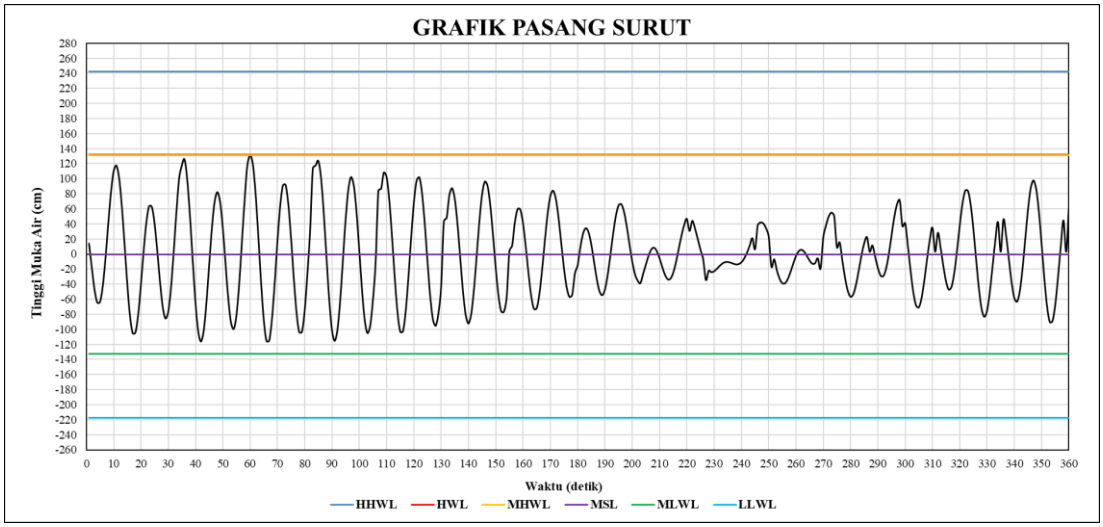
Gambar 2. Bagan Alir Penelitain

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 3. Grafik Pasang Surut Pantai Pananekeng

4.2. Penentuan Tipe Pasang Surut

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

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

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{46 + 14}{93 + 38} = 0.460$$

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

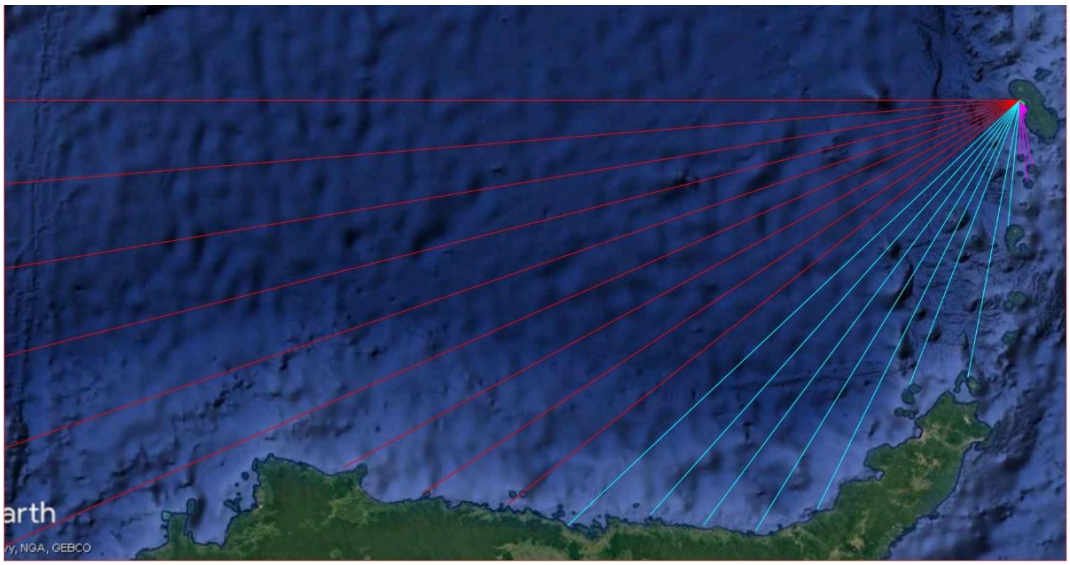
4.4. Perhitungan Angin, Arah Angin dan Tekanan Angin

Tabel 4. Perhitungan Tegangan Angin Tahun 2021

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z = ±	10
					RT	1,1
Bulan	**Arah**	**Uz**	**Uz (BULAT)**	$U_{10} = Uz\left(\frac{10}{Z}\right)^{\frac{1}{7}}$	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 Pananekeng, Kecamatan Tahuna Barat, Kabupaten Kepulauan Sangihe. 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

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	8820	8,820	8	0,940	
	-15	8090	8,090	8	0,966	
	-10	7870	7,870	8	0,985	
	-5	4040	4,040	4	0,996	
	0	4010	4,010	4	1,000	**5,088**
	5	3400	3,400	3	0,996	
	10	3500	3,500	3	0,985	
	15	3690	3,690	4	0,966	
	20	2500	2,500	2	0,940	
SELATAN (S)	-20	81820	81,82	77	0,940	
	-15	180910	180,91	175	0,966	
	-10	199700	199,70	197	0,985	
	-5	195020	195,02	194	0,996	
	0	36040	36,040	36	1,000	**90,164**
	5	9530	9,530	9	0,996	
	10	11910	11,910	12	0,985	
	15	43410	43,410	42	0,966	
	20	52420	52,420	49	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	0	0	0	0,940	
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	200000	200	200	1,000	**111,398**
	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 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)			**406,650**
			Feff (dominan)			**200,000**

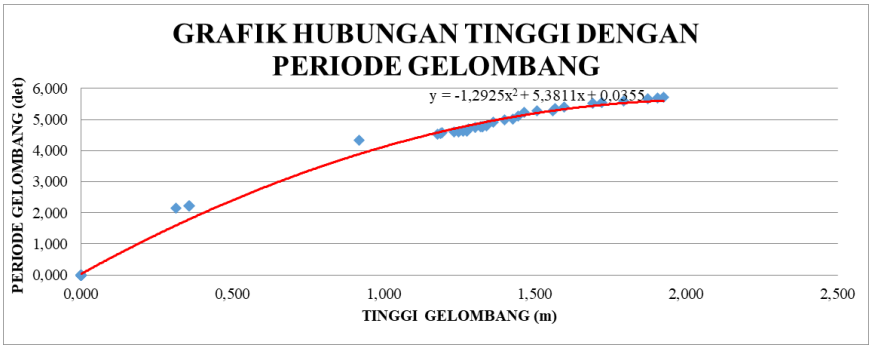
Tabel 6. Perhitungan Fetch Efektif Hasil dari Perhitungan Fetch Efektif dari Delapan Arah Mata Angin

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		SW	W	SE	S	Arah	H - T
JANUARI	H (m)						
	T (det)						
FEBRUARI	H (m)		1,465			W	**1,465**
	T (det)		4,911				**4,911**
MARET	H (m)		1,319			W	**1,319**
	T (det)		4,775				**4,775**
APRIL	H (m)	1,872	1,248			SW	**1,872**
	T (det)	5,668	4,705				**5,668**
MEI	H (m)		1,187	0,313		W	**1,187**
	T (det)		4,643	2,157			**4,643**
JUNI	H (m)	1,400	1,328	0,359		SW	**1,400**
	T (det)	5,245	4,784	2,236			**5,245**
JULI	H (m)		1,691		1,302	W	**1,691**
	T (det)		5,516		4,626		**5,516**
AGUSTUS	H (m)				1,361	S	**1,361**
	T (det)				4,681		**4,681**
SEPTEMBER	H (m)	1,566	1,177		1,233	SW	**1,566**
	T (det)	5,405	4,632		4,560		**5,405**
OKTOBER	H (m)	1,906	1,596			SW	**1,906**
	T (det)	5,695	5,024				**5,695**
NOVEMBER	H (m)		1,560			W	**1,560**
	T (det)		4,993				**4,993**
DESEMBER	H (m)	1,925	1,339			SW	**1,925**
	T (det)	5,710	4,794				**5,710**
MAX TIAP ARAH	H (m)	**1,925**	**1,872**	**0,359**	**1,361**	**SW**	**1,925**
	T (det)	**5,710**	**5,668**	**2,236**	**4,681**		**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 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
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

Tabel 8. Perhitungan Refraksi
(Hasil Analisis, 2026)

a_o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L
45	10	1,925	5,605	49,003	0,2041	0,22858
39,1463	8	1,689	5,437	46,123	0,1734	0,20015
33,1676	5	1,471	5,155	41,455	0,1206	0,15192
25,7435	2	1,267	4,779	35,623	0,0561	0,08883
15,9334	1	1,144	4,499	31,579	0,0317	0,05978
8,3613	0,5	1,121	4,443	30,788	0,0162	0,01648

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

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

H'o	H'o/gT2	m	Hb/H'o	Hb
2,095	0,007	0,022	1,090	2,283
1,867	0,006	0,022	1,100	2,054
1,647	0,006	0,021	1,110	1,828
1,359	0,006	0,021	1,120	1,522
1,151	0,006	0,018	1,130	1,300
1,570	0,008	0,015	1,000	1,570

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 = 2,283 m
   g = 9.81 m/s^2
   db = 2,808 m
   K = 0.39 (*Shore Protection Manual, chapter 4-96)*
   n = 0.4
   αb = 45º
   ρ = 1025 kg/m³
   ρs = 2650 kg/m³
   Penyelesaian:
   Qs $= \frac{K}{(\rho_s - \rho) \times g \times (1-n)} \times Pl$
   $P_l = \frac{p.g}{8} \times {H_b}^2 \times C_b \times sin\alpha_b \times cos\alpha_b$
   Cb $= \sqrt{g.db}$
   Jawaban:
   Cb $= \sqrt{9{,}81 \times 2.808}$
   $= 5{,}249$ m/d
   $P_l = \frac{1025\ x\ 9{,}81}{8} \times 2{,}283^2 \times 5.249 \times sin45 \times cos45$
   $= 17.193{,}341\ kg\ m/d$
   Qs $= \frac{0.39}{(2650-1025) \times 9.81 \times (1-0.4)} \times$
   $= 0{,}7011\ kgm^3/d$
   $= 0{,}0007011 m^3/d$
   $= 0{,}0007011 \times 24 \times 3600 = 60{,}571/\ hari$
   $= 60{,}571 \times 365 = 22.108{,}428\ m^3/\ tahun$

Nilai angkutan sedimen untuk sejajar pantai adalah **$22.108,428$ 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 asumsi distribusi ukuran butiran sedimen lokasi penelitian berdekatan dengan refrensi yang digunakan.
   Diketahui:
   f=d (D) = 0.49
   g = 9.81 m/s^2
   Hb = m
   αb = 45º
   ρ = 1025 kg/m³
   ρs = 2650 kg/m³
   Penyelesaian:

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

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

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

   Jawaban:

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

   Didapat nilai angkutan sedimen tegak lurus pantai adalah **5.242,399 m³/tahun.**

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

Angkutan Sedimen	Qs (m³/tahun)
Sejajar Pantai	22108,428
Tegak Lurus Pantai	5242,399

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 Mokupa adalah sebagai berikut:

ds = HHWL
= 2,42 m

Hb = 0,875× ds

= 0,875 × 2,42 = 2,116 m
Hd = Hb
= 2,116 m

4.9. Perhitungan Elevasi Mercu

Elevasi Mercu = DWL + Ru + Fb
Dimana :

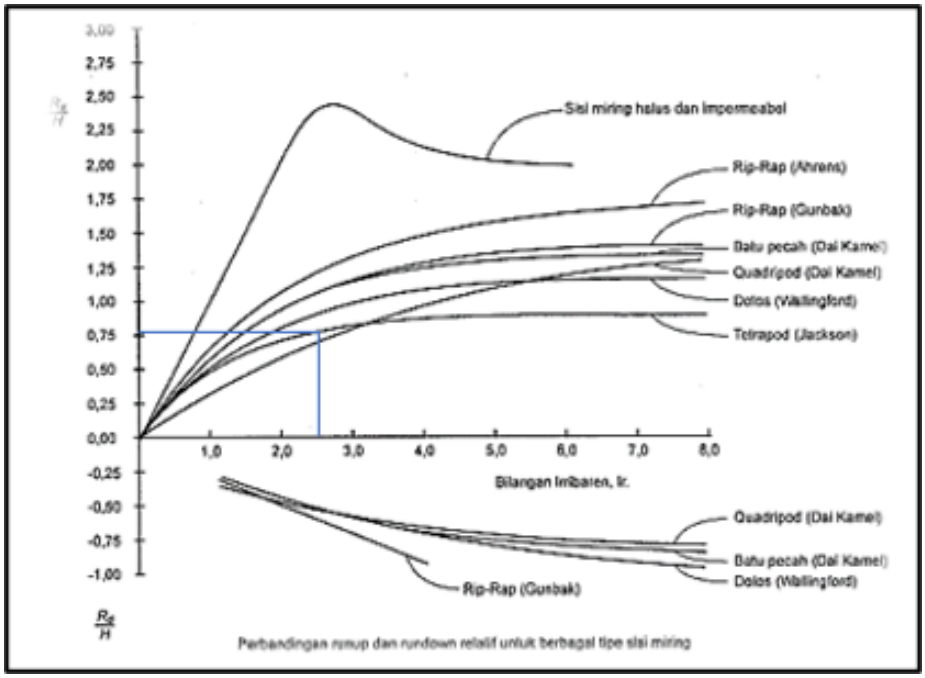
DWL	:	*Design Water Level* (elevasi muka air rencana)
Ru	:	*Run-up* gelombang (Rayapan gelombang) yang merupakan fungsi dari bilangan Iirrabaren (Ir)
Fb	:	Tinggi jagaan direncanakan = 0,5

- *Run-up* gelombang

Direncanakan :

Jenis bangunan	= Groin
Lapis lindung	= Tetrapod
Tinggi gelombang (Hd)	= 2,116 m

- 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 6. Grafik Run Up Gelombang

Bilangan Irrabaren di atas, maka didapat :

$\frac{Ru}{H}$ = 0,76
Ru = 0,76 * 2,116
= 1,61
Elevasi Mercu = DWL + Ru + Fb = 1,84 + 1,61 + 0,5 = 3,95 m

4.10. Perhitungan Lapis Lindung

Berat butir lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini. Untuk lapis lindung dari Tetrapod dengan n = 3, penempatan random, gelombang telah pecah dan K_D lengan bangunan = 7.

Perhitungan sebagai berikut:
Lapis pelindung luar (armour stone)

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

Tebal Lapis Lindung (t1) Untuk nilai dari Koefisien Lapis (KΔ) = 1,10

$$t_1 = n\ K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \text{ x } 1{,}04 \text{ x } \left(\frac{0{,}809}{2{,}3}\right)^{1/3} = 1{,}47 \text{ m}$$

Lapis pelindung kedua (secondary stone)

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

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

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

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

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

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

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

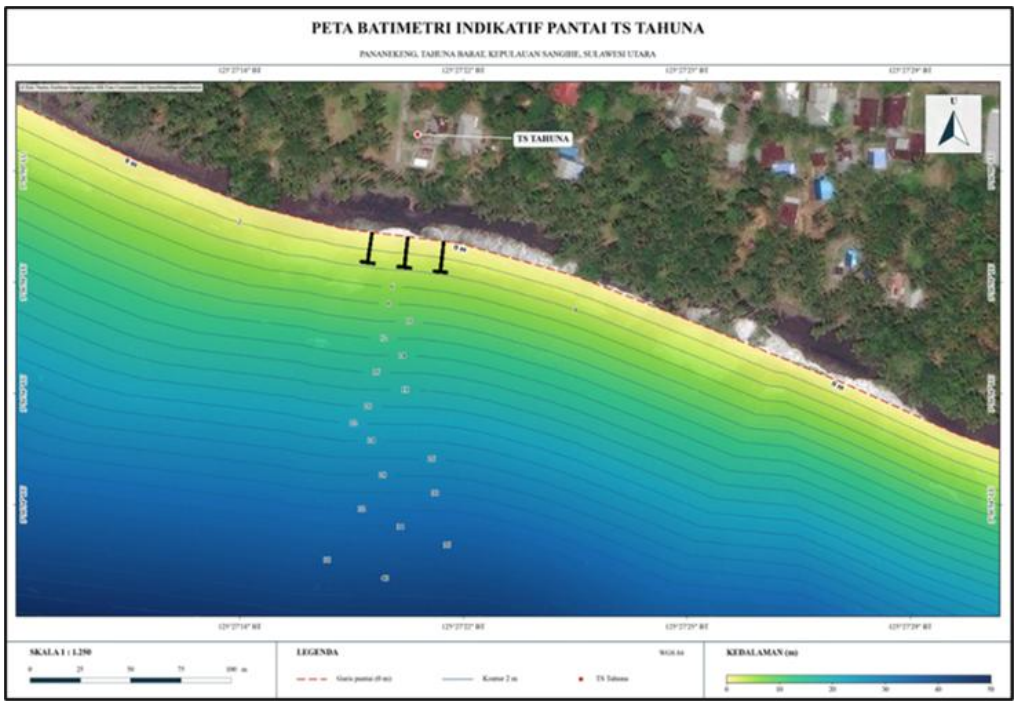
Jumlah Tetrapod Pelindung

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

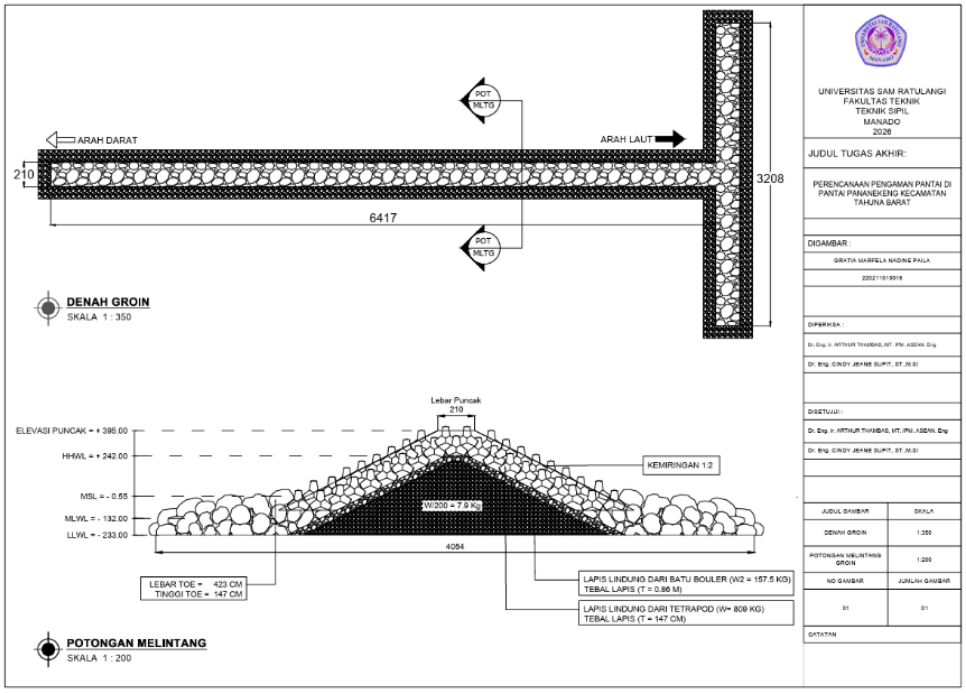
$$N = A.n.K_\Delta \cdot \left[1 - \frac{P}{100}\right] \text{ x } \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} = 10 \text{ x } 3 \text{ x } 1{,}10 \text{ x } \left[1 - \frac{50}{100}\right] \text{ x } \left[\frac{0{,}809}{0{,}871}\right]^{2/3} = 34 \text{ buah}$$

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) = 1,468 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 1,450 = 0,725 ton = 725 kg



Gambar 7. Denah Groin di Peta Bathimetri



Gambar 8. Detail Bangunan Pantai

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis hidrodinamika dan perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Pananekeng, Kecamatan Tahuna Barat, diperoleh bahwa gelombang dominan berasal dari arah Barat Daya dan pasang tertinggi (*HHWL*) berdasarkan metode Admiralty sebesar 2,42 m. Angkutan sedimen sejajar pantai (*longshore transport*) merupakan mekanisme dominan yang berkontribusi terhadap abrasi dan kemunduran garis pantai. Oleh karena itu, groin tipe T dipilih sebagai alternatif penanganan untuk mengurangi transport sedimen sejajar pantai, menahan kehilangan material pantai, menjaga stabilitas garis pantai, dan meredam energi gelombang yang mengancam bangunan Tahuna Transmission Station (Tahuna TS).

Dimensi groin yang direncanakan meliputi elevasi mercu 3,95 m, lebar puncak 2,10 m, kemiringan 1:2, tinggi *toe protection* 1,468 m, lebar *toe protection* 4,23 m, dan berat butir *toe protection* 725 kg, dengan material lapis lindung berupa tetrapod. Dimensi tersebut diharapkan mampu mengurangi abrasi, mengendalikan pergerakan sedimen sejajar pantai, serta melindungi garis pantai dan infrastruktur di sekitar Pantai Pananekeng.

Referensi

Pelindung Pantai Di Desa Pesisir Besuki Kabupaten Situbondo. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, *13*(1), 85–98. https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.816

Aru, T., Timur, K. S., Utara, K., Sipil, D. T., Teknik, F., Teknologi, I., & Nopember, S. (2017). Perencanaan Pengaman Pantai. 6(2), 2–7.

Lestari, A. D., Hisyam, E. S., & Gunawan, I. (2022). Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai di Kawasan Pantai Pesaren Belinyu Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 10(2), 201–210. https://doi.org/10.33558/bentang.v10i2.4441

Mahasiswa, S., Sipil, T., Jenjang, A., Sipil, T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Jurusan, D., Sipil, T., Teknik, F., Negeri, U., & Email, S. (2020). Danayanti Azmi Dewi Nusantara.

Natasya C. P. Simbar, T. J. A. K. T. D. (2023). Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Moinit Kecamatan Amurang Kabupaten Minahasa Selatan. Tekno, 21(84), 85.

Nur laila sari ayu, W., & Ariyanto. (2022). Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai (Breakwater) TPI Ujung Batu Jepara. Jurnal Civil Engineering Study, 2(01), 35–43. https://doi.org/10.34001/ces.02012022.5

Ranowulu, K., Bitung, K., Walean, P. V. M., Mamoto, J. D., & Dundu, A. K. T. (2025). Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Batu Putih Atas. 23(91).

Triatmodjo, B. (1999). Teknik Pantai. beta offset.

Triatmodjo, B. (2020). Perencanaan Bangunan Pantai (edisi ke 2). beta offset yogyakarta.

Winowatan, A. W., Jansen, T. J., & Mamoto, J. D. (2023). Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Daerah Pantai Ranowangko. Tekno, 21(85), 1059–1072.