

Pengaruh Hidrodinamika Terhadap Letak Alternatif *Hard Structure* Pantai Bemu, Pulau Seram

Ony Frengky Rumihin

Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: ony.rumihin@gmail.com¹⁾,

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1156>

(Received: 25 July 2024 / Revised: 09 September 2024 / Accepted: 15 September 2024)

Abstrak

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan garis pantai yang panjang, menghadapi tantangan abrasi dan erosi akibat faktor alam dan aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi kerusakan pantai Bemu, Pulau Seram, yang terletak di tepi Laut Banda, melalui analisis hidrodinamika guna menentukan penempatan struktur keras (revetment) yang tepat. Metode penelitian mencakup pengumpulan data primer melalui survei lapangan, seperti data pasang surut, arus, dan gelombang, serta pengolahan data sekunder berupa data angin. Analisis juga dilakukan dengan bantuan perangkat lunak untuk memvalidasi model. Hasil menunjukkan bahwa struktur keras revetment perlu diletakkan pada ketinggian 1,50 meter untuk mereduksi kerusakan pantai lebih lanjut. Kecepatan angin dominan dari arah selatan (59,87%), dan jenis gelombang rencana adalah swell dengan tinggi gelombang ekstrim 1,58 meter. Penelitian ini menekankan pentingnya penanggulangan abrasi secara efektif melalui pendekatan berbasis hidrodinamika.

Kata kunci: *kerusakan pantai, pulau seram, hard structure*

Abstract

Indonesia, as an archipelagic country with an extensive coastline, faces challenges of coastal erosion and abrasion due to natural factors and human activities. This research aims to mitigate coastal damage at Bemu Beach, Seram Island, located along the Banda Sea, by utilizing hydrodynamic analysis to determine the optimal placement of hard structures (revetments). The research methodology includes primary data collection through field surveys, such as tidal, current, and wave data, along with secondary data analysis, including wind data. The analysis was supported by software modeling to validate the results. Findings indicate that the revetment should be placed at an elevation of 1.50 meters to effectively reduce further coastal damage. The dominant wind speed is from the south (59.87%), with the planned wave type being swell, having an extreme wave height of 1.58 meters. This study underscores the importance of effective coastal abrasion control through hydrodynamic approaches.

Keywords: *coastal damage, Seram Island, hard structure*

1. Latar Belakang

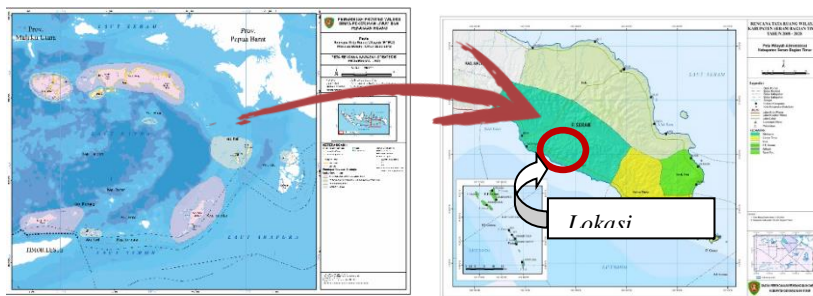
Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki garis pantai yang panjang dan menyimpan kekayaan alam yang luar biasa. Namun, tantangan yang dihadapi wilayah pesisir semakin kompleks, khususnya terkait dengan abrasi dan erosi pantai yang terjadi di berbagai daerah. Faktor alam, seperti kekuatan arus, gelombang, dan angin, serta aktivitas manusia yang tidak terkontrol, mempercepat kerusakan pantai. Hal ini berdampak besar pada keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan kehidupan sosial masyarakat yang menggantungkan hidupnya pada

ekosistem pesisir. Salah satu daerah yang mengalami tantangan ini adalah Pantai Bemu di Pulau Seram, Maluku, yang terletak di tepi Laut Banda.

Permasalahan abrasi pantai sudah lama menjadi perhatian dalam studi oseanografi dan rekayasa pantai (Ardiansyah & Sudarman, 2020; Hartati & Wijaya, 2019). Sebagai contoh, penelitian Triatmodjo (1999) menjelaskan bagaimana pantai secara alami menyesuaikan bentuknya untuk mengurangi dampak energi gelombang yang datang. Penelitian-penelitian lain, seperti yang dilakukan oleh Hadi et al. (2012), Fauzi et al. (2016), dan Putra & Arifin (2018), juga menunjukkan bahwa perubahan morfologi pantai akibat dinamika hidrodinamika sangat mempengaruhi proses erosi. Namun, upaya mitigasi erosi melalui pembangunan hard structure, seperti revetment, juga menjadi salah satu solusi yang kerap diusulkan oleh banyak studi (Setyawan & Noor, 2015; Suryanto, 2017).

Berbagai studi telah menyoroti pentingnya memahami interaksi antara gelombang, arus, dan struktur pantai dalam merancang strategi perlindungan pantai yang tepat (Yuwono et al., 2020). Hidrodinamika, yang mempelajari pergerakan air, memainkan peran kunci dalam menentukan bagaimana pantai dapat mengalami erosi atau sebaliknya, mempertahankan integritas ekosistem pesisir (Rusdiansyah et al., 2013; Utama & Supriadi, 2021). Pantai Bemu, dengan posisi strategisnya di depan Laut Banda, menghadapi tantangan hidrodinamika yang unik, sehingga memerlukan pendekatan khusus dalam penanganannya. Hasil penelitian dari Anggraini et al. (2019) menunjukkan bahwa pemilihan lokasi struktur keras yang tepat dapat secara signifikan mengurangi risiko kerusakan lebih lanjut.

Selain aspek hidrodinamika, penelitian tentang erosi pantai juga menekankan pentingnya mempertimbangkan data meteorologi, seperti angin, dalam desain struktur pantai (Darmadi et al., 2021; Rahman & Kurniawan, 2017). Data angin, yang dianalisis dari berbagai arah dan kecepatan, mempengaruhi karakteristik gelombang yang menghantam pantai, yang pada akhirnya berdampak pada tingkat kerusakan pantai (Nurhadi & Wardhana, 2018).



Gambar 1 Lokasi Kabupaten Seram Bagian Timur, Maluku (RTRW Maluku dan Kab. SBB)

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penempatan alternatif revetment di Pantai Bemu, yang tidak hanya mempertimbangkan dinamika gelombang dan arus, tetapi juga memperhitungkan kondisi lokal yang unik. Dengan menggabungkan pendekatan lapangan dan analisis data sekunder, penelitian ini berupaya memberikan solusi yang aplikatif dan kontekstual untuk mengurangi abrasi pantai yang telah berlangsung lama. Melalui pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika hidrodinamika dan pemodelan fisik yang presisi, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi penempatan hard structure yang optimal. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya

perlindungan pantai, khususnya di wilayah pesisir Indonesia bagian timur, yang selama ini sering terabaikan dalam penelitian serupa. Penelitian ini mengajukan solusi yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mempertimbangkan dimensi sosial dan lingkungan dari masyarakat sekitar Pantai Bemu. Upaya ini selaras dengan agenda keberlanjutan yang mendukung keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan pelestariannya, untuk memastikan bahwa masyarakat pesisir tetap dapat bertahan di tengah tantangan perubahan iklim dan dinamika alam yang semakin sulit diprediksi.

2. Metode Penelitian

2.1 Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah pengambilan data primer dengan metode penelitian lapangan, dan pengolahan data sekunder metode analisis, serta pengujian model menggunakan bantuan aplikasi/software (Sundar et al., 2023; Toimil et al., 2020).

Pengukuran topografi dilakukan sepanjang pantai atau sepanjang Satuan Wilayah Pengamanan pantai dan selebar sempadan pantai yang meliputi pantai Ilwaki, pulau Wetar. Pengukuran bathimetri menggunakan alat GPSmap Sounder yang dipasang di perahu (Cirella et al., 2024; Nuyts et al., 2020). Dalam pelaksanaan pengukuran dengan GPSmap Sounder, selain pengambilan elevasi kedalaman laut dan koordinat titik elevasi tersebut, dilakukan juga tracking untuk mendapatkan penggambaran jalur dari pengukuran bathimetri. Selama pelaksanaan survey bathimetri juga dilakukan pengamatan pasang surut (Ashphaq et al., 2021).

Pengamatan pasang surut harus dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasang surut di daerah studi. Pengetahuan tentang pasang surut berguna dalam menentukan elevasi muka air rencana. Dalam perencanaan konstruksi pengaman pantai, hal ini terkait dengan penentuan elevasi puncak bangunan pengaman pantai (Hayes et al., 2020; Laun et al., 2020).

Pelaksanaan pengukuran arus laut pada pasang dan saat surut baik dalam kondisi neap tide maupun spring tide. Penentuan waktu pengukuran dengan memperhatikan posisi bulan yang berada pada kuartil pertama dan kuartil kedua. Pengukuran kecepatan arus pasang surut dilakukan untuk mengetahui pola arus pada saat pasang maupun pada saat surut (Kamphuis, 2020; Nazarnia et al., 2020).

Data angin diperlukan untuk peramalan tinggi dan periode gelombang. Frekuensi kejadian angin pada tiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin pada lokasi dan waktu tertentu, gelombang yang dominan terjadi pada lokasi studi adalah gelombang yang berasal dari arah barat, timur, dan tenggara (Luo et al., 2021).

2.2 Variabel yang Diteliti

Sesuai maksud dan tujuan terbentuknya arus, gelombang dan pasang surut merupakan bagian dari hidrodinamika yang dapat mempengaruhi penentuan pengaman pantai. Hidrodinamika merupakan sistem model numerik secara umum untuk memodelkan simulasi muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Model ini dapat mensimulasikan aliran dua dimensi tidak langgeng di dalam fluida satu lapisan secara vertikal homogen maupun dalam aliran tiga dimensi.

2.3 Teknik Analisa Data

Analisis pasang surut, gelombang, angin, gelombang rencana. Dari hasil analisis kemudian didapatkan tinggi air rencana (design water level).

2.3.1 Pasang surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut akibat adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi, Perubahan pasang surut seiring dengan perubahan posisi diantara ketiganya. (Yanovita, dkk, 2017), menjelaskan pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu :

- Diurnal Tide (Pasang Surut Harian Tunggal), yang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari satu malam (12 jam 24 menit).
- Semi Diurnal Tide (Pasang Surut Harian Ganda), yaitu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari satu malam (kurang lebih 24 jam).
- Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal (Pasang Surut Campuran Condong Ke Harian Ganda) dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.
- Mixed Tide Prevailing Diurnal (Pasang Surut Campuran Condongan Ke Harian Tunggal)

2.3.2 Gelombang

Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (tsunami), dan lain sebagainya. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya- gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Yanovita, dkk, 2017).

2.3.3 Refraksi gelombang

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pada daerah di mana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu dilaut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi.

2.3.4 Konversi Kecepatan Angin

Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energi air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang tadinya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil diatas permukaan air (Hariyoni dkk, 2013).

$$R_L = U_w/U_L \quad (1)$$

$$U_w = R_L \cdot U_L \quad (2)$$

$$U_A = 0,71U_w^{1,23} \quad (3)$$

Keterangan :

R_L = Hubungan antara angin di darat dan di laut

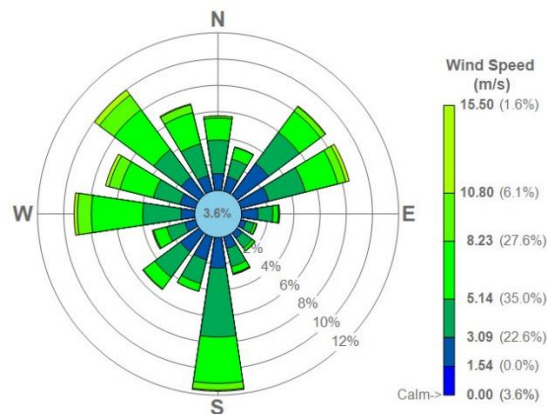
U_w = Kecepatan angin di darat (m/dt)

U_L = Kecepatan angin di laut (m/dt)

U_A = Faktor tegangan angin (m/dt)

2.3.5 Mawar Angin

Mawar angin atau wind rose adalah diagram hasil pengelompokkan angin dan arah angin setiap bulan selama beberapa tahun terakhir berdasarkan arah dan kecepatannya.



Gambar 2 Mawar-Angin (wind rose)
Sumber: Breeze Software

2.3.6 Bangunan Pengaman Pantai

Bangunan pengaman pantai merupakan konstruksi yang dibangun sejajar atau tegak lurus dengan garis pantai yang berfungsi untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Yanovita, dkk, (2017). menjelaskan bahwa bangunan laut dan pantai yang dibangun dapat digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus maupun untuk kepentingan lainnya seperti fasilitas untuk menarik wisatawan khususnya untuk daerah pantai wisata.

2.3.7 Klasifikasi Bangunan

Sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu (Faza, dkk, 2016): Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk kelompok ini adalah dinding pantai (*revetment*).

- Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan menyambung ke pantai. Yang termasuk kelompok ini adalah groin (*groyne*) dan jetty.
- Konstruksi yang dibangun lepas pantai dan kira-kira sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk kelompok ini yaitu pemecah gelombang (*breakwater*).

2.3.8 Revetment

Revetment merupakan bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang terutama berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. Daerah yang dilindungi adalah daratan tepat di belakang bangunan. Dinding pantai biasanya berbentuk dinding vertikal, sedang *revetment* mempunyai sisi miring. Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai, dan bisa terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan pipa beton, turap, kayu atau tumpukan batu (Triatmojo, 1999).

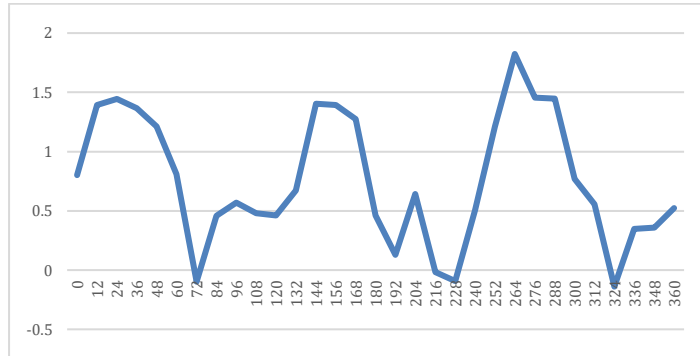
2.3.9 Breakwater

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan dari gangguan gelombang. Pemecah gelombang dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pertama digunakan untuk perlindungan perairan pelabuhan, sedangkan tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi (Triatmojo, 1999).

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Elevasi Pasang Surut

Elevasi pasang surut diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan yaitu di Pantai Bemu. Kegiatan pengukuran pasang surut dilaksanakan selama 15 hari yaitu mulai tanggal 12 November s/d 26 November. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Gambar kurva pasang surut pantai Bemu (hasil analisis)

3.2 Komponen Pasang Surut

Langkah pengolahan data pasang surut berikutnya adalah mencari harga elevasi-elevasi acuan dari karakteristik perairan di wilayah pekerjaan. Untuk mencari harga elevasi-elevasi tersebut, digunakan nilai-nilai komponen pasang surut dari hasil Peramalan dengan menggunakan metode admiralty seperti disajikan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Komponen Pasang Surut Pesisir pantai Bemu

A cm	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
g^0	0.76	0.05	0.02	0.03	0.06	0.15	0.03	0.01	0.01	0.02
		-50.49	-95.43	246.60	23.59	291.40	260.92	218.42	-95.43	23.59

di mana :

- A : amplitudo,
- g : beda fase,
- M₂ : komponen utama bulan (semi diurnal),
- S₂ : komponen utama matahari (semi diurnal),
- N₂ : komponen eliptis bulan,
- K₂ : komponen bulan,
- K₁ : komponen bulan,
- O₁ : komponen utama bulan (diurnal),
- P₁ : komponen utama matahari (semi diurnal),
- M₄ : komponen utama bulan (kuarter diurnal), dan
- MS₄ : komponen utama matahari-bulan.

Dengan konstanta pasang surut diatas dilakukan penentuan jenis pasang surut menurut sbb:

- 0 - 0,25 = pasang harian ganda (*semi diurnal*)
- 0,25 - 1,5 = campuran, condong ke *semi diurnal* (*semi diurnal dominant*)
- 1,5 - 3,0 = campuran, condong ke *diurnal* (*diurnal dominant*)
- > 3,0 = pasang harian tunggal (*diurnal*)

Berdasarkan konstanta-konstanta utama pasang surut di atas diketahui bahwa tipe pasang surut di Pesisir Pantai Bemu adalah tipe campuran, condong ke semi diurnal dengan harga F sama dengan 0,378.

3.3 Elevasi Acuan Pasang Surut

Dengan hasil pasang surut di atas, dilakukan pula peramalan pasang surut untuk menentukan elevasi-elevasi acuan pasang surut yang menjadi ciri daerah tersebut sebagaimana disajikan pada Tabel 2 tentang Harga elevasi-elevasi acuan yang telah diperoleh.

Tabel 2 Harga Elevasi Elevasi Acuan

No	HWL (m)	LWL (m)	MSL (m)
1	1.450	0.050	0.750
2	1.480	0.160	0.820
3	1.480	0.040	0.760
4	1.490	0.110	0.800
5	1.320	0.050	0.685
6	1.450	0.250	0.850
7	1.170	0.060	0.615
8	1.470	0.220	0.845
9	1.360	0.050	0.705
10	1.490	0.170	0.830
11	1.130	0.040	0.585
12	1.480	0.610	1.045
13	0.820	0.070	0.445
14	1.460	0.640	1.050
15	1.020	0.050	0.535

Definisi elevasi acuan yang berlaku selama perioda waktu pengamatan adalah sebagai berikut:

- HHWL (highest high water level), muka air tertinggi.
- MHWL (mean high water level), rata-rata seluruh muka air tinggi.
- MSL (mean sea level), rata-rata seluruh muka air yang terjadi.
- MLWL (mean low water level), rata-rata seluruh muka air rendah.
- LLWL (lowest low water level), muka air terendah.

Untuk selanjutnya referensi 0 MSL akan digunakan dalam desain dan analisa lebih lanjut.

3.4 Daerah Pembentukan Gelombang

Daerah pembentukan gelombang (fetch) dihitung untuk arah-arah datangnya gelombang yang mungkin, dapat dilihat pada gambar berikut ini. Lokasi panjang fetch efektif diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi Fetch Efektif

Fetch Efektif	m
Arah Utama: Barat	98512.150
Arah Utama: Selatan	161110.834
Arah Utama: Barat Daya	174654.163

3.5 Distribusi Arah Dan Kecepatan Angin

Data angin yang digunakan adalah data angin harian berikut arahnya dari tahun 2000 sampai dengan 2013 Data iklim angin disajikan dalam bentuk windrose dalam satuan bulanan ataupun secara total. Windrose total berdasarkan data angin berdasarkan data BMG yang berhasil diperoleh saat ini disajikan pada gambar berikut ini, sedangkan distribusi jumlah dan prosentase kejadian anginnya diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Distribusi Arah dan Kecepatan Angin (2000 – 2013) pantai Bemu

Arah	Kec Angin					Prosentase Kec. Angin (%)				
	1-3	3-5	6-8	>=8	Total	1-3	3-5	6-8	>=8	Total
Utara	365	49	3	0	417	7.14	0.96	0.06	0.00	8.16
Timur Laut	27	18	0	0	45	0.53	0.35	0.00	0.00	0.88
Timur	64	27	0	0	91	1.25	0.53	0.00	0.00	1.78
Tenggara	177	68	6	2	253	3.46	1.33	0.12	0.04	4.95
Selatan	2403	631	23	4	3061	47.00	12.34	0.45	0.08	59.87
Barat Daya	182	112	6	0	300	3.56	2.19	0.12	0.00	5.87
Barat	58	125	7	1	191	1.13	2.44	0.14	0.02	3.74
Barat Laut	92	99	3	2	196	1.80	1.94	0.06	0.04	3.83
Bergelombang				=	4554	Bergelombang			=	89.07
calm				=	556	calm			=	10.87
Tidak ada data				=	3	Tidak ada data			=	0.06
Total				=	5113	Total			=	100.00

Tabel 4 diatas dapat menjelaskan kecepatan angin pada range 1-3, 3-5, 6-8 dan >=8. Dengan total terdistribusi Utara = 417 atau 8.16 %, Timur Laut = 45 atau 0.88 %, Timur = 91 = 1.78 %, Tenggara = 253 atau 4.95 %, Selatan = 3061 atau 59.87 %, Barat Daya = 300 atau 5.87 %, Barat = 191 atau 3.74 % dan Barat Laut = 196 atau 3.83 %. Sehingga dominan pada arah Selatan = 3061 atau 59.87 %.

3.6 Angin Desain

Angin desain merupakan pemilihan data angin yang akan digunakan untuk analisa gelombang yang akan disampaikan pada sub bab di bawah. Pemilihan angin desain berdasarkan data terbesar tiap tahun di mana data angin tersebut diperkirakan akan menghasilkan gelombang terbesar. Hasil pemilihan data angin tersebut diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Data Angin Desain Pantai Bemu

No	Tahun	Kecepatan (Knot)	Arah	Tanggal Kejadian	
				Bulan	Tanggal
1	2000	7	Selatan	8	21
2	2001	7	Selatan	8	15
3	2002	8	Selatan	2	1
4	2003	7	Selatan	1	15
5	2004	7	Barat	7	22
6	2005	9	Selatan	1	9
7	2006	8	Barat	9	15
8	2007	8	Selatan	2	26

9	2008	6	Barat	8	6
10	2009	4	Selatan	8	16
11	2010	7	Barat Daya	2	27
12	2011	7	Barat	7	18
13	2012	9	Barat	7	20
14	2013	7	Selatan	9	5

3.7 Gelombang Rencana

Hasil peramalan gelombang yang berupa series waktu kejadian gelombang akibat angin, masih belum dapat langsung digunakan untuk perencanaan. Perencanaan memerlukan suatu tinggi (dan periode) gelombang yang biasanya didasarkan pada suatu fenomena statistik yang dikenal dengan nama periode ulang. Dari analisa tinggi gelombang dengan menggunakan data angin ini, tinggi gelombang terbesar tahunan diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Tinggi Gelombang Terbesar Tahunan di Lokasi Pantai Bemu

Tahun	Tanggal Kejadian		Arah	U	U	Hs	Ts	t	Lo	Lo/Hs	Jenis
	Bulan	Tanggal		maksimum (Knot)	maksimum (m/dt)						
2000	8	21	Selatan	7	5.847	1.199	6.109	14.673	58.223	48.567	Swell
2001	8	15	Selatan	7	5.847	1.199	6.109	14.674	58.223	48.567	Swell
2002	2	1	Selatan	8	6.589	1.351	6.358	14.100	63.053	46.671	Swell
2003	1	15	Selatan	7	5.847	1.199	6.109	14.673	63.223	48.567	Swell
2004	7	22	Barat	7	5.847	0.937	5.185	10.571	58.223	44.746	Swell
2005	1	9	Selatan	9	7.270	1.491	6.570	13.645	42.945	45.165	Swell
2006	9	15	Barat	8	6.589	1.056	5.396	10.158	67.331	42.999	Swell
2007	2	26	Selatan	8	6.589	1.351	6.358	14.100	45.425	46.671	Swell
2008	8	6	Barat	6	5.050	0.810	4.938	11.100	63.053	46.983	Swell
2009	8	16	Selatan	4	3.551	0.728	5.173	17.327	38.043	57.347	Swell
2010	2	27	Barat Daya	7	5.847	1.248	6.276	15.484	61.441	49.225	Swell
2011	7	18	Barat	7	5.847	0.937	5.185	10.571	41.945	44.746	Swell
2012	7	20	Barat	9	7.270	1.166	5.576	9.830	48.507	41.611	Swell
2013	9	5	Selatan	7	5.847	1.199	6.109	14.673	58.223	48.567	Swell
	Max				7.270	1.491	6.570	17.327	67.331	57.347	

Tabel 6 dapat menjelaskan jenis gelombang Swell rata-rata tinggi 1.5 meter dengan kecepatan maximum 9 knot,

Tabel 7 Tinggi dan Perioda Gelombang Ekstrim Pantai Bemu

No	Tr	Pr	G	G.Si	Log Hs	Hs Rencana
1	5	20	0.856	0.08	0.12	1.33
2	10	10	1.165	0.10	0.15	1.41
3	25	4	1.446	0.13	0.17	1.49
4	50	2	1.603	0.14	0.19	1.54
5	100	1	1.729	0.15	0.20	1.58

Tabel 7 menjelaskan periode gelombang ekstrim 5, 10, 25, 50, 100 dengan tinggi 1.58 meter

3.8 Design Water Level

Berdasarkan perhitungan pada bagian sebelumnya maka direncanakan elevasi bangunan berdasarkan beberapa hal, yaitu:

- a. Pasang tertinggi
- b. Gelombang rencana
- c. Akibat angin
- d. Pemanasan global
- e. Tinggi jagaan

Tabel 8 Design Water Level Pantai Bemu

No	Parameter Design	Satuan	Alternatif		
			I	II	II
			Kala ulang 10 tahun	Kala ulang 25 tahun	Kala ulang 50 tahun
1	HHWL	m	0.735	0.735	0.735
2	Wave Setup	m	0.147	0.152	0.155
3	Wind Setup	m	0.023	0.023	0.023
4	Sea Level Rise	m	0.215	0.215	0.215
	Design Water Level	m	1.121	1.126	1.129
5	Free Board	m	0.3	0.3	0.3
	Elevasi Bangunan Revetment	m	1.421	1.426	1.429

Pada Tabel 9 menyajikan alternatif bangunan pengaman pantai Bemu dengan hard structure revetment pada elevasi rencana air kedalaman 1,50 meter.

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menentukan penempatan struktur keras (*revetment*) yang tepat untuk mereduksi kerusakan pantai lebih lanjut di Pantai Bemu, Pulau Seram. Berdasarkan analisis hidrodinamika yang mencakup survei lapangan serta pemodelan data pasang surut, angin, arus, dan gelombang, *revetment* direkomendasikan untuk dipasang pada ketinggian 1,50 meter. Kecepatan angin dominan dari arah selatan dan gelombang ekstrim setinggi 1,58 meter menjadi faktor utama yang mempengaruhi tingkat abrasi di kawasan tersebut.

Kesimpulan ini menegaskan pentingnya pendekatan berbasis data ilmiah yang holistik, yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan karakteristik alam dan kondisi lokal. Penempatan struktur keras yang tepat berperan penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir dan mencegah kerusakan yang lebih parah di masa depan. Selain itu, solusi ini juga mempertimbangkan dampak sosial bagi masyarakat sekitar yang bergantung pada kesehatan ekosistem pantai. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi bagi upaya perlindungan pantai yang lebih manusiawi dan berkelanjutan, serta relevan bagi pengelolaan wilayah pesisir di Indonesia, khususnya di kawasan timur yang sering terpinggirkan dalam penelitian pesisir. Upaya mitigasi abrasi yang tepat tidak hanya berdampak pada kelestarian lingkungan, tetapi juga memastikan kesejahteraan masyarakat yang hidup di kawasan pesisir, khususnya dalam menghadapi tantangan perubahan iklim global.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh hidrodinamika (angin, arus, dan gelombang) terhadap distribusi arah dan kecepatan angin serta jenis dan tinggi gelombang rencana di Pantai Bemu, Pulau Seram, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan untuk peningkatan efektivitas dan ketahanan hard structure yang direncanakan. Pertama, pengembangan model hidrodinamika yang lebih detail sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pemodelan ini harus mempertimbangkan variabilitas temporal (musiman) dan spasial guna memprediksi perubahan hidrodinamika di masa depan yang dapat mempengaruhi efektivitas struktur yang dibangun.

Selanjutnya, perlu dilakukan analisis risiko dan ketahanan struktur terkait potensi kerusakan yang dapat terjadi akibat kondisi ekstrim hidrodinamika. Simulasi skenario terburuk harus dilaksanakan untuk memastikan bahwa hard structure memiliki ketahanan yang memadai dalam menghadapi situasi ekstrem. Selain itu, pemilihan material untuk hard structure juga harus diperhatikan. Material yang digunakan tidak hanya harus kuat dan tahan lama, tetapi juga ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem pesisir.

Setelah pembangunan hard structure, monitoring dan evaluasi berkala sangat disarankan. Hal ini penting untuk menilai kinerja struktur terhadap kondisi hidrodinamika yang sebenarnya dan melakukan perbaikan jika diperlukan. Integrasi dengan solusi soft engineering seperti penanaman vegetasi pantai dan pengelolaan ekosistem mangrove juga sangat dianjurkan. Kombinasi ini tidak hanya memperkuat struktur tetapi juga mendukung pelestarian lingkungan pesisir.

Keterlibatan masyarakat lokal dalam proses perencanaan dan implementasi juga menjadi aspek penting yang tidak boleh diabaikan. Partisipasi masyarakat setempat akan membantu dalam menjaga dan merawat hard structure serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya perlindungan pesisir. Terakhir, studi komparatif dengan lokasi-lokasi lain yang memiliki kondisi hidrodinamika serupa dapat memberikan perspektif tambahan dan potensi penerapan teknik yang telah berhasil di tempat lain.

Daftar Kepustakaan

- Anggraini, R., Setyawan, A., & Ardiansyah, L. (2019). The Effect of Coastal Structures on Shoreline Changes in Indonesia: Case Study of Padang Beach. In *Journal of Coastal Research* (Vol. 35, Issue 3, pp. 600–610).
- Ardiansyah, R., & Sudarman, A. (2020). Wave and Current Interaction with Coastal Structures: A Case Study of Indonesia's Eastern Coastal Area. In *Journal of Coastal and Ocean Dynamics* (Vol. 8, Issue 5, pp. 45–53).
- Ashphaq, M., Srivastava, P. K., & Mitra, D. (2021). Review of near-shore satellite derived bathymetry: Classification and account of five decades of coastal bathymetry research. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 6(4), 340–359.
- Cirella, G. T., Tao, L., & Mohamed, S. (2024). An application of an adaptive quantitative method to measure the sustainability of the Gold Coast, Australia. *Journal of Coastal Research*, 50(sp1), 52–56.

- Darmadi, D., Suryanto, W., & Yulianto, A. (2021). Analyzing Wind Effect on Coastal Erosion and Its Management in the Coastal Area of Indonesia. In *Journal of Marine and Coastal Science* (Vol. 7, Issue 1, pp. 23–34).
- Fauzi, M., Mulyadi, T., & Rahman, A. (2016). Analysis of Coastal Erosion Control Using Hybrid Structures: A Case Study of West Java Coastline. In *Journal of Marine Research* (Vol. 5, Issue 2, pp. 100–112).
- Hadi, S., Subagyo, S., & Subandono, D. (2012). Coastal Erosion Control through Engineering Approaches: A Study on Indonesian Coastal Areas. In *Indonesian Journal of Marine Science* (Vol. 17, Issue 2, pp. 45–57).
- Hartati, N., & Wijaya, T. (2019). Study of Sediment Transport and Its Effects on Shoreline Morphology in Eastern Indonesia. In *Journal of Ocean and Marine Science* (Vol. 6, Issue 3, pp. 120–130).
- Hayes, M. O., Owens, E. H., Hubbard, D. K., & Abele, R. W. (2020). The investigation of form and processes in the coastal zone. In *Coastal geomorphology* (pp. 11–42). Routledge.
- Kamphuis, J. W. (2020). *Introduction to coastal engineering and management* (Vol. 48). World Scientific.
- Laun, A., Mazzuchi, T., & Sarkani, S. (2020). Leveraging a systems engineering approach to operationalize coastal resilience data. *Global Oceans 2020: Singapore–US Gulf Coast*, 1–6.
- Luo, M., Khayyer, A., & Lin, P. (2021). Particle methods in ocean and coastal engineering. *Applied Ocean Research*, 114, 102734.
- Nazarnia, H., Nazarnia, M., Sarmasti, H., & Wills, W. O. (2020). A systematic review of civil and environmental infrastructures for coastal adaptation to sea level rise. *Civil Engineering Journal*, 6(7), 1375–1399.
- Nurhadi, A., & Wardhana, B. (2018). Hydrodynamic Factors in the Formation of Erosion and Deposition Zones on Indonesian Coastlines. In *Journal of Marine Hydrodynamics* (Vol. 9, Issue 4, pp. 331–344).
- Nuyts, S., Murphy, J., Li, Z., & Hickey, K. (2020). A methodology to assess the morphological change of a multilevel beach cusp system and their hydrodynamics: case study of Long Strand, Ireland. *Journal of Coastal Research*, 95(SI), 593–598.
- Putra, H., & Arifin, M. (2018). Coastal Dynamics and Mitigation Measures: A Case Study on Pantai Utara Java. In *Journal of Coastal Engineering* (Vol. 13, Issue 3, pp. 175–190).
- Rahman, T., & Kurniawan, H. (2017). The Role of Revetment in Controlling Coastal Erosion in Sumatra's Western Coastline. In *Marine Science and Engineering Journal* (Vol. 12, Issue 3, pp. 175–188).
- Rusdiansyah, R., Ardiansyah, Y., & Noor, A. (2013). Hydrodynamic Modeling for Coastal Protection in Indonesian Coastal Cities. In *International Journal of Oceanography* (Vol. 8, Issue 1, pp. 88–95).
- Setyawan, D., & Noor, A. (2015). Coastal Protection through Revetment and Groin Structures in Central Java. In *Journal of Coastal and Oceanic Engineering* (Vol. 11, Issue 4, pp. 289–298).
- Sundar, V., Sannasiraj, S. A., Murali, K., & Singaravelu, V. (2023). Impact of coastal structure on shorelines along the southeast and southwest coasts of India. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 29(5), 592–610.

- Suryanto, W. (2017). Coastal Erosion Management and the Role of Revetment Structures in Indonesian Archipelago. In *Marine and Coastal Management Journal* (Vol. 4, Issue 3, pp. 55–68).
- Toimil, A., Camus, P., Losada, I. J., Le Cozannet, G., Nicholls, R. J., Idier, D., & Maspataud, A. (2020). Climate change-driven coastal erosion modelling in temperate sandy beaches: Methods and uncertainty treatment. *Earth-Science Reviews*, 202, 103110.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai: Pengelolaan dan Perlindungan Pantai dari Abrasi*. Gadjah Mada University Press.
- Utama, F., & Supriadi, A. (2021). Coastal Morphodynamics and Engineering Solutions for Erosion in Indonesian Coastal Zones. In *Indonesian Journal of Marine Engineering* (Vol. 11, Issue 1, pp. 22–38).
- Yuwono, B., Setiawan, R., & Syafrudin, A. (2020). The Impact of Wave Energy on Coastal Erosion: A Study on Java's Northern Coastline. In *Journal of Coastal Studies* (Vol. 14, Issue 2, pp. 245–257).