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

T E K N O

OPEN ACCESS

Volume 24, No. 95, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Pemodelan Numerik Alternatif Bangunan Pengaman Pantai Dalam Pengendalian Abrasi Di Pantai Mahembang

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

[#]*Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]danielignasius021@student.unsrat.ac.id, [b]jeffrymamoto@student.ac.id, [c]muhammadjasin@unsrat.ac.id, [d]torry@unsrat.ac.id
[e]arthur.thambas@unsrat.ac.id, [f]cindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Mahembang yang terletak di Desa Mahembang, Kecamatan Kakas, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, mengalami permasalahan abrasi yang signifikan akibat paparan energi gelombang tinggi dari perairan Laut Maluku. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik hidrodinamika dan pola transport sedimen di Pantai Mahembang melalui pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE21, serta merumuskan rekomendasi alternatif bangunan pengaman pantai yang efektif. Simulasi dilakukan menggunakan tiga modul utama MIKE21, yaitu Flow Model (FM), Spectral Wave (SW), dan Sand Transport (ST), dengan data input berupa batimetri dari BATNAS, pasang surut dari Badan Informasi Geospasial, dan data angin dari NASA POWER periode Februari 2020. Hasil simulasi gelombang kondisi eksisting menunjukkan tinggi gelombang signifikan (Hs) berkisar 1,6-1,7 m di perairan lepas dan turun hingga 0,4 m di zona dangkal. Kecepatan arus eksisting mencapai lebih dari 0,90 m/s dengan arah dominan menuju barat daya, menyebabkan defisit sedimen masif dan penurunan elevasi dasar laut hingga -0,56 m. Berdasarkan analisis tersebut, struktur Breakwater direkomendasikan sebagai solusi mitigasi, karena mampu mereduksi Hs hingga 0,4-0,7 m di area terlindung, menurunkan kecepatan arus sebesar 66-90%, serta mendorong akresi sedimen hingga +0,24 m. Struktur ini juga tidak mengganggu estetika kawasan wisata karena posisinya di bawah permukaan air.

Kata kunci: abrasi pantai, MIKE21, pemodelan numerik, bangunan pengaman, transport sedimen

1. Pendahuluan

Wilayah pesisir pantai memiliki peran yang sangat penting baik dari segi ekonomi, sosial, maupun dalam sektor pariwisata. Pantai sering dimanfaatkan sebagai kawasan pemukiman, pariwisata, perikanan, hingga transportasi laut. Namun demikian, kawasan pesisir rentan terhadap berbagai permasalahan yang disebabkan oleh alam, salah satunya adalah abrasi pantai. Abrasi merupakan proses pengikisan garis pantai akibat aktivitas gelombang laut, arus, dan pasang surut yang secara terus-menerus menyerang daratan. Jika tidak dikendalikan, abrasi dapat menyebabkan berkurangnya lahan pesisir, kerusakan ekosistem, bahkan mengancam aktivitas masyarakat di sekitar pantai.

Pantai Mahembang yang terletak di Desa Mahembang, Kecamatan Kakas, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, merupakan salah satu kawasan pesisir yang mengalami permasalahan abrasi serius. Pantai ini berada di pesisir timur Minahasa dan langsung berhadapan dengan perairan Laut Maluku, sehingga sangat rentan terhadap serangan gelombang terutama pada musim angin timur. Penelitian terdahulu oleh Rompas (2021) menyatakan perlunya analisis lanjutan mengenai pergerakan sedimen dan pola arus gelombang untuk menentukan jenis bangunan pengaman pantai yang sesuai. Ratu (2024) menemukan bahwa gelombang di perairan Mahembang didominasi oleh arah Timur Laut dan Selatan, sedangkan Tampi (2023) menegaskan bahwa hantaman gelombang yang terus-menerus berpotensi mengakibatkan abrasi jika tidak ditangani.

Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini menggunakan perangkat lunak MIKE21 yang dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) guna menganalisis pola arus, pasang surut, tinggi gelombang, dan transport sedimen, baik pada kondisi eksisting maupun kondisi setelah dipasang bangunan pengaman pantai. Tujuan penelitian adalah: (1) menganalisis parameter arus, pasang surut, dan transformasi gelombang sebagai pemicu abrasi; (2) menyimulasikan interaksi energi gelombang terhadap stabilitas garis pantai; dan (3) merumuskan desain bangunan pengaman pantai yang efektif untuk mereduksi energi gelombang dan menjamin keberlanjutan morfologi kawasan pesisir Pantai Mahembang.

Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

2. Metodologi Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian terletak di Pantai Mahembang, yang terletak di Desa Mahembang, Kecamatan Kakas, Kabupaten Minahasa yang secara geografis berada 1°04'31"N 124°58'19"E

2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini hanya menggunakan data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait atau sumber terpercaya lainnya yang telah tersedia sebelumnya. Data ini digunakan mendukung dalam proses simulasi dan analisis. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- *Data Batimetri, dari Ina – Geospasial*
- Data pasang Surut, dari SIG - Badan Informasi Geospasial
- Data Angin, dari Power Dav – Nasa
- Peta dan Citra Satelit, dari Google Earth

2.3 Pengolahan Data dan Pembuatan Mesh

Garis pantai Pantai Mahembang diperoleh melalui proses digitalisasi manual menggunakan Google Earth Pro, kemudian diekspor dalam format KML. Data batimetri dikonversi ke format XYZ menggunakan Global Mapper, lalu dilakukan interpolasi menggunakan modul Mesh Generator pada MIKE ZERO untuk membentuk domain model unstructured mesh. Data angin dan pasang surut disusun dalam format time series pada MIKE Zero sesuai periode simulasi 29 hari (1–29 Februari 2020).

2.4 Konfigurasi Simulasi MIKE21

Simulasi numerik dilakukan menggunakan tiga modul terintegrasi MIKE21, yaitu: (1) Flow Model (FM) untuk memodelkan arus dan pasang surut berdasarkan persamaan Navier-Stokes yang disederhanakan dengan pertimbangan efek angin dan gaya Coriolis; (2) Spectral Wave (SW) untuk memodelkan penyebaran energi gelombang laut dengan pendekatan spektral, mencakup fenomena refraksi, shoaling, dan wave breaking; serta (3) Sand Transport (ST) untuk

memodelkan pergerakan sedimen dasar dan tersuspensi serta perubahan morfologi dasar laut. Parameter simulasi ditetapkan dengan jumlah timestep 672, interval timestep 3600 detik, dan periode simulasi 01/02/2020 hingga 29/02/2020.

Data gelombang yang digunakan dalam simulasi Spectral Wave meliputi: tinggi gelombang signifikan (Hs) di laut lepas sekitar 1,8 m, periode gelombang sekitar 7,5 detik, dan arah datang gelombang dominan dari utara dengan sudut mendekati 3,6° terhadap utara. Evaluasi efektivitas bangunan pengaman pantai dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi kondisi eksisting dan kondisi rencana.

3. Kajian Literatur

3.1 Abrasi dan Kerusakan Pantai

Kerusakan pantai dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu kerusakan alami dan buatan. Kerusakan alami meliputi naiknya ketinggian gelombang, hilangnya perlindungan pantai alami seperti mangrove dan terumbu karang, serta dampak kenaikan muka air akibat perubahan iklim global. Sedangkan kerusakan buatan disebabkan oleh perusakan ekosistem pantai secara langsung dan ketidakseimbangan transportasi sedimen akibat pembangunan infrastruktur pantai (Triatmodjo, 1999).

Transportasi sedimen pantai merupakan gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transport sedimen dibedakan menjadi dua jenis: transport tegak lurus pantai (onshore-offshore transport) dan transport sejajar pantai (longshore transport). Ketidakseimbangan antara suplai dan kehilangan sedimen menjadi penyebab utama terjadinya abrasi pada suatu kawasan pantai.

3.2 MIKE21 untuk Pemodelan Pantai

MIKE21 merupakan perangkat lunak simulasi numerik dua dimensi yang dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) yang telah banyak digunakan dalam studi teknik pantai. Imran dkk. (2023) memodelkan arus dan gelombang di Teluk Kwandang menggunakan MIKE21 FM dan SW, dengan hasil yang menunjukkan bahwa kombinasi kedua modul tersebut efektif menggambarkan pola arus dan gelombang, serta membantu mengidentifikasi area rawan sedimentasi dan abrasi.

Suyanto dkk. (2024) melakukan validasi kecepatan arus hasil simulasi MIKE21 terhadap data lapangan di sekitar bangunan groin dan mendapatkan selisih rata-rata 6,3%, yang menunjukkan model cukup akurat untuk perencanaan teknis struktur pantai. Wibowo (2020) juga membuktikan efektivitas MIKE21 di Muara Sungailiat, di mana laju sedimentasi berkurang drastis dari 2,75 m/tahun menjadi 0,0377 m/tahun setelah penempatan jetty berdasarkan rekomendasi simulasi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Area Penelitian dan Data Hidrodinamika

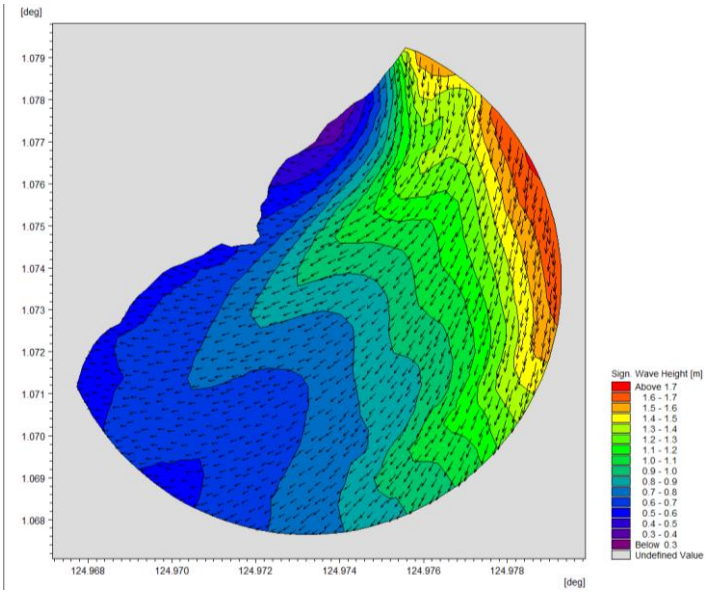
Pantai Mahembang merupakan wilayah pesisir dengan karakteristik geomorfologi berupa pantai terbuka dan topografi dasar laut yang relatif landai. Perairan terbuka memaparkan kawasan ini pada energi gelombang tinggi secara berkelanjutan. Berdasarkan data pasang surut periode Februari 2020, fluktuasi muka air berkisar antara -0,8 m hingga +0,8 m dari muka air rata-rata, mengindikasikan tipe pasang surut campuran condong harian ganda yang umum dijumpai di perairan Sulawesi Utara (Korto dkk., 2015).

Data angin yang digunakan dalam simulasi bersumber dari NASA POWER untuk periode Februari 2020. Kecepatan angin tertinggi tercatat pada tanggal 03/02/2020 sebesar 10,8 m/s dengan arah 3,6°, yang digunakan sebagai kondisi ekstrem dalam simulasi untuk memperkirakan dampak kejadian angin maksimum terhadap pola gelombang dan arus di lokasi penelitian.

Gambar 2 Area Penelitian Pantai Mahembang Berdasarkan Citra Satelit (Sumber: Google Earth, 2024)

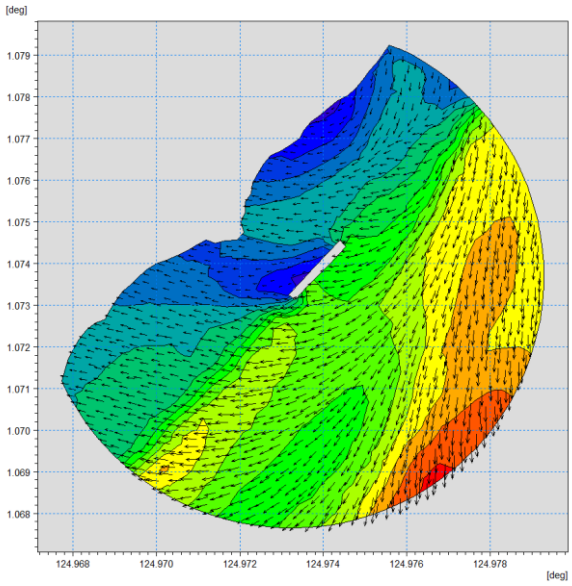
4.2 Analisis Hasil Simulasi Gelombang

Pemodelan gelombang dilakukan menggunakan modul Spectral Wave (SW) dari MIKE21 untuk menganalisis karakteristik propagasi gelombang dengan mempertimbangkan fenomena refraksi, shoaling, wave breaking, serta interaksi dengan batimetri setempat.



Gambar 3. Simulasi Gelombang Kondisi Eksisting di Pantai Mahembang

Hasil simulasi gelombang pada kondisi eksisting menunjukkan bahwa kondisi gelombang di perairan lepas memiliki energi cukup tinggi, ditandai dengan nilai Hs berkisar antara 1,6 hingga 1,7 m (ditunjukkan warna merah hingga oranye pada peta). Pola arah rambat gelombang memperlihatkan perambatan dari arah timur laut ke arah barat dengan terjadinya refraksi yang mengikuti kontur kedalaman laut. Terjadi penurunan tinggi gelombang yang signifikan dari area laut dalam (Hs > 1,6 m) menuju area yang lebih dangkal (Hs < 0,4 m) akibat proses shoaling dan wave breaking.

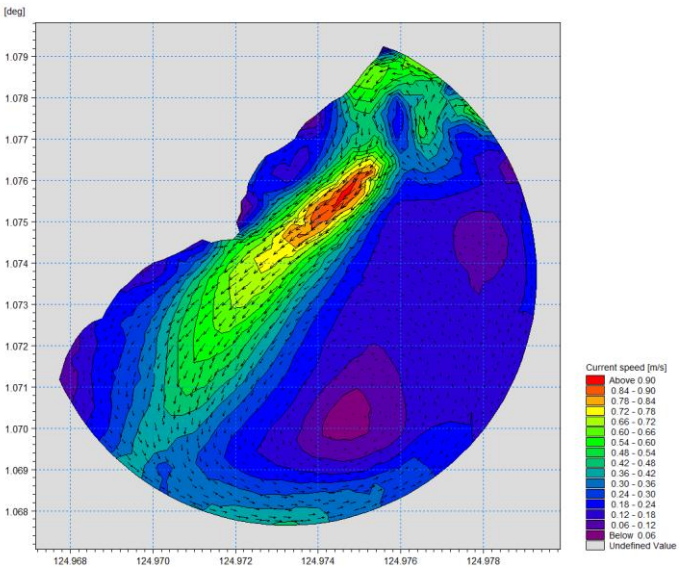


Gambar 4. Simulasi Gelombang Kondisi Rencana

Pada kondisi rencana (dengan breakwater), analisis menunjukkan perubahan signifikan pada pola transformasi gelombang. Penempatan struktur berhasil menciptakan zona lindung (sheltered area) di sisi belakang bangunan yang ditandai dengan gradasi warna dari kuning-hijau menjadi biru tua. Struktur tersebut terbukti efektif mereduksi energi gelombang dengan nilai Hs di area terlindung mencapai rentang 0,4–0,7 m. Fenomena difraksi di sekitar ujung struktur juga terlihat, di mana gelombang mengalami pembelokan arah saat melewati rintangan dan masuk ke area terlindung dengan intensitas energi yang telah melemah.

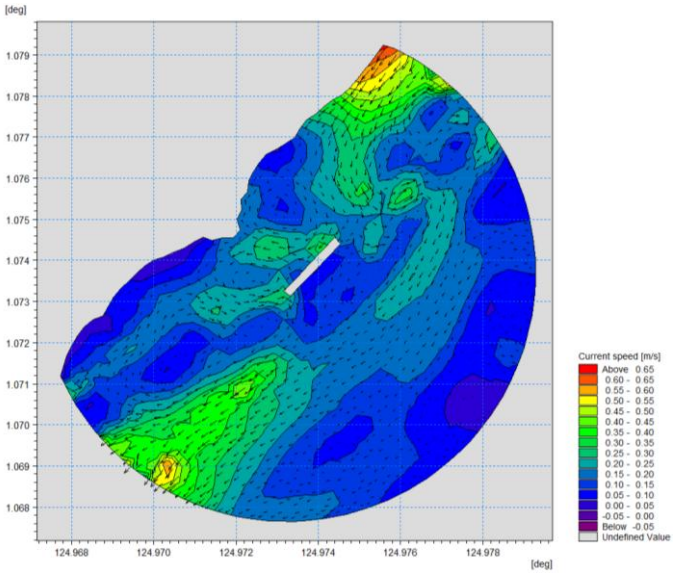
4.3 Analisis Hasil Simulasi Arus

Analisis arus dilakukan melalui integrasi modul FM (Flow Model) dan SW (Spectral Wave) untuk menghasilkan proyeksi kecepatan arus permukaan serta pola pergerakan di lokasi studi.



Gambar 5. Simulasi Arus Kondisi Eksisting

Hasil simulasi arus kondisi eksisting menunjukkan pergerakan massa air yang sangat kuat meninggalkan area pantai menuju laut lepas ke arah Barat Daya. Kecepatan arus mencapai nilai ekstrem lebih dari 0,90 m/s, yang ditandai dengan dominasi warna merah tua pada koridor utama. Pola vektor arus menunjukkan adanya tarikan massa air yang seragam dan terkonsentrasi, menciptakan gaya gerus yang besar dan mengindikasikan asimetri kecepatan arus yang signifikan.



Gambar 6. Simulasi Arus Kondisi Rencana

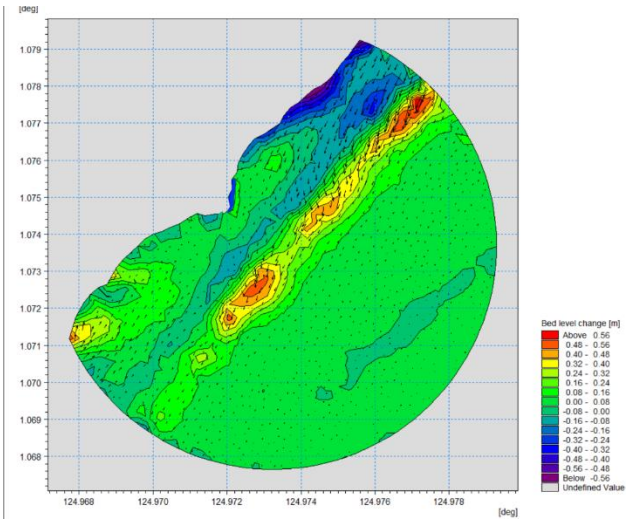
Dengan adanya bangunan pengaman, distribusi kecepatan arus di sekitar Pantai Mahembang menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Kecepatan arus di area pesisir dan di belakang struktur mengalami reduksi tajam, dengan nilai kecepatan dominan berada pada rentang 0,05–0,15 m/s. Hal ini membuktikan bahwa struktur breakwater berfungsi efektif sebagai penghalang yang meredam energi kinetik massa air. Tabel 1 merangkum perbandingan parameter kecepatan arus pada kedua kondisi.

Tabel 1. Perbandingan Parameter Kecepatan Arus Kondisi Eksisting dan Rencana

Lokasi Pengamatan	Kondisi Eksisting (Tanpa Struktur)	Kondisi Dengan Struktur Pengaman	Reduksi (%)
Arus di Garis Pantai	0,60 - 0,75 m/s	0,10 - 0,20 m/s	66% - 85%
Area Depan Struktur	0,45 - 0,55 m/s	0,05 - 0,10 m/s	77% - 90%

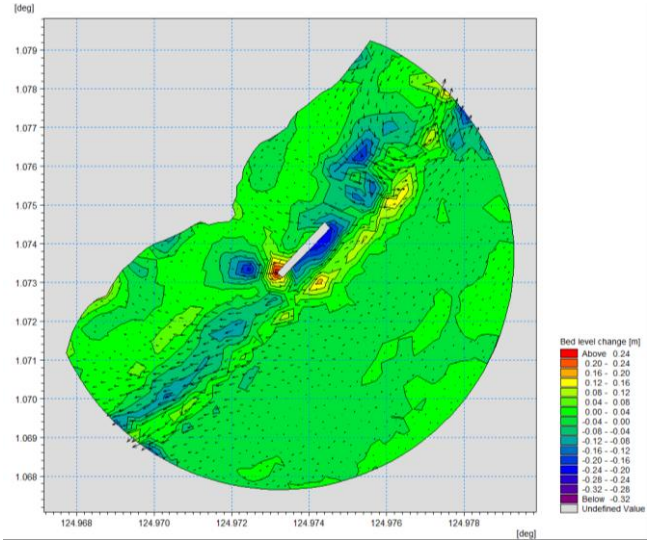
4.4 Analisis Hasil Pemodelan Sedimentasi

Hasil pemodelan sedimentasi menggunakan modul Sand Transport (ST) pada MIKE21 menunjukkan dinamika perubahan dasar laut (bed level change) yang sangat dipengaruhi oleh fluktuasi arus pasang surut di pesisir pantai.



Gambar 7. Pemodelan Sedimentasi Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting, simulasi menunjukkan bahwa transportasi sedimen dominan bergerak menyusur pantai (longshore sediment transport) dan tegak lurus pantai (cross-shore transport) seiring pergerakan massa air. Zona pengikisan (abrasi) terlihat jelas pada sisi utara dan beberapa titik di sepanjang garis pantai, dengan penurunan elevasi dasar laut mencapai -0,32 m hingga -0,56 m. Arus balik (backwash) yang kuat menarik material sedimen dari bibir pantai menuju laut lepas, mengakibatkan defisit sedimen secara kontinu. Hasil ini mengonfirmasi bahwa fenomena abrasi di lokasi penelitian dipicu oleh ketidakseimbangan antara suplai sedimen yang masuk dengan besarnya material yang terbawa keluar oleh arus surut.



Gambar 8. Pemodelan Sedimentasi Kondisi Rencana

Pada kondisi rencana (dengan breakwater), pola transportasi sedimen mengalami perubahan akibat adanya struktur pelindung. Pergerakan sedimen yang sebelumnya bergerak bebas mengikuti arus sepanjang pantai menjadi lebih terhambat sehingga sebagian sedimen tertahan di sekitar area bangunan. Zona pengendapan ditunjukkan oleh warna kuning hingga merah dengan kenaikan elevasi dasar mencapai lebih dari +0,24 m. Kondisi ini menyebabkan distribusi sedimen di garis pantai menjadi lebih stabil dibandingkan kondisi tanpa bangunan.

Tabel 2. Perbandingan Sedimentasi Kondisi Eksisting dan Kondisi Rencana

No.	Parameter Analisis	Kondisi Eksisting (Tanpa Bangunan)	Kondisi Rencana (Dengan Bangunan)	Dampak Terhadap Pantai
1	Pola Distribusi Sedimen	Transportasi sedimen bergerak bebas secara linier mengikuti garis pantai.	Arus terhalang struktur, kecepatan menurun, sedimen mengendap di sekitar bangunan.	Sedimen lebih tertahan di area pantai.
2	Perubahan Elevasi Maksimum	Penurunan dasar laut -0,32 m hingga -0,56 m.	Kenaikan dasar laut (akresi) mencapai +0,24 m.	Perubahan positif morfologi dasar.
3	Intensitas Penggerusan	Tinggi akibat energi arus dan gelombang langsung.	Lebih rendah karena energi arus tereduksi.	Pengurangan abrasi signifikan.
4	Dampak Morfologi	Garis pantai cenderung mundur akibat defisit sedimen.	Garis pantai cenderung stabil atau progradasi di area terlindungi.	Stabilitas pantai meningkat.
5	Fungsi Perlindungan	Tidak ada perlindungan struktur.	Meredam energi arus dan gelombang, mengurangi abrasi.	Pantai terlindungi.

4.4 Rekomendasi Teknis Bangunan Pengaman Pantai

Berdasarkan analisis mendalam terhadap hasil pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen, teridentifikasi adanya fenomena abrasi yang signifikan di Pantai Mahembang. Jenis

bangunan yang direkomendasikan adalah Breakwater (pemecah gelombang), dengan alasan utama sebagai berikut:

1. Efektivitas Reduksi Energi: Struktur ini mampu mereduksi tinggi gelombang datang sebelum mencapai bibir pantai tanpa mengganggu sirkulasi air laut secara total.
2. Mitigasi Abrasi: Berfungsi menurunkan kecepatan arus surut, sehingga material dasar tidak mudah terbawa keluar dari sistem pesisir.
3. Preservasi Estetika Wisata: Pantai Mahembang merupakan kawasan wisata; breakwater bawah permukaan air tidak menghalangi pandangan visual ke arah laut sehingga tidak mengurangi nilai estetika kawasan (Azhar dkk., 2011).

5. Kesimpulan

Penerapan pemodelan numerik menggunakan MIKE21 memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi hidrodinamika di Pantai Mahembang. Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan: (1) Karakteristik gelombang kondisi eksisting menunjukkan Hs berkisar 1,6–1,7 m di perairan lepas dan menurun menjadi 0,4 m di zona dangkal akibat proses shoaling dan wave breaking; (2) Kecepatan arus eksisting mencapai lebih dari 0,90 m/s ke arah Barat Daya, menyebabkan defisit sedimen masif dengan penurunan elevasi dasar laut hingga -0,56 m; (3) Struktur breakwater yang direkomendasikan mampu mereduksi Hs sebesar 0,4–0,7 m di area terlindung, menurunkan kecepatan arus sebesar 66–90%, dan mendorong akresi sedimen hingga +0,24 m; serta (4) Struktur ini tidak mengganggu estetika kawasan wisata karena posisinya di bawah permukaan air.

Penelitian ini merekomendasikan studi lanjutan yang mencakup pengembangan skenario pemodelan dengan variasi dimensi dan tata letak bangunan pengaman, analisis kestabilan struktur terhadap beban gelombang ekstrem, pengambilan sampel sedimen lapangan yang lebih representatif, serta penyusunan Rencana Anggaran Biaya secara mendetail sebelum tahap konstruksi dilaksanakan.

Referensi

Azhar, R. M., Wurjanto, A., & Yuanita, N. (2011). Studi pengamanan pantai tipe pemecah gelombang tenggelam di pantai Tanjung Kait. Jurnal Program Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air, 10(1), 1–22.

Imran, N. (Rahman, N.R.A.). (2023). Pemodelan arus dan gelombang di Teluk Kwandang menggunakan MIKE21 FM dan SW. Jurnal Teknik Kelautan Indonesia, 15(2), 88–97.

Jasin, M. I., & Jansen, T. (2019). Analisis pasang surut pada daerah pantai Tobololo kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. Jurnal Sipil Statik, 7(11), 1515–1526.

Jokowinarno, D. (2012). Kajian hidro-oseanografi pasang surut dan arus pasang surut dalam pengembangan infrastruktur pelabuhan di Teluk Lampung. Jurnal Rekayasa, 16(2), 133–142.

Korto, J., Jasin, M. I., & Mamoto, J. D. (2015). Analisis pasang surut di Pantai Nuangan (Desa Iyok) Boltim dengan metode admiralty. Jurnal Sipil Statik, 3(6), 391–402.

Ratu, Y. A., Moningka, F. M., & Thambas, A. H. (2024). Studi arus retas di Pantai Mahembang, Kecamatan Kakas, Kabupaten Minahasa. TEKNO, 22(88), 935–947.

Rompas, N. F., Jasin, M. I., & Tawas, H. J. (2022). Analisis pasang surut di Pantai Mahembang Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. Jurnal Sipil Statik, 10(1), 1–12.

Sarita, R. (2023). Pemodelan sedimentasi di Bintan menggunakan MIKE21 FM dan validasi. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 8(1), 45–56.

Suyanto, M. C. W. (2024). Validasi kecepatan arus hasil simulasi MIKE21 terhadap data lapangan di sekitar bangunan groin PT. Boddia Galesong Jaya. Jurnal Teknik Pantai Indonesia, 12(1), 22–33.

Tampi, S. Q., Tawas, H. J., & Tangkudung, N. J. (2023). Analisis sistem pantai di Kabupaten Minahasa. TEKNO, 21(86), 2091–2100.

Triatmodjo, B. (1999). Teknik Pantai. Beta Offset: Yogyakarta.

Wahyudi, A. (2022). Perbandingan dua desain jetty di Muara Batang menggunakan MIKE21 SW dan ST. Jurnal Teknik Kelautan, 14(3), 112–121.

Wibowo, A. (2020). Pemodelan sedimentasi di Muara Sungailiat menggunakan MIKE21. Jurnal Rekayasa Sipil, 14(2), 78–87.