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

T E K N O

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

Model Sedimentasi Di Muara Sungai Girian Kota Bitung

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

[#]*Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]eilyrumondor021@student.unsrat.ac.id, [b]arthur.thambas@unsrat.ac.id, [c]jeffrymamoto@student.ac.id
[d]torry@unsrat.ac.id, [e]muhammadjasin@unsrat.ac.id, [f]cindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Muara Sungai Girian di Kota Bitung, merupakan kawasan yang mengalami permasalahan sedimentasi akibat interaksi antara debit aliran sungai, gelombang laut, dan arus sejajar pantai (longshore current). Akumulasi sedimen yang terjadi secara terus-menerus menyebabkan pendangkalan pada mulut muara sehingga berpotensi mengganggu fungsi hidraulik dan aktivitas di kawasan pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola sedimentasi di Muara Sungai Girian menggunakan pemodelan numerik serta menentukan alternatif bangunan pengaman pantai yang efektif dalam mengendalikan sedimentasi. Metode penelitian menggunakan perangkat lunak MIKE 21 dengan mengintegrasikan modul Flow Model (FM), Spectral Wave (SW), dan Sand Transport (ST). Data sekunder yang digunakan meliputi data batimetri, pasang surut, angin, dan citra satelit. Simulasi dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi eksisting tanpa bangunan dan kondisi rencana dengan pemasangan sepasang jetty asimetris, kemudian hasil kedua kondisi dibandingkan berdasarkan pola gelombang, arus, dan distribusi transpor sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimentasi di Muara Sungai Girian dipengaruhi secara dominan oleh interaksi gelombang laut dan arus sejajar pantai yang mengangkut sedimen menuju mulut muara. Pada kondisi rencana, keberadaan jetty mampu mengarahkan aliran sungai menuju laut, meningkatkan kecepatan arus di antara bangunan, serta mengurangi akumulasi sedimen di alur muara dibandingkan kondisi eksisting. Dengan demikian, bangunan jetty dinilai sebagai alternatif yang efektif untuk mengendalikan sedimentasi di Muara Sungai Girian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan bangunan pengaman pantai dan pengelolaan wilayah muara secara berkelanjutan.

Kata kunci: sedimentasi, MIKE21, pemodelan numerik, bangunan pengaman, transport sedimen

1. Pendahuluan

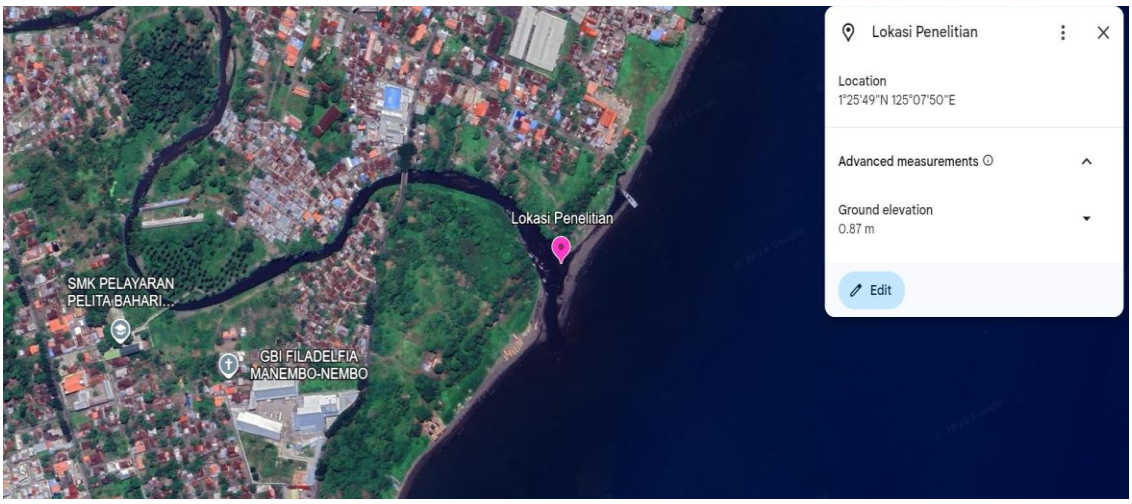
Daerah pesisir dan muara sungai merupakan ekosistem yang sangat dinamis, interaksi antara daratan dan lautan membentuk kondisi fisik dan biologis yang unik. Wilayah Pantai berperan sebagai zona transisi krusial yang tidak hanya menjadi batas geografis, tetapi juga sebagai pusat kegiatan ekonomi dan sosial. Salah satu bentang alam paling dominan di wilayah ini adalah muara sungai, yaitu tempat bertemunya air tawar dari daratan dengan air laut. Muara adalah area yang sangat rentan terhadap perubahan, baik yang disebabkan oleh faktor alam maupun aktivitas manusia di daerah muara.

Muara Sungai Girian di Kota Bitung, Sulawesi Utara, adalah contoh nyata dari kompleksitas dinamika tersebut. Sebagai salah satu sungai utama di Kota Bitung, Sungai Girian memainkan peran penting dalam sistem drainase perkotaan. Namun, aktivitas pembangunan di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) telah meningkatkan volume sedimen yang terbawa oleh aliran sungai.

Oleh karena itu, diperlukan analisis hidrodinamika dan simulasi numerik untuk memahami pengaruh gelombang terhadap sedimentasi sehingga dapat ditentukan alternatif bangunan pengaman pantai yang efektif dalam mengendalikan proses tersebut.

Metode pemodelan numerik dilakukan untuk mengetahui interaksi yang terjadi antara arus, gelombang, dan sedimen sehingga dapat memperkirakan sedimentasi yang terjadi dalam periode

waktu tertentu. Software yang dapat dimanfaatkan adalah MIKE21 yang dirancang oleh *Danish Hydaulic Institute (DHI) of Water and Environment.* Software tersebut menghasilkan model dua dimensi yang menunjukan analisis hidrodinamika, sehingga dapat memberikan gambaran tentang proses sedimentasi yang terjadi di pantai dan muara. Dengan itu, bisa menunjang pembuatan desain bangunan pengaman pantai untuk mencegah terjadinya sedimentasi yang berkelanjutan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

2. Metodologi Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian terletak di Muara Sungai Girian, yang terletak di Kota Bitung, Sulawesi Utara yang secara geografis berada 1°25’49”N 125°07’50”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.

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 interval timestep 3600 detik, dan periode simulasi 01/02/2020 hingga 29/02/2020 dan 01/08/2023 hingga 31/08/2023.

Data gelombang yang digunakan dalam simulasi Spectral Wave meliputi: tinggi gelombang signifikan (Hs) di laut lepas sekitar 1,4 m pada Februari 2020 dan 1,8 m pada Agustus 2023, periode gelombang sekitar 6,6 – 6,7 detik, dan arah datang gelombang dominan dari arah Timur Laut menuju ke Barat Daya pada Februari 2020, sedangkan dari Selatan ke Utara pada Agustus. 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.

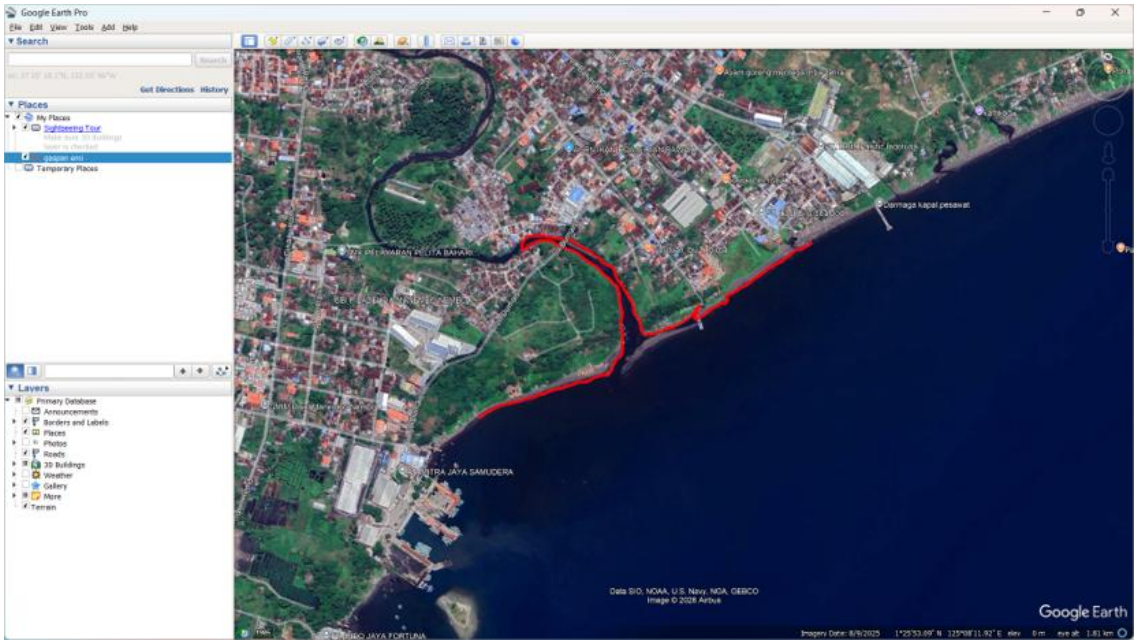
Suyanto dkk. (2024) melakukan validasi kecepatan arus hasil simulasi MIKE21 terhadap data lapangan di sekitar bangunan groin dan mendapatkan selisih rata-rata 6,3%, yang menunjukkan model cukup akurat untuk perencanaan teknis struktur pantai. Wibowo (2020) juga membuktikan efektivitas MIKE21 di Muara 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).

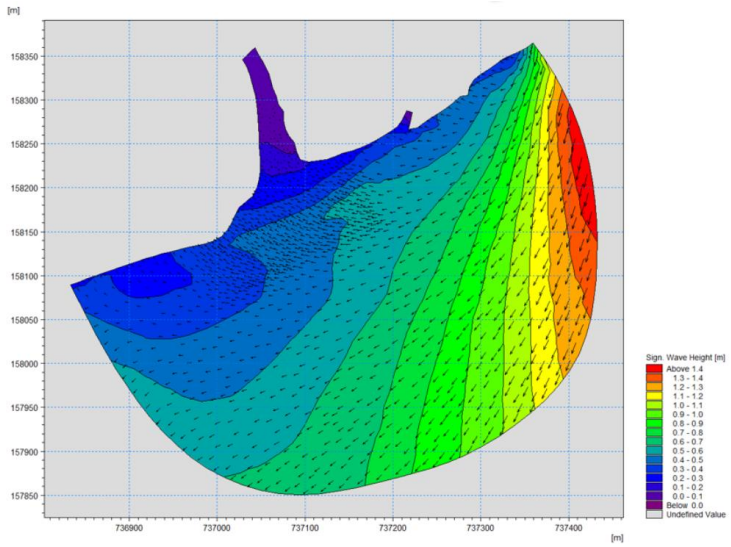
Data angin yang digunakan dalam simulasi bersumber dari NASA POWER untuk periode Februari 2020. Kecepatan angin tertinggi tercatat pada tanggal 03/02/2020 sebesar 10,53 m/s dengan arah 358,3°, yang digunakan sebagai kondisi ekstrem dalam simulasi untuk memperkirakan dampak kejadian angin maksimum terhadap pola gelombang dan arus di lokasi penelitian.



Gambar 2. Area Penelitian Muara Sungai Girian Berdasarkan Citra Satelit (Sumber: Google Earth, 2024)

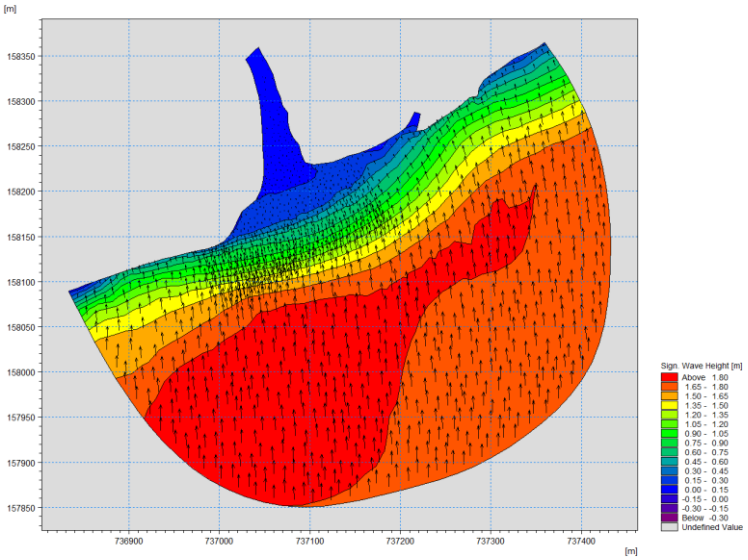
4.2 Analisis Hasil Simulasi Gelombang

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.



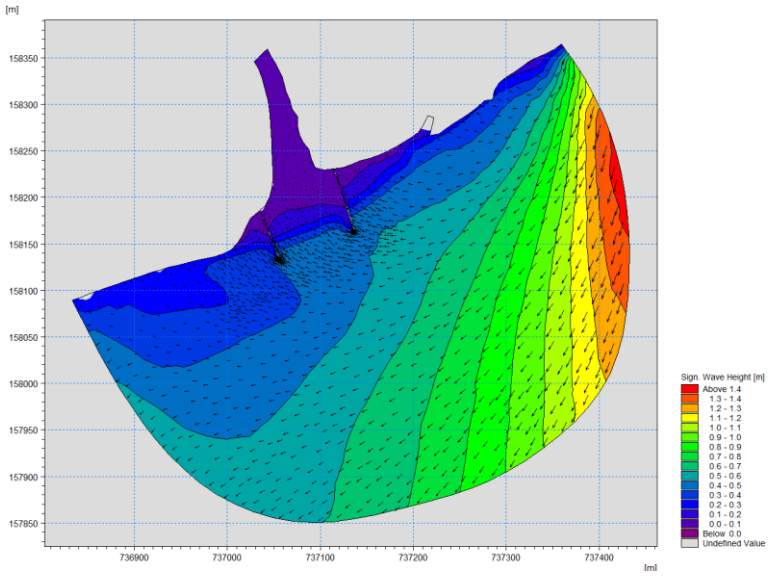
Gambar 3. Hasil Simulasi Gelombang Kondisi Eksisting pada Februari 2020

Hasil simulasi gelombang kondisi eksisting pada Februari 2020 menunjukkan bahwa kondisi gelombang di perairan lepas memiliki energi cukup tinggi, ditandai dengan nilai Hs berkisar antara 1,4 meter di laut lepas (ditandai warna merah hingga oranye pada peta). Sudut datang gelombang yang miring terhadap garis pantai membangkitkan arus menyusuri pantai (longshore current) kemudian menuju mulut muara tanpa adanya hambatan struktural. Terjadi penurunan tinggi gelombang yang signifikan dari area laut dalam (Hs > 1,3 m) menuju area yang lebih dangkal (Hs < 0,6 m).



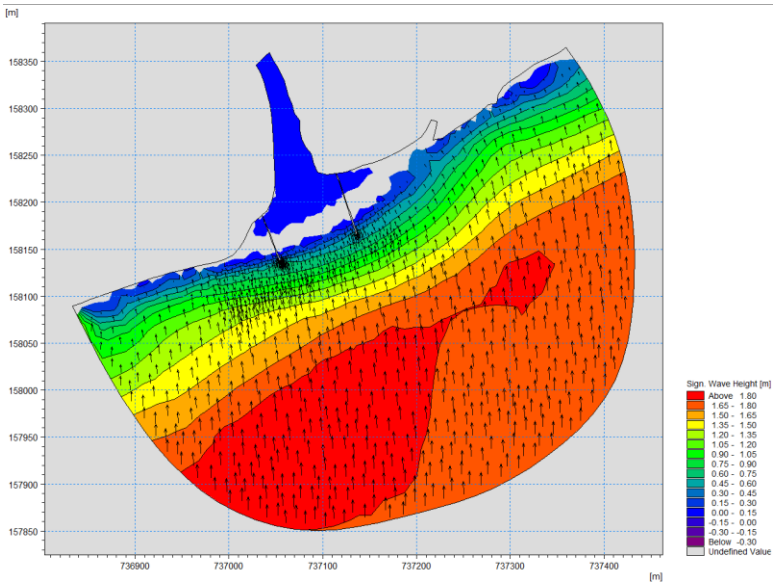
Gambar 4. Hasil Simulasi Gelombang Kondisi Eksisting pada Agustus 2023

Hasil simulasi gelombang kondisi eksisting pada Agustus 2023 menunjukan bahwa kondisi gelombang di perairan lepas menunjukan angka yang cukup tinggi dengan nilai Hs berkisar 1,8 meter di laut lepas (ditandai warna merah hingga oranye pada peta). Sudut datang gelombang yang menyusuri garis pantai membangkitkan arus menyusuri pantai (longshore current) kemudian menuju mulut muara tanpa adanya hambatan struktural. Hal ini menyebabkan terjadinya transpor sedimen sejajar pantai (longshore sediment transport). Terjadi proses penurunan tinggi gelombang yang signifikan dari area laut dalam (warna merah, Hs > 1,8 m) menuju area yang lebih dangkal di mulut muara (warna hijau hingga biru, Hs < 0,15 m)



Gambar 5. Hasil Simulasi Gelombang dengan Kondisi Rencana (dengan Jetty) pada Februari 2020

Pada kondisi rencana (dengan jetty) pada Februari 2020, analisis menunjukan perubahan signifikan pada pola transformasi gelombang. Penempatan struktur berhasil menciptakan zona lindung (sheltered area) pada mulut muara yang ditandai dengan warna biru yang menunjukan tinggi gelombang berkisar 0,1 – 0,3 m. Vektor gelombang juga menunjukan terjadi pembelokkan di daerah dinding luar jetty sebelah kanan. Hal ini menjelaskan secara visual bahwa arah energi gelombang terhalang oleh jetty sebelah kanan yang secara teoritis dapat memicu sedimen terakumulasi pada sisi luar jetty, tidak menghalangi alur muara.

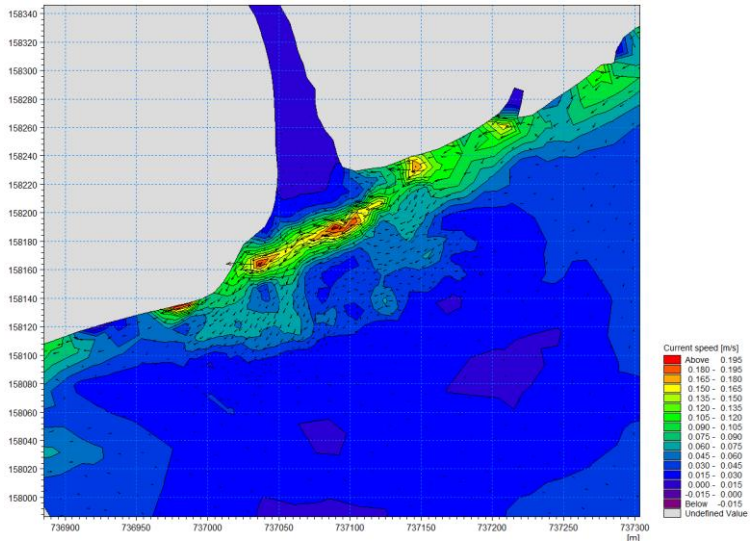


Gambar 6. Hasil Simulasi Gelombang dengan Kondisi Rencana (dengan Jetty) pada Agustus 2023

Pada kondisi rencana (jetty) pada Agustus 2023, analisis menunjukkan perubahan signifikan pada pola transformasi gelombang yang disebabkan oleh penempatan struktur, area berwarna biru di mulut muara menjadi lebih luas, menunjukan tinggi gelombang di antara jetty menurun menjadi < 0,15 m. Distribusi vektor gelombang memperlihatkan adanya konsentrasi dan pembelokan arah gelombang pada ujung struktur jetty. Fenomena ini mengindikasikan terjadinya difraksi gelombang yang menyebabkan redistribusi energi di sekitar bangunan. Zona dengan tinggi gelombang yang lebih kecil di belakang jetty menunjukkan terbentuknya daerah terlindung (sheltered zone). Kondisi tersebut berpotensi mengurangi kemampuan gelombang dalam mengangkut sedimen sejajar pantai yang menutup alur muara.

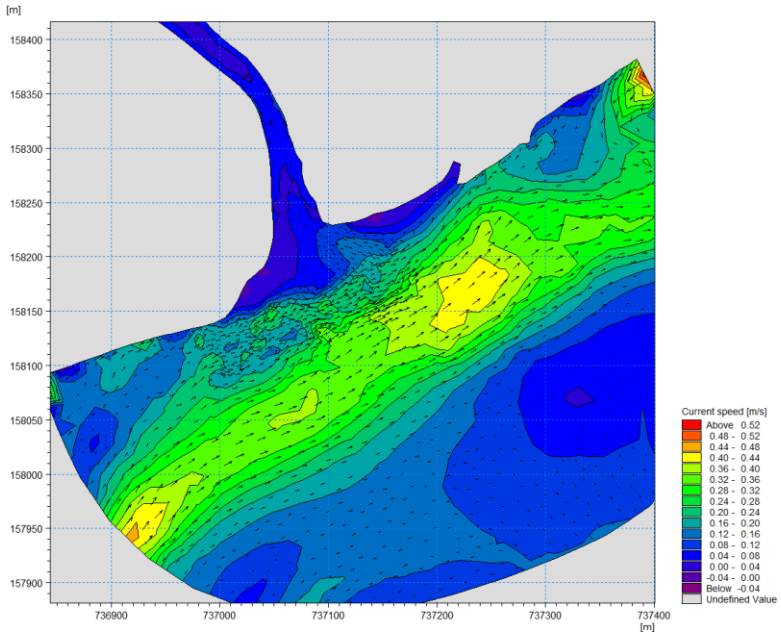
4.3 Analisis Hasil Simulasi Arus

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.



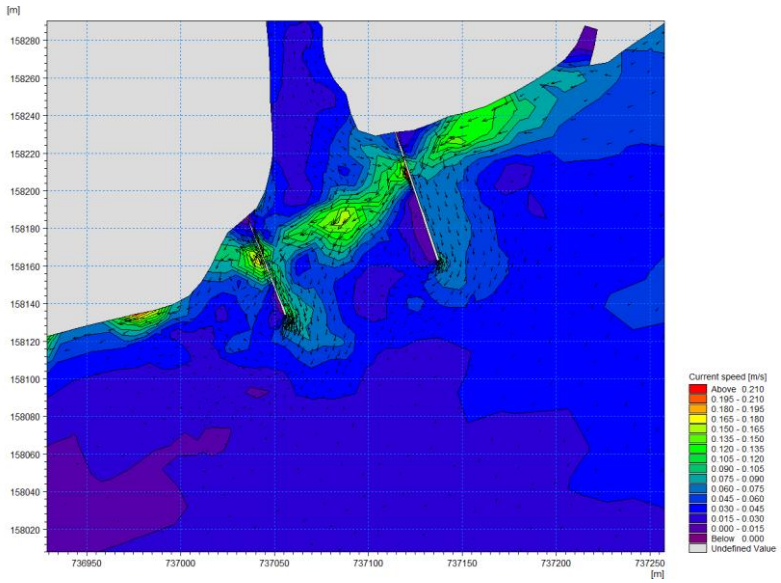
Gambar 7. Hasil Simulasi Arus Kondisi Eksisting pada Februari 2020

Hasil simulasi arus kondisi eksisting pada Februari 2020 menunjukkan pergerakan air dengan kecepatan > 0,195 m/s dengan arah tidak teratur yang ditandai dengan dominasi warna merah tua pada koridor utama. Potensi pendangkalan muara sungai menjadi tinggi karena adanya arus balik akibat pasang tinggi yang memperlambat laju air keluar dari muara.



Gambar 8. Hasil Simulasi Arus Kondisi Eksisting pada Agustus 2023

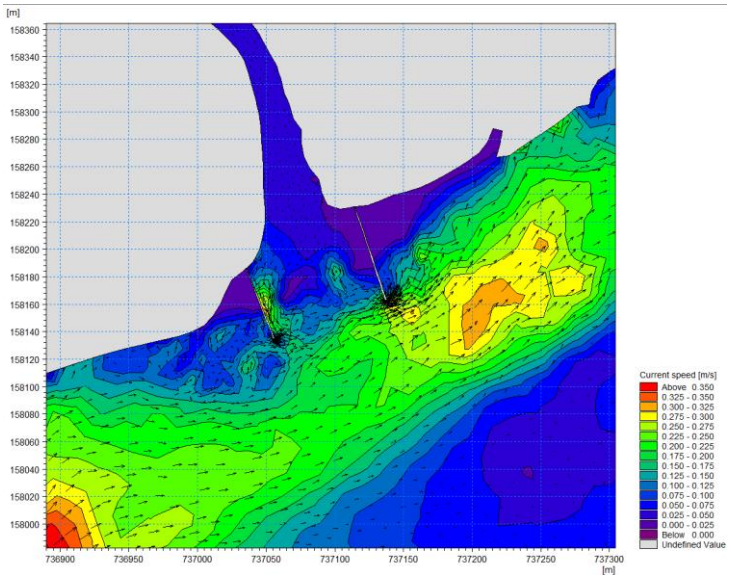
Hasil simulasi arus kondisi eksisting pada Agustus 2023 menunjukkan pergerakan arus dengan kecepatan > 0,24 m/s dengan arah tidak teratur yang ditandai dengan dominasi warna hijau kekuningan pada koridor utama. Potensi pendangkalan muara sungai menjadi tinggi karena adanya arus balik akibat pasang tinggi yang memperlambat laju air keluar dari muara.



Gambar 9. Hasil Simulasi Arus dengan Bangunan Pengaman pada Februari 2020

Hasil simulasi kondisi rencana dengan adanya bangunan pengaman pada Februari 2020, menunjukan distribusi kecepatan arus di mulut muara mengalami perubahan yang signifikan. Jetty menyebabkan aliran menjadi lebih terarah dan terkonsentrasi pada celah antara kedua jetty. Nilai kecepatan maksimum meningkat menjadi > 0,210 m/s. Sebaran arus ke samping berkurang, sehingga aliran mengangkut sedimen langsung menuju ke arah laut lepas.

Hasil simulasi arus Agustus 2023 menujukan bahwa struktur jetty menyebabkan aliran menjadi lebih terarah dan terkonsentrasi pada celah di antara jetty. Nilai kecepatan maksimum meningkat menjadi sekitar > 0,25 m. Sebaran arus ke samping berkurang. Hal ini membuktikan bahwa struktur jetty berfungsi efektif. Tabel 1 merangkum perbandingan parameter kecepatan arus pada kedua kondisi.



Gambar 10. Hasil Simulasi Arus dengan Struktur Jetty pada Agustus 2023

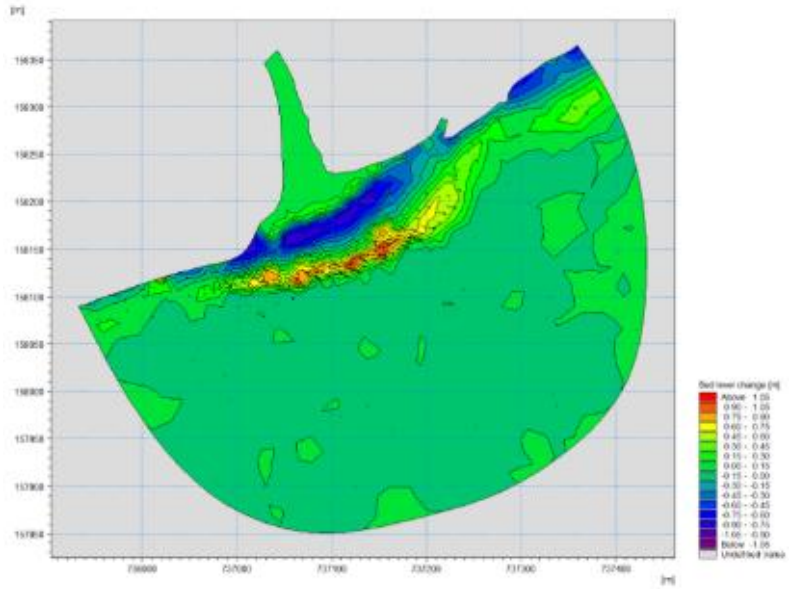
Tabel 1. Perbandingan Parameter Kecepatan Arus Kondisi Eksisting dan Rencana

Parameter Analisis	Kondisi Eksisting (m/s)	Kondisi Rencana (m/s)
Arus di Garis Pantai	0,05 – 0,195 (Februari 2020) 0,08 – 0,24 (Agustus 2023)	0,05 – 0,210 (Februari 2020) 0,075 – 0,25 (Agustus 2023)
Lokasi Kecepatan Arus Tertinggi dan pola Aliran	Menyebar mengikuti bentuk alami garis pantai	Aliran fokus mengikuti alur celah antara kedua jetty

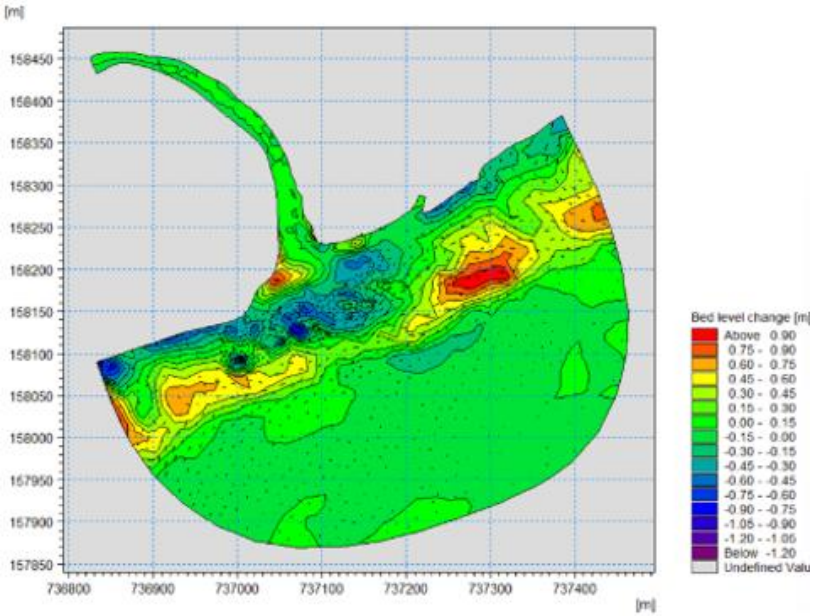
4.4 Analisis Hasil Pemodelan Sedimentasi

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. Pada kondisi eksisting februari 2020, hasil model menunjukan adanya akumulasi sedimen yang signifikan membentuk formasi sandbar di mulut muara. Warna kuning hingga merah yang mengindikasikan pengendapan sedimen hingga > 1,05 meter. Sedimen yang tertahan di mulut muara, membentuk endapan yang dapat menggangu alur transport air dan mempercepat proses pendangkalan.

Pada kondisi eksisting Agustus 2023, Area sedimentasi ditunjukkan oleh warna hijau hingga merah dengan perubahan elevasi dasar berkisar antara 0,15 m - 0,90 m. Zona sedimentasi terlihat pada mulut muara dan beberapa bagian pantai di sekitar muara.

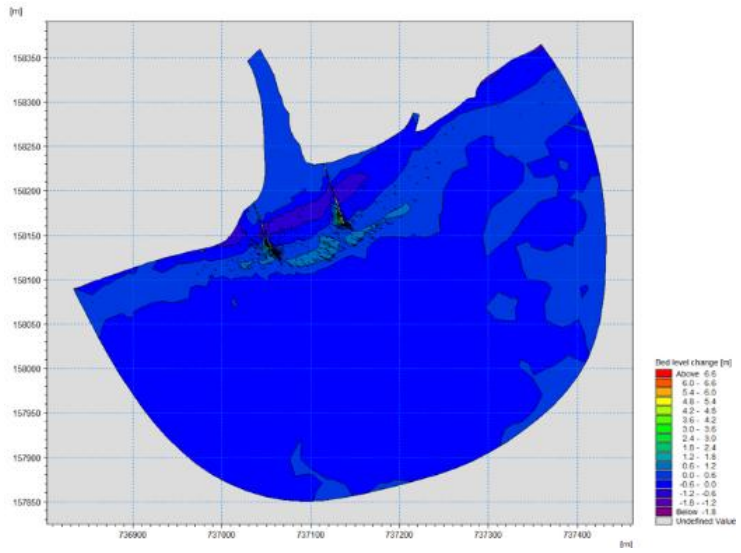


Gambar 11. Pemodelan Sedimentasi Kondisi Eksisting pada Februari 2020

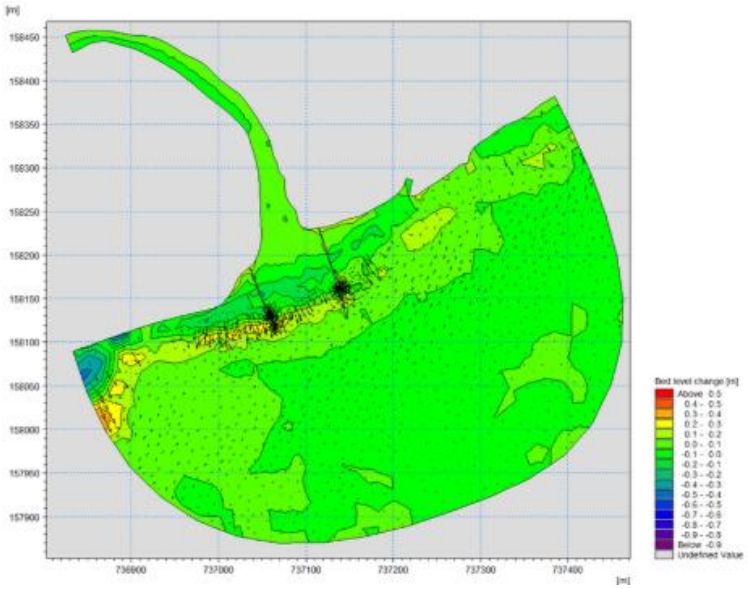


Gambar 12. Pemodelan Sedimentasi Kondisi Eksisting pada Agustus 2023

Pada kondisi rencana Februari 2020, kawasan alur muara dominan berwarna biru, menunjukan terjadi pengerukan alami elevasi dasar sebesar - 0,6 m. Hal ini terjadi karena penyempitan saluran oleh dua jetty berhasil mengosentrasikan aliran sungai, meningkatkan kecepatan arus keluar, dan menciptakan efek flushing yang menggerus endapan sedimen yang ada dalam alur.



Gambar 13. Elevasi Dasar pada Kondisi Eksisiting



Gambar 14. Elevasi Dasar setelah Konstruksi

Tabel 2. Perbandingan Sedimentasi Kondisi Eksisting dan Kondisi Rencana

No.	Parameter Analisis	Kondisi Eksisting (Tanpa Bangunan)	Kondisi Rencana (Dengan Bangunan)
1	Pola Distribusi Sedimen	Transportasi sedimen bergerak bebas mengikuti garis pantai.	Arus diarahkan oleh jetty menuju koridor tengah sehingga distribusi sedimen lebih terkontrol dan terakumulasi pada area terlindung di belakang struktur.
2	Perubahan Elevasi Dasar	Terjadi pengendapan signifikan +1,05 m (FEB 2020) +0,90 (AGS 2023)	Dominasi perubahan elevasi negatif pada alur muara menunjukkan proses penggerusan (scouring) dan peningkatan kapasitas aliran. -0,60 m (FEB 2020) -0,30 m (AGS 2023)
3	Intensitas Penumpukan	Penumpukan sedimen terjadi cukup tinggi di area mulut muara karena sedimen terbawa langsung oleh arus dan gelombang tanpa penghalang struktur.	Penumpukan sedimen di mulut muara berkurang karena arus lebih terarah, sedangkan akumulasi sedimen terjadi di belakang jetty pada area terlindung (sheltered area).
4	Fungsi Perlindungan	Tidak ada perlindungan struktur.	Mengarahkan arus, mengurangi energi gelombang, menjaga kestabilan alur muara.

5. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijalankan, dapat disimpulkan bahwa sedimentasi yang terbentuk didominasi oleh pengaruh debit air dari sungai, yang berinteraksi dengan energi gelombang dan pola arus pasang surut.
- Area paling kritis mengalami akumulasi sedimen dan pendangkalan di sekitar mulut muara sehingga membentuk sandbar.
- Alternatif bangunan pengaman pantai yang paling efektif berdasarkan hasil simulasi adalah jetty.
- Jetty mampu mengurangi akumulasi sedimen di mulut muara dengan mengarahkan aliran dan meningkatkan efek flushing sedimen ke laut lepas.
- Penerapan jetty menjaga kestabilan alur muara serta mendukung fungsi muara sebagai jalur drainase dan navigasi.

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.

Simbar, O., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2024). Sistem Pengaman Pantai Pada Daerah Pantai Boulevard Amurang Kabupaten Minahasa Selatan. TEKNO, 22(88), 1123-1134

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.

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.