



Analisis Sedimentasi Di Muara Sungai Talawaan Bajo

Alfonsius Walangare^{#a}, Muhammad I. Jasin^{#b}, Jeffry D. Mamoto^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^aalfonsiuswalangare@gmail.com, ^bmuhhammadjasin@unsrat.ac.id, ^cjeffry.mamoto@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses sedimentasi yang terjadi di muara Sungai Talawaan Bajo, Kabupaten Minahasa Utara. Sedimentasi yang berlebihan dapat mengganggu ekosistem perairan dan aktivitas masyarakat di sekitar muara. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif melalui pengumpulan data lapangan dan analisis data sekunder seperti arah dan kecepatan angin, peta batimetri, serta citra satelit. Analisis laboratorium terhadap ukuran butir dan klasifikasi sedimen juga dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen yang mendominasi adalah pasir halus hingga pasir sedang, dengan volume angkutan sedimen sejajar pantai sebesar 3.589,38 m³/tahun dan tegak lurus pantai sebesar 2.621,20 m³/tahun. Faktor utama penyebab sedimentasi adalah aktivitas antropogenik di bagian hulu, gelombang laut dari arah utara, serta kondisi morfologi dasar laut. Penelitian ini menekankan perlunya strategi teknis dan pengelolaan daerah aliran sungai secara berkelanjutan.

Kata kunci: sedimentasi, muara, Talawaan Bajo, CERC, gelombang

1. Pendahuluan

Pendahuluan Wilayah pesisir merupakan area transisi yang dinamis antara daratan dan laut, yang terus mengalami perubahan akibat pengaruh berbagai gaya alam seperti gelombang, arus, dan pasang surut. Pantai dan muara sungai termasuk dalam wilayah ini, dengan karakteristik hidrodinamika yang kompleks. Secara terminologi, istilah "pesisir" (coast) merujuk pada wilayah yang lebih luas dari "pantai" (shore), mencakup area daratan yang dipengaruhi oleh laut dan sebaliknya. Di dalam sistem pesisir, muara sungai memiliki peran penting dalam mendistribusikan material sedimen yang terbawa dari daerah aliran sungai menuju ke laut. Interaksi antara aliran sungai dan pengaruh laut menjadikan muara sebagai zona dengan dinamika sedimentasi yang tinggi.

Proses sedimentasi di muara sungai terjadi ketika material seperti pasir, lumpur, dan kerikil yang terbawa oleh aliran sungai mulai mengendap akibat berkurangnya kecepatan aliran atau bertemunya air sungai dengan air laut yang lebih tenang. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti gelombang laut, pasang surut, topografi dasar sungai, serta aktivitas manusia di sekitar daerah aliran sungai. Gelombang, khususnya, memegang peran penting karena dapat memicu arus balik dan mempercepat pengendapan sedimen di sekitar mulut muara. Akumulasi sedimen yang tidak terkontrol dapat menyebabkan penyempitan mulut sungai, mengganggu lalu lintas perairan, dan mengubah bentuk garis pantai secara signifikan.

Salah satu wilayah yang mengalami permasalahan sedimentasi di muara adalah Muara Sungai Talawaan Bajo, yang berada di Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan masyarakat setempat, khususnya nelayan, ditemukan bahwa sedimentasi di muara sungai telah menyebabkan penyempitan jalur masuk-keluar perahu nelayan dan perubahan garis pantai ke arah laut. Fenomena ini menunjukkan adanya proses akresi akibat akumulasi sedimen, yang dapat berdampak pada lingkungan pesisir dan aktivitas sosial-ekonomi masyarakat.

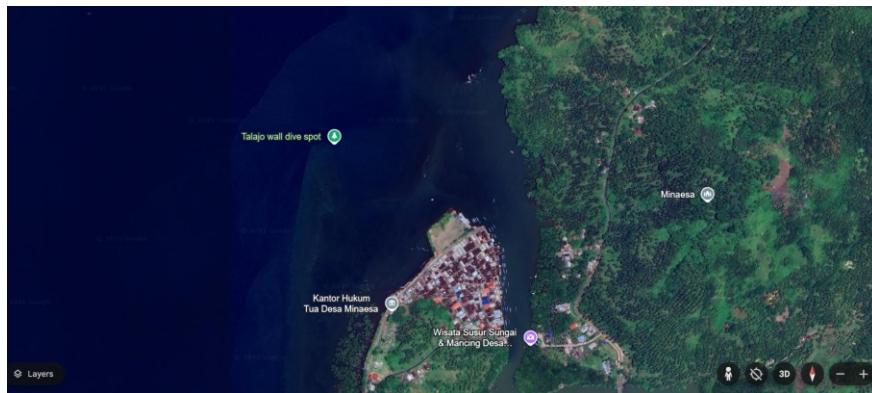
Melihat kondisi tersebut, maka penting dilakukan kajian ilmiah mengenai faktor-faktor

yang mempengaruhi sedimentasi di Muara Sungai Talawaan Bajo. Studi ini juga bertujuan untuk mengestimasi volume sedimen yang telah terakumulasi, sebagai dasar dalam upaya pengelolaan wilayah muara secara berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang ilmu kelautan dan lingkungan pesisir, serta menjadi masukan bagi pihak berwenang dalam merumuskan kebijakan pengendalian sedimentasi di wilayah tersebut.

2. Metode

2.1. Lokasi Penelitian

Studi dilakukan di Muara Sungai Talawaan Bajo, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, pada koordinat $1,6177709^{\circ}$ LU dan $124,8717783^{\circ}$ BT. Wilayah ini memiliki topografi datar dan berbatasan langsung dengan laut terbuka, menjadikannya rentan terhadap gelombang dan sedimentasi. Survei lokasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi pantai dan fenomena sedimentasi yang terjadi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

2.2. Lokasi Penelitian

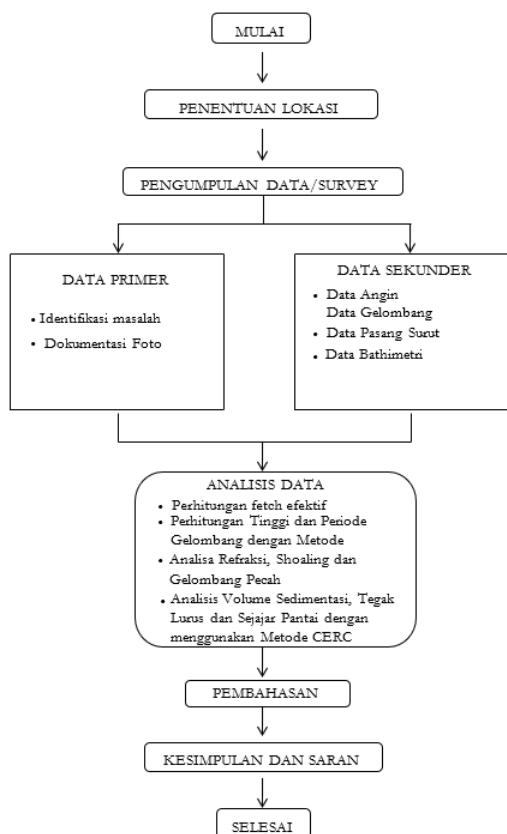
Metode pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan, dokumentasi morfologi pantai, serta pengukuran elevasi pantai. Sementara itu, data sekunder mencakup data kecepatan dan arah angin selama lima tahun terakhir yang diperoleh dari BMKG, citra satelit dari Google Earth yang digunakan untuk analisis visual garis pantai, serta peta batimetri yang bersumber dari GEBCO dan diolah menggunakan perangkat lunak ArcMap dan Global Mapper.

2.3. Bagan Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan yang sistematis sebagaimana ditunjukkan dalam bagan alir penelitian. Langkah awal dimulai dengan penentuan lokasi studi berdasarkan identifikasi permasalahan yang terjadi di kawasan pesisir. Selanjutnya dilakukan proses pengumpulan data, baik data primer melalui observasi langsung di lapangan, maupun data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait dan perangkat lunak pendukung. Data-data tersebut dianalisis untuk mengevaluasi kondisi pantai dan dinamika gelombang laut menggunakan metode kuantitatif, seperti perhitungan fetch, tinggi gelombang, serta analisis transportasi sedimen dengan pendekatan metode CERC. Hasil analisis digunakan untuk mendukung pembahasan dan penarikan kesimpulan yang relevan terhadap permasalahan yang diteliti. Setiap tahapan dalam bagan alir ini saling berkesinambungan guna menjamin validitas dan objektivitas hasil penelitian.

2.3.1. Analisis Survey Lokasi

Hasil survei digunakan untuk mengidentifikasi kondisi aktual pantai, termasuk potensi terjadinya sedimentasi, pola arus, dan perubahan garis pantai. Analisis ini menjadi dasar dalam menentukan pendekatan teknis yang sesuai dengan karakteristik morfologi pantai dan kondisi sosial masyarakat pesisir di sekitar lokasi studi.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian (Analisis Peneliti, 2025)

2.3.2. Analisis Data Angin

Data angin merupakan komponen penting dalam peramalan gelombang laut. Analisis ini menggunakan data kecepatan, arah, dan durasi angin yang dikonversikan ke dalam satuan internasional (knot). Arah angin diklasifikasikan ke dalam delapan penjuru mata angin utama: utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, dan barat laut.

2.3.3. Analisis Data Angin

Untuk menghitung panjang fetch efektif dari arah utama, diperlukan peta lokasi kawasan studi. Nilai fetch dari masing-masing arah digunakan untuk memperkirakan tinggi gelombang yang dihasilkan akibat hembusan angin terhadap permukaan laut.

2.3.4. Analisis Data Angin

Untuk menghitung panjang fetch efektif dari arah utama, diperlukan peta lokasi kawasan studi. Nilai fetch dari masing-masing arah digunakan untuk memperkirakan tinggi gelombang yang dihasilkan akibat hembusan

3. Kajian literatur

3.1. Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses pengendapan material seperti pasir, lumpur, dan kerikil yang terbawa oleh media pengangkat, baik air maupun angin. Di wilayah muara sungai, proses sedimentasi sangat dipengaruhi oleh interaksi antara arus sungai, gelombang laut, dan dinamika pasang surut. Ketika arus sungai yang membawa material sedimen bertemu dengan gelombang laut di muara, terjadi penurunan energi aliran sehingga partikel-partikel sedimen mengalami pengendapan (Triatmodjo, 2009). Akumulasi sedimen di muara yang tidak terkendali dapat

menyebabkan perubahan morfologi muara, seperti pendangkalan dan penyempitan alur sungai, yang pada akhirnya berdampak pada ekosistem dan aktivitas sosial ekonomi masyarakat pesisir. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tingkat sedimentasi di muara sangat dipengaruhi oleh besarnya debit sungai, intensitas gelombang, serta karakteristik pasang surut (Yuwono, 1994; Triatmodjo, 1999). Di banyak muara sungai di Indonesia, sedimentasi yang tinggi dapat menyebabkan penutupan mulut muara, sehingga pada musim hujan berpotensi menimbulkan banjir di daerah hulu akibat terhambatnya aliran air ke laut. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh ini dapat langsung digabungkan pada subbab hasil dan pembahasan dalam melakukan ulasan.

3.2. Muara

Muara sungai merupakan zona transisi antara sistem fluvial (sungai) dan sistem laut yang sangat dinamis. Morfologi muara dibentuk oleh interaksi tiga komponen utama, yaitu gelombang laut, debit sungai, dan amplitudo pasang surut (Yuwono, 1994). Berdasarkan faktor dominan yang mempengaruhi, muara sungai dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe, yaitu muara yang didominasi oleh gelombang, debit sungai, dan pasang surut.

Pada muara yang didominasi oleh gelombang, transportasi sedimen, baik sejajar maupun tegak lurus pantai, sangat intensif. Gelombang yang datang dari laut membawa sedimen ke muara dan mengendapkannya ketika energi gelombang berkurang. Jika debit sungai kecil, arus tidak mampu menggerosi endapan tersebut sehingga muara berpotensi tertutup sedimen. Sebaliknya, pada muara yang didominasi debit sungai, sedimen yang terbawa umumnya berukuran sangat halus dan membentuk delta di depan muara. Sementara itu, muara yang didominasi pasang surut umumnya berbentuk corong akibat besarnya volume air pasang yang masuk dan keluar dari muara.

3.3. Gelombang

Gelombang laut berperan penting dalam mobilisasi, transportasi, dan distribusi sedimen di kawasan muara. Kecepatan dan arah gelombang yang dominan dapat menggerakkan sedimen sepanjang garis pantai (longshore transport) maupun secara tegak lurus pantai (onshore-offshore transport), sehingga berpengaruh terhadap perubahan bentuk garis pantai dan morfologi muara (Komar, 1998; Triatmodjo, 1999). Ketinggian dan periode gelombang yang tinggi cenderung meningkatkan volume pengangkutan sedimen, sehingga pada periode musim gelombang besar, laju sedimentasi di muara akan meningkat secara signifikan.

Proses transformasi gelombang seperti refraksi, difraksi, dan pecahnya gelombang di zona surf juga sangat menentukan pola distribusi energi dan arah pergerakan sedimen di muara sungai. Refraksi menyebabkan gelombang membelok dan cenderung sejajar dengan kontur dasar laut, sedangkan difraksi dan pecahnya gelombang menyebabkan redistribusi energi yang memicu pengendapan sedimen di area muara.

3.4. Pasang Surut

Pasang surut merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi pola pergerakan dan pengendapan sedimen di muara sungai. Fluktuasi muka air laut akibat pasang surut menyebabkan arus masuk (flood current) dan arus keluar (ebb current) yang membawa dan mengangkut sedimen dari dan ke muara (Pethick, 1984; Triatmodjo, 1999). Pada saat pasang naik, arus masuk membawa sedimen ke dalam muara, sedangkan saat surut, arus keluar mengangkut sedimen kembali ke laut. Dinamika ini membentuk pola sedimentasi yang khas di setiap siklus pasang surut, dan sangat mempengaruhi kedalaman, lebar, serta stabilitas mulut muara sungai.

3.5. Transportasi Sedimen

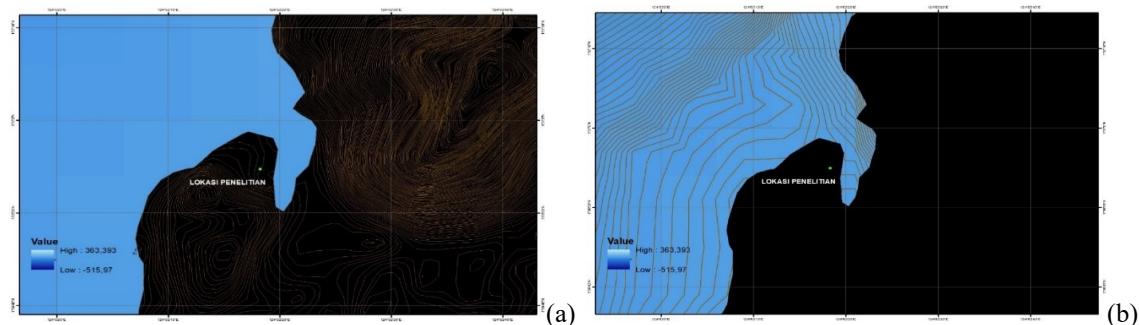
Transportasi sedimen di muara sungai terdiri dari dua komponen utama, yaitu transportasi sejajar pantai (longshore transport) dan transportasi tegak lurus pantai (onshore-offshore transport). Longshore transport umumnya terjadi akibat arus sepanjang pantai yang terbentuk oleh gelombang datang miring terhadap garis pantai, sedangkan onshore-offshore transport terjadi akibat pergerakan vertikal sedimen oleh energi gelombang dan arus (CERC, 1984; Triatmodjo, 1999). Kedua proses ini sangat menentukan akumulasi dan distribusi sedimen di muara, serta

berperan dalam pembentukan dan perubahan morfologi muara sungai. Muara sungai merupakan zona transisi antara sistem fluvial (sungai) dan sistem laut yang sangat dinamis.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Karakteristik Morfologi dan Topografi Lokasi

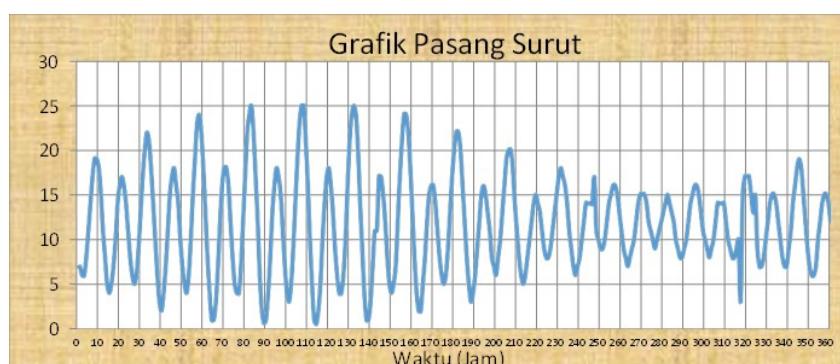
Peta topografi dan bathimetri kawasan Muara Sungai Talawaan Bajo, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, menunjukkan karakteristik morfologi pesisir dan dasar perairan yang cukup kompleks. Peta topografi menunjukkan area dataran rendah dengan elevasi yang bervariasi, sementara peta bathimetri mengindikasikan adanya gradien kedalaman yang cukup curam di beberapa titik. Informasi ini menjadi dasar penting dalam menganalisis proses dinamika pesisir dan sedimentasi.



Gambar 3. (a) Peta Topografi; (b) Peta Bathimetri (Software Arcmap, 2025)

4.2. Analisis Pasang Surut dan Gelombang

Data pasang surut selama 15 hari pada bulan Desember 2021 dari BMKG Bitung dianalisis menggunakan metode Admiralty. Hasilnya menunjukkan bahwa tipe pasang surut di lokasi merupakan campuran condong ke harian ganda (mixed semi-diurnal) dengan nilai formzahl $F = 0,0547$. Tipe ini ditandai dengan dua pasang dan dua surut dalam satu hari yang tidak simetris. Nilai elevasi muka air berkisar antara 0,5 hingga 3,6 meter. Kondisi pasang surut ini memberikan kontribusi terhadap dinamika arus dan distribusi sedimen di kawasan muara.



Gambar 4. Grafik Pasang Surut

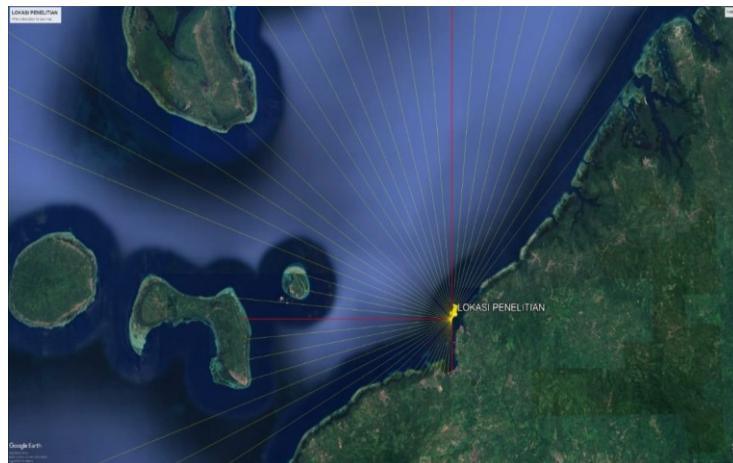
Tabel 1. Komponen Pasang Surut dan Nilai Elevasi Muka Air (Sepang, 2024)

| | SO | M2 | S2 | N2 | K1 | O1 | M4 | MS4 | K2 | P1 |
|------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| A cm | 12 | 10 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| g° | 0.00 | 106.62 | 203.44 | 238.59 | 350.50 | 64.90 | 111.96 | 286.13 | 203.44 | 350.50 |

4.3. Pola Angin dan Perkiraan Gelombang (Hindcasting)

Analisis data angin menunjukkan bahwa arah dominan berasal dari utara dan barat laut dengan kecepatan maksimum sekitar 9,32 m/s. Dengan pendekatan hindcasting, dilakukan

estimasi tinggi dan periode gelombang berdasarkan panjang fetch dari berbagai arah mata angin. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gelombang tertinggi berasal dari arah utara dengan tinggi gelombang maksimum sebesar 1,252 m dan periode 5,091 detik.



Gambar 5. Distribusi Fetch Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

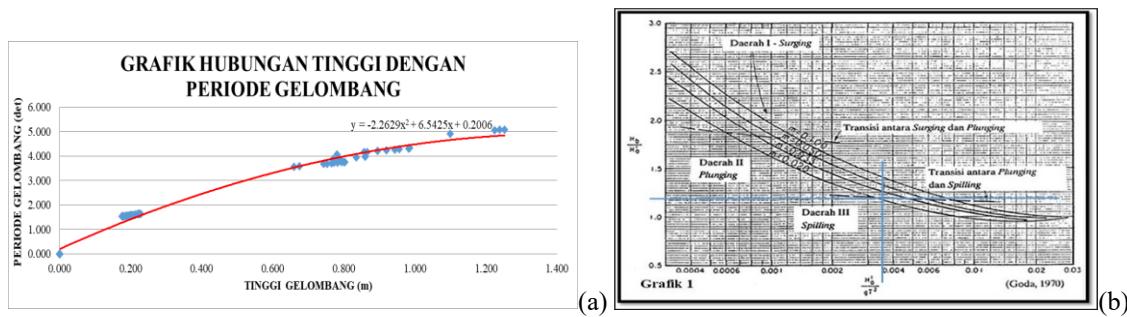
Tabel 2. Rekapitulasi Arah, Tinggi, dan Periode Gelombang (Analisis Penulis, 2025)

| Bulan | H - T | Arah Datang Gelombang | | | | | Max Tiap Bulan | |
|------------------|---------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | | W | NW | N | NE | S | Arah | H - T |
| JANUARI | H (m) | 0.803 | 0.985 | | | | NW | 0.985 |
| | T (det) | 3.758 | 4.322 | | | | | 4.322 |
| FEBRUARI | H (m) | | 0.983 | 1.239 | 0.859 | | N | 1.239 |
| | T (det) | | 4.319 | 5.077 | 3.983 | | | 5.077 |
| MARET | H (m) | 0.782 | 0.955 | 1.224 | 0.769 | | N | 1.224 |
| | T (det) | 3.732 | 4.287 | 5.060 | 3.867 | | | 5.060 |
| APRIL | H (m) | 0.794 | 0.894 | | 0.788 | | NW | 0.894 |
| | T (det) | 3.747 | 4.212 | | 3.892 | | | 4.212 |
| MEI | H (m) | | 0.858 | | 0.203 | | NW | 0.858 |
| | T (det) | | 4.165 | | 1.592 | | | 4.165 |
| JUNI | H (m) | | | | 0.214 | | S | 0.214 |
| | T (det) | | | | 1.614 | | | 1.614 |
| JULI | H (m) | 0.765 | | | 0.228 | | W | 0.765 |
| | T (det) | 3.710 | | | 1.641 | | | 3.710 |
| AGUSTUS | H (m) | | | | 0.225 | | S | 0.225 |
| | T (det) | | | | 1.635 | | | 1.635 |
| SEPTEMBER | H (m) | | | | 0.224 | | S | 0.224 |
| | T (det) | | | | 1.633 | | | 1.633 |
| OKTOBER | H (m) | | | | 0.200 | | S | 0.200 |
| | T (det) | | | | 1.584 | | | 1.584 |
| NOVEMBER | H (m) | 0.659 | 0.865 | | | | NW | 0.865 |
| | T (det) | 4.175 | 4.175 | | | | | 4.175 |
| DESEMBER | H (m) | 0.772 | | 1.252 | | | N | 1.252 |
| | T (det) | 3.720 | | 5.091 | | | | 5.091 |
| MAX TIAP ARAH | H (m) | 0.803 | 0.985 | 1.252 | 0.859 | 0.228 | N | 1.252 |
| | T (det) | 4.175 | 4.322 | 5.091 | 3.983 | 1.641 | | 5.091 |

4.4. Transformasi Gelombang dan Gelombang Pecah

Transformasi gelombang dianalisis melalui perhitungan refraksi dan shoaling. Nilai koefisien refraksi (K_r) sebesar 0,996 dan koefisien shoaling (K_s) sebesar 0,992 menunjukkan bahwa perubahan kedalaman laut memiliki dampak terhadap peningkatan tinggi gelombang mendekati pantai. Gelombang pecah terjadi pada kedalaman 2,087 meter dengan tinggi

gelombang pecah (H_b) sebesar 1,631 meter. Proses ini berperan penting dalam pergerakan sedimen dari laut ke muara maupun sebaliknya.



Gambar 6. (a) Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang; (b) Grafik Penetuan Tinggi Gelombang Pecah

Tabel 3. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan Arah Utara

| H'_o | H'_o/gT^2 | m | Hb/H'_o | Hb |
|--------|-------------|--------|-----------|-------|
| 1.6154 | 0.0995 | 0.0106 | 0.80 | 1.292 |
| 0.8891 | 0.0054 | 0.0136 | 1.10 | 0.978 |
| 0.8863 | 0.0056 | 0.0124 | 1.10 | 0.975 |
| 0.6053 | 0.0041 | 0.0120 | 1.20 | 0.726 |
| 0.9587 | 0.0054 | 0.0108 | 1.10 | 1.055 |
| 2.0384 | 0.5947 | 0.0192 | 0.80 | 1.631 |

4.5. Volume dan Arah Transport Sedimen

Berdasarkan metode Coastal Engineering Research Center (CERC), telah dilakukan analisis kuantitatif terhadap volume transportasi sedimen di kawasan muara Sungai Talawaan Bajo. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat dua komponen utama pergerakan sedimen, yaitu angkutan sedimen sejajar pantai (longshore transport) dan angkutan sedimen tegak lurus pantai (onshore-offshore transport).

- Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (Longshore Transport)

Volume angkutan sejajar pantai dihitung berdasarkan tinggi gelombang pecah (H_b) sebesar 1,631 meter dan kedalaman pecah (db) sebesar 2,087 meter, dengan mempertimbangkan sudut datang gelombang dan parameter fisik perairan setempat. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa volume angkutan sedimen sejajar pantai mencapai $3.589,38 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Nilai ini menunjukkan bahwa terdapat arus sepanjang pantai yang cukup kuat dalam memindahkan sedimen ke arah lateral, berkontribusi terhadap akumulasi di bagian tertentu muara.

- Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai (Onshore–Offshore Transport)

Selain transportasi lateral, sedimentasi juga dipengaruhi oleh gerakan vertikal sedimen dari laut ke arah pantai dan sebaliknya. Dengan menggunakan parameter gaya geser dasar (bed shear stress) dan kecepatan geser (shear velocity), diperoleh nilai transport sedimen tegak lurus pantai sebesar $2.621,20 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Nilai ini mengindikasikan adanya pertukaran sedimen aktif antara kolom air dan dasar pantai, yang mempercepat proses pengendapan di area muara.

Tabel 4. Volume Angkutan Sedimen Tahunan (Analisis Penulis, 2025)

| Angkutan Sedimen | $Q_s (\text{m}^3/\text{tahun})$ |
|--------------------|---------------------------------|
| Sejajar Pantai | 3589.380 |
| Tegak Lurus Pantai | 2621.200 |

4.6. Tipe Sedimentasi

Distribusi sedimentasi di lokasi studi menunjukkan karakteristik yang konsisten dengan muara yang didominasi oleh gelombang. Berdasarkan klasifikasi yang dikemukakan oleh Triatmodjo (2007), tipe ini umum terjadi pada sungai kecil yang bermuara langsung ke lautan terbuka. Dalam kasus ini, aktivitas gelombang menjadi faktor dominan yang menyebabkan sedimentasi yang terus-menerus, berkontribusi terhadap fenomena akresi pantai dan penyempitan alur muara.



Gambar 6. Distribusi Sedimentasi di Lokasi Penelitian

5. Kesimpulan

Analisis menunjukkan bahwa proses sedimentasi di Muara Sungai Talawaan Bajo didominasi oleh gelombang laut yang datang dari sektor utara dengan sudut sekitar 10° . Nilai angkutan sedimen sejajar pantai tercatat lebih besar ($\pm 3,59 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ tahun}^{-1}$) dibandingkan angkutan tegak lurus pantai ($\pm 2,62 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ tahun}^{-1}$). Tinggi gelombang signifikan rata-rata 1,25 m dan periode 5,09 s menghasilkan energi cukup untuk memobilisasi material pasir ke arah muara, sedangkan kontribusi pasang-surut relatif kecil. Akumulasi sedimen menimbulkan penyempitan alur pelayaran dan pergeseran garis pantai, sehingga diperlukan intervensi teknis.

Untuk meminimalkan laju endapan, direkomendasikan pembangunan pemecah gelombang lepas pantai guna mereduksi energi gelombang sebelum mencapai muara, serta penataan jetty yang diarahkan menstabilkan alur sungai. Pemantauan berkala terhadap perubahan morfologi dasar dan garis pantai penting dilakukan agar efektivitas infrastruktur dapat dievaluasi dan disesuaikan dengan dinamika pesisir setempat. Kesimpulan menggambarkan jawaban dari hipotesis dan/atau tujuan penelitian atau temuan ilmiah yang diperoleh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada BMKG Maritim Bitung, Laboratorium Hidraulika Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi dan masyarakat nelayan di Desa Talawaan Bajo, Kecamatan Wori, yang telah membantu dalam pengumpulan data untuk penulisan artikel ini.

Referensi

- Gerrits, L., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2020). Analisis kinerja gelombang di Pantai Malalayang II. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 39–44.
- Ratu, Y. A., Jasin, M. I., & Mamoto, J. D. (2015). Analisis karakteristik gelombang di Pantai Bulo Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 38–48.
- 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), 63–68.
- Putra Tawoeda, S., Tawas, H. J., & Halim, F. (2016). Studi transformasi gelombang terhadap garis pantai Beo Barat Kabupaten Kepulauan Talaud. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3), 155–164.
- Wakkary, A. C., Jasin, M. I., & Dundu, A. K. T. (2017). Studi karakteristik gelombang pada daerah Pantai Desa Kalinaung Kab. Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 5(3), 167–174.
- Sumampouw, F. V. H., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2023). Perencanaan pengaman pantai di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(85), 1–10.
- Bernadus, J. M. O., Mamoto, J. D., & Tangkudung, N. J. A. (2023). Perencanaan pengaman pantai di Pantai Paerentek Kecamatan Lembean Timur. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(85), 11–20.
- Kappers, A. C., Mamoto, J. D., & Jasin, M. I. (2024). Alternatif pemecahan masalah overtopping Manado Town Square. *Jurnal Teknik Sipil*, 22(88), 15–23.
- Triatmodjo, B. (1999). Teknik pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2012). Perencanaan bangunan pantai. Yogyakarta: Beta Offset.