



Analisis Sedimentasi Di Muara Sungai Kampung Ambong

Hendro Papatungan^{#a}, Jeffry D. Mamoto^{#b}, Muhammad I. Jasin^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aedopapatungan10@gmail.com, ^bjeffry.mamoto@unsrat.ac.id, ^cmuhammadjasin@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi proses sedimentasi di muara Sungai Kampung Ambong, Sulawesi Utara, dengan pendekatan kuantitatif berbasis data oseanografi dan spasial. Survei lapangan serta analisis data sekunder—meliputi karakteristik angin, data pasang surut, peta batimetri, dan citra satelit—digunakan untuk mengkaji dinamika sedimen. Gelombang dari arah barat laut dengan tinggi maksimum 0,982 meter dan periode 4,332 detik diidentifikasi sebagai faktor utama penggerak angkutan sedimen. Volume angkutan sedimen sejajar pantai mencapai 16.880,989 m³/tahun, jauh melebihi angkutan tegak lurus pantai sebesar 2.621,200 m³/tahun. Pola pasang surut semi-diurnal turut memperkuat sirkulasi masuk-keluar sedimen, yang memengaruhi morfologi muara. Transformasi gelombang di daerah pesisir seperti shoaling dan pecah gelombang meningkatkan mobilitas sedimen. Metode Coastal Engineering Research Center (CERC) digunakan untuk menghitung laju angkutan sedimen. Temuan ini menunjukkan adanya rezim sedimentasi aktif yang didominasi oleh proses sejajar pantai, sehingga diperlukan pengelolaan pesisir yang adaptif dan pemantauan secara berkala.

Kata kunci: sedimentasi, muara, CERC, Kampung Ambong

1. Pendahuluan

Wilayah pesisir merupakan zona transisi yang dinamis antara daratan dan lautan, yang secara terus-menerus dipengaruhi oleh berbagai gaya alamiah seperti gelombang, arus, serta pasang surut. Area ini mencakup pantai dan muara sungai, yang keduanya memiliki karakteristik hidrodinamika yang kompleks dan saling berinteraksi dalam sistem pesisir. Secara terminologis, istilah pesisir (coast) merujuk pada kawasan daratan yang menerima pengaruh laut, sedangkan pantai (shore) lebih mengarah pada zona sempit di sepanjang garis pertemuan antara darat dan laut.

Muara sungai memegang peranan penting dalam sistem pesisir sebagai media distribusi sedimen dari daratan ke laut. Proses sedimentasi di muara terjadi ketika kecepatan aliran sungai menurun saat memasuki perairan laut yang lebih tenang, sehingga material sedimen seperti pasir, lumpur, dan kerikil mulai mengendap. Akumulasi sedimen ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor, di antaranya dinamika gelombang laut, pasang surut, morfologi dasar sungai, serta aktivitas antropogenik di sekitar daerah aliran sungai. Gelombang laut, khususnya, berperan signifikan karena dapat menghasilkan arus balik yang mempercepat pengendapan dan redistribusi sedimen di sekitar mulut muara.

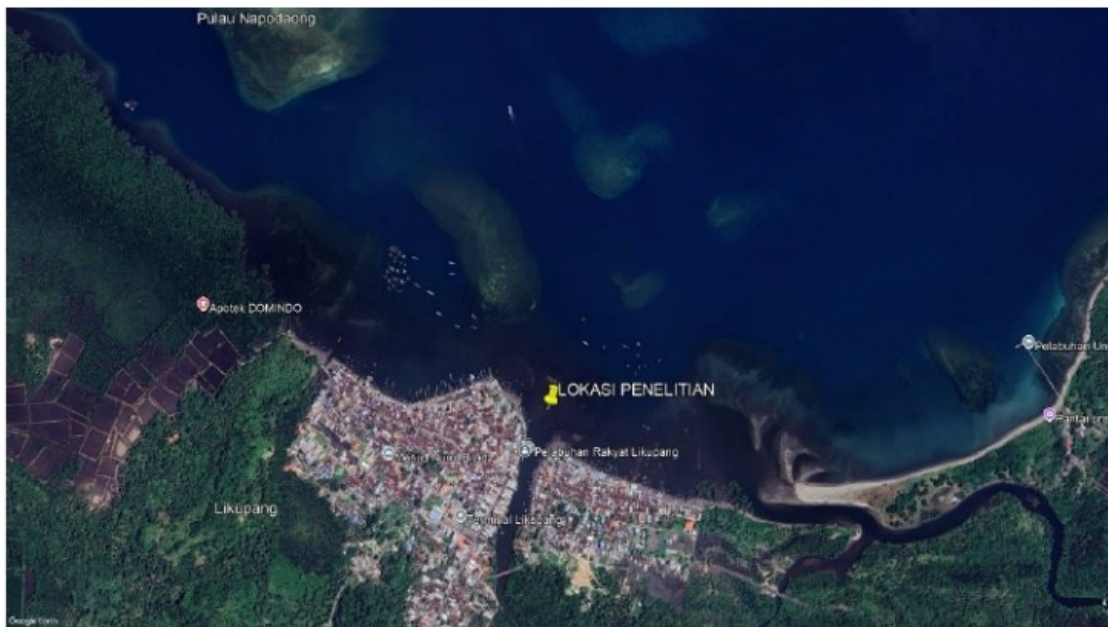
Salah satu lokasi yang menunjukkan gejala sedimentasi yang cukup signifikan adalah Muara Sungai Kampung Ambong, yang berlokasi di pesisir Pantai Makatana, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan serta wawancara dengan masyarakat setempat, khususnya para nelayan, diketahui bahwa sedimentasi di muara tersebut telah menyebabkan penyempitan alur sungai. Kondisi ini berdampak langsung terhadap terganggunya aktivitas transportasi perahu nelayan. Selain itu, proses sedimentasi juga mengakibatkan pergeseran garis pantai ke arah laut, yang menandakan terjadinya proses akresi dan berpotensi mengubah struktur morfologi pesisir secara signifikan.

Mengingat pentingnya peran muara sungai dalam sistem pesisir, maka diperlukan kajian ilmiah untuk mengidentifikasi karakteristik serta faktor-faktor utama yang memengaruhi sedimentasi di kawasan tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu dan berkelanjutan, serta menjadi dasar pertimbangan bagi pengambilan kebijakan yang berkaitan dengan mitigasi dampak sedimentasi di Muara Sungai Kampung Ambong.

2. Metode

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Muara Sungai Kampung Ambong, yang terletak di Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis, lokasi penelitian berada pada koordinat 729450.00 m E dan 185185.00 m N. Wilayah ini memiliki karakteristik pesisir terbuka yang dipengaruhi langsung oleh dinamika laut seperti gelombang, arus, dan sedimentasi. Survei lokasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi fisik pantai, posisi geografis, serta fenomena sedimentasi yang terjadi. Kegiatan survei lapangan dilakukan untuk mengamati langsung kondisi fisik pantai, pola sedimentasi, dan potensi perubahan garis pantai. Informasi ini menjadi dasar dalam pemilihan pendekatan analitis serta penentuan parameter oseanografi yang relevan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara kombinitif, memanfaatkan data primer dan sekunder untuk memperoleh pemahaman komprehensif terhadap kondisi pesisir.

- Data primer meliputi hasil survei lapangan berupa dokumentasi visual dan observasi langsung terhadap morfologi pantai serta fenomena sedimentasi yang terjadi.
- Data sekunder diperoleh melalui koordinasi dengan lembaga terkait dan pemanfaatan perangkat lunak pengolahan data spasial.

Jenis data yang dikumpulkan mencakup:

- Data angin (kecepatan, arah, dan durasi) selama 10 tahun terakhir dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), digunakan sebagai dasar dalam peramalan gelombang.
- Citra satelit dan peta lokasi dari Google Earth, digunakan untuk analisis visual, penentuan arah fetch, dan pemetaan garis pantai.
- Data batimetri dari GEBCO yang diolah menggunakan perangkat lunak Global Mapper dan ArcMap untuk menyusun kontur kedalaman laut.

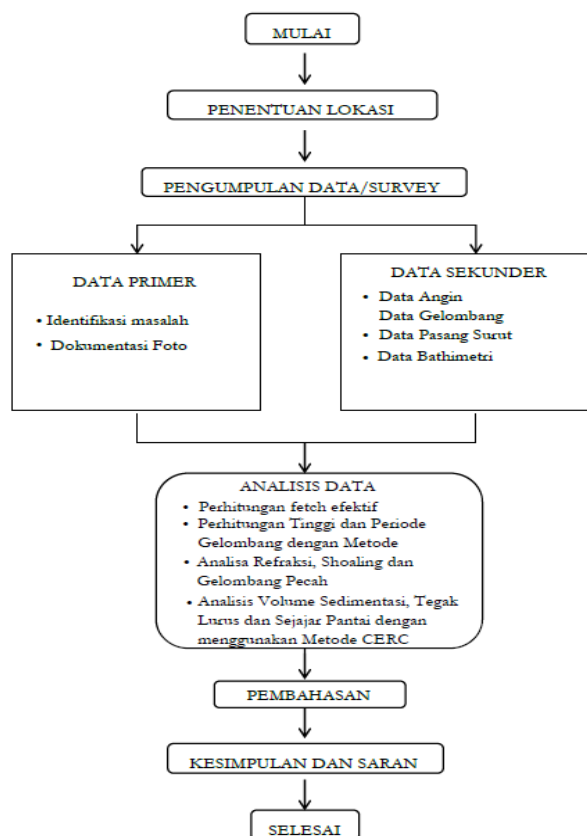
2.3. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan spasial guna memahami dinamika oseanografi dan proses sedimentasi di lokasi penelitian. Langkah-langkah analisis mencakup:

- Inventarisasi permasalahan pantai, untuk menilai kondisi fisik dan lingkungan pesisir serta potensi dampak sedimentasi terhadap aktivitas pesisir.
- Analisis data angin, dengan menghitung kecepatan dan arah dominan menggunakan delapan penjuru mata angin dalam satuan knot.
- Perhitungan fetch efektif, untuk menentukan panjang lintasan angin dari masing-masing arah utama yang mempengaruhi pembentukan gelombang.
- Analisis batimetri, untuk mengetahui kedalaman dasar laut yang digunakan dalam perhitungan transformasi gelombang seperti refraksi, shoaling, dan gelombang pecah.
- Estimasi transportasi sedimen, menggunakan metode CERC untuk menghitung volume angkutan sedimen sejajar (longshore) dan tegak lurus (cross-shore) pantai berdasarkan data tinggi gelombang dan karakteristik pantai.

2.4. Bagan Alur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari penentuan lokasi, pengumpulan data, analisis gelombang dan sedimen, hingga penarikan kesimpulan. Alur tersebut ditunjukkan dalam diagram berikut:



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1. Konsep Dasar Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses deposisi partikel-partikel padat seperti pasir, lumpur, dan kerikil yang terbawa oleh media aliran, umumnya air. Fenomena ini terjadi akibat penurunan kecepatan aliran sungai ketika bertemu dengan perairan laut yang lebih tenang, sehingga daya angkut aliran berkurang dan material sedimen mulai mengendap di sekitar mulut muara. Proses

ini tidak berlangsung secara tunggal, melainkan dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain debit sungai, dinamika gelombang laut, amplitudo pasang surut, serta karakteristik morfologis dasar perairan. Akumulasi sedimen secara berlebihan di muara dapat memicu perubahan bentuk geomorfologi muara, seperti pendangkalan atau penyempitan alur sungai, yang berdampak pada terganggunya navigasi, serta meningkatkan risiko banjir di wilayah hulu.

3.2. *Tipologi Muara Sungai*

Muara sungai merupakan zona peralihan yang dinamis antara sistem sungai dan laut, di mana proses hidrodinamika sangat kompleks. Bentuk dan karakteristik muara dipengaruhi oleh dominasi salah satu dari tiga faktor utama, yaitu gelombang laut, debit aliran sungai, dan amplitudo pasang surut. Muara yang didominasi oleh gelombang ditandai oleh tingginya angkutan sedimen ke arah muara, di mana gelombang membawa material dari laut menuju darat dan mengendapkannya saat energi berkurang. Jika debit sungai rendah, endapan tersebut tidak dapat terangkut kembali sehingga berisiko menutup mulut muara. Sebaliknya, pada muara yang didominasi oleh debit sungai, aliran membawa material halus yang membentuk endapan di depan muara, sering kali berupa delta. Adapun pada muara yang didominasi oleh pasang surut, morfologi muara biasanya berbentuk corong karena volume air yang besar bergerak masuk dan keluar secara periodik. Di Indonesia, umumnya muara sungai lebih dipengaruhi oleh gelombang dan debit sungai karena amplitudo pasang surut yang relatif kecil.

3.3. *Peran Gelombang dalam Proses Sedimentasi*

Gelombang laut memiliki peran penting dalam proses transportasi dan pengendapan sedimen di wilayah pesisir, termasuk di muara sungai. Ketika gelombang menjalar dari laut menuju pantai, ia mengalami transformasi yang meliputi refraksi, difraksi, dan pecahnya gelombang. Transformasi ini mempengaruhi arah penjalaran dan distribusi energi gelombang yang berdampak pada distribusi sedimen. Gelombang yang datang secara miring terhadap garis pantai menciptakan arus sejajar pantai yang dikenal sebagai longshore current, yang bertanggung jawab atas pergerakan sedimen sejajar garis pantai. Gelombang yang datang tegak lurus terhadap pantai cenderung menghasilkan transportasi sedimen secara masuk dan keluar pantai. Kedua mekanisme tersebut berkontribusi terhadap terbentuknya pola sedimentasi di muara sungai dan sering kali menyebabkan perubahan bentuk serta posisi muara secara periodik.

3.4. *Dinamika Pasang Surut*

Pasang surut adalah fluktuasi periodik muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi. Di muara sungai, pasang surut menghasilkan arus masuk saat air pasang dan arus keluar saat air surut. Kedua arus ini membawa dan mengendapkan sedimen secara berulang, membentuk pola sedimentasi yang unik di setiap lokasi muara. Arus pasang membawa sedimen dari laut ke dalam muara, sedangkan arus surut membawa kembali sebagian sedimen ke laut. Variasi dalam pola pasang surut ini sangat berpengaruh terhadap kedalaman dan bentuk morfologi muara. Di wilayah Indonesia, tipe pasang surut yang umum terjadi adalah tipe semi-diurnal, yaitu dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari, dengan tinggi gelombang yang bervariasi.

3.5. *Pengaruh Angin terhadap Gelombang dan Sedimentasi*

Angin merupakan penggerak utama dalam pembentukan gelombang laut. Kecepatan, arah, dan durasi angin menentukan tinggi, panjang, dan periode gelombang yang terbentuk di perairan laut. Gelombang yang dihasilkan oleh angin kemudian berperan dalam mengangkut dan mendistribusikan sedimen di sepanjang pantai dan ke dalam muara sungai. Oleh karena itu, data angin historis sangat penting dalam perhitungan karakteristik gelombang dan permodelan sedimentasi. Teknik hindcasting sering digunakan dalam studi kelautan untuk memperkirakan tinggi dan periode gelombang berdasarkan data angin masa lalu. Hasil dari metode ini dapat digunakan untuk menganalisis potensi sedimentasi yang terjadi di muara sungai tertentu.

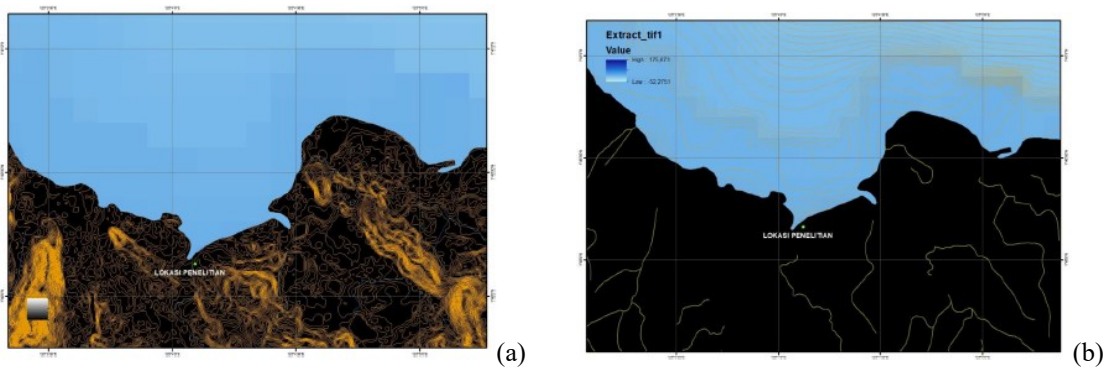
3.6. Transportasi Sedimen di Muara Sungai

Transportasi sedimen di muara sungai melibatkan pergerakan partikel sedimen akibat energi yang berasal dari gelombang, arus, dan pasang surut. Terdapat dua jenis utama transportasi sedimen di wilayah pesisir, yaitu transportasi sejajar pantai dan tegak lurus pantai. Transportasi sejajar pantai terjadi akibat arus yang terbentuk dari gelombang datang dengan sudut terhadap garis pantai, mengakibatkan pergerakan sedimen sepanjang garis pantai. Sedangkan transportasi tegak lurus pantai terjadi karena pergerakan vertikal air yang menyebabkan sedimen berpindah dari laut ke pantai dan sebaliknya. Kedua jenis transportasi ini memengaruhi pola akumulasi dan erosi sedimen di muara, sehingga sangat penting untuk diperhitungkan dalam perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Karakteristik Morfologi dan Topografi Lokasi

Peta topografi dan bathimetri kawasan menunjukkan karakteristik morfologi pesisir dan dasar perairan yang kompleks. Kawasan ini didominasi oleh dataran rendah dengan variasi elevasi, serta gradien kedalaman laut yang curam di beberapa lokasi. Informasi ini menjadi dasar dalam menganalisis transportasi dan deposisi sedimen yang dipengaruhi oleh arus dan gelombang.



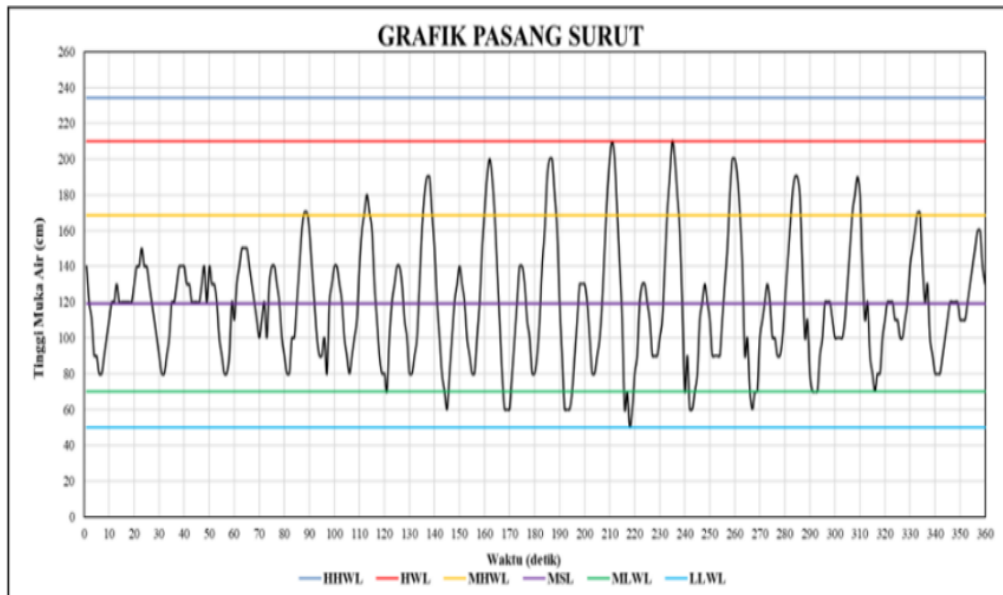
Gambar 3. (a) Peta Topografi; (b) Peta Bathimetri (Software Arcmap, 2025)

4.2. Analisis Pasang Surut

Berdasarkan hasil analisis data pasang surut menggunakan metode Admiralty, diperoleh nilai Formzahl (F) sebesar 0,135. Nilai ini menunjukkan bahwa pola pasang surut di Muara Sungai Kampung Ambong tergolong semi-diurnal, yakni dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari. Kondisi ini mencerminkan dinamika arus masuk dan keluar yang terjadi secara periodik, yang memengaruhi proses transportasi dan pengendapan sedimen di wilayah muara. Siklus ini memungkinkan terjadinya pola sedimentasi bolak-balik, sehingga membentuk morfologi muara yang terus berubah seiring waktu.

Tabel 1. Data Pasang Surut Tahun 2022 di Kampung Ambong (TNI AL VIII Kairagi, 2022)

No	Tanggal	Jam																							Jumlah Bucan	Bucan Rata-rata	
		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00			23:00
1	10-Dec-2022	1.4	1.2	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	28	1.17
2	20-Dec-2022	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	28.3	1.18		
3	30-Dec-2022	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.2	28.4	1.18
4	4-Dec-2022	1.0	1.3	1.4	1.4	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	0.9	1.0	28.6	1.19
5	5-Dec-2022	0.8	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.1	1.4	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	28.9	1.20
6	6-Dec-2022	0.7	1.0	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	1.9	1.9	1.7	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	29.3	1.22
7	7-Dec-2022	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0	1.9	1.7	1.4	1.1	0.8	0.6	29.1	1.21
8	8-Dec-2022	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.0	2.0	1.8	1.6	1.2	0.9	0.6	29	1.21
9	9-Dec-2022	0.6	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.1	2.0	1.7	1.4	1.1	0.6	29	1.21
10	10-Dec-2022	0.7	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.4	1.7	1.9	2.1	2.0	1.8	1.6	1.2	0.7	28.9	1.20
11	11-Dec-2022	0.9	0.6	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.0	1.9	1.7	1.4	0.9	28.9	1.20
12	12-Dec-2022	1.0	0.7	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.5	1.0	28.6	1.19
13	13-Dec-2022	1.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	1.8	1.6	1.1	28.4	1.18
14	14-Dec-2022	1.2	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.6	1.2	28.1	1.17
15	15-Dec-2022	1.3	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.3	28.1	1.17



Gambar 4. Grafik Pasang Surut

Tabel 2. Komponen Pasang Surut dan Nilai Elevasi Muka Air (Sepang, 2024)

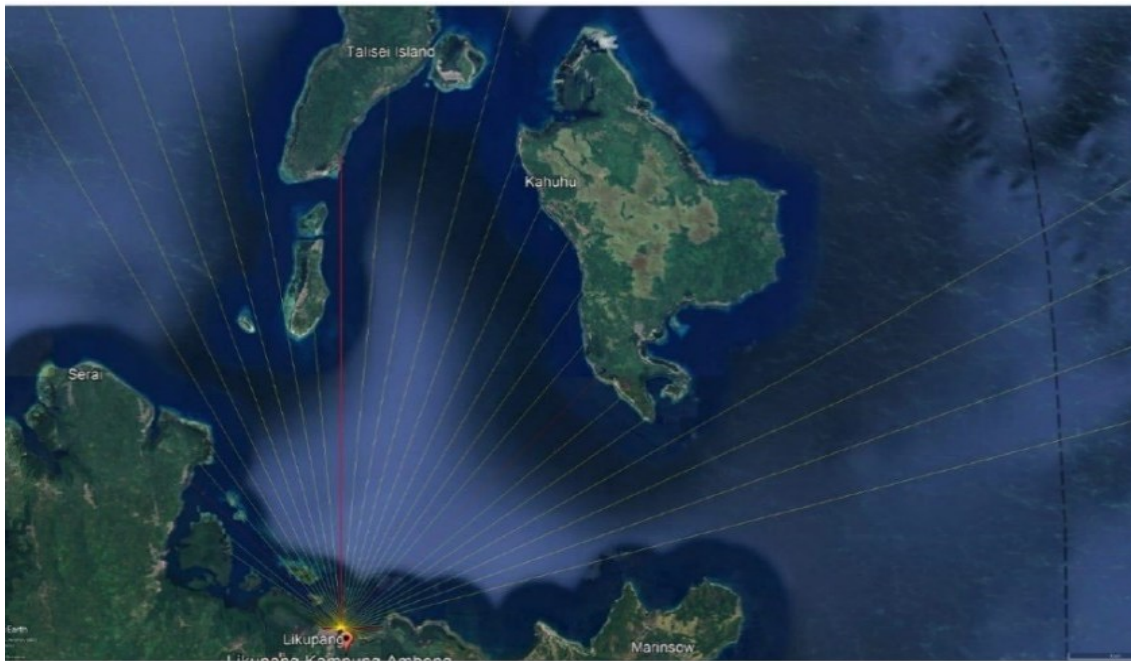
	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	119	31	19	4	29	14	1	4	5	10
g°	0.00	153.3	215.6	304.0	324.0	151.6	205.3	345.3	215.6	324.0

4.3. Analisis Angin dan Gelombang

Data angin digunakan untuk menghitung karakteristik gelombang menggunakan metode hindcasting. Hasil analisis menunjukkan bahwa arah dominan angin berasal dari arah Barat Laut (315°) dengan kecepatan rata-rata tertinggi yang menghasilkan gelombang signifikan. Tinggi gelombang signifikan maksimum (Hs) tercatat sebesar 0,982 m dengan periode (T) sebesar 4,332 detik. Nilai-nilai ini menjadi dasar dalam perhitungan transformasi gelombang menuju perairan dangkal di sekitar muara.

Tabel 3. Perhitungan Tegangan Angin Tahun 2021

Perhitungan Wind Stress Factor/ Faktor Tegangan Angin					Z = ±	10
					RT	1.1
Bulan	Arah	Uz	Uz (Bulat)	$u_{10} = Uz \left(\frac{10}{z}\right)^{\frac{1}{7}}$	RL	UA = RT • RL • U10
2021						
Januari	W	9.290	9.3	9.29	1.1	11.24
Februari	NW	7.420	7.4	7.42	1.26	10.28
Maret	W	8.010	8	8.01	1.24	10.93
April	NW	7.060	7.1	7.06	1.28	9.94
Mei	SE	7.320	7.3	7.32	1.27	10.23
Juni	S	5.900	5.9	5.90	1.34	8.70
Juli	W	7.740	7.7	7.74	1.25	10.64
Agustus	S	5.540	5.5	5.54	1.38	8.41
September	SE	7.170	7.2	7.17	1.27	10.02
Oktober	S	5.280	5.3	5.28	1.39	8.07
November	NW	6.680	6.7	6.68	1.3	9.55
Desember	N	8.640	8.6	8.64	1.16	11.02



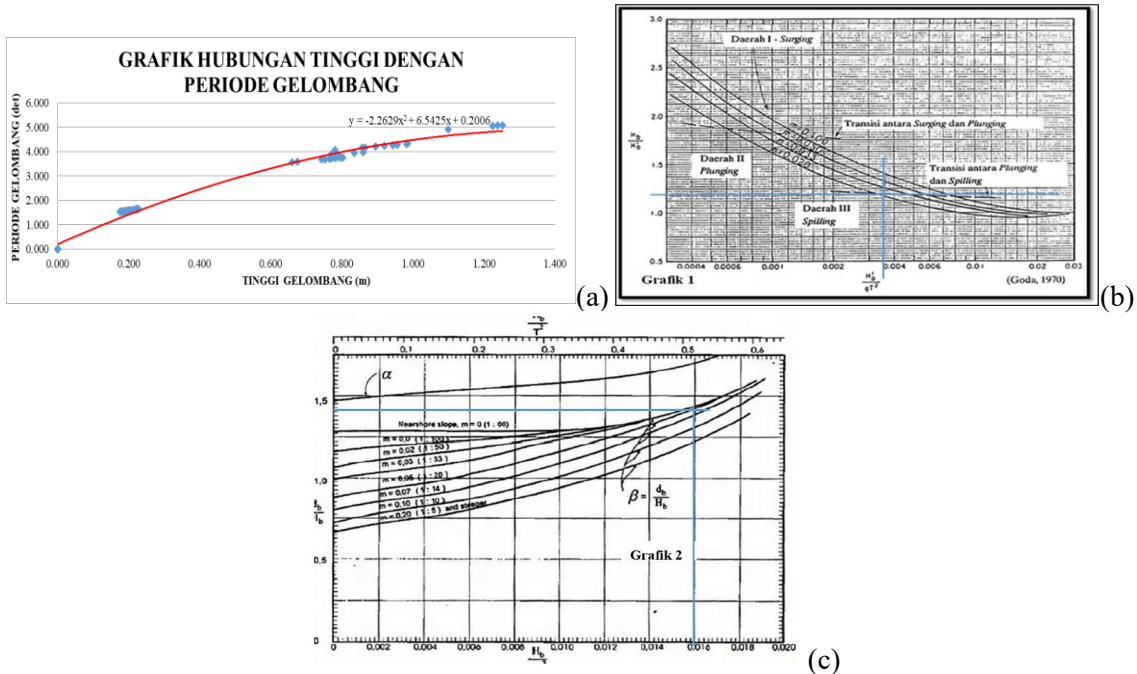
Gambar 5. Fetch Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

Tabel 4. Rekapitulasi Arah, Tinggi, dan Periode Gelombang 2020-2024 (Hasil Hindcasting 2020-2024)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang						Max Tiap Bulan	
		W	NW	N	NE	E	SE	Arah	H - T
Januari	H (m)	0.183	0.782				0.723	NW	0.782
	T (det)	1.403	3.704				3.598		3.704
Februari	H (m)		0.78	0.972	0.797			N	0.972
	T (det)		3.702	4.32	3.787				4.32
Maret	H (m)	0.178		0.961	0.774	0.752		N	0.961
	T (det)	1.393		4.306	3.758	3.636			4.306
April	H (m)	0.181	0.71		0.73	0.614		NE	0.73
	T (det)	1.398	3.61		3.701	3.445			3.701
Mei	H (m)		0.68				0.145	NW	0.68
	T (det)		3.57				1.238		3.57
Juni	H (m)						0.139	S	0.139
	T (det)						1.225		1.225
Juli	H (m)	0.174						W	0.174
	T (det)	1.385							1.385
Agustus	H (m)						0	S	0
	T (det)						0		0
September	H (m)						0.142	S	0.142
	T (det)						1.233		1.233
Oktober	H (m)						0.123	S	0.123
	T (det)						1.185		1.185
November	H (m)	0.15	0.686					NW	0.686
	T (det)	1.331	3.578						3.578
Desember	H (m)			0.982				N	0.982
	T (det)			4.332					4.332
Max Tiap Arah	H (m)	0.183	0.782	0.982	0.797	0.752	0.145	N	0.982
	T (det)	1.403	3.704	4.332	3.787	3.636	1.238		4.332

4.4. Transformasi Gelombang

Gelombang yang bergerak dari laut menuju pantai mengalami proses transformasi seperti refraksi, shoaling, dan pecahnya gelombang. Berdasarkan perhitungan, tinggi gelombang pecah (H_b) diperoleh sebesar 2,845 m, dan kedalaman saat pecah (d_b) sebesar 3,414 m. Kecepatan gelombang saat pecah (C_b) sebesar 3,736 m/s. Selain itu, sudut datang gelombang terhadap garis pantai (α_b) adalah $21,85^\circ$. Transformasi ini berkontribusi pada energi yang tersedia untuk mengangkut sedimen ke arah muara dan sepanjang garis pantai.



Gambar 6. Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang; (b) Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah; (c) Gambar Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah

Tabel 5. Perhitungan Shoaling untuk Arah Barat Laut

L_o	d/L_o	d/L	L	n_o	n	K_r	K_s	H
15.647	0.639	0.63	15.873	0.5	0.502	0.991	0.982	0.956
28.518	0.281	0.294	27.211	0.5	0.591	1.03	0.887	0.873
27.592	0.181	0.209	23.923	0.5	0.609	1.089	0.947	0.9
27.972	0.071	0.114	17.544	0.5	0.86	1.291	0.927	1.077
28.65	0.035	0.024	42.373	0.5	0.992	0.809	0.341	0.297
8.244	0.061	0.031	16.077	0.5	0.986	0.722	0.26	0.056

Tabel 6. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan Arah Barat Laut

$H'o$	$H'o/gT^2$	m	$H_b/H'o$	H_b
1.0005	0.0102	0.0106	0.80	0.800
1.0778	0.0060	0.0136	1.10	1.186
0.9218	0.0053	0.0124	1.12	1.032
0.9712	0.0055	0.0120	1.12	1.088
3.1609	0.0175	0.0108	0.90	2.845
1.1419	0.0220	0.0192	0.80	0.914

4.5. Perhitungan Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen dibagi menjadi dua jenis, yaitu sejajar pantai (longshore transport) dan tegak lurus pantai (onshore-offshore transport).

- **Angkutan Sedimen Sejajar Pantai**
Perhitungan menggunakan rumus berdasarkan pendekatan CERC (Coastal Engineering Research Center), menghasilkan nilai angkutan sedimen sejajar pantai sebesar 16.880,989 m³/tahun. Volume ini cukup besar dan menunjukkan adanya proses pengangkutan sedimen yang dominan sepanjang garis pantai akibat arus sejajar pantai (longshore current).
- **Angkutan Sedimen Tegak Lurus Pantai**
Angkutan sedimen arah tegak lurus pantai dihitung sebesar 2.621,200 m³/tahun. Ini mencerminkan pergerakan sedimen yang didorong oleh gelombang yang datang secara tegak lurus ke garis pantai, membawa dan mengendapkan sedimen masuk dan keluar dari zona pantai.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angkutan Sedimen (Analisis Penulis, 2025)

Angkutan Sedimen	Qs (m ³ /tahun)
Sejajar Pantai	16880.989
Tegak Lurus Pantai	2621.200

4.6. Tipe Sedimentasi

Berdasarkan data dan perhitungan yang telah dilakukan, tipe sedimentasi yang terjadi di Muara Sungai Kampung Ambong dapat dikategorikan sebagai sedimentasi aktif dengan dominasi arus sejajar pantai. Hal ini diperkuat oleh nilai angkutan sedimen yang lebih besar pada arah sejajar pantai dibandingkan dengan arah tegak lurus. Tipe ini biasanya terjadi pada daerah muara yang dipengaruhi oleh gelombang dominan dan energi arus sepanjang pantai yang cukup besar. Proses sedimentasi ini berdampak terhadap bentuk morfologi muara dan potensi penyumbatan alur pelayaran, sehingga memerlukan penanganan yang berkelanjutan melalui pengelolaan teknis dan monitoring berkala.



Gambar 7. Distribusi Sedimentasi di Kampung Ambong

5. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa proses sedimentasi di Muara Sungai Kampung Ambong didominasi oleh dinamika gelombang laut yang berasal dari arah barat laut, dengan tinggi gelombang signifikan mencapai 0,982 meter dan periode 4,332 detik. Gelombang tersebut, melalui transformasi seperti refraksi dan pecah gelombang, menghasilkan energi yang cukup untuk menggerakkan sedimen secara intensif ke arah sejajar pantai. Analisis data angin dan hasil perhitungan hindcasting mendukung temuan ini, menunjukkan konsistensi arah angin dominan yang berkontribusi terhadap pembentukan gelombang signifikan.

Pola pasang surut semi-diurnal yang teridentifikasi turut memperkuat sirkulasi arus bolak-balik di muara, yang berpengaruh terhadap redistribusi material sedimen. Volume angkutan sedimen sejajar pantai tercatat sebesar 16.880,989 m³/tahun, jauh lebih besar dibandingkan dengan angkutan tegak lurus pantai yang hanya sebesar 2.621,200 m³/tahun. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sedimentasi di lokasi studi bersifat aktif dan didominasi oleh mekanisme longshore transport.

Akumulasi sedimen akibat proses tersebut telah menyebabkan penyempitan alur muara dan berpotensi mengganggu aktivitas pelayaran serta mempercepat perubahan morfologi pesisir. Oleh karena itu, dibutuhkan langkah-langkah mitigasi berbasis pendekatan teknis dan ekologis. Rekomendasi yang dapat diajukan meliputi pembangunan struktur pengendali pantai seperti pemecah gelombang atau jetty, serta pelaksanaan pemantauan morfologi secara berkala untuk mengevaluasi efektivitas intervensi yang dilakukan dan memastikan keberlanjutan pengelolaan kawasan pesisir.

Ucapan terima kasih

Penulis Mengucapkan Terima Kasih Kepada Seluruh Pihak Yang Telah Memberikan Dukungan Dalam Proses Penelitian Ini. Apresiasi Diberikan Kepada Instansi Terkait Yang Telah Menyediakan Data Sekunder Seperti Informasi Angin, Pasang Surut, Dan Peta Batimetri, Yang Menjadi Dasar Dalam Analisis Teknikal Dan Oseanografi.

Penghargaan Disampaikan Kepada Laboratorium Dan Fasilitas Akademik Yang Telah Mendukung Pengolahan Data Dan Simulasi Teknis Selama Penelitian. Penulis Juga Berterima Kasih Kepada Warga Di Sekitar Lokasi Penelitian, Terutama Nelayan Di Wilayah Kampung Ambong, Atas Informasi Lapangan Dan Wawasan Empiris Yang Berharga Dalam Menyempurnakan Interpretasi Data.

Referensi

- 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.
- Gerrits, L., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2020). Analisis kinerja gelombang di Pantai Malalayang II. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 39–44.
- Kappers, A. C., Mamoto, J. D., & Jasin, M. I. (2024). Alternatif pemecahan masalah overtopping Manado Town Square. *Jurnal Teknik Sipil*, 22(88), 15–23.
- 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.
- Ratu, Y. A., Jasin, M. I., & Mamoto, J. D. (2015). Analisis karakteristik gelombang di Pantai Bulu 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.
- 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.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2012). *Perencanaan bangunan pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- 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.