



Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Muara Sungai Malalayang Kota Manado

Syaila R. Salsabila^{#a}, Muhammad I. Jasin^{#b}, Jeffry D. Mamoto^{#c}

Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^asyailasalsabila021@student.unsrat.ac.id, ^bsanyjasin02@yahoo.com, ^cjeffrymamoto@unsrat.ac.id

Abstrak

Muara Sungai Malalayang di Kota Manado mengalami permasalahan sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan alur sungai, sehingga menghambat aktivitas pelayaran masyarakat sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan bangunan pengaman pantai berupa jetty menggunakan simulasi numerik. Simulasi dilakukan untuk menganalisis pola arus, gelombang, dan sedimentasi sebelum dan sesudah pembangunan jetty. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jetty mampu mengarahkan aliran arus secara lebih teratur dan mengurangi turbulensi di area muara. Selain itu, tinggi gelombang signifikan di area muara berkurang dari sekitar 0,56 meter menjadi 0,24–0,32 meter setelah jetty dibangun. Zona teduh yang terbentuk di belakang jetty efektif meredam energi gelombang dan menahan intrusi sedimen dari laut. Persebaran sedimentasi bergeser ke arah luar muara dan berkurang di jalur utama aliran sungai. Jetty yang direncanakan terdiri atas dua sisi dengan panjang masing-masing ± 123 meter dan ± 28 meter. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bangunan jetty efektif secara teknis dalam mengurangi dampak gelombang dan sedimentasi di muara Sungai Malalayang.

Kata kunci: Sungai Malalayang, sedimentasi, simulasi numerik, jetty

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki garis pantai yang sangat panjang dan rentan terhadap berbagai permasalahan pesisir, salah satunya adalah sedimentasi di wilayah muara sungai. Fenomena ini umumnya dipicu oleh interaksi kompleks antara arus sungai, gelombang laut, dan pergerakan sedimen, yang dapat menyebabkan pendangkalan alur pelayaran. Salah satu lokasi yang terdampak adalah muara Sungai Malalayang di Kota Manado, di mana sedimentasi telah menghambat aktivitas masyarakat pesisir, khususnya para nelayan.

Penelitian sebelumnya oleh Manalip (2024) mengidentifikasi bahwa sedimentasi di kawasan ini terjadi akibat proses akresi yang signifikan, dengan volume angkutan sedimen mencapai lebih dari 2.000 m³/tahun. Gelombang laut dari arah barat laut menjadi faktor dominan dalam proses sedimentasi ini, sementara pengaruh pasang surut relatif kecil.

Sebagai solusi, dibutuhkan bangunan pengaman pantai berupa jetty untuk mengatur aliran sungai dan mengurangi intrusi sedimen dari laut. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak *MIKE21* untuk menganalisis pola arus, gelombang, dan sedimentasi sebelum dan sesudah pembangunan jetty, guna memperoleh desain struktur yang efektif dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana penerapan simulasi numerik menggunakan *MIKE21* dalam menganalisis pola pergerakan sedimen serta merancang bangunan pengaman pantai yang efektif di muara Sungai Malalayang?

1.3. Tujuan Penelitian

Untuk menganalisis pola pergerakan sedimen akibat gelombang laut di Muara Sungai Malalayang serta menentukan bangunan pengaman pantai yang paling efektif berdasarkan hasil simulasi menggunakan *MIKE21*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

- 1) Penelitian ini hanya dilakukan di wilayah Muara Sungai Malalayang, Kota Manado, sebagai lokasi studi kasus.
- 2) Analisis difokuskan pada pola pergerakan sedimen yang disebabkan oleh gelombang laut tanpa memperhitungkan pengaruh pasang surut, angin, dan aktivitas manusia secara rinci.
- 3) Simulasi dilakukan menggunakan software *MIKE21* untuk memvisualisasikan pola sedimentasi dan memprediksi pengaruhnya terhadap garis pantai.
- 4) Penentuan lokasi dan bentuk bangunan pengaman pantai didasarkan pada hasil simulasi, tanpa masuk ke dalam detail desain struktur secara teknis.
- 5) Perencanaan ini hanya menggunakan data sekunder dari hasil penelitian Eunike Manalip (2024) yang telah tersedia sebelumnya.
- 6) Tidak memperhitungkan rincian anggaran biaya bangunan pengaman pantai.
- 7) Tidak merencanakan kestabilan bangunan pengaman pantai.

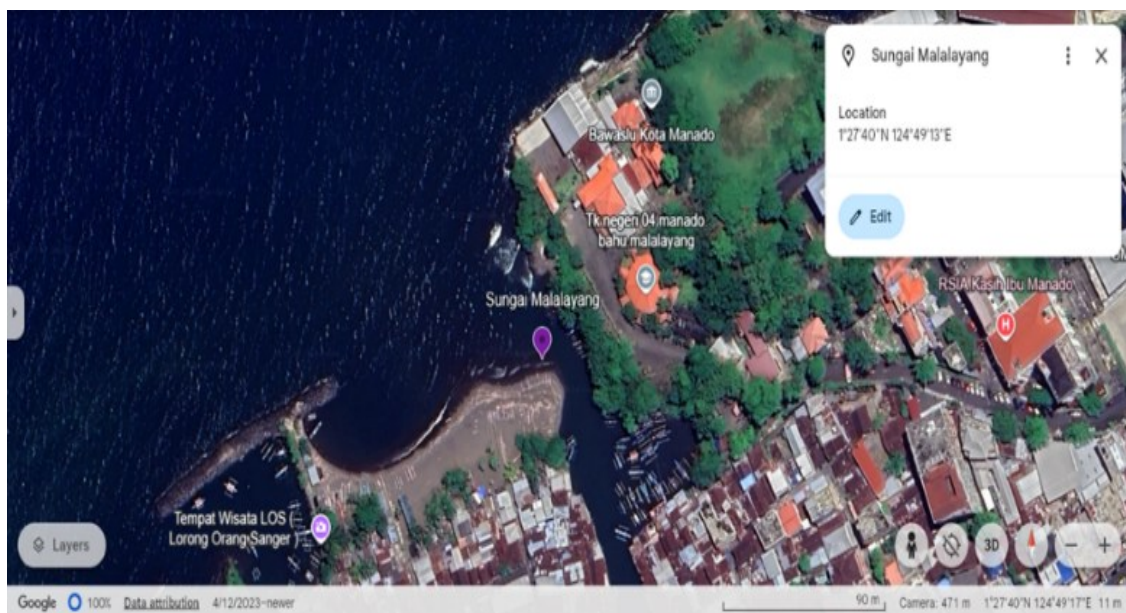
1.5. Manfaat Penelitian

Bertujuan untuk mendukung pengembangan ilmu teknik sipil dalam analisis pergerakan sedimen dan perencanaan bangunan pengaman pantai berbasis simulasi. Hasilnya diharapkan menjadi referensi teknis bagi pihak terkait dalam menentukan lokasi dan jenis bangunan yang tepat di Muara Sungai Malalayang.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah pesisir Muara Sungai Malalayang, yang terletak di Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Muara tersebut merupakan salah satu muara aktif yang memiliki hubungan langsung dengan Laut Sulawesi dan secara geografis berada di sekitar koordinat $1^{\circ}27'40''\text{N}$ dan $124^{\circ}49'13''\text{E}$.

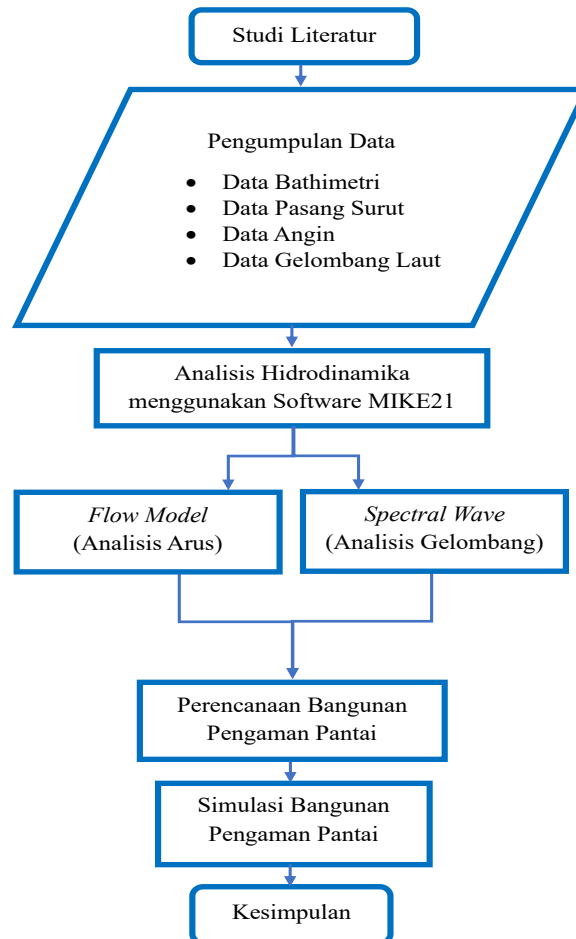


Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth)

2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir 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 yaitu Data Batimetri, Data Pasang Surut, Data Angin, Data Gelombang Laut, Peta dan Citra Satelit.

2.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1. Gambaran Umum Lokasi

Muara Sungai Malalayang terletak di pesisir barat Kota Manado, Sulawesi Utara. Wilayah ini memiliki karakteristik geomorfologi berupa pertemuan antara aliran sungai dan laut terbuka, dengan topografi dasar laut yang relatif landai dan mengalami proses sedimentasi aktif. Area ini juga berdekatan dengan permukiman warga, infrastruktur pesisir, serta mengalami ancaman abrasi dan pendangkalan muara. Berdasarkan pada acuan hasil penelitian sebelumnya (Eunike Manalip, 2024) citra satelit menunjukkan adanya pembentukan delta di sekitar muara sungai.

3.2. Muara Sungai

Muara Sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Muara berfungsi sebagai pengeluaran/pembuangan debit sungai terutama pada waktu banjir ke laut. Selain itu muara sungai juga harus melewati debit yang ditimbulkan oleh pasang surut, yang bisa lebih besar dari debit sungai.

3.3. Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses pengendapan material seperti pasir, lumpur, dan kerikil yang terbawa oleh aliran air dari hulu ke hilir, dengan sumber utama berasal dari erosi, pelapukan batuan, serta aktivitas manusia. Proses ini umumnya terkonsentrasi di wilayah muara atau pesisir. Muara sungai merupakan zona transisi antara sungai dan laut yang memiliki karakteristik hidrodinamika kompleks akibat interaksi antara arus, gelombang, dan pasang surut. Kondisi tersebut menjadikan muara sebagai area yang dinamis dan sangat rentan terhadap sedimentasi. Jika tidak ditangani secara tepat, akumulasi sedimen di muara dapat menyebabkan pendangkalan alur sungai, mengganggu jalur pelayaran, memicu genangan, serta merusak keseimbangan ekosistem pesisir.

3.4. Jetty

Jetty adalah struktur pemecah gelombang yang dibangun di sisi kanan dan kiri muara sungai, dan berfungsi utama untuk menjaga agar alur sungai tetap terbuka dan bebas dari sedimentasi. Jetty juga membantu memperlancar aliran air dari sungai ke laut serta mengurangi pengaruh gelombang dan pergerakan sedimen dari arah samping (longshore drift).

3.5. Gelombang

Gelombang adalah salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Triatmodjo, 1999).

3.5.1. Gelombang Signifikan

Dalam menentukan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s), digunakan analisis spektrum gelombang JONSWAP (*Shore Protection Manual*, 1984) yang diturunkan berdasarkan kondisi FDS (*Fully Developed Sea*).

$$H_s = \frac{0,0016 \times \sqrt{\frac{gF_{eff}}{UA^2}} \times UA^2}{g}$$

$$H_s = \frac{0,2857 \times \left(\sqrt{\frac{gF_{eff}}{UA^2}}\right)^{\frac{1}{3}} \times UA^2}{g}$$

3.5.2. Kala Ulang Gelombang

Analisa kala ulang gelombang dengan metode gumbel adalah sebagai berikut (Yuwono, N. 1992):

$$\bar{H} = \frac{\sum HS}{\sum N}$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum (H - \bar{H})^2}{N - 1}}$$

$$H_t = \bar{H} + \frac{\sigma_H}{\sigma_n} (Y_t - \bar{Y}_n)$$

3.5.3. Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman

Apabila kedalaman relative $d/L \geq 0,5$ maka panjang dan cepat rambat gelombang dihitung menggunakan persamaan (Triatmodjo, 1999).

$$L_0 = 1,56 \cdot T^2$$

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{g \cdot T}{2\pi}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

Untuk gelombang di laut transisi yaitu apabila $1/20 < d/L < 1/2$, maka panjang dan cepat rambat gelombang dihitung menggunakan persamaan (Triatmodjo, 1999):

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

3.5.4. Refraksi Gelombang

Apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau, maka (Triatmodjo, 1999):

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0$$

3.5.5. Gelombang Rencana

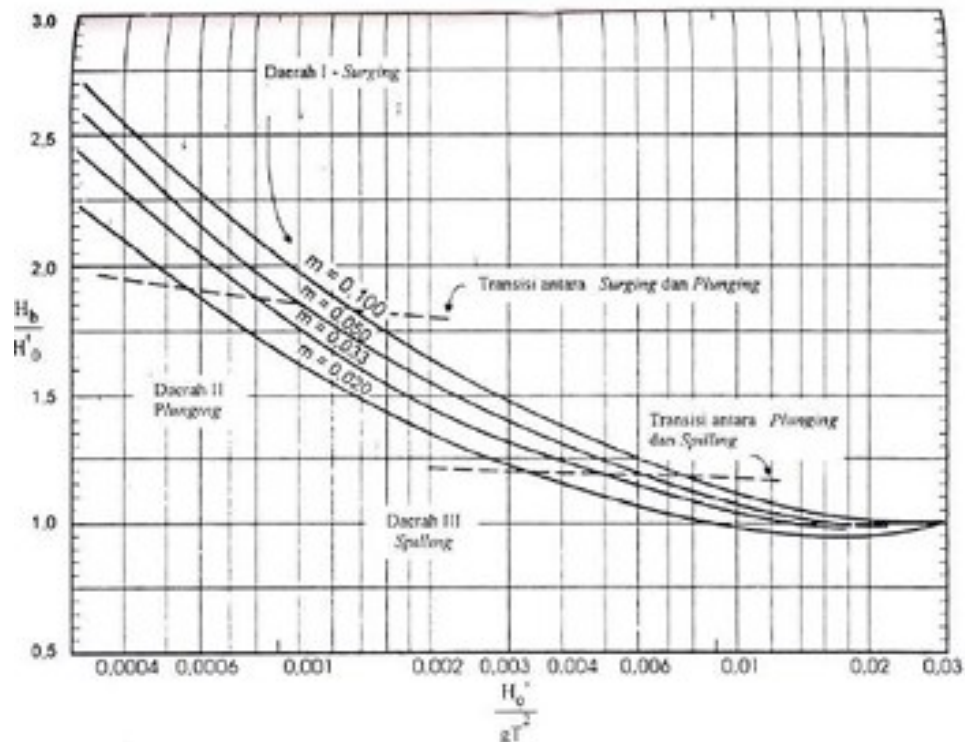
Tinggi gelombang di laut dangkal terjadi akibat pengaruh refraksi gelombang diberikan oleh rumus berikut (Triatmodjo, Teknik Pantai, 1999):

$$H_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_t$$

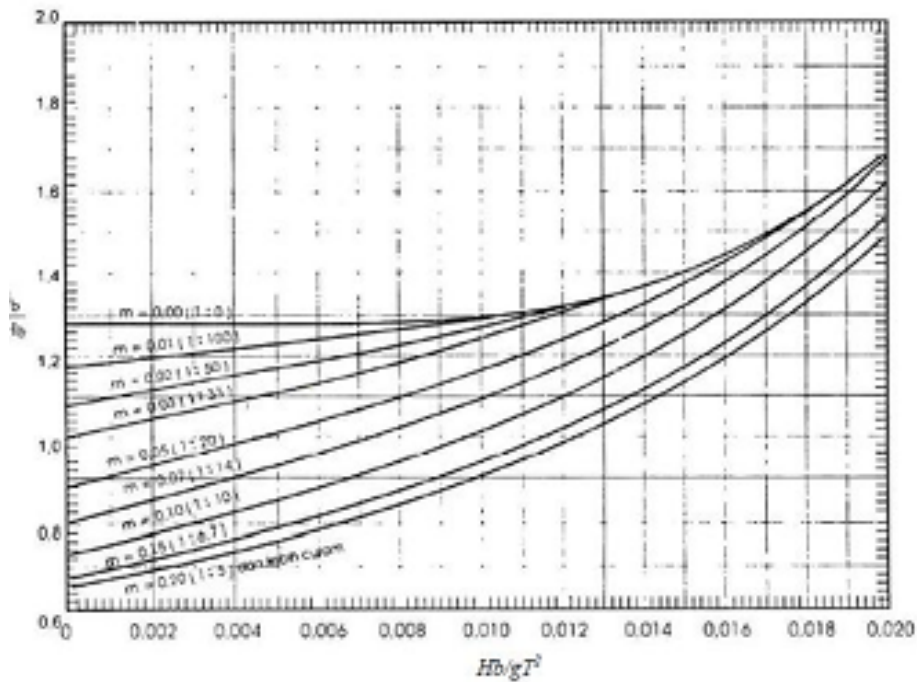
3.5.6. Gelombang Pecah

Gelombang pecah dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini serta Gambar 3. dan Gambar 4 (Triatmodjo, 1999).

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (a \cdot H_b / g \cdot T^2)}$$



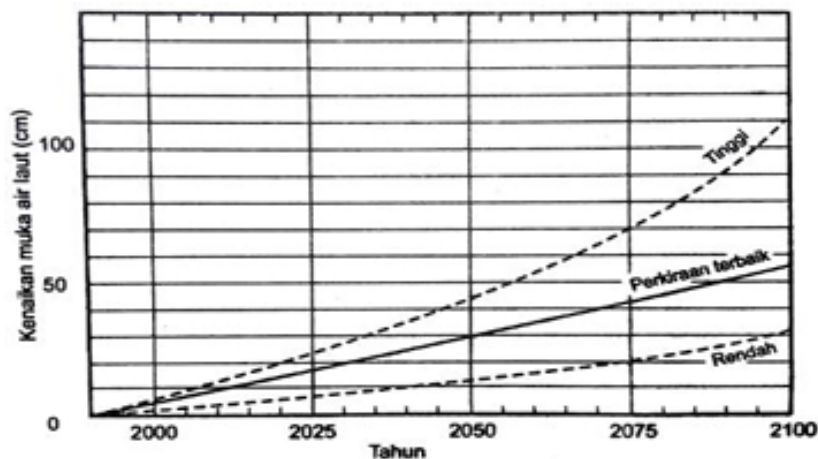
Gambar 3. Penentuan Tinggi Gelombang



Gambar 4. Penentuan Kedalaman Gelombang

3.5.7. Pemanasan Global

Pemanasan global atau *global warming* adalah adanya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan Bumi (Triatmodjo, 1999), pada Gambar 5.



Gambar 5. Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut karena Pemanasan Global

3.6. Perhitungan Elevasi Muka Air Laut Rencana

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter sangat penting dalam perencanaan bangunan pantai. Elevasi muka air laut rencana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Triatmodjo, 1999).

$$DWL = HWL + Sw + \Delta h + \text{Pemanasan global}$$

3.7. Pemodelan Menggunakan Software MIKE 21

MIKE21 merupakan perangkat lunak simulasi numerik dua dimensi yang dikembangkan oleh *Danish Hydraulic Institute (DHI)* dan dirancang khusus untuk memodelkan berbagai proses fisik yang terjadi di lingkungan perairan seperti pesisir, estuari, muara sungai, dan danau. Modul yang digunakan dalam penelitian ini:

- 1) Flow Model (FM) : digunakan untuk mensimulasikan arus dan pasang surut berdasarkan persamaan Navier-Stokes yang disederhanakan.
- 2) Modul Spectral Wave (SW) : digunakan untuk memodelkan penyebaran energi gelombang laut berdasarkan pendekatan spektral modul.
- 3) Modul Sediment Transport (ST) : digunakan untuk memodelkan pergerakan sedimen dasar dan sedimen suspensi, baik akibat arus maupun gelombang.

3.8. Perhitungan Dimensi Bangunan Jetty

3.8.1. Tinggi dan Lebar Bangunan Jetty

Elevasi puncak bangunan *jetty* dihitung dengan persamaan (Yuwono, 1992) :

$$El_{jetty} = DWL + Ru + \text{tinggi jagaan}$$

Untuk bangunan tanpa terjadi limpasan, lebar puncak bisa lebih kecil. Lebar puncak dapat dihitung dengan rumus (Triatmodjo, 1999) :

$$B = n K \Delta \left(\frac{w}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

3.8.2. Kontrol Stabilitas Pengaman Kaki (Toe Protection)

Gelombang dan arus yang menyerang bangunan pengaman pantai dapat menyebabkan terjadinya erosi pada tanah fondasi di depan kaki bangunan. Berat butir batu untuk pondasi dan pelindung kaki (*toe protection*) dihitung dengan rumus berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$d_1 = ds - t_{toe}$$

$$w = \frac{\gamma r H^3}{Ns^3 (Sr - 1)^3}$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Sekunder

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

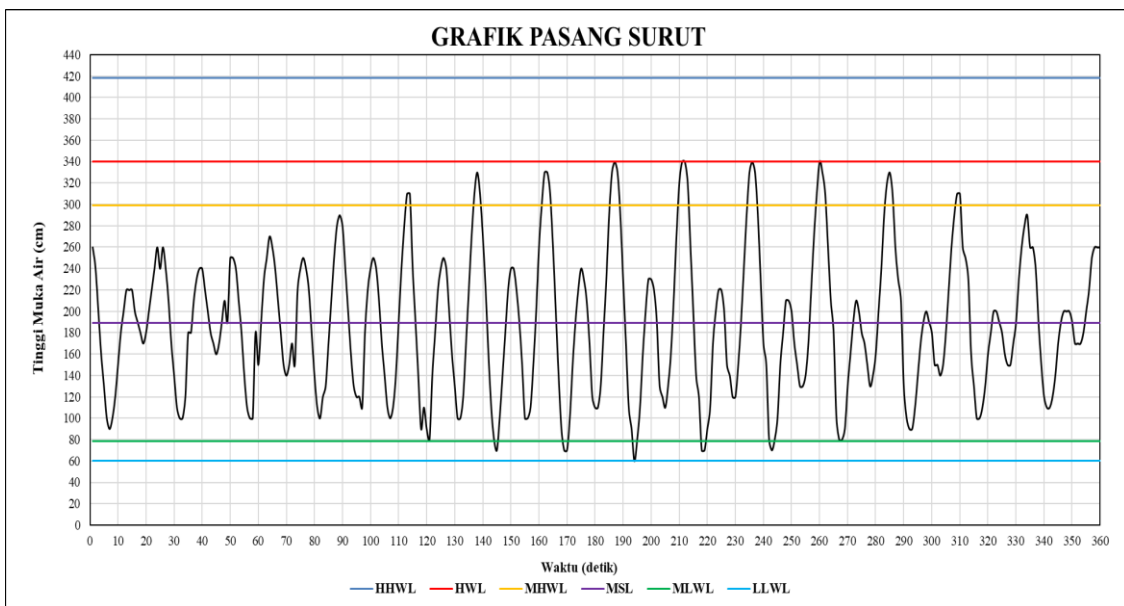
- 1) Data batimetri yang diperoleh dari website resmi BATNAS digunakan untuk mempresentasikan kedalaman perairan di sekitar muara sungai malalayang sebagai dasar dalam pembentukan model elevasi dasar laut pada proses pemodelan numerik.
- 2) Data pasang surut yang diperoleh dari LANTAMAL VIII Manado, digunakan untuk mengidentifikasi elevasi muka air laut terendah secara absolut serta memahami pola pasang surut.



Gambar 6. Peta Batimetri pada Lokasi Penelitian

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pasang Surut

No	Tanggal	Jam																							Jumlah Bacaan	Bacaan Rerata/jam	
		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	1-Dec-2022	2.6	2.4	2.0	1.6	1.3	1.0	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	44.3	1.85
2	2-Dec-2022	2.4	2.6	2.4	2.1	1.7	1.4	1.1	1.0	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.4	2.4	2.2	2.0	1.8	1.7	1.6	1.7	1.9	2.1	44.4	1.85
3	3-Dec-2022	1.9	2.5	2.5	2.4	2.1	1.8	1.4	1.1	1.0	1.0	1.2	1.5	1.9	2.3	2.5	2.7	2.6	2.4	2.1	1.8	1.5	1.4	1.5	1.7	44.8	1.87
4	4-Dec-2022	1.5	2.2	2.4	2.5	2.4	2.2	1.8	1.4	1.1	1.0	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.8	2.9	2.8	2.4	2.0	1.6	1.3	1.2	1.2	45.3	1.89
5	5-Dec-2022	1.1	1.8	2.2	2.4	2.5	2.4	2.1	1.7	1.4	1.1	1.0	1.1	1.4	1.9	2.4	2.8	3.1	3.1	2.4	1.9	1.4	0.9	1.1	0.9	44.1	1.84
6	6-Dec-2022	0.8	1.4	1.8	2.2	2.4	2.5	2.4	2.0	1.6	1.3	1.0	1.0	1.2	1.7	2.2	2.7	3.1	3.3	3.1	2.7	2.2	1.6	1.1	0.8	46.1	1.92
7	7-Dec-2022	0.7	1.0	1.4	1.8	2.2	2.4	2.4	2.2	1.9	1.5	1.2	1.0	1.1	1.5	2.0	2.6	3.0	3.3	3.3	3.1	2.6	2.0	1.4	0.9	46.5	1.94
8	8-Dec-2022	0.7	0.7	1.0	1.5	1.9	2.2	2.4	2.3	2.1	1.7	1.3	1.1	1.1	1.3	1.8	2.3	2.9	3.3	3.4	3.3	2.9	2.3	1.7	1.1	46.3	1.93
9	9-Dec-2022	0.9	0.6	0.8	1.1	1.6	2.0	2.3	2.3	2.2	1.9	1.5	1.2	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.2	3.4	3.4	3.2	2.6	2.0	1.4	46.4	1.93
10	10-Dec-2022	1.2	0.7	0.7	0.9	1.3	1.7	2.0	2.2	2.2	2.0	1.7	1.4	1.2	1.2	1.5	1.9	2.4	2.9	3.3	3.4	3.3	2.9	2.3	1.7	46.0	1.92
11	11-Dec-2022	1.5	0.8	0.7	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.1	2.0	1.8	1.5	1.3	1.3	1.4	1.7	2.2	2.7	3.1	3.4	3.3	3.1	2.6	2.1	45.9	1.91
12	12-Dec-2022	1.8	1.0	0.8	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.4	1.6	2.0	2.4	2.9	3.2	3.3	3.1	2.8	2.3	45.7	1.90
13	13-Dec-2022	2.1	1.3	1.0	0.9	0.9	1.1	1.4	1.7	1.9	2.0	2.0	1.8	1.5	1.5	1.4	1.5	1.8	2.2	2.6	2.9	3.1	3.1	2.9	2.5	45.1	1.88
14	14-Dec-2022	2.3	1.6	1.3	1.0	1.0	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.5	1.7	1.9	2.3	2.6	2.8	2.9	2.9	2.6	45.0	1.88
15	15-Dec-2022	2.4	1.9	1.5	1.2	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.7	1.7	1.8	2.0	2.2	2.5	2.6	2.7	2.6	44.8	1.87



Gambar 7. Grafik Pasang Surut Muara Sungai Malalayang

Tabel 2. Elevasi Muka Air

Elevasi Muka Air	Satuan	Data
HHWL	cm	418.45
HWL	cm	340.00
MHWL	cm	299.10
MSL	cm	188.93
MLWL	cm	78.75
LLWL	cm	60.00
Range	cm	229.52

3) Data Hindcasting Gelombang

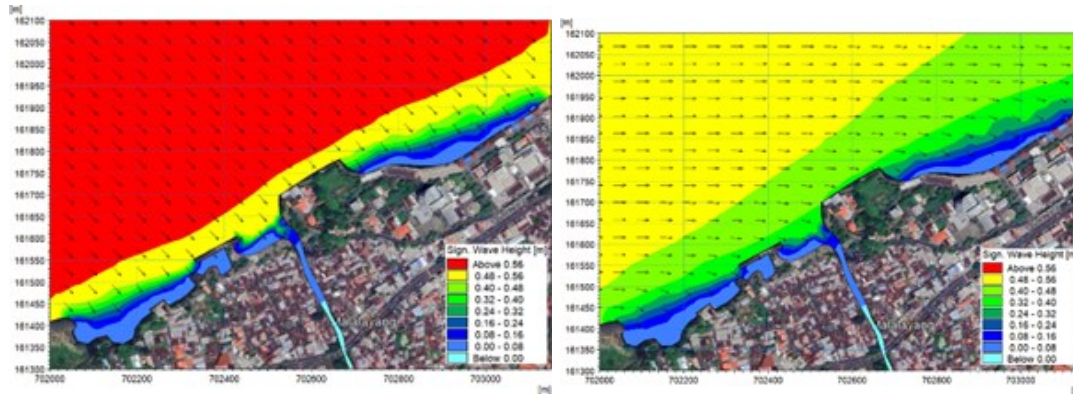
Data hindcasting gelombang ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut didapatkan pada bulan Januari arah Barat Laut paling maksimum yaitu tinggi gelombang (H) = 0,589 meter dan periode gelombang (T) = 3,891 detik.

Tabel 3. Rekapitulasi Arah tinggi dan Periode dari Masing-masing Fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		W	E	SE	NW	Arah	H - T
JANUARI	H (m)				0.589	NW	0.589
	T (det)				3.891		3.891
FEBRUARI	H (m)	0.498				W	0.498
	T (det)	3.576					3.576
MARET	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
APRIL	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
MEI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
JUNI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
JULI	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
AGUSTUS	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
SEPTEMBER	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
OKTOBER	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
NOVEMBER	H (m)						0.000
	T (det)						0.000
DESEMBER	H (m)					W	0.000
	T (det)						0.000
MAX TIAP ARAH	H (m)	0.498	0.000	0.000	0.589	NW	0.589
	T (det)	3.576	0.000	0.000	3.891		3.891

4.2. Hasil Simulasi Pemodelan Gelombang

Pemodelan gelombang dilakukan menggunakan modul *Spectral Wave (SW)* dari *software MIKE21*, yang bertujuan untuk memahami karakteristik penyebaran gelombang laut di kawasan pesisir Muara Sungai Malalayang, Kota Manado.

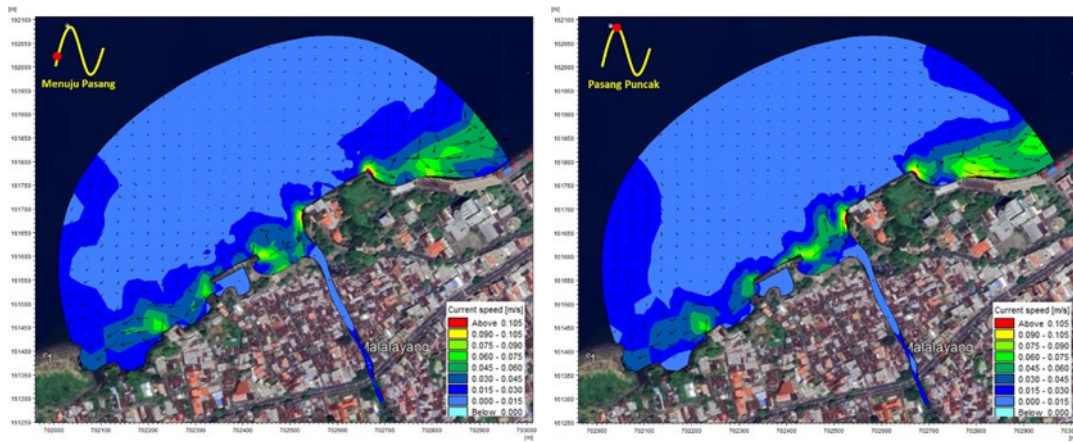


Gambar 8. Hasil Simulasi Gelombang dari Arah Barat Laut (kiri) dan Arah Barat (kanan)

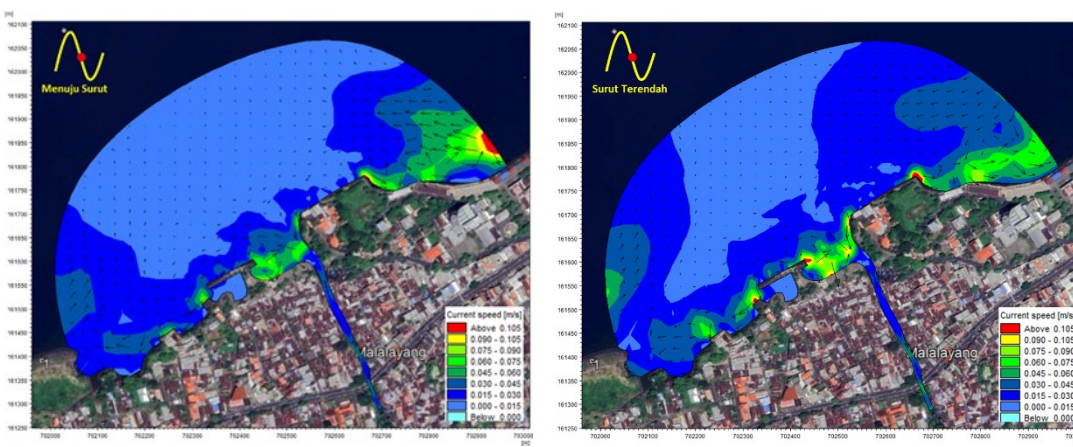
Berdasarkan hasil simulasi pemodelan gelombang, Bangunan Pengaman Pantai Jetty perlu dirancang dengan memperhitungkan arah dominan gelombang dari Barat Laut, karena gelombang bergerak menyerong mendorong sedimen sepanjang garis pantai ke arah muara dan panjang jetty harus cukup untuk menghalangi sedimnetasi lateral.

4.3. Hasil Simulasi Pemodelan Arus dan Sedimentasi Kondisi Eksisting

Untuk memahami dinamika arus laut pola transport sedimen di kawasan pesisir muara sungai malalayang dilakukan simulasi numerik menggunakan *software MIKE21*. Modul yang digunakan dalam simulasi ini adalah *MIKE21 FM (Flow Model)* untuk mensimulasikan pola arus dua dimensi (2D) permukaan laut dan *MIKE21 ST (Sediment Transport)* untuk menganalisis distribusi dan arah transportasi sedimen berdasarkan hasil simulasi hidrodinamika.



Gambar 9. Hasil Simulasi Arus Kondisi Eksisting Fase Menuju Pasang (kiri) dan Hasil Simulasi Arus Kondisi Eksisting Fase Pasang Puncak (kanan)



Gambar 10. Hasil Simulasi Arus Kondisi Eksisting Fase Menuju Surut (kiri) dan Hasil Simulasi Arus Kondisi Eksisting Fase Surut Terendah (kanan)



Gambar 11. Hasil Simulasi Sedimentasi Kondisi Eksisting

4.4. Perencanaan Bangunan Jetty

4.4.1. Perhitungan Gelombang

Berdasarkan grafik hubungan tinggi dengan periode gelombang didapatkan nilai panjang gelombang laut dalam (L_0) = 23,615 dan d/L_0 = 0,4235. Dari tabel interpolasi nilai d/L_0 didapat nilai d/L = 0,42746 dan n = 0,52495, maka L = 23,394. Untuk cepat rambat gelombang C_0 =

6,070 m/det dan nilai $C = 6,013$ m/det. Selain itu perhitungan refraksi gelombang, koefisien refraksi (K_r), koefisien shoaling (K_s) berturut-turut adalah $\alpha = 44,467^\circ$, $K_r = 1,012$, $K_s = 0,9615$. Dari perhitungan K_r dan K_s akan didapatkan nilai tinggi gelombang yaitu $H = 0,5694$.

Perhitungan gelombang pecah dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik hubungan antara $H'_0/g.T^2$, didapatkan $H_0 = 0,6123$ dan $H'_0/g.T^2 = 0,0041$. Dari hasil plot antara nilai $H'_0/g.T^2$ dan kemiringan pantai (m) didapatkan nilai $H_b = 0,735$ m (tinggi gelombang pecah). Dari hasil plot antara nilai $H_b/g.T^2$ dan kemiringan pantai (m) didapatkan nilai $db = 0,948$ m (gelombang pecah pada kedalaman). Untuk perhitungan kenaikan muka air akibat gelombang (*wave set up*) dan perhitungan kenaikan muka air akibat angin (*wind set up*) didapatkan nilai $S_w = 0,11195$ m dan $\Delta h = 0,78937$ m serta pemanasan global selama 5 tahun diperkirakan 5 cm atau 0,05 m. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai DWL yaitu 4,35132 m.

4.4.2. Perhitungan Dimensi Jetty

Untuk menghitung dimensi jetty dilakukan beberapa perhitungan yaitu:

- 1) Penentuan *run-up* gelombang

$$I_r = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0,5}}$$

$$I_r = \frac{1/2}{\left(\frac{0,735}{23,394}\right)^{0,5}}$$

$$I_r = 2,82$$

$$R_u = 1,10 \times 0,735 \text{ m} = 0,8085 \text{ m}$$

- 2) Tinggi bangunan jetty

$$E_1 = 4,35132 + 0,8085 + 0,59$$

$$E_1 = 5,74982 \text{ m}$$

- 3) Perhitungan lebar puncak bangunan

$$B = n K \Delta \left(\frac{w}{\rho}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 2 \times 1,02 \left(\frac{0,24}{1,7}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 1,04 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

- 4) Perhitungan tebal lapisan

$$t_1 = n K \Delta \left(\frac{w}{\rho}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_1 = 2 \times 1,02 \left(\frac{0,24}{1,7}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_1 = 1,04 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

$$t_1 = t_2$$

$$t_2 = 1 \text{ m}$$

- 5) Perhitungan tebal pelindung kaki bangunan jetty

$$t_{toe} = n K \Delta \left(\frac{w}{\rho}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_{toe} = 2 \times 1,02 \left(\frac{0,24}{1,7}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_{toe} = 1,04 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

- 6) Lebar pelindung kaki bangunan jetty

$$B_{toe} = 3 \times 0,58 \text{ m}$$

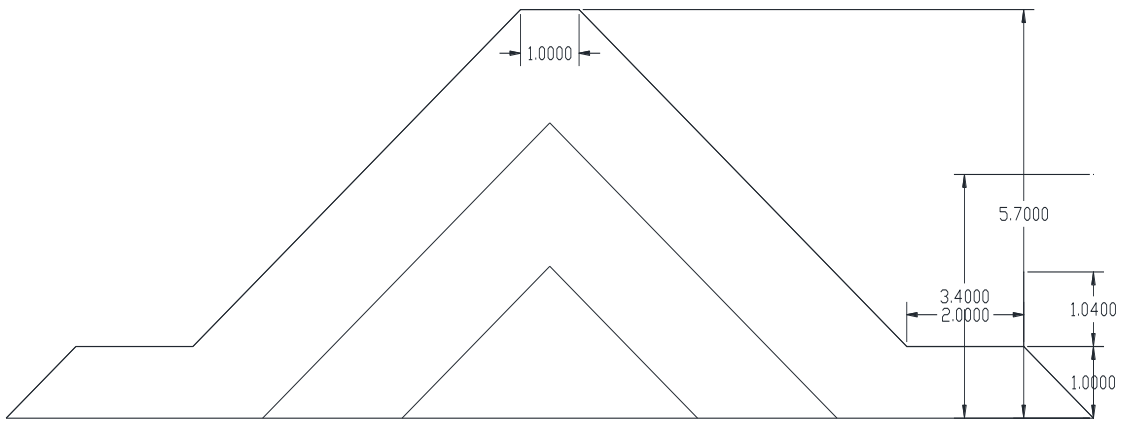
$$B_{toe} = 1,75 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

- 7) Kontrol stabilitas pelindung kaki

$$\frac{d_1}{d_s} = \frac{1,04}{3,4} = 0,306$$

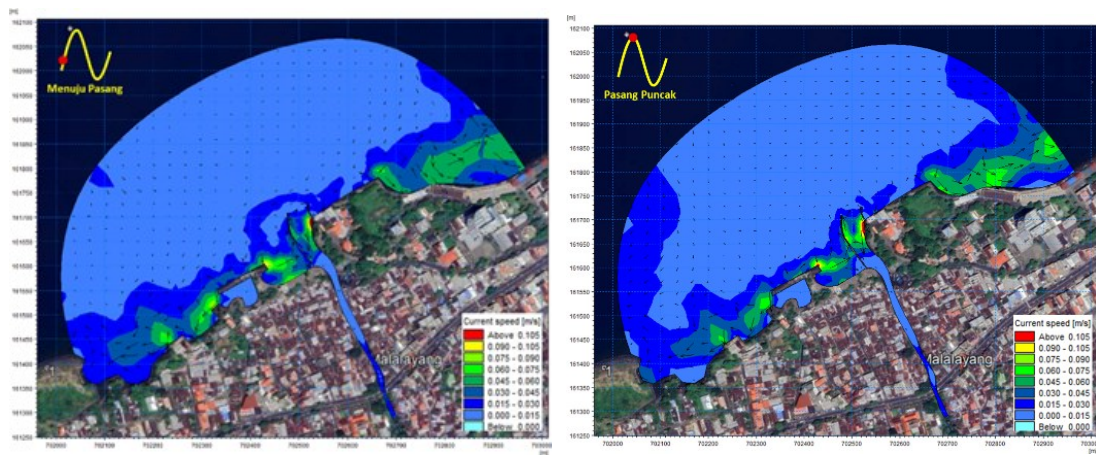
$$Ns^3 = 40 \leq 300 \text{ (aman)}$$

Nilai $Ns^3 = 40$, sehingga kaki pelindung bangunan jetty dikatakan aman.

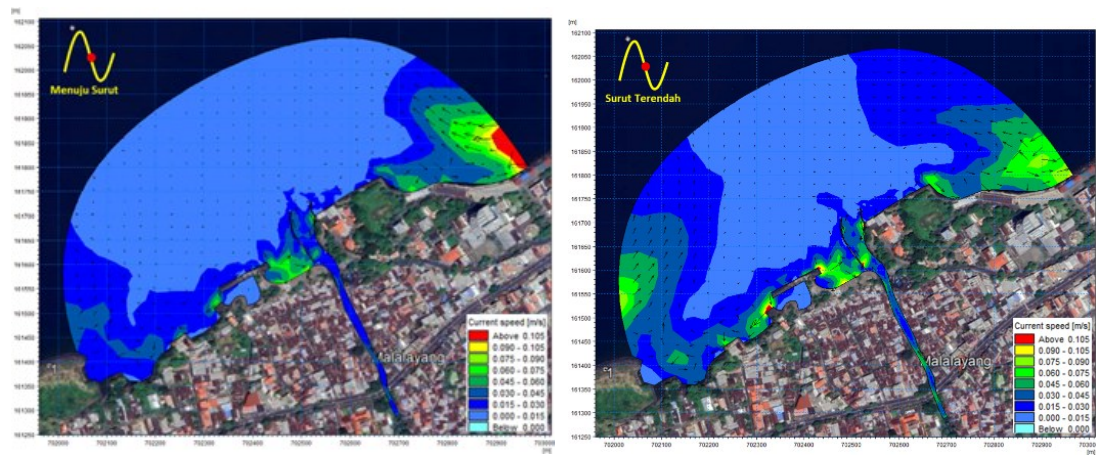


Gambar 12. Penampang Melintang Jetty

4.5. Hasil Simulasi Pemodelan Arus dan Sedimentasi Kondisi Rencana



Gambar 13. Hasil Simulasi Arus Kondisi Rencana Fase Menuju Pasang (kiri) dan Hasil Simulasi Arus Kondisi Rencana Fase Pasang Puncak (kanan)



Gambar 14. Hasil Simulasi Arus Kondisi Rencana Fase Menuju Surut (kiri) dan Hasil Simulasi Arus Kondisi Rencana Fase Surut Terendah (kanan)



Gambar 15. Hasil Simulasi Sedimentasi Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil simulasi, ditunjukkan bahwa arus dan sedimentasi pada kondisi eksisting tidak terarah dan terkonsentrasi pada mulut muara, sedangkan pada kondisi rencana lebih stabil dan diarahkan ke jalur utama muara sehingga sedimentasi di area kritis berkurang. Jetty juga terlihat bekerja efektif sebagai pengatur aliran dan penghalang sedimen masuk ke muara.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Gambaran Umum Lokasi

Berdasarkan hasil simulasi numerik dengan MIKE21, dapat disimpulkan bahwa setelah adanya jetty aliran arus menjadi lebih terpusat dan mengarah langsung ke laut, dengan kecepatan arus yang lebih stabil, serta dapat mendistribusikan sedimen bergeser ke luar muara dan menjaga kestabilan alur muara. Dimensi Jetty yang direncanakan:

- Panjang jetty sisi kiri = 123 meter
- Panjang Jetty sisi kanan = 28 meter
- Tinggi Bangunan = 5,70 meter
- Lebar puncak = 1 meter
- Lapisan pelindung (t1&t2) = 1 meter
- Tebal pelindung kaki = 1,04 m = 1 meter
- lebar pelindung kaki = 1,75 m = 2 meter
- kontrol stabilitas = $40 < 300$ (aman)

5.2. Saran

- Evaluasi Dimensi Jetty : Lakukan evaluasi berkala terhadap dimensi jetty agar tetap sesuai dengan perubahan morfologi pantai dan dasar laut, terutama saat kondisi ekstrem atau musim berubah.
- Kombinasi dengan struktur tambahan : Jetty sebaiknya didukung oleh struktur pengaman lain seperti groin atau revetment untuk meningkatkan efektivitas pengendalian sedimentasi dan menjaga garis pantai tetap stabil.
- Monitoring : Diperlukan program monitoring dan perawatan berkala terhadap kondisi jetty dan sedimentasi di sekitarnya agar fungsi bangunan tetap optimal dalam jangka panjang.

Referensi

- Eryani, N. M. (2020, Juni 1). *ALTERNATIF PERENCANAAN JETTY DI MUARA TUKAD PANGI KABUPATEN BADUNG*. Retrieved from [ejournal.warmadewa.ac.id: file:///C:/Users/ASUS/Downloads/basoka,+10_Upload_KrisnaWerdi_102-113.pdf](http://ejournal.warmadewa.ac.id/file:///C:/Users/ASUS/Downloads/basoka,+10_Upload_KrisnaWerdi_102-113.pdf)
- Manalip, E. H. (2024). *Analisis Sedimentasi Di Muara Sungai Malalayang Kota Manado*. Retrieved from ejournal.unsrat.ac.id: https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno/article/view/60363/48545

- Mashriqui, H. S. (2003). *Hydrodynamic and sediment transport modeling of deltaic sediment processes*. Retrieved from repository.lsu.edu:
https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2482&context=gradschool_dissertations
- Michael J. Briggs, B. P. (2004, Maret). *How to Use CGWAVE with SMS: An Example for Tedious Creek Small Craft Harbor*. Retrieved from www.researchgate.net:
www.researchgate.net/publication/237389472_How_to_User_CGWAVE_with_SMS_An_Example_for_Tedious_Creek_Small_Craft_Harbor
- Muhammad Cesar Wiratama Suyanto, d. D. (2024). *VALIDASI KECEPATAN ARUS SIMULASI NUMERIK MIKE 21 DENGAN KECEPATAN ARUS LAPANGAN PADA BANGUNAN GROIN PT. BODDIA GALESONG JAYA*. Retrieved from journal.unhas.ac.id:
<https://journal.unhas.ac.id/index.php/SENSISTEK/article/view/37342/12195>
- Muliati, Y. (2020). *Rekayasa Pantai*. Retrieved from ebook.itenas.ac.id:
<https://ebook.itenas.ac.id/repository/221721c86830dddbba6c5cca30c70138.pdf>
- Naura Rafifa Aulia Rahman, N. Z. (2023). *PEMODELAN ARUS PASANG SURUT DAN GELOMBANG 2D DENGAN METODE NUMERIK MENGGUNAKAN FLOW MODEL(FM) DAN SPECTRAL WAVE(SW) MIKE21 DI TELUK*