

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki puluhan ribu pulau yang dipisahkan oleh lautan, menjadikannya salah satu negara dengan garis pantai terpanjang di dunia. Dengan kondisi tersebut, wilayah pesisir memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas ekonomi dan kehidupan masyarakat. Namun, karakteristik pesisir yang dinamis membuat kawasan ini rentan terhadap berbagai perubahan yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan.

Menurut Dauhan et al. (2013), pantai merupakan wilayah pertemuan antara darat, laut, dan udara, di mana terjadi interaksi dinamis antara air, angin, dan material penyusunnya. Interaksi ini menjadi salah satu penyebab terjadinya perubahan garis pantai. Sinaga dan Susiati (2007) menyatakan bahwa perubahan garis pantai disebabkan oleh angkutan sedimen yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu angkutan sejajar pantai (*longshore sediment transport*) dan angkutan tegak lurus pantai (*cross-shore sediment transport*). Perubahan garis pantai akibat angkutan sedimen dapat mengakibatkan akresi ketika garis pantai mengalami kemajuan, atau erosi ketika garis pantai mengalami kemunduran.

Salah satu kawasan pesisir yang menghadapi ancaman perubahan garis pantai adalah Kecamatan Galesong Utara, Kabupaten Takalar. Kawasan ini memiliki garis pantai yang membentang sepanjang hampir 10 km dan langsung berhadapan dengan Selat Makassar. Di wilayah ini terdapat Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Beba yang terletak di Desa Tamasaju dan Desa Sawakung Beba. PPI Beba memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas ekonomi masyarakat setempat, khususnya di sektor perikanan. Namun, kawasan ini rentan mengalami kerusakan pesisir akibat aktivitas gelombang tinggi yang terjadi sepanjang tahun.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada tahun 2023 pemerintah membangun *breakwater* sambung pantai di kawasan PPI Beba. *Breakwater* berfungsi sebagai pemecah gelombang yang dirancang untuk melindungi perairan pelabuhan dari gangguan gelombang besar dan menciptakan perairan yang lebih tenang, sehingga aktivitas pelabuhan dapat berlangsung dengan aman dan lancar (Triatmodjo, 2010). Namun, keberadaan *breakwater* juga dapat mempengaruhi pola arus dan distribusi sedimen yang berdampak pada morfologi garis pantai di sekitarnya.

Penelitian terkait perubahan garis pantai telah dilakukan di berbagai lokasi. Putra dan Santosa (2023) menggunakan metode empiris dengan analisis numerik, yaitu Metode Manohar, Komar, dan CERC (*SMB Method*), untuk menentukan besarnya abrasi dan akresi di Pantai Palik, Bengkulu Utara. Penelitian tersebut menunjukkan adanya akresi terbesar pada pias 1 dan abrasi terbesar pada pias 4. Prabandaru et al. (2023) memanfaatkan citra satelit multi-temporal dan perangkat lunak DSAS dengan metode statistik *Net Shoreline Movement* (NSM) dalam menganalisis perubahan garis pantai di Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung.

Hasilnya menunjukkan dominasi abrasi akibat lokasinya yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia. Selain itu, Suhaemi dan Riandini (2013) meneliti dampak *breakwater* sejajar pantai di Sanur, Bali, menggunakan pemodelan numerik LITPACK dalam perangkat lunak MIKE 21. Penelitian tersebut menemukan bahwa *breakwater* meningkatkan sedimentasi di area belakangnya, meskipun tidak cukup untuk membentuk tombolo.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh struktural *breakwater* eksisting terhadap dinamika garis pantai di wilayah PPI Beba dengan menggunakan pemodelan numerik berbasis metode beda hingga (*finite difference*). Menurut Hariyadi (2011), pemodelan numerik dapat digunakan untuk memprediksi laju transportasi sedimen dengan pendekatan terstruktur, sehingga mampu memberikan gambaran perubahan garis pantai dalam kurun waktu tertentu yang akan mendekati kondisi aktual di lapangan, serta dapat mensimulasikan skenario penambahan bangunan pelindung pantai yang diinginkan dalam suatu perairan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai dinamika perubahan garis pantai akibat keberadaan bangunan pelindung pantai, serta menjadi acuan dalam mengevaluasi dampak struktur tersebut terhadap stabilitas pantai.

1.2 Rumusan Masalah

Berangkat dari latar belakang di atas terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana karakteristik hidrooseanografi di kawasan pantai Beba?
2. Bagaimana perubahan garis pantai Beba tanpa pengaruh dari *breakwater*?
3. Bagaimana pengaruh *breakwater* eksisting di Pangkalan Pendaratan Ikan Beba terhadap perubahan garis pantai Beba?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik hidrooseanografi di kawasan pantai Beba.
2. Untuk mengetahui bagaimana perubahan garis pantai Beba tanpa pengaruh dari *breakwater*.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh *breakwater* eksisting di Pangkalan Pendaratan Ikan Beba terhadap perubahan garis pantai Beba.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik hidrooseanografi di kawasan pantai Beba.
2. Menambah pengetahuan dan literatur ilmiah terkait dinamika pantai serta pengaruh struktur bangunan pantai terhadap stabilitas dan perubahan garis pantai.

3. Menyediakan data mengenai daerah-daerah yang akan mengalami akresi atau erosi, beserta besaran volume dari akresi dan erosi tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam analisis perubahan garis pantai ini adalah:

1. Tidak memperhitungkan fluktuasi muka air laut (pasang surut).
2. Tidak memperhitungkan transportasi sedimen akibat angin secara langsung.
3. Hanya mempertimbangkan transportasi sedimen akibat pengaruh gelombang.

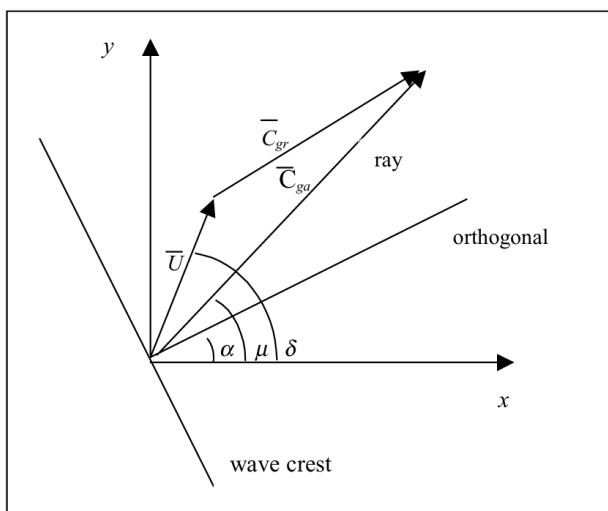
1.6 Pemodelan Numerik

1.6.1 Pemodelan Dinamika Gelombang

Smith et al. (2001) menjelaskan bahwa persamaan konservasi gelombang spektral dalam kondisi *steady-state* sepanjang arah propagasi energi gelombang (*wave ray*), dengan mempertimbangkan interaksi gelombang dan arus, diuraikan dengan persamaan yang dikemukakan oleh Jonsson (1990):

$$(C_{ga}) \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a C_{ga} \cos(\mu - a) E(\omega_a, a)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r} \quad \dots\dots\dots (1)$$

di mana C adalah kecepatan gelombang; sedangkan C_g merepresentasikan kecepatan kelompok gelombang; subskrip i digunakan sebagai notasi tensor untuk komponen x dan y ; μ adalah arah propagasi energi gelombang; a adalah arah tegak lurus gelombang; E merupakan kerapatan energi gelombang yang dibagi dengan ($\rho_w g$), di mana ρ_w adalah densitas air; ω adalah frekuensi sudut; dan S menunjukkan *energy source and sink terms*.



Gambar 1. Sketsa definisi vektor gelombang dan arus

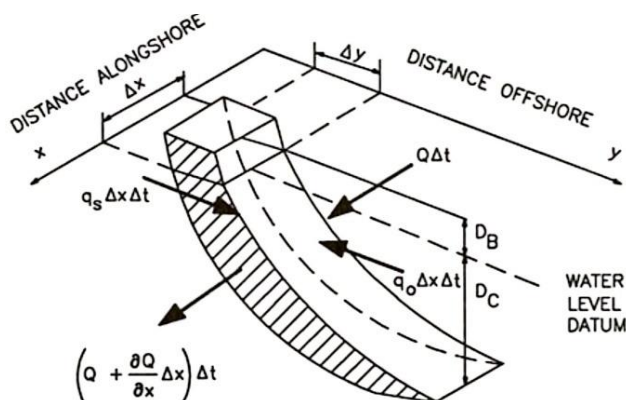
Sumber: Smith et al., 2001

1.6.2 Pemodelan Perubahan Garis Pantai

Hanson dan Kraus (1989) menjelaskan bahwa perubahan garis pantai didasarkan pada prinsip konservasi volume pasir. Perubahan volume pasir dalam suatu area pantai dinyatakan sebagai $\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C)$. Dengan memperhatikan distribusi volume sepanjang garis pantai, diperoleh persamaan diferensial:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

di mana variabel y merepresentasikan posisi garis pantai dalam arah lepas pantai (m); x adalah koordinat sejajar pantai (m); t adalah waktu (s); D_B adalah tinggi rata-rata *berm* di atas MSL (*Mean Sea Level*) (m); D_C adalah *depth of closure* atau kedalaman sepanjang profil pantai dimana tidak ada sedimen secara signifikan dipindahkan (m); Q adalah laju transportasi sedimen sejajar pantai (m^3/s); dan q merepresentasikan *line sources/sinks of sand* di sepanjang pantai (m^3/s per satuan lebar pantai).



Gambar 2. Skema perhitungan perubahan posisi garis pantai
Sumber: Hanson dan Kraus, 1989

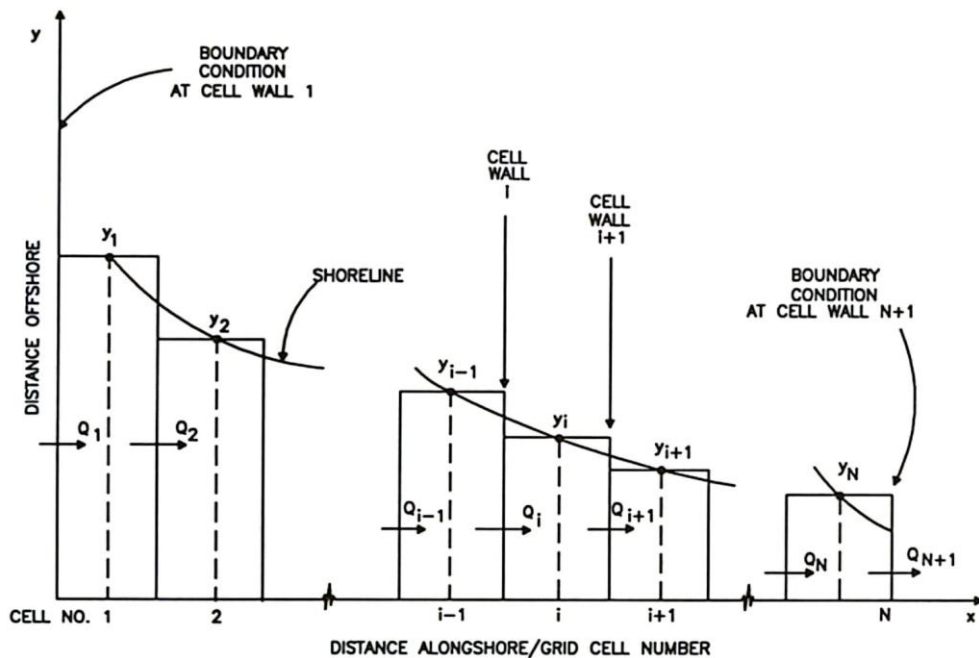
Laju transportasi sedimen sejajar pantai (Q) dihitung menggunakan persamaan empiris:

$$Q = (H^2 C_g)_b \left(a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bs} \frac{\partial H}{\partial x} \right)_b \quad \dots\dots\dots (3)$$

di mana kuantitas C_g merepresentasikan kecepatan kelompok gelombang berdasarkan teori gelombang linear (m/s); subskrip b menunjukkan kondisi gelombang pecah; H (m) dan θ ($^\circ$) masing-masing merepresentasikan tinggi gelombang dan sudut gelombang terhadap garis pantai lokal saat gelombang pecah.

Metode *finite difference* diterapkan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial (Persamaan 2) secara numerik dengan membagi domain menjadi grid spasial kecil (*grid spacing*) dan elemen waktu kecil (*time steps*). Menurut Di Bona (2013), grid pada model merupakan sistem *finite difference* satu dimensi sejajar pantai yang

menggunakan pendekatan *staggered grid*, di mana posisi garis pantai (y_i) didefinisikan di pusat sel grid (y -points) dan laju transportasi sedimen (Q_i) didefinisikan pada dinding sel (Q -points) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Finite difference staggered grid
Sumber: Hanson dan Kraus, 1989

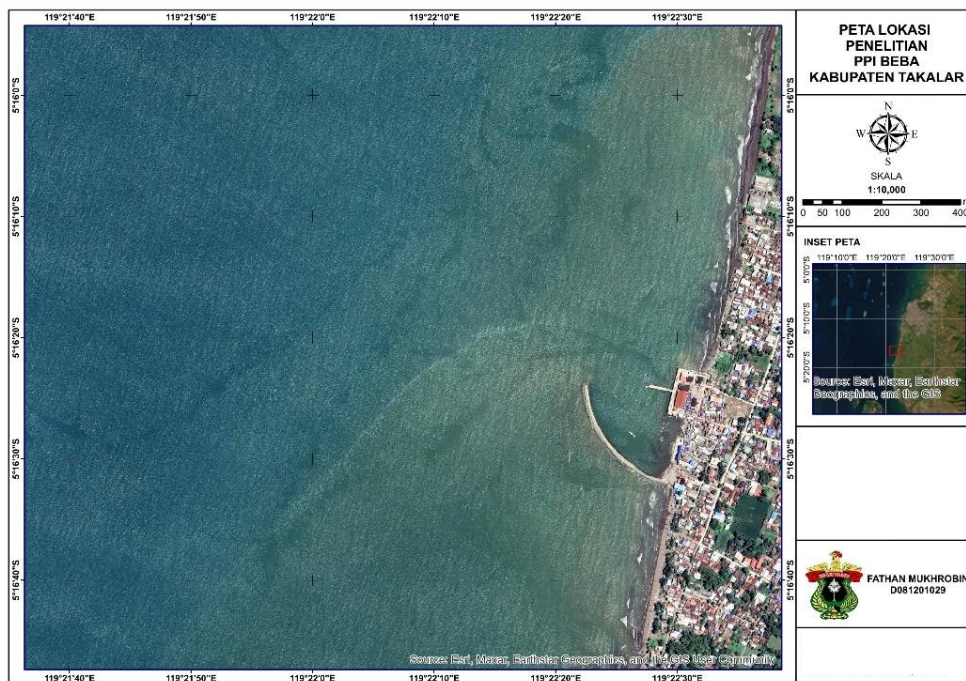
BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2024, menggunakan pemodelan numerik untuk menganalisis perubahan garis pantai selama periode 10 tahun untuk tahun 2024 hingga 2034.

Lokasi penelitian berada di Pantai Beba, Kecamatan Galesong Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis, lokasi penelitian terletak pada koordinat $5^{\circ}16'47.63''\text{S}$ – $5^{\circ}15'50.12''\text{S}$ dan $119^{\circ}21'36.80''\text{E}$ – $119^{\circ}22'41.08''\text{E}$. Secara geografis, kawasan ini berbatasan langsung dengan Selat Makassar di sebelah barat. Wilayah penelitian ini mencakup Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Beba, yang menjadi fasilitas utama bagi masyarakat setempat, dengan struktur pelindung berupa *seawall* di bagian utara dan selatan, dan *breakwater* sambung pantai di bagian selatan.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian
Sumber: Citra satelit Google Earth Pro, 2024

2.2. Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif, melibatkan penggunaan angka-angka dalam setiap tahap pelaksanaannya, mulai dari pengumpulan data, analisis data, hingga penyajian hasil penelitian, untuk memberikan jawaban terhadap rumusan masalah.

2.3. Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan dengan maksud untuk menemukan dan mengumpulkan dasar teori yang relevan serta mempelajari hasil-hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan perubahan garis pantai. Kajian literatur ini diambil dari berbagai sumber, termasuk materi perkuliahan, buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik yang dibahas.

2.4. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data hidrooseanografi melibatkan dua sumber utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan langsung dari lokasi penelitian sedangkan data sekunder diperoleh dari berbagai sumber yang tersedia secara publik di internet, seperti lembaga penyedia data, layanan teknologi, dan institusi riset terkait. Rincian lebih lanjut dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data-data yang diperlukan dalam penelitian

No	Data	Sumber	Jenis Data
1	Garis Pantai	Google Earth Pro	Sekunder
2	Batimetri	BIG	Sekunder
3	Gelombang	ECMWF	Sekunder
4	Sedimen	Survei	Primer

Sumber: Hasil pengolahan penulis, 2024

2.5. Pengolahan Data

2.5.1. Garis Pantai

Data garis pantai yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui proses digitasi menggunakan tool "*Add Path*" pada *software* Google Earth Pro untuk membentuk serangkaian koordinat yang menggambarkan garis pantai tersebut. Setelah selesai, *path* diekspor dalam format KML atau KMZ dan kemudian dikonversi ke dalam sistem koordinat XY menggunakan *software* pemetaan. Data yang telah dikonversi ini disimpan dalam format teks (.txt) untuk keperluan pemodelan dan analisis selanjutnya.

2.5.2. Batimetri

Data batimetri diperoleh dari Peta Batimetri Nasional (BATNAS) yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dan diolah menggunakan *software* pemetaan untuk menghasilkan kontur batimetri di area penelitian. Peta Batimetri Nasional berformat GeoTIFF (.tif), yaitu format raster yang menyimpan data elevasi dalam bentuk grid piksel. Setiap piksel dalam grid mewakili area tertentu dengan nilai elevasi. Data dalam grid raster ini kemudian dikonversi menjadi titik-titik data XYZ, yang mencakup koordinat spasial (X dan Y) serta nilai elevasi (Z). Data XYZ tersebut

diekspor ke dalam format teks (.txt) untuk keperluan pemodelan dan analisis lebih lanjut.

2.5.3. Gelombang

Data gelombang diperoleh dari *website* ECMWF Copernicus pada rentang waktu 2014–2023, dengan frekuensi pencatatan setiap 3 jam. Parameter gelombang yang digunakan meliputi tinggi gelombang, periode gelombang, dan arah datang gelombang. Data tersebut diakses dan diekspor dalam format teks (.txt) menggunakan *software* Ocean Data View untuk keperluan pemodelan dan analisis lebih lanjut. Selain itu, data gelombang ini juga dianalisis untuk memperoleh nilai parameter gelombang pecah.

Gelombang pecah terjadi di laut dangkal, di mana interaksi antara gelombang dan dasar laut menyebabkan gelombang menjadi tidak stabil. Tinggi gelombang di laut dangkal (H_i) dipengaruhi oleh refraksi gelombang dan pendangkalan gelombang (*shoaling*), yang dirumuskan sebagai $H_i = H_0 \times K_r \times K_s$. Menurut Karamma dan Ashury (2018), penentuan tinggi dan kedalaman gelombang pecah dapat dilakukan dengan membuat grafik superposisi, yaitu menggabungkan tinggi gelombang yang dipengaruhi oleh proses *shoaling* dan refraksi dengan grafik tinggi gelombang yang dipengaruhi oleh kedalaman air. Tinggi gelombang pecah dalam hal ini dianggap proporsional terhadap kedalaman air, di mana tinggi gelombang pecah adalah 0,78 kali kedalaman air.

2.5.4. Sedimen

Data sedimen diperoleh melalui pengambilan sampel langsung di lokasi penelitian, kemudian dianalisis di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, menggunakan metode ayak kering pada saringan bertingkat (*sieve analysis*) untuk menentukan distribusi ukuran butir sedimen dan mengidentifikasi ukuran butir median (d_{50}). Nilai d_{50} adalah ukuran butir sedimen yang berada pada persentase ke-50 dari distribusi berat sampel sedimen. Menurut Poerbandono dan Djunarsjah (2005), ukuran yang dianggap representatif untuk mewakili karakteristik sedimen adalah diameter median, yang ditentukan berdasarkan distribusi berat dan dinotasikan sebagai d_{50} . Klasifikasi ukuran butir sedimen mengacu pada klasifikasi Wentworth (1922), yang membagi ukuran partikel dari batu hingga lumpur berdasarkan diameter partikel.

2.6. Pemodelan Dinamika Gelombang dan Perubahan Garis Pantai

Pemodelan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pemodelan numerik dengan pendekatan metode beda hingga untuk menganalisis dinamika gelombang dan perubahan garis pantai di wilayah PPI Beba. Data garis pantai, batimetri, parameter gelombang, dan karakteristik sedimen menjadi dasar pemodelan ini.

Proses pemodelan diawali dengan pendefinisian *spatial domain*, yaitu langkah membentuk wilayah simulasi yang merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Pada tahap ini, data garis pantai dan batimetri diolah untuk menetapkan batas wilayah simulasi, menentukan interval grid, nilai azimuth untuk orientasi wilayah

simulasi, serta menempatkan titik-titik stasiun. Selanjutnya, data gelombang diproses melalui beberapa tahapan, meliputi pengolahan informasi gelombang, penyesuaian arah gelombang agar sesuai dengan orientasi garis pantai, analisa statistik gelombang, dan pembentukan spektrum gelombang. Hasil dari pemrosesan ini digunakan dalam simulasi distribusi gelombang, yang bertujuan untuk memodelkan pola penyebaran gelombang di wilayah studi. Tahap akhir dari pemodelan adalah simulasi perubahan garis pantai, yang didasarkan pada parameter transportasi sedimen pantai dan interaksinya terhadap gelombang untuk memprediksi potensi erosi atau akresi yang terjadi di kawasan tersebut, baik pada kondisi tanpa bangunan pelindung maupun dengan adanya *breakwater*.

Berdasarkan penelitian Margotila (2018), yang menggunakan pendekatan pemodelan numerik serupa untuk memodelkan perubahan garis pantai, toleransi kesalahan atau *calibration/verification error* di bawah 20 persen digunakan untuk memastikan keakuratan hasil pemodelan. Oleh karena itu, toleransi kesalahan sebesar 20 persen dianggap sesuai untuk diterapkan sebagai acuan dalam studi ini.

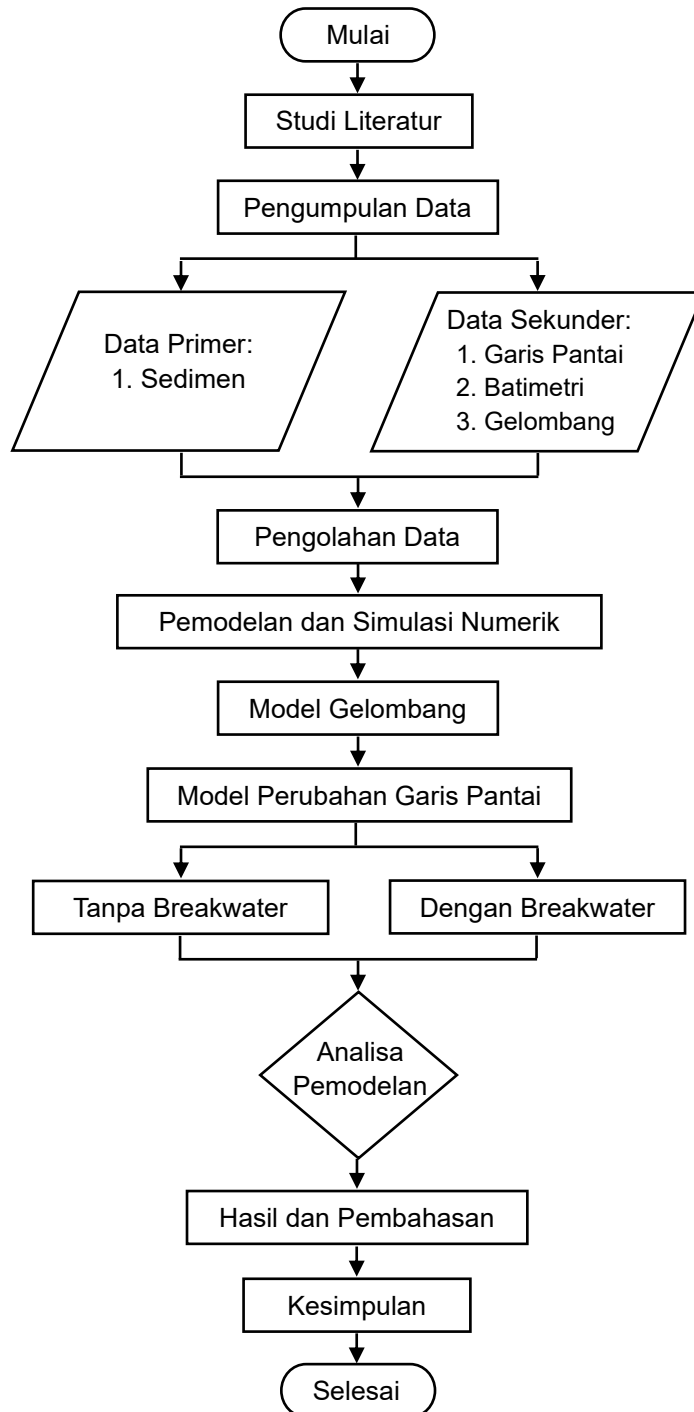
2.7. Analisis Hasil Pemodelan

Hasil pemodelan perubahan garis pantai akan dianalisis dengan membandingkan dua kondisi utama, yaitu kondisi tanpa bangunan pelindung *breakwater* dan kondisi dengan adanya bangunan pelindung *breakwater*. Dalam analisis ini, perbandingan akan mencakup perubahan posisi garis pantai (akresi atau erosi) serta besaran perubahan volume sedimen selama periode simulasi yang terjadi pada kedua kondisi tersebut. Dalam mendukung analisis ini, garis pantai dibagi menjadi lima segmen berdasarkan karakteristik kondisi yang berbeda di setiap area. Pembagian ini bertujuan untuk menggambarkan perubahan garis pantai secara lebih rinci, termasuk pengaruh bangunan dan faktor-faktor lainnya di masing-masing segmen.

Untuk memberikan interpretasi hasil dan memberikan pemahaman yang lebih mendalam, analisis dilengkapi dengan visualisasi data, seperti peta hasil simulasi, grafik distribusi perubahan garis pantai, dan tabel perbandingan kuantitatif mengenai dinamika sedimen di wilayah penelitian. Penekanan akan diberikan pada perbedaan pola akresi dan erosi antara kedua kondisi tersebut, serta dampaknya terhadap perubahan garis pantai di area penelitian.

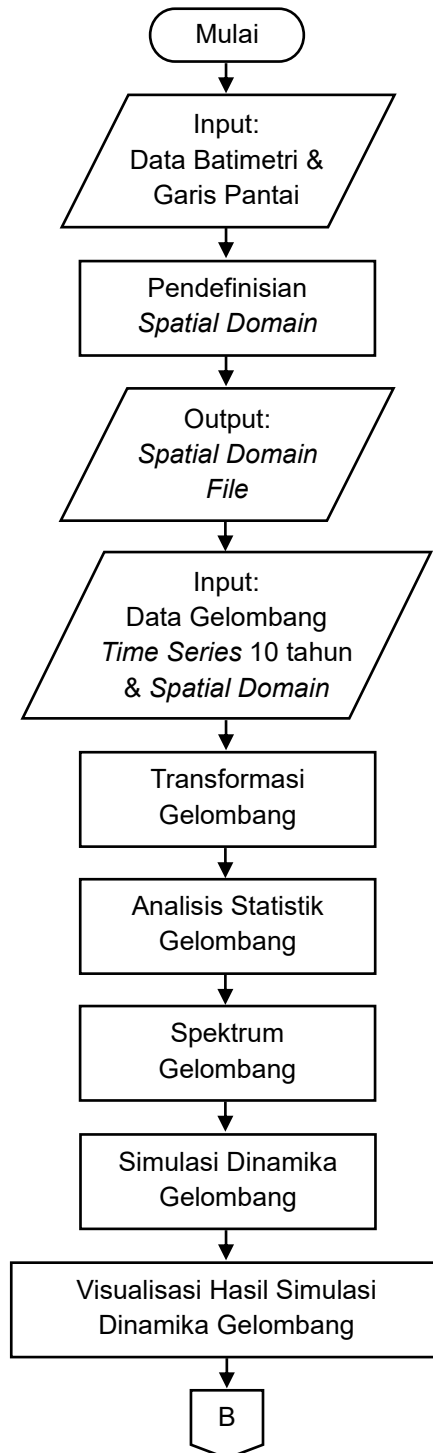
2.8. Diagram Alir Penelitian

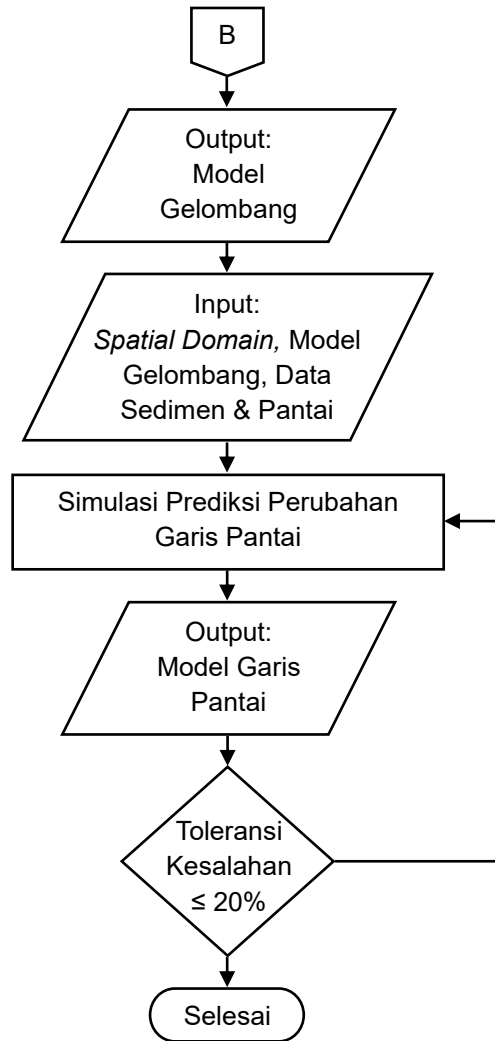
Tahapan-tahapan pengerjaan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Sementara itu, tahapan dalam pemodelan dan simulasi numerik disajikan secara lebih detail pada diagram alir berikut:





Gambar 6. Diagram alir pemodelan dan simulasi numerik