

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah pantai sepanjang kurang lebih 80.000 km dan saat ini intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia seperti: pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian, pariwisata, dan lainnya. Hal ini akan berakibat pada peningkatan kebutuhan akan lahan dan prasarana lainnya, sehingga akan menimbulkan masalah baru di kawasan pantai seperti: erosi pantai, sedimentasi yang mengakibatkan majunya garis pantai dan atau pendangkalan muara sungai, penurunan tanah dan intrusi air asin serta pencemaran lingkungan (Pranoto, 2007). Garis pantai adalah bentang alam yang dinamis serta berubah dalam ruang dan waktu sebagai respon terhadap gaya eksternal seperti arus, pasang surut, gelombang badai, gaya tektonik, dan erosi-sedimentasi pantai (Thakur et al., 2021). Perubahan garis pantai terjadi sepanjang garis pantai akibat adanya transport sedimen memanjang dan tegak lurus pantai. Transport sedimen merupakan perpindahan material sepanjang pantai yang disebabkan oleh gelombang pecah dan arus pada daerah *nearshore*.

Perubahan garis pantai merupakan proses yang terus berlangsung dalam jangka waktu yang lama dan menyebabkan terjadinya pertambahan maupun pengurangan luas daratan (Condro Hastuti et al., 2018). Perubahan garis pantai dapat menimbulkan hilangnya lahan tambak, lahan pertanian dan permukiman serta dapat pula menyebabkan penambahan daratan berupa munculnya tanah timbul. Penelitian yang berhubungan dengan perubahan garis pantai telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu, baik melalui studi lapangan, metode analitis, pemodelan fisik di laboratorium maupun melalui pemodelan numerik.

Zakinah (2019) melakukan penelitian tentang perubahan garis pantai di Kecamatan Mariso, Kabupaten Takalar. Data yang digunakan dalam melakukan identifikasi perubahan garis pantai adalah data historis citra satelit yang digitasi dengan interval tahunan selama sepuluh tahun. Berdasarkan hasil citra diperoleh bahwa perubahan garis pantai disepanjang Kecamatan Mariso terdiri dari abrasi sebesar 302.567,2 m² dan akresi sebesar 148.468,3 m². Penyebab perubahan garis pantai di kawasan pesisir Kec Mariso adalah faktor alam berupa gelombang, angin, dan kenaikan muka air laut, dan faktor manusia berupa reklamasi dan pembangunan di sekitar pantai.

Sedangkan Shafira (2019) juga melakukan penelitian serupa menggunakan metode digitasi dari hasil tumpang susun (*overlay*) Citra Satelit Landsat yang kemudian dilakukan analisis perubahan garis pantai dan penggunaan lahannya serta memprediksi perubahan garis pantai 50 tahun kedepannya dengan menggunakan metode regresi linear dari hasil perhitungan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Berdasarkan hasil penelitian menggunakan *overlay* digitasi Citra Landsat pertahun 1998-2018 dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan garis pantai dan perubahan penggunaan lahan. Perubahan garis pantai yang terjadi bervariasi, pada kelurahan Barombong didominasi oleh akresi, pada kelurahan Tanjung Merdeka didominasi oleh abrasi, sedangkan pada kelurahan Maccini Sombala didominasi oleh reklamasi. dari hasil prediksi dengan menggunakan metode regresi linear, maka dapat diprediksikan 50 tahun yang akan datang yaitu tahun 2068 pada sepanjang pantai Kelurahan Tanjung Merdeka mengalami

abrasi sekitar 4.049,5 m dan akresi sebesar 299,5 m.

Alim Arifki (2021) melakukan penelitian menggunakan metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*), untuk penilaian tingkat kerentanan pesisir dengan hasil tingkat kerentanan pesisir Kecamatan Galesong menggunakan metode tersebut berada di satu kategori yaitu kerentanan tinggi. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah kerentanan kawasan pesisir Kecamatan Galesong yaitu dengan melakukan penataan pemukiman/fasilitas umum, memodifikasi bangunan pelindung pantai yang telah ada dan membangun struktur pelindung pantai. Struktur pelindung yang disarankan untuk dibangun adalah *revetment* dan *detached breakwater*.

Penelitian yang lain dilakukan oleh Maulid Masri (2021) dengan menggunakan metode IKP (Indek Kerentanan Pesisir) yang terdiri dari parameter perubahan garis pantai, kemiringan pantai, tinggi gelombang signifikan, dan tunggang pasang surut. Nilai IKP kemudian diintegrasikan dalam SIG (Sistem Informasi Geospasial), sehingga diperoleh kerentanan wilayah pesisir berupa informasi spasial. Dengan hasil dari metode IKP menunjukkan bahwa tingkat kerentanan pesisir Kecamatan Mappakasunggu ada dua kategori kerentanan tinggi dan sangat tinggi. Prioritas penanganan kerusakan pantai di wilayah Kecamatan Mappakasunggu berdasarkan kategori kerusakan lingkungan dengan tingkat prioritas sangat diutamakan dan kategori erosi/abrasi tidak diutamakan, serta kategori kerusakan sedimentasi pada muara sungai Takalar dan muara sungai Pappa prioritas tidak diutamakan.

Secara umum penelitian di atas, melakukan analisis data sekunder berupa data citra satelit dan tidak mengakomodir adanya gaya hidro-oseanografi secara eksplisit. Sehingga pengaruh parameter gelombang, angin dan arus serta karakteristik sedimen tidak dapat dianalisis secara komprehensif. Selain itu, penelitian sebelumnya belum mengakomodir adalah perubahan garis pantai sebelum dan setelah keberaaan struktur pada suatu pantai. Politeknik Pelayaran Barombong berencana akan melindungi pelabuhan Pendidikannya dengan menggunakan *breakwater*. Oleh sebab itu, pada tahun 2023, dilakukan perencanaan rinci *breakwater* pada pelabuhan tersebut. Namun, dalam perencanaan tersebut belum dilakukan analisis pengaruh *breakwater* terhadap perubahan garis pantai secara mendalam. Dengan alasan ini, maka penulis melakukan penelitian Tugas Akhir dalam bentuk Skripsi dengan judul **“Pengaruh Pembangunan *Breakwater* Pada Politeknik Pelayaran Barombong Terhadap Garis Pantai”**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan penelitian yang akan diteliti terkait perubahan garis pantai akibat adanya *breakwater* adalah:

1. Bagaimana perubahan garis pantai pada Politeknik Pelayaran Barombong pada kondisi eksisting?
2. Bagaimana perubahan garis pantai pada Politeknik Pelayaran Barombong setelah adanya *breakwater*?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Untuk mengetahui karakteristik batimetri pada daerah perairan Politeknik Pelayaran Barombong.
2. Untuk mengetahui karakteristik pasang surut daerah perairan Politeknik Pelayaran Barombong
3. Untuk mengetahui karakteristik gradasi butir sedimen daerah perairan Politeknik Pelayaran Barombong.
4. Untuk mengetahui perubahan garis pantai pada Politeknik Pelayaran Barombong pada kondisi eksisting.
5. Untuk mengetahui perubahan garis pantai pada Politeknik Pelayaran Barombong setelah adanya *breakwater*.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman tentang karakteristik hidro-oseanografi daerah perairan Politeknik Pelayaran Barombong.
2. Memberikan pemahaman tentang perubahan garis pantai sebelum dan sesudah pembangunan *breakwater*.
3. Memberikan pemahaman tentang lokasi terjadinya akresi dan abrasi.
4. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi manajemen Politeknik Pelayaran Barombong dalam mengambil keputusan pembangunan *breakwater* di kampus tersebut.

1.5. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas dan tidak menyimpang dari tujuan penyelesaian permasalahan serta keterbatasan alat analisis, maka dalam pemodelan numerik perubahan garis pantai dibatasi:

1. Tidak mengakomodir adanya perubahan elevasi muka air sebagai fungsi waktu.
2. Tidak mengakomodir adanya arus akibat pasang surut
3. Tidak mengakomodir adanya pengaruh langsung angin terhadap perubahan garis pantai.

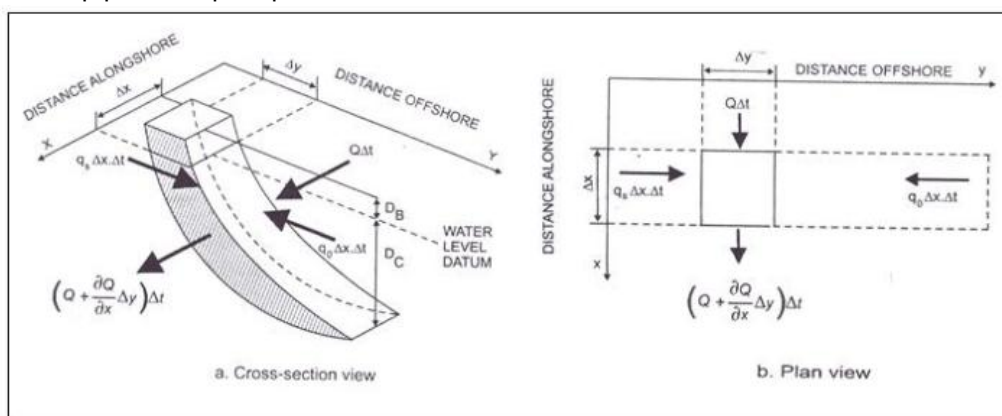
1.6. Dasar Teori

1.6.1. Perubahan Garis Pantai

Proses dinamis pantai dipengaruhi oleh gerak sedimen di dekat pantai oleh gelombang dan arus (*littoral transport*) yang terdiri dari transport sepanjang pantai (*long shore transport*) dan transport tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*). Pada saat gelombang pecah, sedimen di dasar pantai terangkat yang selanjutnya terangkut oleh dua macam gaya penggerak yaitu komponen energi gelombang dan arus sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh gelombang pecah. Dengan demikian, perubahan garis pantai tergantung pada sedimen yang masuk (*inflow*, Q_i) dan yang meninggalkan pantai (*outflow*, Q_o) dan dapat ditulis seperti berikut:

- Jika $Q_i = Q_o$, maka pantai berada di kondisi stabil
- Jika $Q_i > Q_o$, maka pantai mengalami akresi
- Jika $Q_i < Q_o$, maka pantai mengalami erosi

Dengan demikian, untuk menjaga agar pantai selalu dalam kondisi stabil dinamis, maka imbangannya suplai sedimen harus dijaga agar tidak terjadi transport sedimen netto atau netto transport sedimen adalah nol atau $Q_i = Q_o = 0$. Dalam analisis perubahan garis pantai melibatkan persamaan diferensial dalam fungsi ruang dan waktu, sehingga solusi analitis sulit untuk dilakukan. Dengan perkembangan computer yang sangat cepat, maka penyelesaian persamaan dasar perubahan garis pantai dilakukan dengan pendekatan metode numerik. Persamaan perubahan garis pantai berasal dari persamaan *transport volume*. Dimana berdasarkan sumbu kartesian, sumbu-y merupakan arah lepas pantai sedangkan sumbu-x merupakan memanjang parallel terhadap pantai seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematis perubahan garis pantai
Sumber: (Komar, 2018)

Diasumsikan bahwa profil pantai berubah sesuai pada arah lepas pantai dan searah pantai dengan bentuk yang tetap ketika sejumlah transport pasir masuk atau keluar dari pias tersebut selama selang waktu Δt , dan profil bergerak pada arah vertikal sampai pada kedalaman gelombang pecah.

Simulasi numerik perubahan garis pantai digunakan untuk mensimulasikan evolusi garis pantai. Dibutuhkan waktu yang lama dan biaya yang tidak sedikit untuk menggunakan data perubahan garis pantai secara temporal. Oleh karena itu, diperlukan alternatif yang lebih hemat waktu dan biaya, dan ini dapat dicapai melalui pembuatan model. (Galdi et al., 2023).

Perubahan pada volume pias diberikan sebagai $\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C)$ dan dipengaruhi oleh jumlah transport pasir yang masuk dan keluar dari pias. Perubahan volume terjadi karena ada perubahan ΔQ pada *longshore sand transport rate* Q pada arah lateral dari pias. Perubahan volume yang terjadi adalah $\Delta Q \Delta t = (\partial Q / \partial x \Delta x \Delta t)$. Penyebab yang lain dapat timbul dari pasir yang berasal darat q_s atau dari arah *offshore* q_o . Yang diberikan dengan persamaan $q = q_s + q_o$. Hal ini memberikan perubahan volume sebesar $\Delta q \Delta t$. Metode yang digunakan model garis pantai tunggal (*one line model*) yang mensimulasikan perubahan garis pantai atau maju mundurnya garis pantai

berdasarkan adanya angkutan sedimen sejajar pantai. Metode model garis pantai tunggal ini dapat mensimulasikan pengaruh bentuk pantai sendiri dan dibuat untuk memprediksi daerah yang mengalami akresi dan erosi. Persamaan kontinuitas sedimen pembentuk posisi garis pantai adalah sebagai berikut:

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

dimana:

- ∂y = perubahan posisi pada garis pantai (m)
- ∂t = interval waktu (jam)
- ∂x = Panjang segmen garis pantai (m)
- Q = resultan laju volume transport sedimen sejajar pantai ($m^3/tahun$)
- q = laju sedimen yang masuk dan keluar dari darat dan laut ($m^3/det/m$), $q = q_s + q_o$
- q_s = laju sedimen yang masuk atau keluar selebar unit garis pantai ($m^3/det/m$)
- q_o = laju sedimen dari arah laut ($m^3/jam/m$)
- D_B = tinggi berm dari MSL (m)
- D_C = tinggi dari MSL ke kedalaman profil yang terpindahkan (m)

Proses kalibrasi merupakan prosedur berulang untuk mencocokkan keluaran model sedekat mungkin dengan garis pantai yang diukur atau laju perubahan garis pantai. Masalah yang paling umum dalam proses kalibrasinya adalah kurangnya posisi historis garis pantai yang diukur, namun dengan pesatnya perkembangan teknologi penginderaan jauh, posisi historis garis pantai dapat dianalisis untuk proses kalibrasi. (Sutikno, Murakami, et al., 2015)

Dalam mempersiapkan pemodelan garis pantai untuk simulasi adalah melakukan kalibrasi model pada daerah studi. Hal ini dilakukan dengan memilih posisi garis pantai di dua kondisi tertentu dan menjalankan model garis pantai untuk menghitung perubahan yang terjadi terhadap garis pantai awal. Kedua koefisien kalibrasi model garis pantai K_1 dan K_2 disesuaikan pada setiap menjalankan model dalam prosedur iterasi, untuk mencocokkan keluaran model sedekat mungkin dengan garis pantai hasil pengukuran atau hasil analisis tingkat perubahan garis pantai selama periode kalibrasi (Sutikno, Handoyo, et al., 2015). Hal ini sejalan dengan pernyataan dari Dwi Puspo Handoyo (2014) menyatakan bahwa dalam kalibrasi model garis pantai yakni menggunakan metode trial and error dalam memasukan nilai K_1 dan K_2 hingga memperoleh prosentase kesalahan terkecil.

Untuk penyesuaian koefisien kalibrasi, Hanson (1989) dalam Sutikno, Handoyo, et al. (2015) merekomendasikan untuk pantai berpasir bahwa nilainya kalibrasi geneisi biasanya berada pada kisaran $0,1 < K_1 < 1,0$ dan $0,5 K_1 < K_2 < 1,0 K_1$.

Pemodelan Numerik memberikan *output* yang terdiri dari laju angkutan kotor (*gross*) dan laju angkutan bersih. Laju angkutan kotor merupakan penjumlahan angkutan ke kanan dan ke kiri melewati suatu titik pada garis pantai pada suatu periode yang ditentukan. Persamaan laju angkutan kotor ditunjukkan oleh Persamaan 2.

$$Q_g = Q_{rt} + Q_{lt} \quad (2)$$

Dengan:

- Q_g = laju angkutan sedimen kotor (*gross*)
 Q_{rt} = angkutan sedimen ke arah kanan
 Q_{lt} = angkutan sedimen ke arah kiri

Arah angkutan sedimen ke arah kanan (+) dan ke arah kiri (-) ditetapkan berdasarkan arah kanan dan kiri pengamat yang terdiri di tepi pantai menghadap ke arah laut.

Laju angkutan bersih adalah selisih antara pergerakan angkutan ke kiri dan ke kanan melewati suatu periode waktu yang ditentukan. Laju angkutan bersih menunjukkan suatu bagian pantai yang mengalami akresi atau erosi, karena laju angkutan bersih merupakan jumlah vektor laju angkutan sedimen. Persamaan laju angkutan bersih ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$Q_n = Q_{rt} - Q_{lt} \quad (3)$$

Dengan:

- Q_n = laju angkutan sedimen bersih (*netto*)
 Q_{rt} = angkutan sedimen ke arah kanan
 Q_{lt} = angkutan sedimen ke arah kiri

1.6.2. Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik turunnya air laut di sepanjang permukaan air. Gelombang laut dapat beraneka ragam tergantung dari gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut dapat berupa gelombang angin (gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin), gelombang pasang surut (gelombang yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama gaya tarik matahari dan bulan terhadap bumi) gelombang tsunami (gelombang yang terjadi akibat letusan gunung berapi atau gempa di dasar laut).

Dalam hal ini bentuk gelombang yang umum dipakai adalah gelombang angin dan gelombang pasang surut. Gelombang biasanya menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen sepanjang pantai. Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

- Gelombang di laut dangkal, jika $d/L \leq 1/20$
- Gelombang di laut transisi, jika $1/20 \leq d/L \leq 1/2$
- Gelombang di laut dalam, jika $d/L \geq 1/2$

Menurut Horikawa (1980), bahwa untuk perairan dalam nilai $2\pi h/L > 1$, maka nilai $\tanh$, $2\pi h/L \approx 1$, sehingga kecepatan dan panjang gelombang untuk laut dalam diprediksi dengan persamaan:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56 T \quad (4)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56 T^2 \quad (5)$$

Dengan:

C_0 = Kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/det)

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam (m)

G = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

Untuk gelombang di laut transisi, dengan nilai $1/20 < d/L < 1/2$, maka kecepatan rambat gelombang dan panjang gelombang adalah:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (6)$$

Untuk gelombang di laut dangkal, dimana nilai $d/L \leq 1/20$, maka nilai $\tanh (2\pi d/L)$:

$$C = \sqrt{gd} \quad (7)$$

$$L = \sqrt{gd} \quad T = CT \quad (8)$$

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses Refraksi dan Difraksi.

A. Refraksi Gelombang

Refraksi adalah peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut Gambar 2. Merupakan gambaran sederhana terjadinya refraksi. Gelombang akan merambat lebih cepat pada perairan yang dalam dari perairan yang dangkal. Hal ini menyebabkan puncak gelombang membelok dan menyesuaikan diri dengan kontur dasar laut.

Refraksi mempunyai pengaruh cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. Perubahan arah gelombang akibat refraksi akan menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai. (Triatmodjo, 1999). Persamaan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut yaitu:

$$H = K_s \times K_r \times H_0 \quad (9)$$

Dimana:

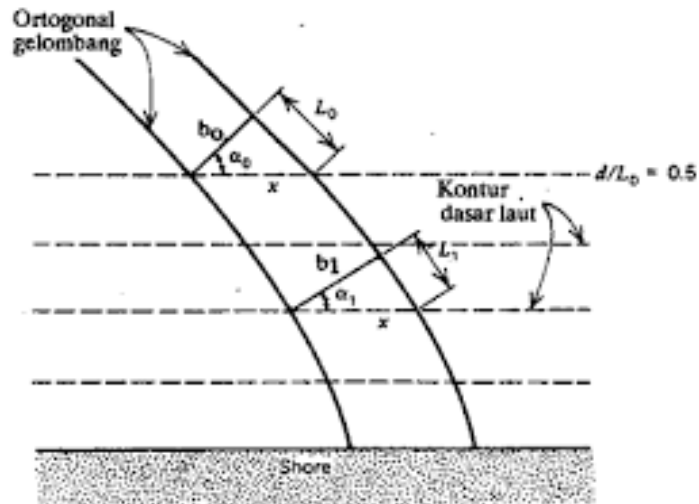
K_s = Koefisien pendangkalan; merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air

$$K_r = \text{Koefisien refraksi} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

H_0 = Tinggi gelombang di laut dalam

α_0 = sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai

α = sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau, $\sin \alpha \propto \frac{c}{c_0} \sin \alpha_0$

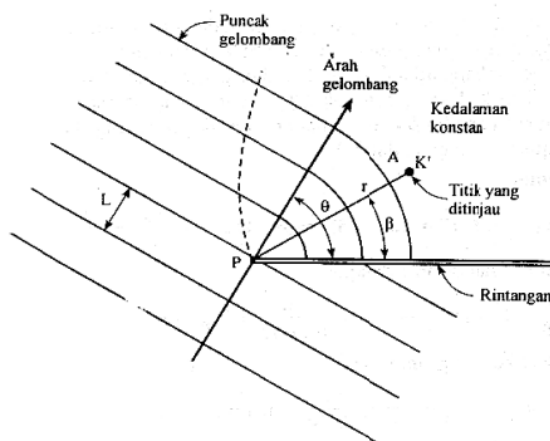


Gambar 2. Refraksi Gelombang

Sumber: (Triatmodjo, 2016)

B. Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang adalah suatu gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pulau atau bangunan pemecah gelombang, maka gelombang akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung di belakangnya, seperti terlihat pada Gambar 3. Dalam difraksi, terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah yang terlindung. Biasanya tinggi gelombang akan berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah yang terlindung.



Gambar 3. Difraksi gelombang

Sumber: (Triatmodjo, 2016)

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antara rintangan dan garis garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β , dan sudut antara arah penjaralan gelombang dan rintangan θ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' .

Apabila tidak terjadi difraksi gelombang, daerah di belakang rintangan akan tenang. Namun, karena adanya proses difraksi, maka daerah tersebut terpengaruh oleh gelombang datang. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung (Triatmodjo, 1999).

C. Gelombang Pecah

Gelombang yang menjaral dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Profil gelombang di laut dalam adalah sinusoidal. Semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur, sementara tinggi gelombang bertambah.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Gelombang maksimum di laut dalam di mana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh persamaan berikut:

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} \quad (10)$$

Kedalaman gelombang pecah (db) dan tinggi gelombang pecah diberi notasi H_b , Munk (1946 dalam SPM, 1984) memberikan persamaan untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut:

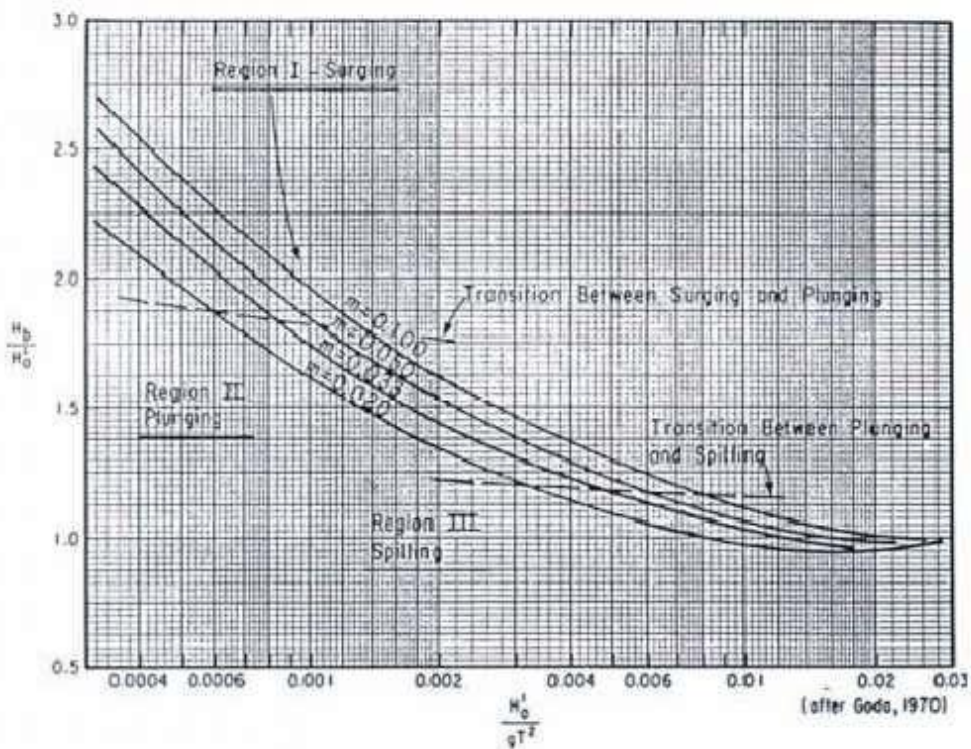
$$\frac{H_0}{H'} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^2 / 3} \quad (11)$$

Parameter H_b/H'_0 disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah. Gambar 5. Menunjukkan hubungan antara H_b/H'_0 dan H_0/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar laut. Gambar 4. Menunjukkan hubungan antara db/H_b dan H_b/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar. Grafik yang diberikan pada Gambar 4. Dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut:

$$\frac{dB}{H_b} = \frac{1}{b \cdot \left(\frac{a \cdot H \cdot b}{gT^2} \right)} \quad (12)$$

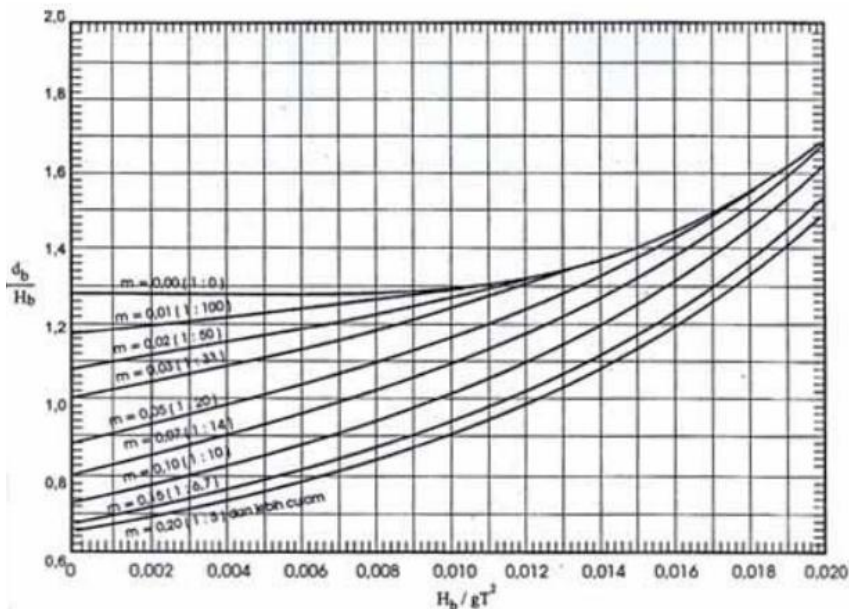
Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi:

- Spilling*, terjadi apabila gelombang dengan kemiringan yang kecil menuju ke pantai yang datar, gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya berangsur-angsur.
- Plunging*, terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar laut bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan.
- Surging*, terjadi pada pantai dengan kemiringan yang cukup besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang, daerah gelombang pecah sangat sempit dan energi dipantulkan kembali ke laut dalam.



Gambar 4. Penentuan tinggi gelombang pecah

Sumber: (U.S. Army Corps of Engineering (USACE), 1984)



Gambar 5. Penentuan kedalaman gelombang pecah
 Sumber: (U.S. Army Corps of Engineering (USACE), 1984)

D. Pemodelan Gelombang

Salah satu pemicu perubahan garis pantai adalah gelombang pecah yang menyebabkan arus gelombang pecah, serta arus gelombang pecah membawahkan atau mengangkut sedimen dalam bentuk transport suspensi dan transport sedimen dasar. Gelombang yang terjadi di pantai adalah gelombang datang dari laut dalam. Penyebab terjadinya gelombang adalah angin yang bertiup di atas permukaan air laut di daerah pembangkitan. Gelombang yang terbentuk di laut dalam akan merambat ke pantai dan akan mengalami berbagai proses, diantaranya refraksi, shoaling dan difraksi serta gelombang pecah.

Spektrum Gelombang menggunakan metode beda hingga (*finite difference method*) dengan berdasar pada pembangkitan dan penjalaran dengan grid rektilinear 2 dimensi, menggunakan bentuk sederhana persamaan keseimbangan spektrum untuk mensimulasikan daerah pantai dengan waktu tak terbatas penyebaran spektrum energi gelombang (Hanson, 1989).

Spektrum gelombang metode beda hingga adalah representasi statistik dari kejadian gelombang dan secara konseptual, spektrum adalah superposisi linier dari gelombang monokromatik, dimana spektrum menggambarkan distribusi energi gelombang sebagai fungsi dari frekuensi (spektrum satu dimensi) atau frekuensi dan arah (spektrum dua-dimensi). Metode ini dirancang untuk memprediksi perubahan gelombang seperti shoaling, pembiasan, difraksi, peredaman, dan interaksi gelombang arus dalam kondisi stasioner (*steady-state*). Model ini sering digunakan dalam rekayasa pantai untuk mendukung perencanaan dan desain infrastruktur pantai serta analisis risiko banjir. (Massey et al., 2011).

$$\frac{\partial}{\partial x}(C_g E) + \frac{\partial}{\partial y}(C_g E) + \frac{\partial}{\partial \omega}(S) = 0 \quad (13)$$

Dimana:

E = kepadatan energi gelombang,

C_g = adalah kecepatan grup gelombang,

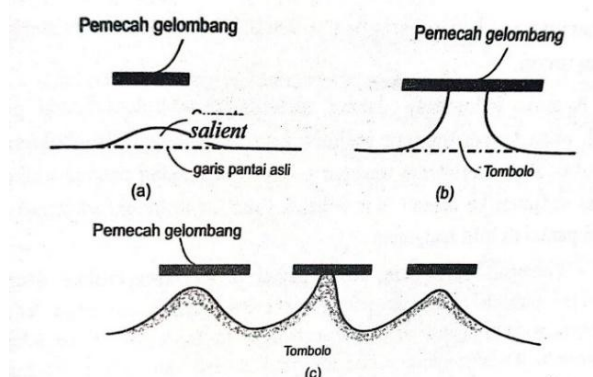
ω = adalah frekuensi gelombang,

S = adalah sumber dan kehilangan energi, termasuk pertumbuhan angin, disipasi, dan interaksi gelombang-gelombang lainnya.

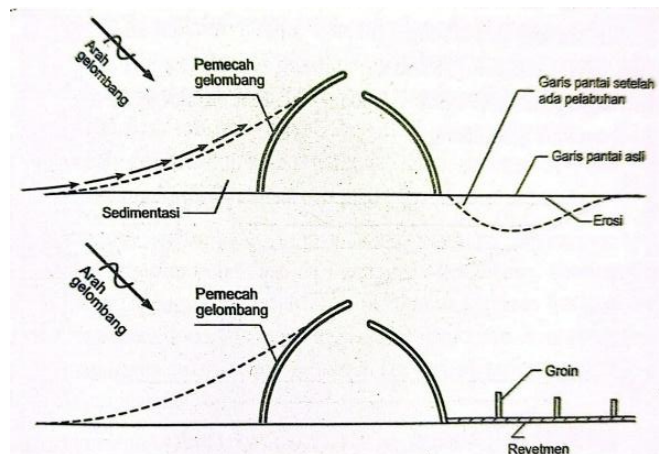
1.6.3. Pemecah Gelombang

Pembangunan pemecah gelombang dilakukan agar daerah pantai yang ada dibelakang bangunan terlindungi dari serangan gelombang sehingga bangunan yang berada di pantai tetap aman begitupun pantai itu sendiri. Pada daerah pelabuhan, pemecah gelombang berfungsi sebagai jalan keluar-masuknya kapal kepelabuhan tersebut. Pemecah gelombang yang digunakan untuk melindungi pelabuhan ialah pemecah gelombang sambung pantai. Salah satu persyaratan suatu pelabuhan adalah adanya perairan yang tenang terhadap gangguan gelombang sehingga kapal dapat merapat di dermaga untuk melakukan berbagai kegiatan (Purwasih et al., 2024)

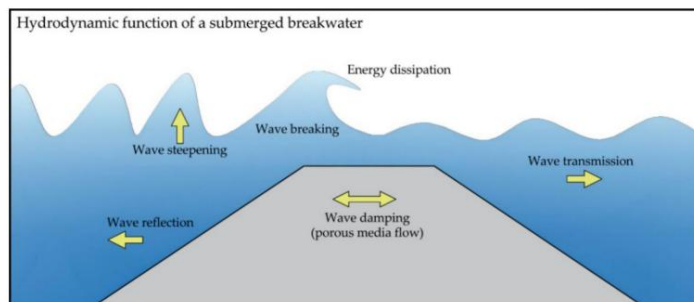
Dalam pengamanan daerah pantai, dikenal dua pendekatan utama yaitu pendekatan non-struktur dan pendekatan struktur. Pendekatan non-struktur diantaranya adalah dengan vegetasi, *sand nourishment*, *sand by passing*, penerapan kebijakan berkaitan pengelolaan wilayah pantai dan lainnya. Sedangkan pendekatan struktur diantaranya adalah dengan membangun bangunan pantai seperti groin, tembok laut, jetty, *detached breakwater*, pemecah gelombang sambung pantai, *submerged breakwater*, *floating breakwater* dan jenis struktur lainnya. Dalam pengamanan daerah pantai dan pelabuhan, tidak ada jenis pengaman yang paling baik dari lainnya, namun tergantung pada permasalahan yang akan diselesaikan dan penyebab permasalahan tersebut. Adapun contoh pendekatan struktur dalam pengamanan pantai tipe pemecah gelombang dapat dilihat pada Gambar 6.



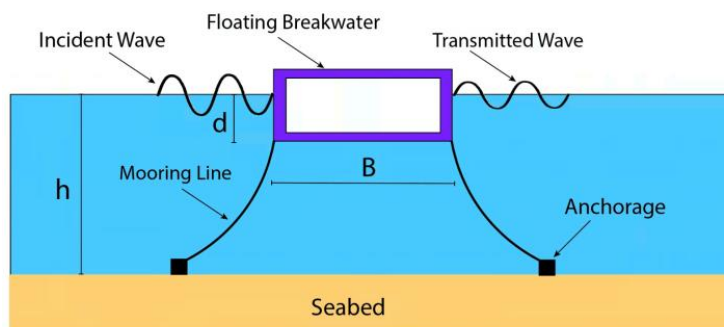
Gambar 6. Pemecah gelombang lepas pantai
Sumber: (Triatmodjo, 2020)



Gambar 7. Pemecah gelombang sambung pantai
Sumber: (Triatmodjo, 2020)



Gambar 8. Submerged breakwater
Sumber: (Cardenas-Rojas et al., 2021)



Gambar 9. Floating breakwater
Sumber: (Eldarwich et al., 2022)

1.6.4. Sedimentasi

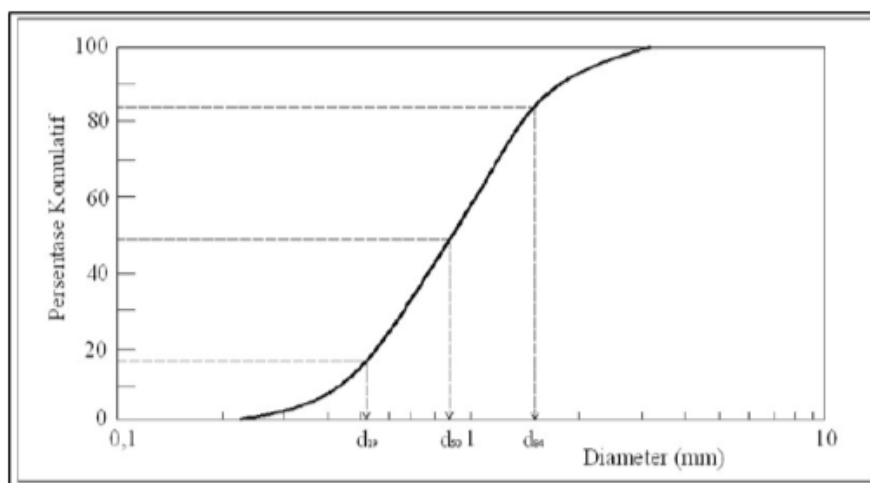
Sedimen merupakan material bahan padat, berasal dari batuan yang mengalami proses pelapukan, peluluhan, diangkut oleh air, angin dan gaya gravitasi, serta pengendapannya di proses oleh alam sehingga membentuk lapisan-lapisan di

permukaan bumi. Segala sesuatu yang terbawa oleh air laut umumnya dikategorikan sebagai sedimen. Menurut Bayhaqi & Dungga (2015) sedimen pada umumnya berupa partikel yang berasal dari pecahan cangkang, sisa kerangka organisme maupun pembongkaran bebatuan.

Sedimentasi terjadi akibat adanya gelombang yang datang dan membentuk sudut terhadap garis pantai sehingga mengakibatkan lepasnya sedimen pada suatu daerah pantai dan berpindah sejajar arah pantai tersebut ke daerah pantai lain kemudian mengendap dan terjadilah sedimentasi.

A. Ukuran Partikel Sedimen

Klasifikasi sedimen pantai menurut Wentworth (1922), diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (pebble), Cobble dan batu (boulder). Klasifikasi ini banyak digunakan dalam bidang teknik pantai (CERC, U.S. Army Corps of Engineering (USACE) (1984). Klasifikasi ukuran butir dan sedimen dapat dilihat pada Tabel 1 Distribusi ukuran butir biasanya dianalisis dengan saringan dan dipresentasikan dalam bentuk kurva presentase berat kumulatif seperti pada gambar berikut ini. Ukuran butir median D_{50} adalah ukuran butir yang sering digunakan sebagai ukuran butir pasir.



Gambar 10. Distribusi Ukuran Butir

Sumber: (Triatmodjo, 2016)

Tabel 1. Klasifikasi ukuran butir dan sedimen

Klasifikasi		Diameter Partikel	
		Mm	Satuan phi
Batu (Boulder)		256	-8
Cobble		128	-7
Koral (Pebble)	Besar	64	-6
	Sedang	32	-5
	Kecil	16	-4
	Sangat Kecil	8	-3
Kerikil		4	-2
Pasir	Sangat Kasar	2	-1
	Kasar	1	0
	Sedang	0,5	1
	Halus	0,25	2
	Sangat Halu	0,125	3
Lumpur	Kasar	0,063	4
	Sedang	0,031	5
	Halus	0,015	6
	Sangat Halus	0,0075	7
Lempung	Kasar	0,0037	8
	Sedang	0,0018	9
	Halus	0,0009	10
	Sangat Halus	0,0005	11
		0,0003	12

Sumber: (Triatmodjo, 2016)

B. Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen dibedakan menjadi 2 macam yaitu: transpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai, (*onshore-offshore transport*) yang mempunyai arah rata-rata sejajar pantai pada komponen tegak lurus, sedimen pada dasar laut terangkut dan membawa sedimen ke daerah pantai sehingga terjadi sedimentasi/akresi pada garis pantai. Pada komponen sejajar garis pantai, sedimen akan terangkut oleh arus sepanjang pantai sampai ke lokasi yang cukup jauh sehingga di lokasi tertentu terjadi kemunduran garis pantai dan pada lokasi lainnya terjadi sedimentasi (Triatmodjo, 2016).

1.6.5. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi (naik turunnya) muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Gaya tarik menarik antara bulan dengan bumi lebih mempengaruhi terjadinya pasang surut air laut daripada gaya tarik menarik antara matahari dengan bumi, sebab gaya tarik bulan terhadap bumi nilainya 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari terhadap bumi. Hal ini terjadi karena meskipun massa bulan lebih kecil daripada massa matahari, akan tetapi jarak bulan terhadap bumi jauh lebih dekat daripada jarak bumi terhadap

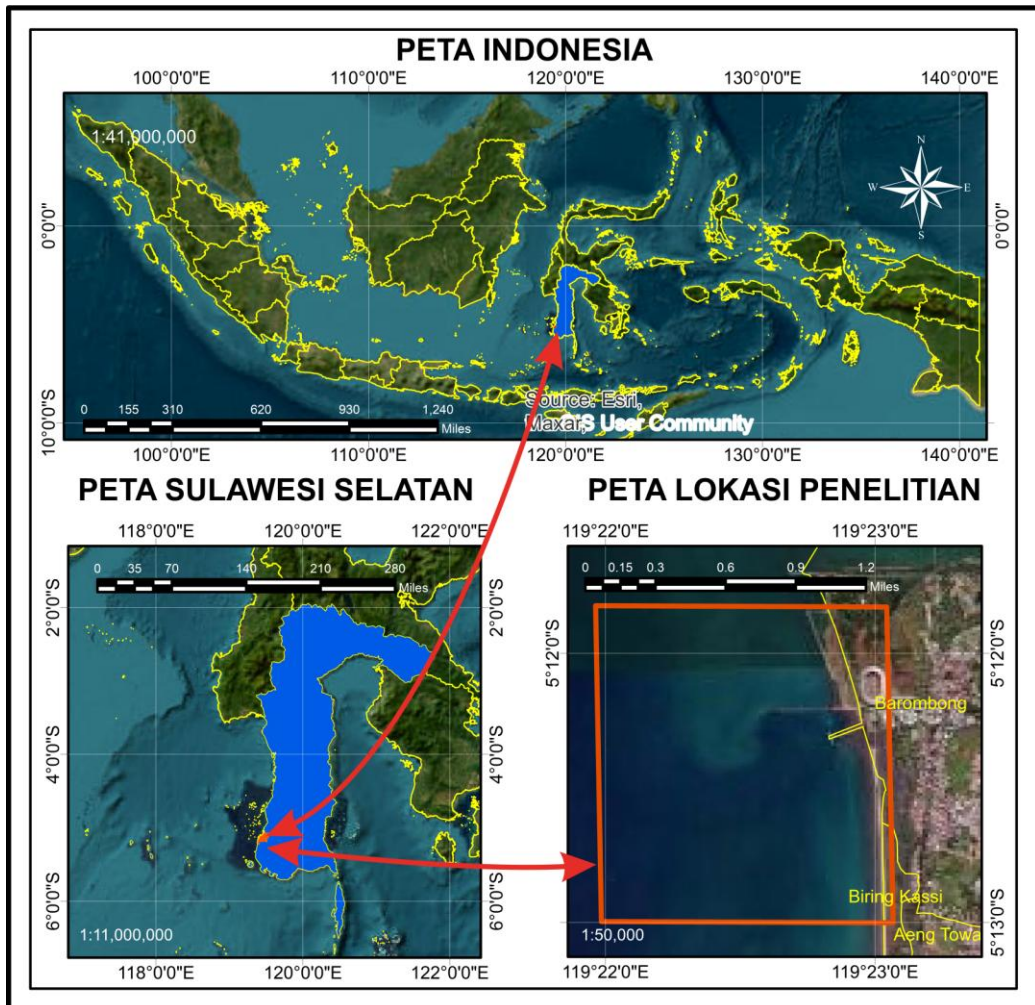
matahari (Triatmodjo, 2016). Pasang surut terbentuk karena rotasi bumi yang berada di bawah muka air yang menggelembung ini, yang mengakibatkan kenaikan dan penurunan permukaan laut di wilayah pesisir secara periodik. Daerah-daerah pesisir mengalami dua kali pasang dan dua kali surut selama periode sedikit di atas 24 jam.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

2.1.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di area perairan Politeknik Pelayaran Barombong yang terletak di Kecamatan Tamalate, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan dan secara astronomis berada pada koordinat sekitar 5°12'12.6" Lintang Selatan dan 119°23'13.6" Bujur Timur. Kecamatan Tamalate secara administratif merupakan salah satu dari lima belas Kecamatan dibagian selatan Kota Makassar yang berbatasan dengan sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Mamajang, Sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Gowa, Sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Takalar dan Sebelah barat berbatasan dengan Selat Makassar. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 11. Lokasi penelitian area perairan Politeknik Pelayaran Barombong
Sumber: Kajian Penulis, 2024.

2.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan sejak Juni tahun 2024, yang dimulai dari studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan numerik dan penyajian hasil dalam bentuk laporan tugas akhir.

2.2. Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang melibatkan angka-angka dalam setiap tahapan pelaksanaan dan analisisnya, mulai dari pengumpulan data, analisis data, pemodelan numerik, hingga penyajian hasil penelitian dalam bentuk laporan tugas akhir untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian.

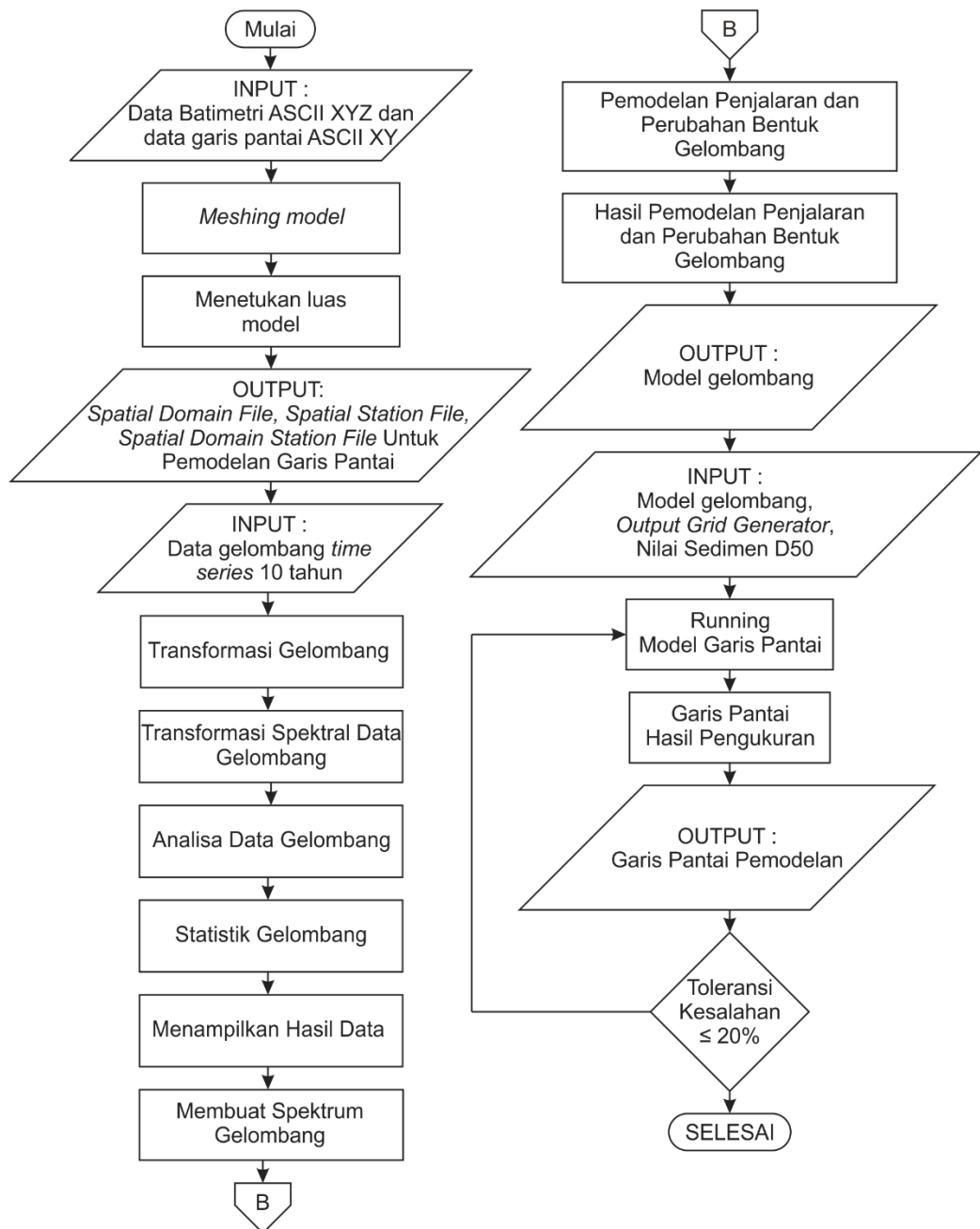
2.3. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, menggunakan data sekunder yakni data yang bersumber dari Dokumen Perencanaan Rinci *Breakwater* Politeknik Pelayaran Barombong dan dari situs *open source* ECMWF. Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi, data garis pantai, data batimetri, data topografi, data pasang surut, karakteristik sedimen layout dan dimensi *breakwater*. Adapun data, sumber dan instansi pengambilan data diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis - Jenis data yang digunakan pada simulasi numerik

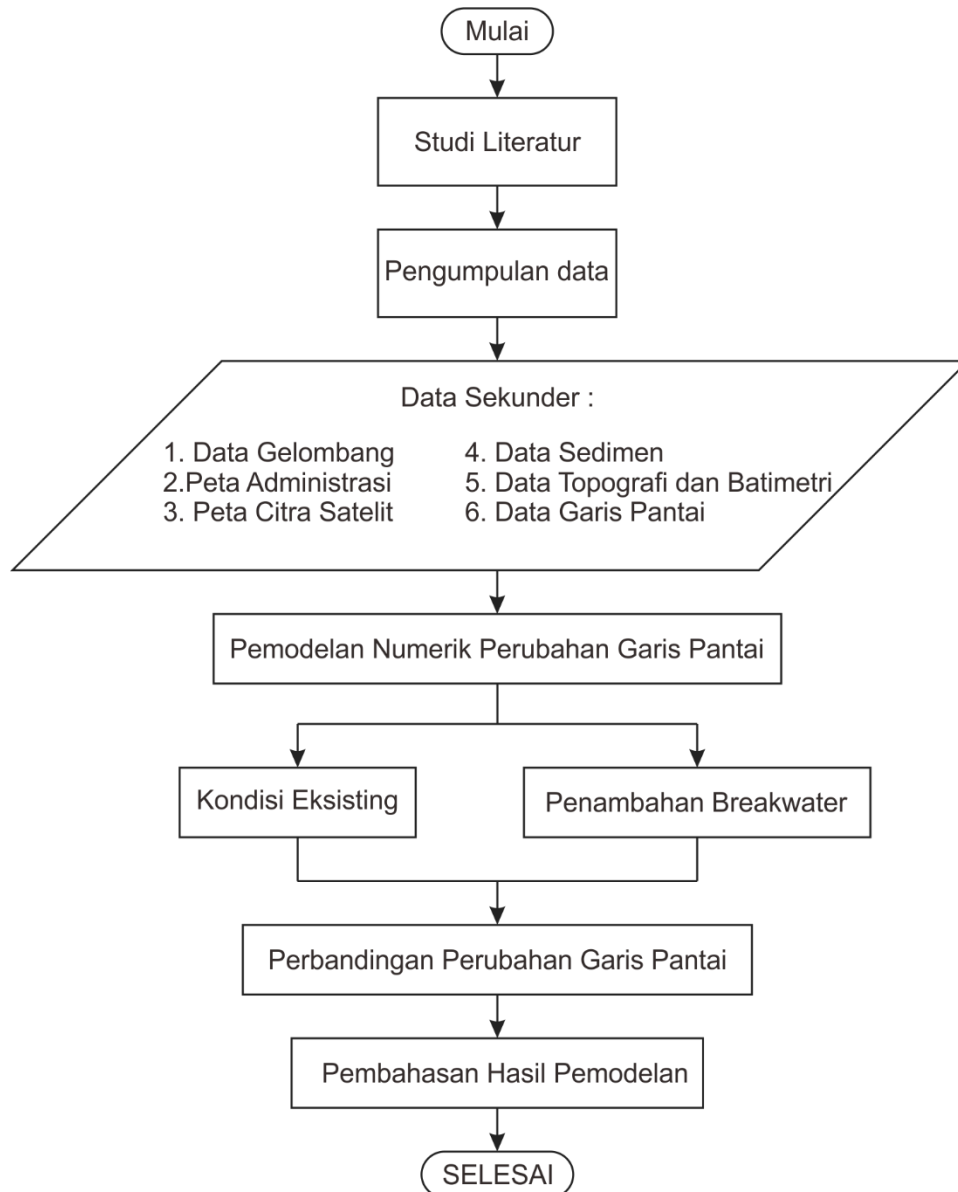
NO	Data	Sumber	Instansi
1	Data batimetri		
2	Data topografi		
3	Ukuran sedimen	Dokumen DED	Politeknik Pelayaran
4	Garis pantai	<i>Breakwater</i> Politeknik	Barombong dan Pusat
5	Layout dan Dimensi	Pelayaran Barombong	Unggulan Teknologi-
	<i>breakwater</i>		CoT Unhas
6	Pasang Surut		
No	Data	Sumber	
7	Gelombang	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>	
8	Citra Satelit	<i>Software Google Earth Pro 2024</i>	

Sumber: Kajian penulis, 2024



Gambar 12. Diagram alir pemodelan garis pantai

Berikut ini merupakan alur penelitian merupakan alur penelitian yang dimulai dari persiapan dalam menentukan tujuan dari penelitian yang akan dilakukan, tahapan-tahapannya hingga pada akhirnya akan didapatkan hasil akhir yang ingin dituju pada penelitian ini.



Gambar 13. Diagram alir penelitian