

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teluk Bojo merupakan perairan yang secara geografis berada di Selat Makassar dan wilayah administrasi Kecamatan Mallusetasi Kabupaten Barru. Berbagai aktivitas manusia seperti pemukiman penduduk, wisata, pertanian dan usaha budidaya perikanan berada di daerah pesisir. Sebagian besar wilayah pesisir Barru didominasi oleh aktivitas pemukiman, niaga dan jasa, transportasi laut, industri dan pariwisata (Mubarak, Salim dan Bahri, 2024). Area teluk dan pesisir ini menjalankan berbagai fungsi ekosistem yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Ekosistem pesisir mencakup berbagai fungsi seperti penyediaan berupa pangan, pengaturan berupa penyerapan karbon dan pengendalian erosi, pendukung siklus nutrisi, air dan keanekaragaman hayati, dan layanan budaya seperti pariwisata dan rekreasi (Gedan et al., 2011; Kanan dan Giupponi, 2024)

Peningkatan intensitas aktivitas manusia di wilayah pesisir secara signifikan berkorelasi dengan tingginya beban limbah organik yang masuk ke ekosistem perairan. Konsentrasi nutrisi yang tinggi di perairan pesisir Jawa bagian utara mengindikasikan adanya kontribusi dari sumber-sumber seperti limbah domestik perkotaan, buangan industri, maupun kegiatan akuakultur (Adyasari et al., 2019). Hal yang sama terjadi di sekitar perairan Teluk Bojo pada saat ini mengalami intensifikasi kegiatan akuakultur sehingga memiliki jumlah buangan limbah lebih besar yang masuk ke ekosistem perairan. Aktivitas akuakultur di wilayah pesisir berpotensi menimbulkan gangguan terhadap keseimbangan ekosistem laut. Tekanan yang berasal dari masukan nutrisi seperti pupuk dan limbah budidaya perikanan telah dikaitkan dengan eutrofikasi yang mengurangi oksigen terlarut, membuat organisme laut sulit bertahan (Tuholske et al., 2021). Kotoran atau feses dan sisa pakan merupakan sumber limbah utama dalam kegiatan budidaya udang yang terakumulasi ke laut dan memberikan pengaruh ke lingkungan. Limbah organik yang masuk ke perairan mengandung nutrisi dalam jumlah tinggi, yang berpotensi memicu perubahan ekologi/ Apabila kondisi ini berlangsung secara berkelanjutan tanpa adanya tindakan, maka dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem dan menimbulkan kerusakan lingkungan (Aini and Parmi, 2022).

Intensifikasi akuakultur, khususnya budidaya udang, telah meningkatkan beban limbah organik di perairan pesisir. Studi oleh MHR (2022) menunjukkan bahwa tambak intensif menghasilkan limbah padatan tersuspensi 18 kali lebih banyak daripada tambak tradisional. Nitrogen, fosfor, dan karbon merupakan limbah yang berbentuk partikel organik dan sebagian besar terdapat pada pakan dan bahan organik dalam aktivitas budidaya (Suwoyo et al., 2019). Piedrahita (2003) menyatakan pada sistem budidaya intensif, hanya sekitar 50% dari pakan yang diberikan yang efektif diserap oleh organisme, sementara sisanya berpotensi menjadi limbah organik yang mencemari lingkungan perairan. Keberadaan nutrisi yang melimpah di dalam air dapat mengakibatkan kondisi eutrofikasi, memicu ledakan alga yang menguras oksigen terlarut, menciptakan wilayah dead zone membuat kehidupan akuatik sulit bertahan. Eutrofikasi merupakan proses pengayaan nutrisi pada badan air, telah menjadi

permasalahan lingkungan berskala global yang menunjukkan peningkatan di berbagai perairan global. Kelebihan masukan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor, ke dalam ekosistem akuatik merupakan pemicu utama terjadinya proses eutrofikasi, khususnya pada di wilayah estuari atau zona pesisir (Howarth & Marino, 2006; Sinha, Michalak, and Balaji, 2017).

Aktivitas manusia, seperti limpasan dari lahan pertanian dan pembuangan limbah industri, turut mempercepat akumulasi nutrisi di badan air, sehingga rentan terjadinya proses eutrofikasi (Qin et al., 2013). Proses eutrofikasi tersebut mengakibatkan perluasan wilayah zona mati di seluruh dunia. Salah satu zona mati yang terbesar yang disebutkan oleh Pontius and McIntosh (2024) adalah Teluk Meksiko, akumulasi polutan berupa nutrisi terjadi di wilayah itu, khususnya nitrogen (N), telah memicu terbentuknya zona perairan dengan konsentrasi oksigen terlarut yang rendah dalam skala luas. Senyawa yang mengandung nitrogen, khususnya pupuk pertanian, yang terbawa ke teluk dari sumber titik dan non-titik yang terletak sekitarnya mengancam kelangsungan makhluk hidup dari ekosistem laut. eutrofikasi pesisir laut sebagai salah satu bencana lingkungan utama, telah menyebabkan kerugian ekonomi yang serius dan masalah keselamatan hidup, hal ini membatasi pengembangan dan pemanfaatan sumber daya laut (D. Guo et al., 2024)

Pemodelan sebaran kualitas air memberikan pendekatan analitis untuk memetakan distribusi limbah serta mengevaluasi dampak limbah terhadap ekosistem. Ali, Thiem, dan Berntsen (2011) menyatakan pemodelan penyebaran limbah dipandang sebagai salah satu alat yang paling efisien dalam memperkirakan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai aktivitas industri, termasuk kegiatan budidaya akuakultur. Pemodelan menyediakan berbagai keuntungan, antara lain representasi spasial yang rinci pada skala riil, kemampuan menyimulasikan skenario temporal berdasarkan batasan-batasan tertentu. Kelebihan lainnya yaitu efisiensi biaya yang lebih tinggi dibandingkan metode eksperimental fisik, serta kerangka analitis yang lebih kuat daripada sebelumnya yang terhambat oleh keterbatasan waktu, ruang, dan sumber daya (Costa, Botta dan Cardille, 2003).

Selain itu, hasil penelitian Lestari (2020) menunjukkan model distribusi nutrisi di perairan Teluk Tanjung Pinang menunjukkan pola sebaran yang serupa antara kondisi pasang dan surut, yaitu konsentrasi yang cenderung menurun menuju perairan lepas, namun tetap tinggi di beberapa area pesisir, terutama di sekitar Muara Sungai Sei yang berhubungan langsung dengan teluk tersebut. Peningkatan kandungan nitrogen dan fosfor merupakan kontributor utama akumulasi nutrisi, terutama di wilayah daerah aliran sungai yang didominasi oleh aktivitas pertanian intensif (Malone and Newton, 2020). Kondisi rentan juga dialami Teluk Bojo oleh aktivitas industri akuakultur berpotensi mengakibatkan dampak negatif bagi ekosistem di masa yang akan datang.

Penggunaan aplikasi pemodelan akan membantu dalam menyimulasikan kondisi aktual dalam daerah target. Salah satu aplikasi pemodelan yaitu MIKE 21, Perangkat lunak MIKE21 diproduksi oleh DHI (sebelumnya Institut Air dan Lingkungan Denmark). Perangkat lunak ini telah melalui pengembangan selama beberapa dekade, dan terus ditingkatkan. MIKE21 merupakan perangkat lunak dengan kapabilitas komputasi tinggi

yang efektif dalam melakukan simulasi numerik aliran permukaan air bebas secara spasial dan temporal. Selain itu, perangkat lunak ini telah banyak diaplikasikan dalam berbagai proyek berskala besar di Tiongkok. (Li, Huang dan Wang, 2020). MIKE 21 memiliki beberapa modul yang bisa digunakan untuk memprediksi fenomena yang ada di badan air. Modul hidrodinamika adalah salah satu modul yang digunakan untuk mengetahui fenomena aliran dan pergerakan badan air melibatkan faktor yang mempengaruhi aliran tersebut (DHI, 2014). Modul kedua yang digunakan yaitu Modul ECOLAB, bertujuan untuk menjelaskan proses interaksi antara variabel kimia dan fisik dengan ekosistem (DHI, 2022).

Lebih lanjut studi mengenai kedua modul tersebut dapat dimanfaatkan untuk menganalisis sebaran kualitas air. Sebaran kualitas air dapat diketahui dengan berbagai analisis model, seperti penelitian yang dilakukan oleh Suntoyo et al. (2015) menggunakan MIKE 21 untuk pemodelan hidrodinamika dan kualitas air yang menyimulasikan jumlah padatan tersuspensi (TSS), fosfat, dan nitrat ke Muara Sungai Porong. Penerapan modul terintegrasi menghasilkan simulasi yang lebih akurat dibandingkan pemodelan terpisah untuk hidrodinamika maupun kualitas air. Pendekatan terpadu ini secara optimal dapat dimanfaatkan (Xu et al., 2023). Guo et al. (2025) dalam studinya mengembangkan model hidrodinamika dan kualitas air untuk Waduk Baisha berdasarkan data lapangan dan informasi pendukung memodelkan distribusi polutan secara akurat. Wu et al. (2024) dalam studinya mengkaji parameter kecepatan dan arah aliran serta konsentrasi polutan. Hal ini mengungkap dinamika sistem perairan yang dipengaruhi oleh fenomena pasang-surut dan masukan limbah domestik di Sungai Dongjiang bagian hilir.

Pendekatan MIKE 21 telah menunjukkan kemampuan dalam memodelkan dinamika hidrodinamik dan kualitas air, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai proses lingkungan yang kompleks di wilayah muara. Namun, tingkat akurasi dan keandalan hasil pemodelan sangat dipengaruhi oleh kualitas data yang digunakan serta asumsi yang diterapkan dalam model (Jourtani et al., 2024). Aplikasi MIKE dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) di Denmark, adalah sistem model yang kuat untuk menyelidiki hidrodinamika dan kualitas air. MIKE 21 ini dapat digunakan sebagai alat untuk merencanakan tindakan pengelolaan yang efektif dengan berbagai fasilitas modul.

Modul pemodelan ekosistem diterapkan untuk pemodelan kualitas air tingkat lanjut guna memprediksi dinamika ekosistem perairan pada berbagai tipe badan air, termasuk sungai, estuari, kanal, waduk, dan badan air lainnya (Bai et al., 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al., (2023) mengambil Sungai Bai sebagai studi kasus dengan mempertimbangkan kondisi aktual sumber daya air dan lingkungan perairan di lokasi studi. Melalui pengembangan model hidrodinamika-kualitas air berbasis MIKE21, studi ini berhasil menganalisis dinamika hidrologi dan variasi kualitas air bawah berbagai skenario, dengan hasil simulasi yang menunjukkan tingkat akurasi memadai.

Namun, masih terdapat gap penelitian terkait integrasi analisis sebaran dan prediksi berbasis skenario perubahan aktivitas industri budidaya. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada kondisi aktual. Penelitian ini berupaya menganalisis sebaran limbah di perairan Teluk Bojo melalui parameter kualitas air berdasarkan

skenario perubahan aktivitas yang mungkin terjadi dimasa yang akan datang. Dengan mengetahui pola penyebaran limbah tambak yang masuk dalam perairan Bojo, penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap pencemaran untuk menjaga keberlanjutan ekosistem Teluk Bojo. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis pola sebaran limbah dan pengaruhnya terhadap ekosistem Teluk Bojo. Hasil penelitian ini dapat data ilmiah dalam menyusun strategi mitigasi pencemaran limbah tambak dan melengkapi studi pemodelan kualitas air di wilayah estuari tropis

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dalam proposal penelitian diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sebaran limbah tambak di Teluk Bojo?
2. Bagaimana pengaruh perubahan Intensitas budidaya terhadap sebaran limbah tambak di Teluk Bojo?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini mencakup beberapa poin penting yaitu :

1. Mengidentifikasi pola sebaran limbah tambak di Teluk Bojo.
2. Menganalisis sebaran limbah tambak di Teluk Bojo berdasarkan perubahan intensitas budidaya.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu:

1. Menyediakan informasi kepada publik tentang penyebaran limbah organik dan dampaknya terhadap lingkungannya dan ekosistem pesisir Teluk Bojo. Pihak-pihak terkait yang membutuhkan informasi tentang kondisi ekosistem pesisir Teluk Bojo.
2. Memberikan informasi para pemangku kepentingan sebagai landasan dalam merumuskan kebijakan pengelolaan kualitas air yang berkelanjutan di Teluk Bojo.

1.5. Ruang Lingkup

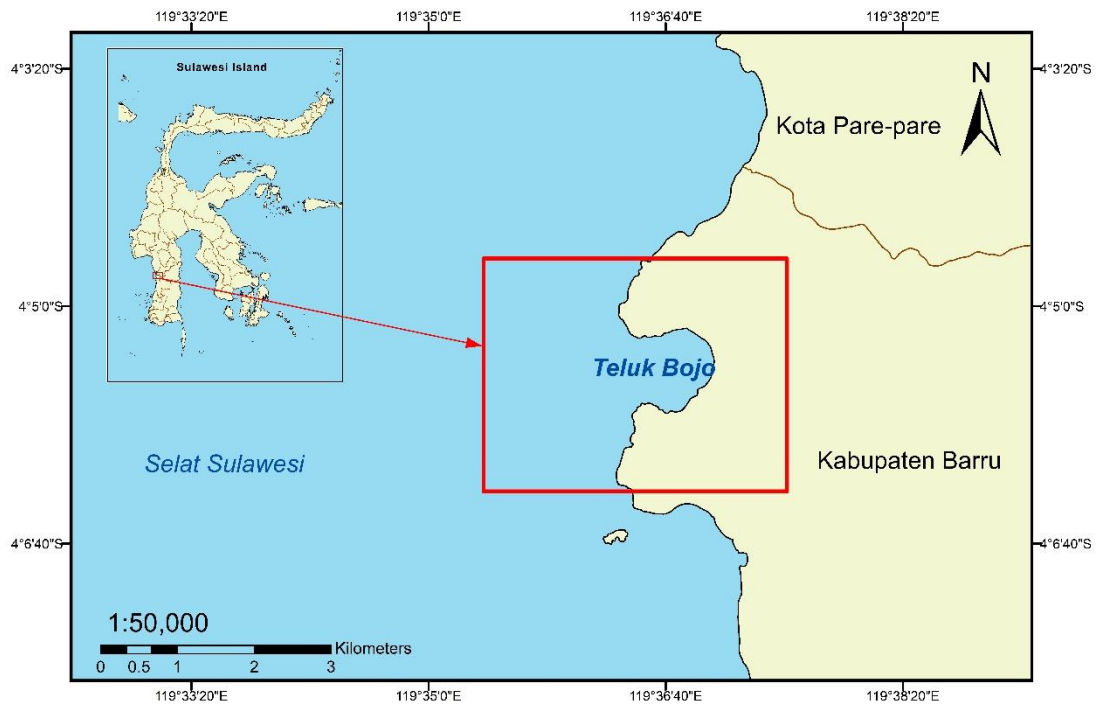
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola sebaran limbah tambak terhadap kondisi kualitas air di perairan Teluk Bojo. Hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pihak terkait dalam pengelolaan lingkungan perairan, khususnya dalam perencanaan dan pengendalian pencemaran dari aktivitas tambak. Ruang lingkup penelitian mencakup identifikasi dan analisis titik-titik sumber limbah organik yang terdapat di kawasan Teluk Bojo.

Untuk mendukung analisis tersebut, berbagai data lingkungan dikumpulkan, meliputi data kualitas air, arus, angin, pasang surut, batimetri, serta debit air limbah yang masuk ke perairan. Data-data tersebut akan menjadi masukan ke dalam pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE 21, dengan memanfaatkan modul hidrodinamika (HD) untuk memodelkan dinamika fisik perairan dan modul ECOLAB untuk menyimulasikan proses-proses kualitas air yang berkaitan dengan limbah organik. Melalui pendekatan ini, pola sebaran limbah organik dapat dipetakan, sehingga memberikan gambaran mengenai potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan serta mendukung upaya pengelolaan yang berkelanjutan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

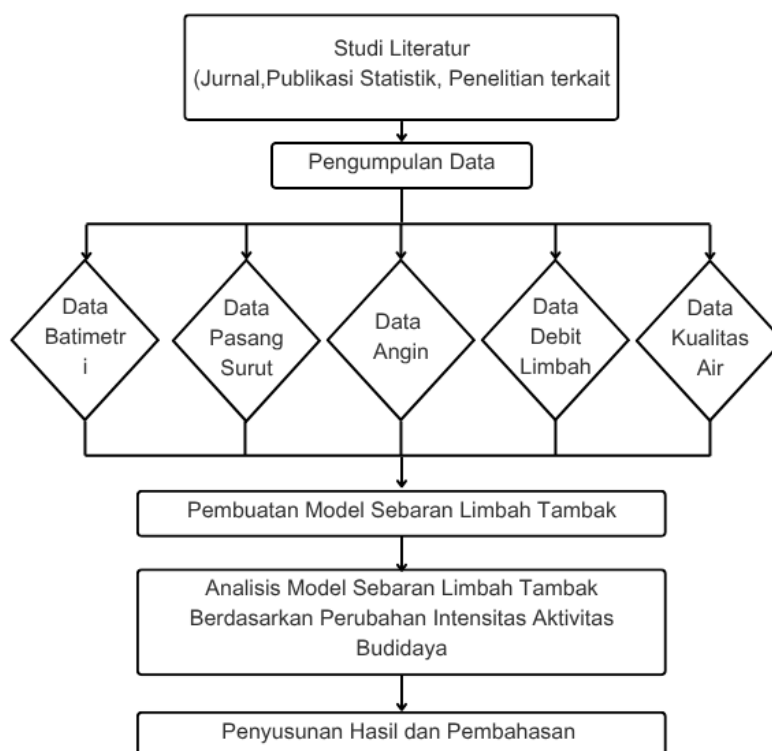
Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan pada bulan Mei-Juli 2025, berlokasi di area Teluk Bojo, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. Wilayah ini terdapat beberapa industri budidaya dari sistem tradisional hingga intensif dan area pemukiman. Area dan batas wilayah yang akan dijadikan objek penelitian dapat dilihat pada gambar. 1



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Alur Penelitian

Langkah-langkah penelitian dalam pemodelan sebaran limbah dan pengaruhnya terhadap ekosistem di Teluk Bojo, Kabupaten Barru dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Alur Penelitian

2.3. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder yang diperlukan dalam menunjang tujuan penelitian. Pengambilan data primer dilakukan dengan melakukan pengambilan data langsung di lokasi penelitian. Data sekunder dilakukan dengan studi literatur berupa informasi situs web, jurnal dan penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan pembahasan penelitian ini. Studi literatur ini bertujuan mengumpulkan data, informasi dan referensi sebagai pelengkap dan pembanding agar diperoleh penelitian maksimal

2.3.1 Data Primer

Data Primer yang dikumpulkan berupa data kualitas air, debit air limbah dan data keperluan validasi data hasil pemodelan. Data parameter kualitas air yang akan dikumpulkan yaitu DO, BOD, Nitrat, Amonia, Fosfat dan TSS. Metode yang digunakan yaitu metode yang telah terstandarisasi atau teruji digunakan di lapangan. Berikut metode pengambilan data primer disajikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jenis Data Primer

Data	Alat / Metode	Standar	Keterangan
Oksigen Terlarut (DO)	DO Meter	SNI 06-6989.14-2004	Insitu-Laboratorium Kimia Oseanografi FIKP UNHAS
Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD)	DO Meter	SNI 6989.72:2009	
Fosfat (P04)	Spektrofotometri	SNI 06-6989.31-2005	
Nitrat (NO3)	Spektrofotometri	SNI 06-2480-1991	
Amonia (NH3)	Spektrofotometri	SNI 06-6989.30-2005	
Jumlah Padatan Tersuspensi (TSS)	Gravimetri	SNI 6989.03-2019	Insitu
Debit Air Limbah	Metode Volume	SNI 0140-2007	

2.3.2 Data Sekunder

Data Sekunder diperoleh dari berbagai literatur. Data sekunder juga disesuaikan dengan kebutuhan analisis data yang didapatkan dari Lembaga Penyedia Data. Adapun data sekunder yang dibutuhkan dan sumber data pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Jenis Data Sekunder

Jenis Data	Tujuan	Sumber data
Angin	Mengetahui kecepatan dan Arah Angin	Copernicus
Batimetri	Mengetahui Kontur dasar atau kedalaman Perairan	BATNAS (Batimetri Nasional)
Pasang Surut	Mengetahui Pasang Laut tertinggi dan terendah, Surut Laut tertinggi dan terendah	BIG (Badan Informasi Geospasial)

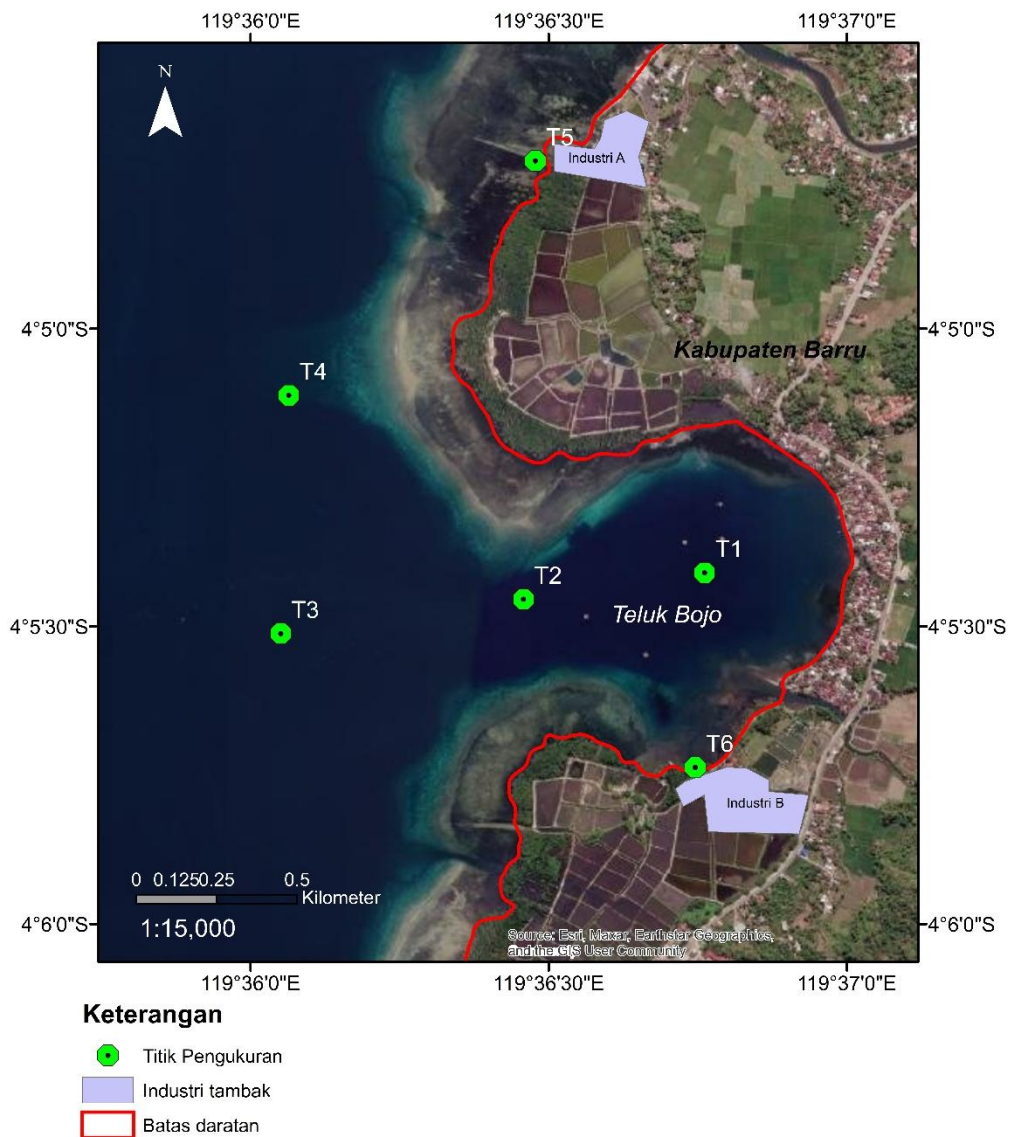
2.3.3 Penentuan Titik Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan *purposive sampling*, yaitu dengan menentukan lokasi pengambilan berdasarkan area yang dianggap paling representatif atau relevan untuk hasil penelitian. Sehingga penentuan titik sampling dipilih berdasarkan lokasi sumber limbah, area di aliran pembuangan limbah tambak budidaya, serta beberapa titik kualitas air untuk keperluan validasi model. Sementara itu. Pengambilan data debit air limbah dilakukan di titik masuknya aliran limbah ke Teluk Bojo.

Pengambilan sampel dilakukan di enam titik lokasi yang dipilih untuk merepresentasikan kondisi kualitas air dan mendukung proses validasi data lingkungan di sekitar Teluk Bojo. Titik 1, 2, 3 dan 4 yang berada di sekitar teluk berfungsi sebagai titik validasi kualitas air yang akan dibandingkan dengan model yang akan dibuat. Titik 1 yang dipilih mewakili area di dalam teluk, Titik 2 berada di area batas teluk, dan Titik 3 terletak di luar Teluk Bojo. Titik 4 terletak di bagian dekat dengan buangan limbah perusahaan B. Titik 5 dan 6 merupakan saluran pembuangan limbah dari kegiatan budidaya yang masing-masing dimiliki oleh Perusahaan A dan B. Kedua titik ini dipilih karena memiliki kuantitas dan frekuensi waktu buangan limbah yang tinggi serta mewakili karakteristik kualitas air limbah yang akan mengalir ke perairan laut. Pada kedua titik tersebut, sampel yang dikumpulkan meliputi parameter kualitas air dan debit air limbah. Sampel yang diambil pada ketiga titik ini adalah parameter kualitas air. Berikut tabel 3 dan Gambar 3 menyajikan titik koordinat dan detail lokasi pengambilan sampel kualitas air.

Tabel 3. Titik Koordinat dan Jenis Data Sampel

Titik Pengambilan Sampel	Jenis Data	Titik Koordinat	Karakteristik	Keterangan
1	Kualitas Air	4°5'24.618"S 119°36'45.690"T	Laut	Data Validasi
2	Kualitas Air	4°5'27.288"S 119°36'27.467"T	Laut	Data Validasi
3	Kualitas Air	4°5'30.759"S 119°36'3.037"T	Laut	Data Validasi
4	Kualitas Air	4°5'6.729"S 119°36'3.838"T	Laut	Data Validasi
5	Kualitas Air / Debit Air	4°4'43.099"S 119°36'28.669"T	Saluran Output Tambak	Data Input
6	Kualitas Air / Debit Air	4°5'44.243"S 119°36'44.756"T	Saluran Output Tambak	Data Input



Gambar 3. Peta Titik Pengambilan Sampel

Dalam pengambilan sampel kualitas air akan dilakukan metode pengulangan 3 kali. Proses ini mencakup pengambilan 3 kali sampel air di setiap titik lokasi yang telah ditentukan yang dimasukkan dalam wadah sampel. Metode pengulangan ini bertujuan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi data yang diperoleh sehingga mengurangi kesalahan faktor eksternal yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Setiap sampel yang akan diambil kemudian dilakukan pengujian kualitas air yang telah ditentukan seperti DO, BOD, Nitrat, Amonia, Fosfat dan TSS.

2.4. Metode Pengolahan dan Analisis Data

2.4.1 Analisis Perubahan Intensitas Limbah Budidaya

Melalui data pemodelan sebaran parameter kualitas air terkini yang akan diperoleh, langkah selanjutnya adalah menyusun analisis skenario perubahan kualitas air di Teluk Bojo pada masa yang akan datang. Analisis skenario adalah alat prediksi yang didasarkan pada penilaian komprehensif terhadap kondisi yang ada pada objek studi, yang melibatkan modifikasi satu atau beberapa parameter untuk menyimulasikan dan memprediksi potensi hasil dari perubahan kondisi tersebut.

Dalam penelitian ini, skenario perubahan intensitas aktivitas tambak dibagi menjadi tiga skenario berbeda berdasarkan asumsi tertentu. Skenario pertama menggambarkan kondisi aktual di mana aktivitas tambak tetap stabil tanpa perubahan, sehingga debit air limbah yang dikeluarkan dianggap konstan. Pada skenario kedua, diasumsikan terjadi peningkatan buangan limbah aktivitas tambak sebesar 50%, yang disebabkan pada peningkatan jumlah unit produksi dan intensitas pemberian pakan, sehingga meningkatkan volume limbah yang masuk ke perairan. Sedangkan pada skenario ketiga, aktivitas tambak diproyeksikan mengalami peningkatan signifikan sebesar 100% buangan limbah, yang menyebabkan peningkatan jumlah debit air limbah yang masuk ke laut. Pembagian skenario ini memungkinkan untuk mengetahui bagaimana perubahan intensitas aktivitas tambak dapat mempengaruhi penyebaran limbah dan kualitas air di Teluk Bojo. Berikut tabel 4 penjelasan terkait skenario yang akan dilakukan.

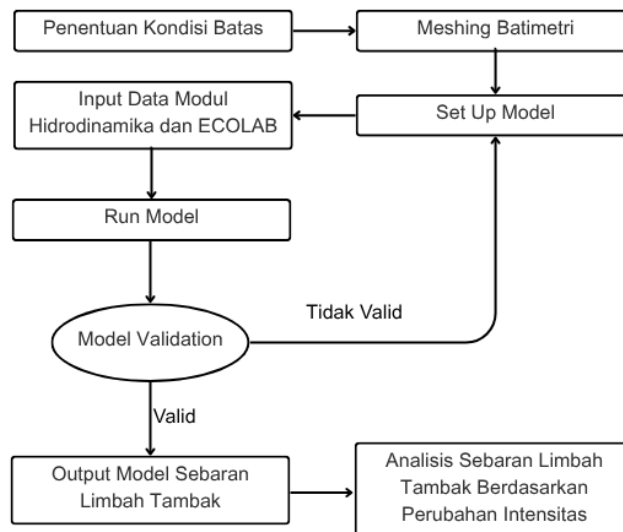
Tabel 4. Skenario Intensitas Budidaya

Skenario	Asumsi Faktor Perubahan Aktivitas Budidaya	Persentase Jumlah Debit Air Limbah
Skenario 1 (Aktivitas budidaya aktual)	✓ Tidak ada perubahan dalam jumlah unit budidaya	0
	✓ Intensitas pemberian pakan tetap	
Skenario 2 (Peningkatan Aktivitas Budidaya)	✓ Peningkatan jumlah unit budidaya	50%
	✓ Peningkatan intensitas pemberian pakan	
	✓ Tanpa pengelolaan limbah	
Skenario 3 (Peningkatan Aktivitas budidaya signifikan)	✓ Peningkatan jumlah unit budidaya	100%
	✓ Peningkatan intensitas pemberian pakan	
	✓ Tanpa Pengelolaan	

2.4.2 Pemodelan Sebaran Parameter Kualitas Air Berdasarkan Skenario

Analisis ini dimulai dengan memodelkan Hidrodinamika dan sebaran parameter kualitas air menggunakan perangkat lunak MIKE 21, yang merupakan salah satu alat bantu pemodelan numerik dua dimensi yang banyak digunakan dalam studi kelautan dan lingkungan perairan. MIKE 21 memiliki berbagai modul yang dirancang untuk mengakomodasi kebutuhan simulasi yang kompleks dan terintegrasi. Dalam studi ini, dua modul utama yang digunakan adalah modul hidrodinamika (HD) dan modul ekologi atau kualitas air (ECOLAB). Modul hidrodinamika berfungsi untuk mensimulasikan pola arus, pasang surut, angin dan batimetri. Sementara itu, modul ECOLAB digunakan untuk memodelkan sebaran kualitas air (DO, BOD, Nitrat, Amonia, Fosfat dan TSS). Kedua modul ini dikombinasikan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai penyebaran parameter kualitas air di wilayah studi.

Prosedur pemodelan dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengumpulan data lapangan seperti data batimetri, arus, pasang surut, angin serta data kualitas air. Selanjutnya, data tersebut dimasukkan ke dalam program MIKE 21 yang akan mensimulasikan pergerakan air dan penyebaran kualitas air berdasarkan 3 skenario tersebut. Pemodelan dilakukan dengan rentang waktu 1-15 hari dengan 360 time step dan interval 60 menit untuk melihat sebaran kualitas air. Terakhir, hasil simulasi divalidasi dengan data lapangan untuk memastikan keakuratan model, jika data sudah valid maka dilakukan analisis simulasi untuk memetakan sebaran parameter kualitas air dalam 3 skenario yang telah ditentukan. Seluruh rangkaian proses simulasi ini dapat dilihat dalam bentuk diagram alur yang ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Prosedur MIKE 21 Modul Hidrodinamika-ECOLAB

Proses pengolahan data untuk pemodelan dijelaskan sebagai berikut :

a. Penentuan kondisi batas

Pemodelan di Teluk Bojo akan menggunakan batas 2 kondisi batas yaitu : batas darat dan batas laut barat.

b. Meshing batimetri

Meshing batimetri dilakukan untuk membuat kerangka jaring dari data kedalaman, yang nantinya memudahkan simulasi pergerakan air. Meshing pada pemodelan batimetri dilakukan dengan menggunakan modul mesh generator pada MIKE 21. Data yang digunakan dalam pemodelan batimetri adalah data kedalaman air dengan koordinat sistem WGS 1984 dalam format *.xyz

c. Set Up Model

Set up model berarti mempersiapkan perangkat lunak dengan memilih modul dan pengaturan yang sesuai dengan kondisi penelitian seperti input mesh batimetri dan pengaturan lama waktu simulasi. Set Up Model juga dilakukan untuk memilih modul yang akan digunakan yaitu Modul Hidrodinamika dan Modul ECOLAB

d. Input Data Modul Hidrodinamika dan ECOLAB

Modul hidrodinamika berfungsi untuk memodelkan pergerakan air (arus, pasang surut, dan gelombang). Simulasi hidrodinamika diperoleh dengan bantuan modul flow Mike 21. Input model ini yang dibutuhkan yaitu domain, time, dan module selection. Domain adalah batimetri daerah studi yang telah dibuat sebelumnya. Time adalah waktu simulasi (kapan simulasi dimulai, berakhir dan berapa interval waktunya). Modul Selection adalah memilih modul yang akan digunakan. Input Data dikumpulkan dari data sekunder berupa data angin, pasang surut, arus. Selanjutnya, penginputan modul ECOLAB digunakan untuk menyimulasikan perubahan kualitas air. Input modul ini membutuhkan data sesuai tujuan penelitian yaitu data kualitas air (DO, BOD, Nitrat, Amonia, Fosfat dan TSS)

e. Running Pemodelan modul Hidrodinamika dan ECO Lab

Running pemodelan modul hidrodinamika dan ECO Lab dapat dilakukan setelah MIKE 21 dapat membaca semua data yang di masukkan dan tidak ada yang bertentangan atau *Error*.

f. Validasi data pemodelan

Validasi data pemodelan akan dilakukan dengan kalibrasi antara data hasil pengukuran langsung di lapangan dengan hasil pemodelan, hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah data model cukup mewakili kondisi lapangan sebenarnya. Validasi model ECO Lab menggunakan data kualitas air.

Metode kalibrasi yang digunakan untuk pemodelan ECO Lab adalah Mean Absolute Percentage Error (MAPE) karena pengambilan sampel hanya dilakukan satu waktu di satu titik. MAPE adalah metode untuk mengukur kesalahan prediksi model. Semakin kecil nilainya, semakin mendekati hasil simulasi dengan kondisi lapangan sebenarnya. Secara sederhana, nilai yang kecil menunjukkan model mampu memprediksi kondisi dengan akurat.

Persamaan untuk menghitung nilai MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

At = Nilai Aktual ke T

Ft = Nilai Pemodelan ke T

Penggunaan MAPE pada evaluasi hasil prediksi dapat menghindari pengukuran akurasi terhadap besarnya nilai aktual dan nilai prediksi. Kriteria nilai MAPE ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria Nilai MAPE

Nilai MAPE	Keterangan
< 10 %	Sangat Baik
10 % - 20 %	Baik
20 % - 50 %	Cukup
> 50 %	Buruk

Sumber : Wei, 2006

2.4.3 Analisis Statistik

Untuk mendukung interpretasi hasil model, dilakukan analisis statistik terhadap parameter kualitas air. Analisis statistik dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA) satu arah (One-Way ANOVA) untuk menguji perbedaan rerata konsentrasi parameter kualitas air antar lokasi pengambilan sampel. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SPSS. Sebelum pengujian ANOVA, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi, yaitu uji normalitas dan uji homogenitas varians, untuk memastikan bahwa data terdistribusi normal dan memiliki varians yang homogen. Apabila kedua asumsi tersebut terpenuhi, maka data analisis dilanjutkan dengan uji ANOVA. Namun, jika salah satu atau kedua asumsi tidak terpenuhi, digunakan alternatif uji non-parametrik. Apabila hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji post-hoc guna mengidentifikasi pasangan kelompok yang berbeda secara signifikan. Seluruh pengujian dilakukan dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05, yang setara dengan tingkat kepercayaan 95%.