

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Wilayah pesisir diakui sebagai area yang sangat produktif karena berbagai aktivitas yang dapat dilakukan di sana, seperti budidaya tambak, pengembangan kawasan pemukiman, pariwisata bahari, dan transportasi air, yang semuanya dapat mempengaruhi kualitas perairan. Berdasarkan Keputusan Menteri Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, beberapa parameter fisik yang menentukan kualitas perairan atau laut mencakup muatan padatan tersuspensi (TSS), kekeruhan, dan kecerahan (Afgatiani et al., 2020). Alur sungai didefinisikan sebagai jalur panjang di permukaan bumi yang menjadi saluran bagi aliran air hujan, sedangkan sungai merupakan kombinasi antara alur tersebut dengan aliran air yang mengalir di dalamnya (Kuba et al., 2019).

Di Makassar, Sungai Tallo dan Sungai Jeneberang adalah dua muara sungai besar yang menunjukkan tingkat kekeruhan signifikan, terutama saat musim hujan. Sungai Jeneberang, salah satu sungai utama di Sulawesi Selatan dengan panjang 90 km dan luas DAS 881 km², mengalir melalui Kabupaten Gowa dan bermuara di selatan Makassar. Sungai ini berperan vital sebagai sumber air baku, irigasi pertanian, dan pembangkit listrik bagi masyarakat Gowa dan Makassar. Sayangnya, sungai ini menghadapi masalah pencemaran serius akibat limbah domestik dan industri, aktivitas pertambangan, serta pembuangan sampah langsung (Lestari, 2021). Selain itu, muara Sungai Jeneberang juga dipengaruhi oleh pasang surut semi-diurnal, yang menyebabkan pergerakan air laut bolak-balik antara perairan pantai dan laut lepas seiring siklus pasang surut (Karamma et al., 2020).

Total Suspended Solid (TSS) atau jumlah padatan tersuspensi adalah salah satu indikator utama dalam evaluasi kualitas air. TSS terdiri dari partikel-partikel padat seperti tanah, lumpur, bahan organik dan berbagai material lain yang melayang di dalam air. Tingginya konsentrasi TSS dapat berdampak buruk bagi kehidupan di dalam air. Ketika TSS tinggi, cahaya matahari yang masuk ke air berkurang, menghambat fotosintesis yang sangat penting bagi fitoplankton dan tumbuhan air lainnya. Hal ini dapat memicu penurunan konsentrasi oksigen terlarut (DO) dan peningkatan suhu air. Umumnya, peningkatan TSS di sungai diakibatkan oleh berbagai aktivitas antropogenik, termasuk buangan industri, kegiatan pertambangan, pertanian, dan pembuangan limbah domestik langsung ke aliran sungai (Purba et al., 2018). Partikel tersuspensi ini juga menjadi tempat terjadinya reaksi kimia yang

bentukan endapan awal, sehingga mempengaruhi kualitas air. terlalu tinggi, proses fotosintesis dan regenerasi oksigen dalam ygu (Kurniawan et al., 2018).

S dapat mengendap di dasar sungai dan menutupi permukaan pan ini berpotensi menutupi telur ikan dan serangga air, serta n larva serangga yang baru menetas. Padatan tersuspensi juga



bisa berdampak langsung pada ikan, seperti menyumbat insang, menghambat pertumbuhan, dan menurunkan daya tahan tubuh terhadap penyakit (Piranti, 2019).

Partikel-partikel yang tersuspensi memiliki ukuran lebih dari 1 μm dan tertahan pada saringan miliopore dengan pori berdiameter 0,45 μm . Beberapa faktor yang mempengaruhi konsentrasi TSS adalah sedimen yang terbawa oleh volume limpasan air atau *run-off* yang besar, di mana pembukaan lahan dan curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan erosi. Partikel sedimen yang dihasilkan dari erosi kemudian terbawa oleh *run-off*. Distribusi TSS juga dipengaruhi oleh angin, debit sungai, dan pasut. Angin dapat menciptakan arus permukaan yang mendistribusikan TSS sesuai dengan arah arus tersebut, sementara debit sungai yang tinggi membawa TSS jauh ke laut. Namun, dalam perairan yang didominasi oleh pasut, distribusi TSS cenderung terkonsentrasi di sekitar muara sungai (Widyanata et al., 2023). Salah satu faktor penting dalam distribusi TSS adalah arus dan pasut. Pasut memainkan peran dominan dalam sirkulasi air di sekitar muara sungai, di mana saat menuju pasang, volume air dari laut masuk dan meningkatkan konsentrasi sedimen tersuspensi, sementara saat menuju surut, volume air menurun dan menyebabkan perubahan konsentrasi TSS (Kurniawan et al., 2018).

Pergerakan sedimen sangat ditentukan oleh kecepatan arus dan ukuran butir sedimen. Semakin besar ukuran butir sedimen, semakin besar pula kecepatan arus yang diperlukan untuk mengangkutnya. Selain arus, gelombang juga memainkan peran penting dalam perpindahan sedimen. Ketika gelombang bergerak mendekati pantai, maka akan pecah di perairan dangkal karena adanya perubahan kedalaman. Pecahnya gelombang ini kemudian mengaduk sedimen di dasar perairan pantai, yang pada akhirnya menyebabkan perpindahan sedimen. Jika perpindahan sedimen ini terjadi secara terus menerus, maka hal itu dapat menyebabkan sedimen terdeposisi dan terjadinya erosi di sisi yang lain pada perairan tertentu (Asatidz et al., 2021). Selain faktor-faktor alami tersebut, aktivitas manusia di daratan juga berkontribusi terhadap laju transportasi sedimen. Aktivitas penambangan di sekitar pantai misalnya, dapat mempengaruhi distribusi butir sedimen karena suplai sedimen yang tidak merata (*Poorly Sorted Sediment*) dari aktivitas penambangan tersebut (Javier et al., 2023).

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, Sungai Jeneberang adalah salah satu sungai di Sulawesi Selatan yang mengalir melalui Kota Makassar dan memiliki status kritis. Pada tahun 1996, terjadi genangan air terbesar di kota ini yang menyebabkan 2/3 wilayahnya terendam. Peristiwa ini menjadi salah satu alasan utama pembangunan Waduk Bili-Bili, yang mulai beroperasi pada tahun 1998. Hulu Sungai Jeneberang sendiri berada di sekitar pegunungan Lompobattang, dengan puncak Gunung Bawakaraeng. Longsor yang terjadi di hulu DAS menyebabkan longsor dari dinding kaldera Gunung Bawakaraeng (014).



sungai berfungsi sebagai tempat pembuangan air sungai, di banjir. Ketika terjadi angkutan sedimen yang besar dari hulu, terjadi di muara karena kecepatan aliran yang mendekati nol. Hal ini tidak berfungsi optimal muara tersebut. Selain mengendap di muara,

sebagian sedimen juga akan terbawa ke pantai di sekitar Muara Sungai Jeneberang, seperti Pantai Barombong dan Pantai Tanjung Bunga di Makassar, yang berdampak pada perubahan morfologi di wilayah tersebut (Khuzaimah, 2013).

Penelitian oleh Sabara et al. (2020) menemukan bahwa kandungan TSS di Sungai Jeneberang pada pagi hari adalah 10 mg/L di area hulu sungai, 19,67 mg/L di area tengah dan 16,67 mg/L di area hilir. Pada sore hari, kandungan TSS adalah 12,67 mg/L di area hulu sungai, 22,23 mg/L di area tengah dan 22,00 mg/L di area hilir. Hal ini disebabkan oleh aktivitas warga sekitar Sungai Jeneberang yang membuat tanah, sampah dan sedimen masuk ke sungai. Penelitian Lestari (2021) menemukan bahwa kandungan TSS di Sungai Jeneberang masih memenuhi kapasitas beban pencemaran untuk segmen 1 hingga 3, namun BOD₅ dan COD telah melampaui kapasitas beban pencemaran sehingga perlu dilakukan penurunan beban pencemaran untuk BOD₅ dan COD.

Penelitian yang dilakukan oleh Selamat et al. (2019) menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata Total Suspended Solid (TSS) di Muara Sungai Jeneberang adalah sekitar $52,7 \pm 8,1$ mg/L berdasarkan pengukuran di delapan stasiun. Konsentrasi terendah yang tercatat adalah 44,2 mg/L, sementara yang tertinggi mencapai 69,1 mg/L. Tingkat TSS tertinggi ditemukan beberapa ratus meter sebelum muara, tepatnya ke arah hulu, dan berangsur-angsur menurun di area sekitar muara. Hasil penelitian ini juga mengungkapkan bahwa konsentrasi TSS di Muara Sungai Jeneberang lebih rendah dibandingkan dengan Muara Sungai Tallo.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian mengenai pola distribusi TSS di Muara Sungai Jeneberang, Kota Makassar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pola distribusi TSS di Muara Sungai Jeneberang, termasuk faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi pola distribusi tersebut, serta dampaknya terhadap kualitas air dan lingkungan di sekitar Muara Sungai Jeneberang.

1.2 Tujuan dan kegunaan

1. Mengetahui dinamika pola arus Muara Sungai Jeneberang dan sekitarnya.
2. Mengetahui pola distribusi *Total Suspended Solid* (TSS) dengan pendekatan model numerik 2D di muara Sungai Jeneberang dan sekitarnya.
3. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi TSS Muara Sungai Jeneberang dan sekitarnya.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu untuk memberikan ilustrasi mengenai model distribusi TSS (*Total Suspended Solid*) di Muara Sungai Jeneberang dan area



nat dua dimensi (2D) pada musim peralihan 1. Hasil penelitian berperan sebagai referensi ilmiah untuk memantau kualitas air, ber pencemaran, serta menyediakan informasi yang signifikan pengelolaan Kawasan Muara Sungai Jeneberang dan sekitarnya

1.3 Landasan teori

1.3.1 *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) atau yang dikenal juga sebagai total padatan tersuspensi, merupakan parameter kunci dalam mengevaluasi kualitas air laut. TSS yang meliputi partikel organik dan anorganik seperti lumpur serta mikroorganisme akibat erosi, dapat membatasi intensitas cahaya yang mencapai fitoplankton (Afgatiani et al., 2020). Di tingkat nasional, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengakui pentingnya TSS dengan menjadikannya salah satu parameter dalam Indeks Kualitas Air Laut (IKAL) di Indonesia (KLHK, 2021). Lebih jauh lagi, TSS memiliki implikasi ekologis yang signifikan karena pengaruhnya terhadap fitoplankton, yang menduduki posisi penting sebagai produsen primer dalam jaring-jaring makanan laut (Latifa dan Marsisno, 2024).

Keterkaitan erat antara *Total Suspended Solid (TSS)* dan proses erosi serta sedimentasi menyebabkan masuknya berbagai partikel organik dan anorganik ke badan air. Batasan ukuran partikel membedakan padatan tersuspensi (diameter $>2\mu\text{m}$) dari bahan terlarut (diameter $<2\mu\text{m}$) (Bid dan Siddique, 2019). Kondisi lingkungan seperti pembukaan lahan dan tingginya curah hujan meningkatkan potensi erosi, yang menghasilkan partikel sedimen yang selanjutnya dialirkan oleh *run-off*. Aktivitas-aktivitas ini secara signifikan mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi TSS dalam suatu perairan. Peningkatan konsentrasi TSS dapat terjadi jika penutupan lahan di suatu sub-DAS menurun di bawah 30% atau jika pembukaan lahan pertanian melebihi 50% (Widyanata et al., 2023).

Tinggi rendahnya konsentrasi TSS dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama jumlah partikel sedimen yang terbawa oleh limpasan air yang besar (Widyanata et al., 2023). Kegiatan reklamasi juga berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi TSS dalam perairan (Benny et al., 2023). Selain itu, aktivitas antropogenik, curah hujan, angin dan kondisi tutupan lahan turut mempengaruhi kadar TSS (Astuti et al., 2023).

Konsentrasi TSS yang berlebihan dapat menghalangi penetrasi cahaya ke dalam air, yang mengakibatkan penurunan produksi primer fitoplankton dan mengganggu fotosintesis (Qanita dan Subiyanto, 2019). Gangguan fotosintesis ini dapat mengurangi pelepasan oksigen dan menyebabkan kematian ikan. Lebih lanjut, tingginya TSS meningkatkan kekeruhan air dan menurunkan produktivitas perairan (Na'Imah et al., 2023). Berkurangnya intensitas cahaya matahari yang menembus air dapat mempengaruhi suhu perairan, yang pada gilirannya berdampak pada kehidupan biologis serta laju reaksi kimia di dalamnya. Secara fisik, konsentrasi TSS si menyebabkan pendangkalan dasar perairan (Astuti et al.,

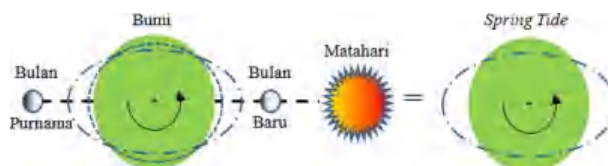


TSS dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, yaitu pengukuran langsung di lapangan), model fisik, simulasi numerik, dan lain-lain (Astuti et al., 2023). Secara kualitatif, tingginya muatan padat terdeteksi melalui tingkat kekeruhan air, dimana air yang semakin

keruh mengindikasikan kandungan padatan tersuspensi yang tinggi (Hidayah et al., 2023).

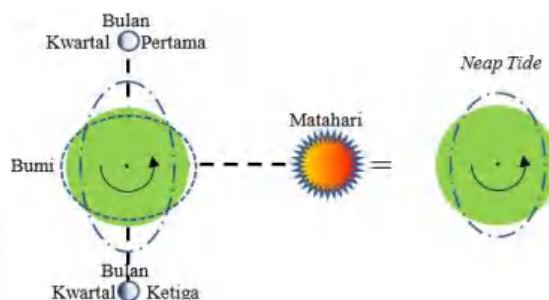
1.3.2 Parameter Oseanografi

Pasang surut merupakan kenaikan dan penurunan periodik permukaan air laut, yang dikenal sebagai pasang surut, utamanya dipicu oleh gaya gravitasi benda-benda langit, terutama Bulan dan Matahari. Gaya gravitasi Bulan merupakan faktor pembangkit pasang surut yang lebih dominan terhadap Bumi. Perbedaan ketinggian air laut yang terjadi akibat pembangkitan pasang surut sangat dipengaruhi oleh konfigurasi posisi Bumi, Bulan, dan Matahari. Pasang maksimum (*spring tide*) terjadi ketika Matahari, Bumi, dan Bulan berada dalam satu garis lurus, menyebabkan efek gravitasi yang saling memperkuat pada titik-titik tertentu di permukaan Bumi yang searah dengan sumbu relatif ketiganya, seperti yang digambarkan pada **Gambar 1**. Kondisi ini bertepatan dengan fase bulan baru dan bulan purnama (Yusuf, 2018).



Gambar 1. Kedudukan bumi, bulan dan matahari saat *spring* (Sumber: Yusuf, 2018).

Neap tide atau pasang mati, terjadi ketika posisi Matahari membentuk sudut tegak lurus dengan garis yang menghubungkan Bumi dan Bulan. Pada saat ini, ketinggian pasang surut mencapai minimum pada titik-titik di permukaan Bumi yang juga berada pada sudut tegak lurus terhadap sumbu Bumi-Bulan (**Gambar 2**). Kondisi astronomis ini bertepatan dengan fase perempat awal dan perempat akhir Bulan. Perbedaan ketinggian air antara pasang tertinggi dan terendah (tunggang pasut) jauh lebih kecil selama *neap tide* dibandingkan dengan saat terjadi *spring tide* (Yusuf, 2018).



udukan bumi, bulan, dan matahari saat *neap* (Sumber: Yusuf, 2018).



Karakteristik pasang surut di suatu wilayah perairan umumnya diidentifikasi melalui perbandingan amplitudo (tinggi gelombang) antara komponen-komponen pasang surut tunggal utama dan komponen-komponen pasang surut ganda utama, yang dinyatakan dalam bilangan *Formzahl*. Nilai *Formzahl* ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan tipe pasang surut yang terjadi di perairan tersebut. Di Indonesia, berdasarkan nilai *Formzahl*, terdapat empat tipe pasang surut yang berbeda (Nugroho, 2015), sebagaimana terangkum dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Tipe pasut

Nilai	Tipe pasut	Fenomena
$0 < F < 0,25$	Pasut harian ganda	Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan surut dengan ketinggian yang hampir serupa, di mana pasut berlangsung secara berurutan. Rata-rata periode pasut adalah 12 jam 24 menit.
$0,25 < F < 1,5$	Pasut campuran condong ke harian ganda	Dalam satu hari, terjadi dua kali pasang dan surut, namun ketinggian dan periodenya berbeda.
$1,5 < F < 3$	Pasut campuran condong ke harian tunggal	Dalam satu hari, terjadi dua kali pasang dan surut, namun ketinggian dan periodenya berbeda.
$F > 3$	Pasut harian tunggal	Dalam satu hari, terjadi satu kali pasang dan surut. Rata-rata periode pasut adalah 24 jam 50 menit.

(Sumber: Nugroho, 2015)

Sebagai bidang referensi yang digunakan dalam peta navigasi dan peramalan pasang surut, *Chart Datum* umumnya mengacu pada permukaan air rendah. Definisi lain menyebutkan bahwa *Chart Datum* adalah bidang referensi berupa permukaan air laut paling rendah yang digunakan sebagai tolak ukur kedalaman dalam penyusunan peta laut, yang didapatkan dari perhitungan dan analisis data pengamatan pasang surut. Metode penentuan *Chart Datum* menurut definisi Australia (ISLW) menggunakan rumus yang rinciannya terdapat pada **Tabel 2** (Denafiar et al., 2017).

Tabel 2. Formula *chart datum*

Simbol	Formula
HHWL	$S_0 + (AM_2 + AS_2 + AK_2 + AK_1 + AO_1 + AP_1)$
... ..	$S_0 + (AM_2 + AK_1 + AO_1)$
...	S_0
...	$S_0 - (AM_2 + AK_1 + AO_1)$
...	$S_0 - (AM_2 + AS_2 + AK_1 + AO_1)$
...	$S_0 - (AM_2 + AS_2 + AK_2 + AK_1 + AO_1 + AP_1)$
...	$S_0 - (All\ Constituents)$



Arus laut permukaan adalah pergerakan massa air horizontal yang terjadi pada lapisan laut kurang dari 200 m akibat tiupan angin di permukaan. Pergerakan ini terjadi dari daerah bertekanan udara tinggi ke area bertekanan udara rendah dalam skala yang luas dan mencakup seluruh lautan dunia (Kasim, 2020). Terdapat dua jenis gerakan horizontal arus laut, yaitu arus samudra dan arus pasang surut. Arus samudra bersifat permanen dan mengalir secara berkelanjutan dalam jarak yang jauh. Pengukurannya terkadang dapat dilakukan hanya dengan satu kali observasi di suatu stasiun. Namun, karena sifatnya yang tidak selalu konstan, satu kali pengukuran tidak cukup untuk menyimpulkan kondisi arus samudra secara menyeluruh (Yusuf, 2018).

Berbeda dengan arus samudra, arus pasang surut adalah pergerakan periodik massa air laut secara horizontal dari satu wilayah ke wilayah lain, baik di permukaan maupun di dasar laut, serta dapat berupa gerakan vertikal air dari lapisan bawah ke atas atau sebaliknya. Arus ini dipengaruhi oleh dua jenis gaya yaitu gaya primer dan sekunder. Gaya primer yang menggerakkan arus dan menentukan kecepatannya meliputi gravitasi, gesekan angin (*wind stress*), gaya apung, dan tekanan atmosfer. Sementara itu, gaya sekunder seperti gaya *Coriolis* dan gesekan internal air laut mempengaruhi arah dan kondisi arus (Samskerta et al., 2011).

Karakteristik tipe pasang surut suatu wilayah perairan secara langsung mempengaruhi pola arus pasang surut yang terjadi. Pada daerah dengan tipe pasang surut harian tunggal, arus pasang surut cenderung mengalami perubahan arah satu kali dalam sehari. Sebaliknya, wilayah dengan tipe pasang surut harian ganda akan menunjukkan dua kali perubahan arah arus dalam periode 24 jam. Sementara itu, pada tipe pasang surut campuran, arah arus dapat berubah antara satu hingga dua kali sehari. Laju arus pasang surut mencapai nol ketika ketinggian air laut berada pada titik tertinggi (maksimum) atau terendah (minimum). Laju arus maksimum terjadi saat ketinggian air laut berada pada titik tengah (nol). Perubahan arah arus pasang surut terjadi setelah ketinggian pasang surut mencapai ekstrim minimum atau maksimum. Mengingat sifat periodik arus pasang surut, kejadiannya dapat diprediksi (Kasim, 2020).

Informasi mengenai pola pergerakan dan kecepatan arus dari waktu ke waktu memiliki signifikansi yang besar, salah satunya adalah untuk memperkirakan besarnya energi yang bekerja di dasar perairan yang mampu memindahkan sedimen dari satu lokasi ke lokasi lain, sebuah proses yang dikenal sebagai transportasi sedimen. Akibat dari erosi dan deposisi ini adalah terjadinya perpindahan sedimen atau sedimentasi (Yusuf, 2018). Sejalan dengan pendapat Strahler (1987) dalam Ongkosongo (2003), saat terjadi kenaikan air (pasang), arah arus cenderung menuju



saat penurunan air (surut), arah arus menuju laut. Pada saat air mencapai titik tertinggi, terjadi periode singkat dengan arus yang relatif berhenti, yang disebut *slack water*. Fenomena *slack water* serupa telah air mencapai titik terendah.

Kata ini berasal dari bahasa Yunani, didefinisikan sebagai permukaan topografi dasar laut. Proses batimetri mencakup mulai dari pengukuran kedalaman (pemeruman), pengolahan

data, hingga visualisasi bentuk dasar perairan. Pemeruman sendiri adalah aktivitas untuk mendapatkan gambaran atau model permukaan dasar laut. Pengukuran kedalaman dilakukan pada titik-titik representatif yang juga diukur posisinya (Abdullah, 2022).

Peta batimetri umumnya menyajikan relief dasar laut dengan garis kontur kedalaman (*isobath*) dan dapat dilengkapi informasi navigasi permukaan. Secara sederhana, peta batimetri menggambarkan konfigurasi dasar laut melalui angka dan garis kedalaman, yang dapat divisualisasikan dalam format 2D maupun 3D. Peta ini sangat berguna untuk berbagai pekerjaan di laut, seperti perencanaan struktur pelindung pantai, studi morfologi pantai dan pembangunan pelabuhan (Wahyuni, 2014).

Kedalaman perairan memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat pengendapan sedimen, perairan yang lebih dalam cenderung mengalami pengendapan yang lebih lambat, sementara perairan dangkal mengalami pengendapan lebih cepat, terutama jika arus di area tersebut lemah (Maulana, 2022). Menurut Rifardi (2012), seluruh material sedimen ditransportasikan secara fisik sebagai padatan sebelum mengendap, dan proses transportasi ini sangat dipengaruhi oleh kondisi oseanografi perairan hingga mencapai lokasi pengendapan akhir, termasuk material yang tumbuh di dasar perairan.

1.3.3 Pendekatan dengan Model hidrodinamika 2D

Pemodelan adalah proses meniru kondisi alam untuk keperluan analisis dan perancangan. Secara umum, terdapat tiga jenis model yaitu model fisik (replika domain alam), model analogi (berdasarkan kemiripan dengan fenomena lain, kini jarang digunakan), dan model matematik (berdasarkan formula matematis yang mendeskripsikan fenomena alam). Keakuratan model matematik bergantung pada ketepatan formulasi persamaan dalam merepresentasikan fenomena yang ditiru (Yusuf, 2018).

Sistem perairan pantai dan estuari sangat kompleks dan dinamis terhadap ruang dan waktu. Untuk memahami hubungan antar berbagai variabel dan parameter dalam sistem ini, pendekatan pemodelan, terutama model matematik, merupakan cara yang efektif (Sugianto, 2009). MIKE 21 adalah perangkat lunak pemodelan yang dapat digunakan untuk mensimulasikan hidrolika dan fenomena terkait perairan (Yusuf, 2018), dengan modul seperti *Hydrodynamic* (HD) dan *Mud Transport* (MT). Persamaan hidrodinamika dua dimensi, yang terdiri dari persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum dengan berbagai penyederhanaan (Wati, 2020), dapat digunakan untuk mempelajari dinamika pasang surut dan arus pasang surut.

amika 2D yang dirata-ratakan terhadap kedalaman, tanpa gaya pembangkit pasang surut langsung (Kasim, 2020), berikut:



$$\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial u}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial u}{\partial y} - f\bar{v} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho(h + \zeta)} \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial v}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial v}{\partial y} - f\bar{u} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho(h + \zeta)} \quad (1.2)$$

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)\bar{u}] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)\bar{v}] + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (1.3)$$

Dengan ketentuan:

$$\bar{u} = \frac{1}{h + \zeta} \int_{-h}^{\zeta} u dz$$

$$\bar{v} = \frac{1}{h + \zeta} \int_{-h}^{\zeta} v dz$$

Dimana:

u, v = komponen vektor kecepatan pada sumbu x dan y (m/s)

g = gravitasi (m/s²)

ρ = densitas air (kg/m³)

ζ = elevasi permukaan air laut dari *Mean Sea Level*

f = gaya luar yang bekerja pada fluida

∂ = gradien fluida

h = kedalaman air (m)

τ_{sx}, τ_{bx} = gaya viskositas tekanan (*pressure stress*), yang bekerja sejajar dengan arah aliran fluida

τ_{sy}, τ_{by} = gaya viskositas geser (*shear stress*), yang bekerja tegak lurus terhadap arah aliran fluida

Karena elevasi muka air jauh lebih kecil daripada kedalaman air (h) maka ζ diabaikan terhadap h .

$$\zeta \ll h \rightarrow (h + \zeta) \approx h \quad (1.4)$$

Persamaan hidrodinamika 2D yang dirata-ratakan terhadap kedalaman dan dilinierkan dinyatakan oleh:

Persamaan gerak:



$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - f\bar{v} = -g \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - \frac{K}{h} \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - f\bar{u} = -g \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \frac{K\bar{u}}{h} \quad (1.6)$$

IS:

$$\frac{\partial}{\partial x} + (h\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\bar{v}) = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (1.7)$$

Modul Hydrodynamic (HD) pada MIKE 21 adalah model matematis yang berfungsi untuk mensimulasikan bagaimana air bergerak dan berinteraksi dengan berbagai kekuatan. Ini termasuk pengaruh angin dan batas muka air yang ditentukan dalam model. Modul HD ini berguna untuk memprediksi perubahan muka air dan pola arus di berbagai lokasi seperti danau, muara sungai, dan wilayah pesisir. Model ini menggambarkan aliran dua dimensi yang berubah-ubah seiring waktu (tidak stasioner) dalam lapisan fluida yang sifatnya homogen secara vertikal (Yusuf 2018). MIKE 21 HD *Flow Model* (FM) menggunakan metode “mesh fleksibel” dalam pemodelannya. System ini dirancang khusus untuk aplikasi di bidang oseanografi, rekayasa pantai, dan lingkungan muara sungai (DHI, 2017).

Pemodelan dengan MIKE 21 Hidrodinamika (HD) FM didasarkan pada model numerik matematis. Prinsip utamanya adalah hukum kekekalan massa dan momentum. Persamaan-persamaan ini diintegrasikan secara vertical, yang berarti dimensi model dikurangi dari tiga menjadi dua. Dengan demikian, model ini dapat mensimulasikan aliran yang tidak stabil (*unsteady*) dalam fluida satu lapisan yang homogen secara vertikal, dan semuanya sudah dalam menu MIKE 21. Persamaan berikut merepresentasikan kekekalan massa dan momentum, menggambarkan aliran, serta perbedaan muka air (DHI, 2017).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1.8)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{d} \right) + gd \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot d^2} - \frac{1}{\rho w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (d\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (d\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{d}{\rho w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{d} \right) + gd \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot dh^2} - \frac{1}{\rho w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (d\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (d\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{d}{\rho w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \quad (1.10)$$

Dimana:

- $h(x, y, z)$ = kedalaman air ($\eta - d, m$)
- $d(x, y, z)$ = kedalaman air dalam berbagai waktu (m)
- $\zeta(x, y, z)$ = elevasi muka air laut (m)
- $p, q(x, y, t)$ = *flux density* dalam arah x dan y ($m^3/s/m$) = (uh, vh)
(u, v) = *depth averaged velocities* dalam arah x dan y
- $C(x, y)$ = *Chezy resistance* ($m^{1/3}/s$)
- g = kecepatan gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$)
- Ω = kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s)
- f = *Coriolis parameter* (s^{-1})
- V = tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)
- ρ = berat jenis air (kg/m^3)
- w = komponen *effective shear stress*



Modul Mud Transport (MT) dalam MIKE 21 adalah aplikasi pemodelan yang dirancang khusus untuk mensimulasikan pergerakan sedimen kohesif (lumpur). MIKE 21 *Flow Model FM*, yang merupakan sistem pemodelan dengan pendekatan mesh fleksibel dan sangat cocok untuk aplikasi di bidang oseanografi, rekayasa pantai, dan lingkungan muara sungai. *Mud Transport Module* ini menghitung bagaimana material kohesif bergerak berdasarkan dua faktor utama yaitu kondisi aliran yang disimulasikan oleh modul hidrodinamika dan kondisi gelombang yang didapatkan dari perhitungan gelombang (*modul spectral wave*) (Yusuf 2018). Formula yang digunakan dalam modul ini mengintegrasikan pengaruh arus dan gelombang terhadap pergerakan sedimen (DHI, 2017):

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1 + a - e^z) - 1}{e^z(z - 1) + 1} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 + z^2 U_{f0}^2} + 2KzU_{f0}U_0 \cos \gamma}{e^z(z - 1) + 1} \quad (1.11)$$

Dimana :

- K = Konstanta Von Karman
- t = waktu (s)
- z = Parameter tebal boundary layer (m)
- U_0 = Kecepatan orbit dasar gelombang terdekat (m/s)
- U_{f0} = Kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang (m/s)
- γ = Sudut antara arus dan gelombang (rad)
- d_{50} = Rata-rata ukuran diameter (mm)
- k_R = *Ripple* yang berkaitan dengan kekasaran (m)

Modul Sand Transport (ST) merupakan aplikasi model yang dikhususkan untuk mensimulasikan pergerakan sedimen non-kohesif. Perhitungan ini didasarkan pada kondisi aliran yang disimulasikan oleh modul hidrodinamik dan kondisi gelombang dari modul gelombang spektral. Modul ini mengimplementasikan beberapa pendekatan formula yang umum digunakan dalam pemodelan transport sedimen, seperti model Engelund-Hansen, Van-Rijn, Engelund-Fredsoe, dan Meyer-Peter-Muller. Nilai transport sedimen vertikal dalam modul *sand transport* dihitung menggunakan persamaan difusi, yang dinyatakan sebagai berikut (DHI, 2017):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = w \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\epsilon_s \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (1.12)$$

Dimana :

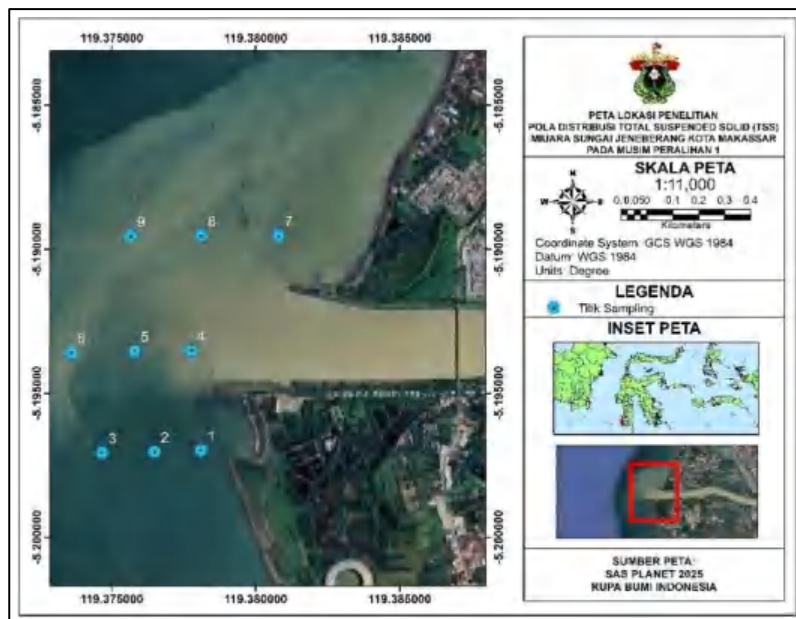
- ϵ_s = koefisien turbulensi (m²/s)
- c = konsentrasi sedimen tersuspensi (kg/m³)
- w = kecepatan vertikal (m/s)



BAB II METODE PENELITIAN

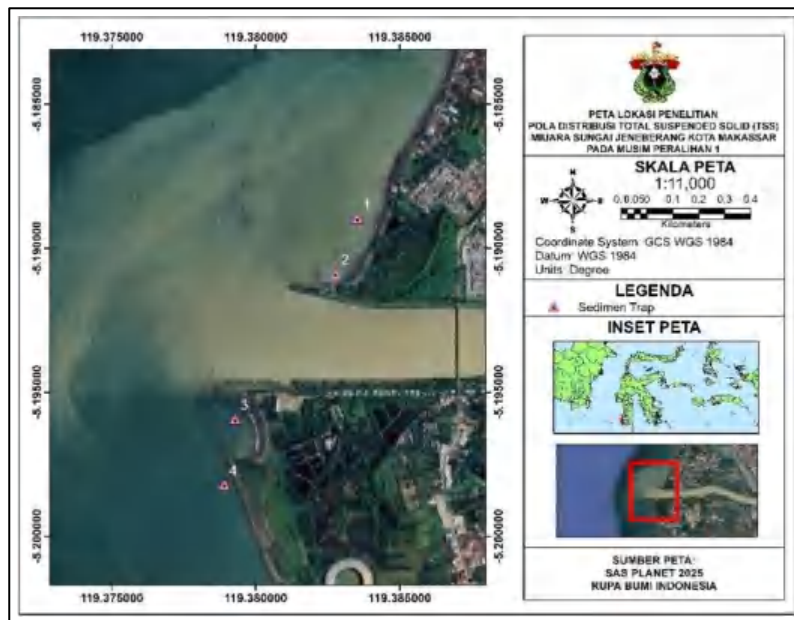
2. 1 Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025 di perairan Muara Sungai Jeneberang. Stasiun penelitian terbagi menjadi 9 titik stasiun yang mengarah ke laut secara vertikal dan tersebar di sekitar wilayah Pantai Tanjung Layar Putih, Muara Sungai Jeneberang dan Pantai Barombong. Analisis data dilakukan pada Laboratorium Oseanografi kimia dan Laboratorium Oseanografi Fisika dan Geomorfologi Pantai, Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.



Gambar 3. Peta titik stasiun penelitian. Sumber: SASplanet, ArcGIS





Gambar 4. Peta titik sedimen trap. Sumber: SASplanet, ArcGIS

2. 2Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan di lapangan disajikan pada **Tabel 3**, sedangkan untuk analisis di Laboratorium disajikan dalam **Tabel 4**.

Tabel 3. Alat dan bahan yang digunakan di lapangan

No.	Alat	Kegunaan
1.	Perahu	Alat transportasi untuk mengambil data
2.	Flowatch FL-03	Mengukur arah dan kecepatan arus
3.	GPS Map Sounder 585 Plus Garmin	Mengukur batimetri
4.	Tiang skala	Mengukur pasang surut air laut
5.	Botol sampel	Wadah untuk menyimpan air sampel
6.	Kamera Handphone	Mengambil dokumentasi kegiatan
7.	Ekman Grab	Alat untuk mengambil sampel sedimen dasar
8.	Sediment Trap	Alat untuk mengetahui arah laju sedimentasi
9.	Kemmerer Water Sampler	Alat untuk mengambil sampel air
10.	Cool box	Wadah menyimpan sampel
		Pencatat data lapangan yang terukur
		Wadah untuk menyimpan sampel sedimen
		Menentukan titik koordinat pada lokasi penelitian
		Objek yang akan di analisis
		Pembersih alat yang telah digunakan
		Penanda sampel



Tabel 4. Alat dan Bahan yang digunakan di Laboratorium

No.	Bahan	Kegunaan
1.	<i>Software MIKE 21 (Student Lissence)</i>	Software pemodelan hidrodinamika dan transport sedimen
2.	MS Excel	Software pengolahan data
3.	Nampan	Wadah pengeringan sampel sedimen dengan suhu ruangan
4.	<i>Sieve Net dan Sieve Shaker</i>	Alat untuk mengayak sampel sedimen
6.	<i>Beaker Glass</i>	Wadah sampel dalam melakukan analisis
7.	Cawan Petri	Penyimpanan sampel TSS
8.	Timbangan Analitik	Pengukuran berat sampel sedimen
9.	Oven	Pengering sampel sedimen
10.	<i>Filter Funnel (Corong kaca)</i>	Penyaring sampel air
11.	Pompa Vakum	Alat bantu dalam penyaringan sampel air
12.	Kamera <i>Handphone</i>	Mengambil dokumentasi kegiatan
13.	Kertas Saring Whatman 0,45µm GF/C	Penyaring sampel air
14.	Gegep	Penjepit cawan petri
15.	Lumpang dan Alu	Penghalus sedimen yang telah dikeringkan
16.	Tissue	Pengering alat yang telah digunakan
17.	Label	Penanda sampel
18.	Alat Tulis	Pencatat data yang terukur

2. 3 Metode penelitian

2.3.1 Tahap persiapan

Sebagai langkah awal, kegiatan ini mencakup beberapa aktivitas, termasuk observasi awal dan studi literatur. Observasi di lapangan bertujuan untuk memahami kondisi, menentukan lokasi, dan mengidentifikasi masalah yang akan menjadi dasar perencanaan penelitian. Setelah itu, dilakukan studi literatur untuk memperkuat kerangka teori, merumuskan masalah penelitian, menelusuri literatur yang relevan dengan objek studi, serta menyusun kerangka metodologi penelitian.

2.3.2 Tahap penentuan stasiun

Penentuan lokasi stasiun penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* yaitu teknik pengambilan sampel berdasarkan kriteria tertentu agar dapat mewakili kondisi sebenarnya di lokasi penelitian. Stasiun penelitian ini adalah stasiun yang mengarah ke laut secara vertikal. Lokasi stasiun penelitian ini berada di antara sungai dan laut, termasuk area muara serta perairan pasang surut. Tujuan dari stasiun ini bertujuan untuk melihat variasi konsentrasi TSS dan pencampuran air tawar dan air laut, serta efek dari arus dan



2.3.3 Pengambilan sampel

2.3.3.1 Pengumpulan data sekunder

a. Pasang surut

Data pasang surut diperoleh dari prediksi pasang surut online yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), yang dapat diakses melalui situs web <https://srgi.big.go.id/tides/ujpd>. Data yang digunakan berasal dari stasiun Makassar-Sulsel selama periode 15 hari, dengan rata-rata pengukuran setiap satu jam.

b. Angin

Data angin diperoleh dari sumber online yang disediakan oleh NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (POWER), yang dapat diakses melalui situs web <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Data yang diambil mencakup periode 15 hari dengan rata-rata per jam, yang mencakup informasi mengenai kecepatan dan arah angin.

2.3.3.2 Pengukuran data lapangan

a. Sedimen tersuspensi

Sampel air diambil menggunakan *Kemmerer Water Sampler* dengan kriteria pengambilan saat kondisi menuju pasang, pada saat pasang, menuju surut dan pada saat surut. Prosedur pengambilan sampel dimulai dengan menyiapkan penutup otomatis *Kemmerer Water Sampler*, kemudian alat tersebut diturunkan ke kedalaman yang telah ditentukan. Setelah itu, *messenger* dilepaskan untuk menutup botol sampler, dan alat diangkat untuk mengumpulkan sampel air ke dalam botol sampel yang kemudian dimasukkan ke dalam *coolbox*. Sampel air ini selanjutnya digunakan untuk menganalisis konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS). Data konsentrasi TSS diperoleh melalui analisis sampel air di laboratorium dengan metode gravimetri (APHA, 2005), yang dilakukan di Laboratorium Oseanografi Kimia, Departemen Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.

b. Batimetri

Kedalaman atau batimetri diukur menggunakan *GPS Map Sounder 585 Plus* Garmin. Pengukuran ini dilakukan dengan alat yang terdiri dari *transducer* dan antena yang dipasang di perahu. *Transducer* dipasang pada balok penyangga di lambung kapal agar tetap tegak dan tidak terpengaruh oleh arus dan gelombang. Selanjutnya,



n dengan metode *bar-check* untuk memastikan bahwa data akan secara digital sesuai dengan tampilan *echogram*. Jalur n adalah jalur tegak lurus pantai dengan pola zigzag, dilengkapi ss *line check*. Alat ini mampu menyimpan data kedalaman, r waktu pengukuran. Data tersebut kemudian diunggah ke an perangkat lunak, lalu difilter untuk menampilkan data yang

relevan dan mengoreksi data yang terdistorsi (*noise*). Selain itu, hasil pengukuran juga dikoreksi dengan data pasang surut, sehingga kedalaman sebenarnya dapat diketahui dengan menggunakan acuan MSL (*Mean Sea Level*) (Darmiati, 2013).

c. Arah dan kecepatan arus

Pengukuran kecepatan arus dilakukan dengan menggunakan *current meter flowatch* FL-03. Pengambilan data dilakukan pada satu titik berulang dengan kedalaman 0 meter (permukaan) selama lima kali dengan interval waktu satu jam.

d. Laju endapan sedimentasi

Pengambilan sampel laju sedimentasi dilakukan dengan menggunakan *sediment trap* lima arah yang berbentuk silinder, terbuat dari pipa paralon dengan diameter 2,5 inci (6,35 cm) dan panjang 10 cm. *Sediment trap* dipasang di beberapa lokasi dan dibiarkan selama 1 hari. Sampel sedimen yang terkumpul di dalam *sediment trap* kemudian dimasukkan ke dalam plastik sampel sedimen untuk analisis lebih lanjut.

e. Sedimen dasar

Sampel sedimen dasar diambil menggunakan *Ekman Grab* pada titik pengambilan sampel TSS. Prosedur pengambilan sampel dimulai dengan menyiapkan penutup otomatis *Ekman Grab*, kemudian alat tersebut diturunkan hingga mencapai dasar perairan. Setelah itu, *messenger* dilepaskan untuk menutup *Ekman Grab*, dan alat diangkat untuk mengumpulkan sampel sedimen yang kemudian dimasukkan ke dalam plastik sampel. Sampel sedimen ini selanjutnya dianalisis untuk menentukan ukuran butir sedimen. Analisis ukuran butir dilakukan dengan metode ayakan kering. Sampel sedimen dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C hingga benar-benar kering. Setelah itu, sampel sedimen diayak menggunakan saringan bertingkat (*sieve net*) dengan ukuran 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm; dan 0,0625 mm, kemudian dikelompokkan berdasarkan ukuran butir sesuai skala *Wentworth* dan ditimbang sesuai dengan ukuran masing-masing.

Tabel 5. Skala Wentworth

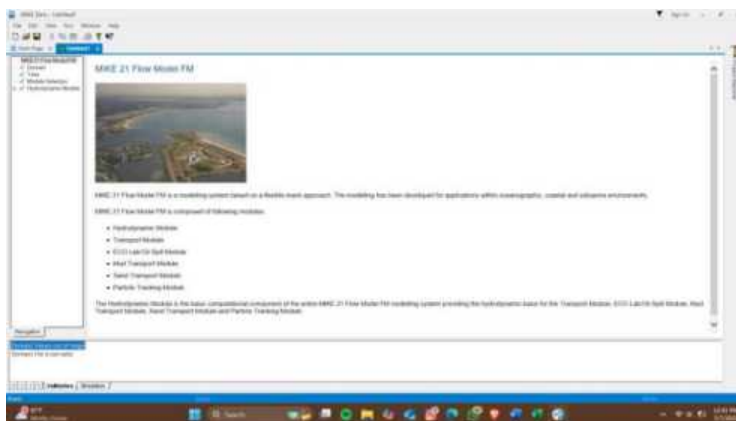
Klasifikasi	Diameter Partikel	
	Mm	Satuan phi
Batu		
Cobble	256	-8
	128	-7
	Besar	-6
	Sedang	-5
	Kecil	-4
	Sangat Kecil	-3
	Partikel	-2
	Sangat Kasar	-1
	Kasar	0

	Sedang	0.5	1
	Halus	0.25	2
	Sangat Halus	0.125	3
	Kasar	0.063	4
Lumpur	Sedang	0.031	5
	Halus	0.015	6
	Sangat Halus	0.0075	7
	Kasar	0.0037	8
Lempung	Sedang	0.0018	9
	Halus	0.0009	10
	Sangat Halus	0.0005	11
	Sangat Halus	0.0003	12

(Sumber: Sinambela, 2018).

2.3.3.3 Pendekatan dengan Model 2D

Penelitian ini akan menerapkan pendekatan hidrodinamika numerik 2D menggunakan software MIKE Zero untuk memprediksi pola arus dan distribusi sedimen di area studi. Model akan menyelesaikan persamaan air dangkal dengan mempertimbangkan berbagai gaya yang bekerja pada massa air. Modul Transport Sedimen akan digunakan untuk menghitung perpindahan material sedimen non-kohef berdasarkan kondisi aliran yang dihasilkan oleh model hidrodinamika. Hasil simulasi akan divisualisasikan dalam bentuk gambar 2D.



Gambar 5. Tampilan MIKE 21 Flow Model FM pada MIKE Zero 2024



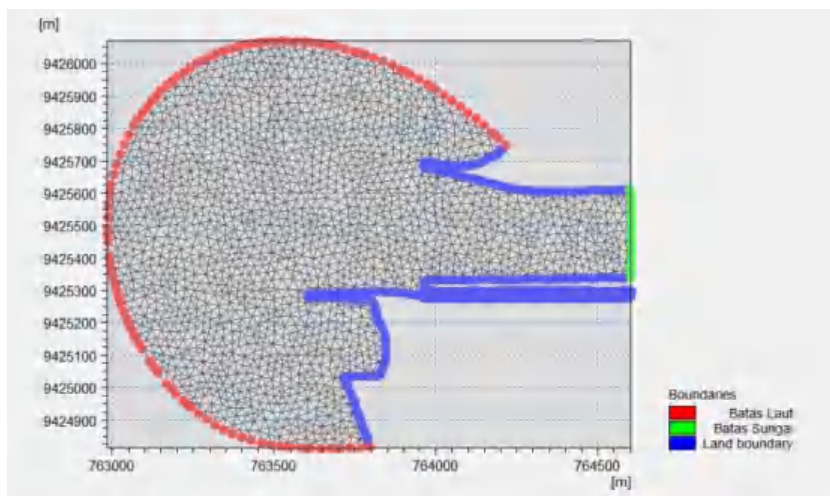
Optimized using
trial version
www.balesio.com

langkah yang dilakukan dalam melakukan simulasi hidrodinamika, dan mesh

mulai dengan membangun grid atau peta digital dari wilayah MIKE Zero Toolbox. Proses pembuatan grid dan mesh krusial dalam pemodelan ini. Pembuatan grid melibatkan

penentuan titik-titik node yang kemudian saling dihubungkan untuk membentuk elemen-elemen grid. Grid ini berfungsi sebagai batasan area model yang sesuai dengan garis pantai dan area penelitian yang telah ditentukan.

Mesh, yang merupakan representasi dua dimensi dari topografi lokasi pemodelan, menjadi wadah untuk data input simulasi model. Pembuatan mesh memanfaatkan sistem mesh generator yang tersedia dalam modul MIKE Zero. Mesh ini berfungsi sebagai kerangka dasar untuk menjalankan simulasi model hidrodinamika. Data grid yang telah dibuat sebelumnya kemudian digabungkan dengan data batimetri untuk membentuk satu kesatuan mesh. Langkah selanjutnya adalah menetapkan batasan model, yang meliputi batas sungai, batas laut, dan daratan.



Gambar 6. Area Kajian Model

b. Model definition

Penelitian ini mendefinisikan model menggunakan model numerik yang tersedia dalam MIKE 21 Toolbox. Modul-modul pada MIKE 21 mengadopsi metode elemen hingga (*finite element*) yang diintegrasikan secara vertikal, dengan asumsi bahwa kedalaman perairan relatif seragam secara horizontal, sehingga memungkinkan representasi dalam dua dimensi (2D). MIKE *Flow Model* FM menggunakan mesh yang sebelumnya dikonstruksi di MIKE Zero sebagai kerangka kerja untuk simulasi numerik. Pemodelan mempertimbangkan berbagai faktor yang berkaitan dengan hidrodinamika, seperti kedalaman, radiasi gelombang, densitas air, angin, pasang

-parameter lainnya.

rik yang digunakan dalam penelitian ini menerapkan modul M yang terdapat pada perangkat lunak MIKE 21. Modul ini elemen hingga dua dimensi untuk menghitung parameter-mika seperti kedalaman, gelombang, dan angin, dengan yang sebelumnya dibangun di MIKE Zero sebagai dasar



perhitungan. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, model diharapkan mampu memprediksi dinamika air di area penelitian.

c. Skenario model

Skenario model dibangun berdasarkan serangkaian batasan, meliputi data garis pantai sebagai batas daratan, data pasang surut selama 360 jam (15 hari) dengan interval waktu 1 jam yang digunakan sebagai input pada batas laut (terlampir pada **Lampiran 6**), data batimetri yang direferensikan terhadap datum kenaikan muka air laut, dan data debit Sungai Jeneberang (terlampir pada **Lampiran 5**) yang diasumsikan sebesar 151,366 m³/s. Data debit sungai ini diperoleh melalui pengukuran luas penampang dan kecepatan arus. Data-data ini menjadi batasan-batasan krusial dalam menetapkan kondisi awal dan batas-batas pada model. Debit air sungai diperoleh dengan mengukur luas penampang dan kecepatan arus dengan menggunakan persamaan:

$$Q = A \times v \quad (2.1)$$

$$A = p \times z \quad (2.2)$$

Dimana:

- Q = Debit (m³/s)
- v = Kecepatan arus (m/s)
- A = Luas penampang (m²)
- p = Lebar penampang basah (m)
- z = Kedalaman (m)

Konfigurasi parameter dan besaran input pada modul hidrodinamika Flow Model FM dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Setting parameter dan nilai input model HD pada modul FM

Parameter	Nilai Input
Specification File	HD.M21FM
Domain	Domain Specification: - Map projection: WGS 84 / World Mercator - Nodes in file: 2188 - Elements in file: 3971
Time	Simulation Period: - No. of time steps: 359 - Time step interval: 3600 sec - Simulation start date: 3/7/2025 12:00:00 AM - Simulation end date: 3/21/2025 11:00:00 PM
que	Shallow Water Equations: - Time integration: Higher order - Space discretization: Higher order - Minimum time step: 0.01 sec



	- Maximum time step: 3600 sec - Critical CFL number: 0.8
HD: Flood and Dry	Drying depth: 0.005 m Wetting depth: 0.1 m
HD: Density	Density type: Barotropic
HD: Eddy Viscosity	Eddy type: Smagorinsky formulation Constant: 0.28
HD: Bed Resistance	Resistance type: Manning number Constant: $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
HD: Coriolis Forcing	Coriolis type: Varying in domain
HD: Wind Forcing	Varying in time, constant in domain
HD: Initial Conditions	Constant
HD: Boundary Conditions	- Batas Laut: Type: Specified Level Format: Varying in time, constant along boundary - Batas Sungai: Type: Specified Discharge Approach: Weak Formulation Format: Varying in time - Land Boundary Type: Land (zero normal velocity)
HD: Outputs	Output specification: - Field type: 2D (Horizontal) - Data type: Discrete values - Output format: Area series - Flood and dry: Only real wet area - Output file: Model HD Jeneberang.dfsu

Modul *Mud Transport* (MT) merupakan salah satu modul dari MIKE 21 yang berfungsi untuk pemodelan simulasi Transport sedimen yang dihasilkan dari proses erosi dan sedimentasi. Nilai rata-rata sedimen tersuspensi sebesar $44,268 \text{ g/m}^3$ di Muara Sungai Jeneberang diatur sebagai input pada bagian Sources dalam penelitian ini. Informasi lengkap mengenai konfigurasi parameter dan besaran input yang diterapkan pada modul Mud Transport tersedia di **Tabel 7**.

Tabel 7. Setting parameter dan nilai input model MT pada modul FM

Parameter	Nilai Input
Specification File	MT.M21FM
Parameter Selection	Parameter Selection: - Number of Fractions: 1 - Number of Layers: 2
Time integration	Higher order
Space discretization	Higher order

MT: Water Column Parameters	- Settling: <i>Flocculation: Include flocculation calculations</i> <i>Density of sediment: 2650 kg/m³</i> <i>Concentration for flocculation: 0.01 kg/ m³</i> <i>Concentration for hindered settling 10 kg/ m³</i> <i>Settling velocity coefficient: Constant, 0.0005 m/s</i> - Deposition: <i>Deposition parameters: Apply teeter profile</i> <i>Critical shear stress: Constant, 0.07 N/m²</i>
MT: Bed Parameters	- Erosion: <i>Layer 1</i> <i>Erosion description: Soft mud 8.3</i> <i>Density of Bed Layer: 180 kg/m³</i> <i>Layer 2</i> <i>Erosion description: Hard mud 1</i> <i>Density of Bed Layer: 300 kg/ m³</i>
MT: Source	<i>Type of component: Specified concentration</i> <i>Format: Constant, 44.268 g/m³</i>
MT: Boundary Conditions	- Batas Laut: <i>Type: Specified values</i> <i>Format: Constant</i> - Batas Sungai: <i>Type: Specified values</i> <i>Format: Constant, 398.412 g/m³</i>
MT: Outputs	<i>Output specification:</i> - <i>Field type: 2D (Horizontal)</i> - <i>Data type: Discrete values</i> - <i>Output format: Area series</i> - <i>Flood and dry: Only real wet area</i> - <i>Output file: Model MT Jeneberang.dfsu</i>

Dalam Modul *Sand Transport* (ST) penelitian ini secara spesifik hanya mengatur skenario model yang dipengaruhi oleh faktor arus (*pure current*), *sediment properties* (ukuran butir sedimen $d_{50} = 0.274\text{mm}$), dan *Sources* (rata-rata konsentrasi sedimen tersuspensi di Muara Sungai Jeneberang = 44.268 g/m^3). Detail konfigurasi parameter dan nilai input model pada Modul Sand Transport dapat ditemukan pada **Tabel 8**.



meter dan nilai input pada model ST modul FM

Nilai Input

ST.M21FM

Model type: Pure current

Fraction definitions:

- *Bed load formula: Engelund and Hansen*

	- <i>Bed load factor: 1</i> - <i>Suspended load formula: Engelund and Hansen</i> - <i>Suspended load factor: 1</i>
<i>ST: Solution Technique</i>	<i>Time integration: Higher order</i> <i>Space discretization: Higher order</i>
<i>ST: Sediment Properties</i>	<i>Porosity: 0.4</i> <i>Sediment data:</i> - <i>Format: Constant</i> - <i>Grain diameter: 0.274 mm</i>
<i>ST: Bed Resistance</i>	<i>Resistance from HD simulation</i>
<i>ST: Source</i>	<i>Type of component: Specified concentration</i> <i>Format: Constant, 44.268 g/m³</i>
<i>ST: Boundary Conditions</i>	- <i>Batas Laut:</i> <i>Type: Equilibrium conditions</i> - <i>Batas Sungai:</i> <i>Type: Specified values</i> <i>Format: Constant, 398.412 g/m³</i>
<i>ST: Outputs</i>	<i>Output specification:</i> - <i>Field type: 2D (Horizontal)</i> - <i>Data type: Discrete values</i> - <i>Output format: Area series</i> - <i>Flood and dry: Only real wet area</i> - <i>Output file: Model ST Jeneberang.dfsu</i>

d. Validasi model

Proses validasi dilakukan untuk menilai akurasi hasil simulasi dengan membandingkannya dengan data pengamatan lapangan. Metode *Root Mean Square Error* (RMSE) digunakan sebagai tolok ukur. Nilai RMSE yang diperoleh menunjukkan tingkat kesalahan antara hasil model dengan data lapangan. Jika nilai RMSE berada di bawah ambang batas 40%, maka hasil simulasi dianggap dapat diterima. Berikut kriteria RMSE menurut Chai dan Draxler (2014):

Tabel 9. Kriteria Nilai RMSE

RMSE	Tingkat Kesalahan
0,00 – 0,299 (0% - 29,9%)	Kecil
0,30 – 0,599 (30% - 59,9%)	Sedang
0,60 – 0,899 (60% - 89,9%)	Besar
>90%)	Sangat Besar



akan menggambarkan seberapa tersebar nya selisih nilai ukuran dengan membandingkan antara kecepatan arus hasil kecepatan arus hasil pengukuran lapangan (Milasari et al., 2021). berdasarkan persamaan :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Obs} - X_{Mod})^2}{n}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$RMSE$ = Root Mean Square Error

X_{Obs} = Data Lapangan

X_{Mod} = Data Hasil Pemodelan

n = Jumlah Data

2. 4 Analisis data

2.4.1 Data pasang surut

Proses pengolahan data pasang surut dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* dengan metode Admiralty dengan 8 skema dan 11 tahap analisis penggunaan metode ini bertujuan untuk mendapatkan konstanta harmonik pasang surutnya (S_0 , K_1 , S_2 , M_2 , O_1 , N_2 , M_4 , dan MS_4) dan nilai *Formzahl* untuk mengetahui karakteristik pasang surut di perairan tersebut. Persamaan yang digunakan yaitu:

$$F = \frac{A_{O1} + A_{K1}}{A_{M2} + A_{S2}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

AO_1 dan AK_1 = Amplitudo komponen pasang surut harian utama

AM_2 dan AS_1 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama

2.4.2 Batimetri

Pengukuran draft transducer (kedalaman terkoreksi) perlu mempertimbangkan koreksi tinggi muka air saat dilakukan pemeruman, koreksi draft *transducer* dan koreksi *barcheck* dengan menggunakan persamaan:

$$d_t = d_s + h_t \quad (2.5)$$

Keterangan:

dt = Kedalaman suatu titik pada dasar laut pada pukul t yang telah dikoreksi dengan kedalaman *transducer* (m)

ds = Kedalaman hasil pemeruman (m)

ht = Kedalaman *transducer* (m)

Perhitungan nilai kedalaman sebenarnya dapat dilakukan dengan rumus di bawah



$$d_{MSL} = d_t - (h_t - MSL) \quad (2.6)$$

d_t = Kedalaman suatu titik dasar perairan (m)

MSL = Muka air rata-rata (m)

h_t = Kedalaman suatu titik pada dasar laut pada pukul t yang telah

dikoreksi dengan kedalaman transducer (m)
 ht = Ketinggian permukaan air pasang surut pada pukul t (m)

2.4.3 Data arah dan kecepatan arus

Data pengukuran arus diperoleh dengan menggunakan alat ukur arus *current meter flowatch* FL-03 selama lima kali dengan interval waktu satu jam. Setelah itu, dilakukan perhitungan data menggunakan perangkat lunak Ms Excel untuk mendapatkan informasi mengenai kecepatan dan arah arus. Pengukuran arus secara *in situ* menggunakan *current meter flowatch* FL-03 bertujuan untuk menyediakan data verifikasi bagi model pola arus yang dianalisis menggunakan perangkat lunak MIKE 21.

2.4.4 Sedimen tersuspensi (TSS)

Metode pengukuran yang digunakan untuk menganalisis zat padatan tersuspensi yaitu: Pertama, menimbang berat awal kertas saring whatman berukuran 0,45 μ m menggunakan timbangan analitik. Kemudian 500 mL sampel air dikocok dan dituangkan ke dalam gelas ukur lalu dipindahkan ke erlenmeyer yang terhubung dengan selang dari pompa vakum. Kertas saring diletakkan pada corong *buchner*, dan sampel air dimasukkan perlahan hingga seluruhnya tersaring dan partikelnya ditampung menggunakan kertas saring whatman ukuran 0,45 μ m. Setelah itu, kertas saring dikeringkan ke dalam oven selama 2 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$. Terakhir, kertas saring ditimbang kembali agar diperoleh berat akhir. Proses penimbangan dilakukan berulang kali untuk mendapatkan berat konstan. Hasil perhitungan TSS digunakan persamaan:

$$TSS = \frac{(A - B)}{V} \times 1000 \quad (2.7)$$

Keterangan:

TSS = Jumlah Padatan Tersuspensi (mg/L)

A = Berat kertas saring dan berat TSS yang berada di kertas saring (mg)

B = Berat kertas saring (mg)

V = Volume sampel air (L)

2.4.5 Laju endapan sedimentasi

Pengukuran laju endapan sedimentasi dilakukan dengan menggunakan alat *sediment trap* yang ditempatkan di beberapa titik lokasi penelitian. Sampel sedimen



dian dipindahkan ke dalam wadah plastik. Selanjutnya, sampel am gelas beaker untuk pengendapan selama kurang lebih 12 ndap, sedimen dikeringkan menggunakan oven, dan berat gan timbangan analitik. Akhirnya, perhitungan dilakukan untuk an besarnya transport sedimen menggunakan persamaan

$$Q = \frac{g/L/hari = \frac{Q}{t}}{\sqrt{[(Qu - Qs)^2 + (Qt - Qb)^2]}} \quad (2.8)$$

$$\text{Arah } Q = \frac{Qu - Qs}{Qt - Qb} = \tan \alpha$$

Keterangan:

- Q = Angkutan sedimen (mg)
 Qu = Angkutan sedimen dari utara (mg)
 Qs = Angkutan sedimen dari selatan (mg)
 Qt = Angkutan sedimen dari timur (mg)
 Qb = Angkutan sedimen dari barat (mg)
 α = Sudut arah angkutan terhadap arah utara (rad)

2.4.6 Ukuran butir sedimen

Analisis sampel sedimen yang diperoleh dari Ekman Grab dilakukan di laboratorium dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama, sampel dikeringkan dalam oven bersuhu 150°C dan ditimbang untuk mendapatkan berat awal. Selanjutnya, sedimen kering diayak menggunakan sieve net selama sekitar 5 menit untuk memisahkan partikel berdasarkan ukurannya. Setelah pengayakan, setiap fraksi ukuran sedimen ditimbang kembali untuk menentukan berat masing-masing. Untuk menghitung persentase berat hasil ayakan kering sedimen, digunakan rumus berikut:

$$\%Berat = \frac{\text{Berat Hasil Ayakan}}{\text{Berat Awal}} \times 100\% \quad (2.9)$$

2.4.7 Pembuatan model

Hasil penelitian akan ditampilkan dalam gambar 2D untuk memperlihatkan perubahan kecepatan dan arah arus, serta elevasi muka air selama siklus pasang surut, mulai dari fase menuju pasang hingga surut. Data disajikan dalam empat kondisi utama: fase menuju pasang, puncak pasang tertinggi, fase menuju surut, dan titik surut terendah. Model numerik yang dibangun menggunakan data pasang surut harian selama 15 hari dengan interval selama 1 jam dan data batimetri sebagai input utama. Output model mencakup prediksi kecepatan dan arah arus, kecepatan angin, serta konsentrasi sedimen tersuspensi di area penelitian.

