

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kestabilan lingkungan perairan merupakan kecenderungan suatu perairan untuk mempertahankan lapisan-lapisan air dengan karakteristik yang berbeda (Abdurrahman et al. 2020). Pada penelitian ini, perbedaan karakteristik yang dimaksudkan adalah jumlah padatan tersuspensi yang dapat mengendap pada dasar perairan seperti bahan organik total sedimen (BOT). Bahan organik total sedimen merupakan jumlah kandungan organik pada sedimen yang bersumber dari sisa makhluk hidup melalui proses pelapukan atau dekomposisi. BOT pada sedimen dapat dipengaruhi oleh sedimentasi atau proses perpindahan maupun pengendapan partikel tersuspensi dari angkutan tenaga air atau arus, baik yang terapung, melayang dan tergeser pada dasar perairan menuju ke daerah yang lebih rendah (Yusman, 2020). Arus dapat dikategorikan berdasarkan gaya pembangkitnya, salah satunya yaitu arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Menurut Asmal (2021), arus pasang surut adalah perpindahan massa air secara horizontal pada kolom perairan seiring dengan naik turunnya muka air laut yang kecepatannya dapat dipengaruhi oleh kondisi tinggi dan rendahnya muka air.

Pada hasil penelitian Korto et al. (2015) menjelaskan bahwa kondisi pasang tertinggi dan surut terendah dipengaruhi karena adanya gaya tarik benda-benda di langit. Selaras dengan pendapat Herlina & Roberto (2018) bahwa pasang surut juga dapat dikatakan sebagai suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Disebabkan oleh gaya tarik menarik benda astronomi, pasang surut memiliki dua kondisi yaitu pasang purnama (*spring tide*) dan pasang perbani (*neap tide*). Kondisi *spring tide* yaitu suatu fenomena pasang surut yang terjadi akibat gaya gravitasi bulan dan matahari menarik air laut ke arah yang sama atau sejajar, sehingga terjadi kenaikan dan penurunan muka air dengan amplitudo yang sangat besar. Sedangkan kondisi *neap tide* merupakan suatu fenomena pasang surut yang terjadi akibat gaya gravitasi bulan dan matahari kearah yang berbeda atau membentuk ke arah sudut siku-siku sehingga tinggi pasang surut akan terbagi kearah masing masing gaya yang mempengaruhinya .

Pada kondisi *spring tide* dan *neap tide* tentunya memiliki pengaruh terhadap perbedaan kedalaman perairan, yang dimana pada saat kondisi *spring tide* memiliki tunggang pasang surut yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi *neap tide*, sehingga ketika surut terendah dapat memunculkan dasar perairan. Sebaliknya pada saat pasang tertinggi, perairan yang dangkal tersebut akan mendapat genangan air lebih tinggi pada kondisi *spring tide* dibandingkan pada kondisi *neap tide* karena tinggi kenaikan muka air laut yang berbeda. Daerah yang muncul pada saat surut terendah, dan tergenang pada saat pasang tertinggi, itulah yang dimaksud dengan zona intertidal. Diperkuat oleh pernyataan Khairunnisa et al. (2019) bahwa zona intertidal merupakan daerah laut yang masih memiliki banyak interaksi dengan daratan terhitung dari area pasang tertinggi dan surut terendah.

Zona intertidal juga memiliki variasi faktor lingkungan yang luas dibandingkan zona lainnya, sehingga dapat menyebabkan keanekaragaman biota yang tinggi (Bramasta, 2014). Menurut Yulianda et al. (2013) menerangkan bahwa zona intertidal memiliki

pengaruh terhadap batasan kestabilan perairan melalui komposisi jenis makrozoobentos oleh pengaruh lama waktu kekeringan dan ketergenangan air maupun ketersediaan sumber makanan seperti bahan organik total. Hal tersebut diperkuat oleh penelitian Widhiandari et al. (2021) menjelaskan bahwa pengukuran kestabilan pada zona intertidal dapat melalui pendekatan fisika, kimia, dan biologi. Pendekatan biologi yang dimaksud adalah dengan menganalisis struktur organisme melalui inventarisasi jenis makrozoobentos, karena makrozoobentos merupakan organisme yang tidak dapat bergerak secara cepat sehingga dapat dijadikan sebagai indeks parameter dalam mengukur kestabilan perairan pada zona intertidal (Afifatur, 2021).

Teluk Lembar merupakan salah satu pintu masuk di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat yang memiliki dua pelabuhan, yaitu Pelabuhan Lembar dan Pelabuhan Gili Mas. Area pelabuhan ini memiliki aktivitas yang sangat padat oleh karena jumlah kunjungan kapal domestik dan internasional yang terus berlabuh. Selain itu juga, Teluk Lembar ini memiliki sungai yang bermuara di area teluk yaitu Sungai Sekotong pada bagian selatan. Menurut Saratoga et al. (2015) muara sungai memiliki potensi untuk mengangkut sedimen dan nutrisi dari hulu ke arah muara hingga lautan, sehingga dapat mengendap pada kolom perairan maupun pesisir teluk seperti daerah intertidal. Oleh karena hal tersebut, sangat menarik dijadikan sebagai dasar dalam melakukan penelitian lebih dalam terkait pengaruh perubahan luas zona intertidal terhadap kestabilan perairan pada kondisi *spring tide* dan *neap tide* di Teluk Lembar, Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

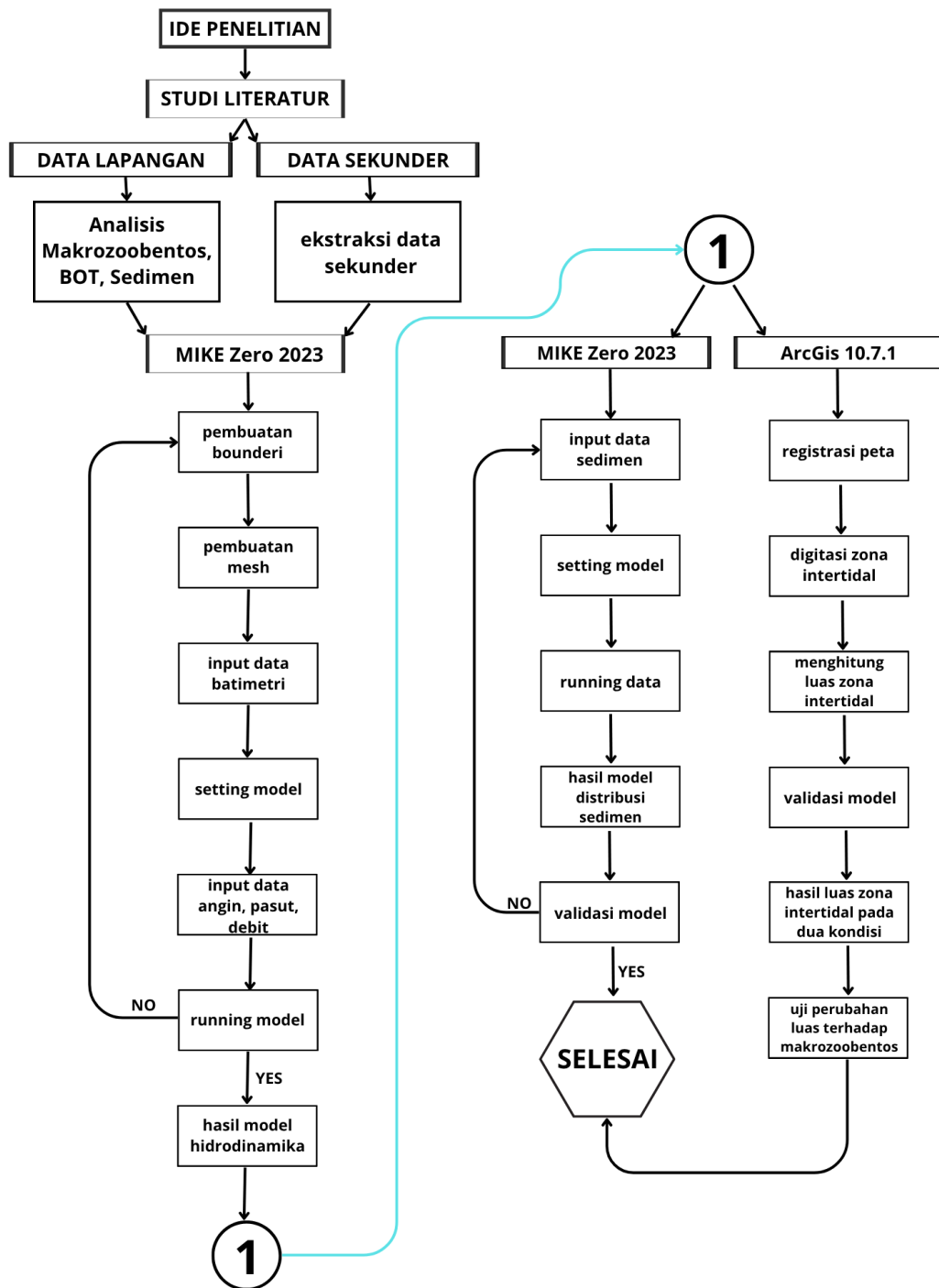
1.2 Tujuan dan Kegunaan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh bahan organik total pada sedimen kaitannya dengan kelimpahan makrozoobentos pada kondisi *spring tide* dan *neap tide*.
2. Mengetahui model distribusi sedimen (2D) terhadap bahan organik total sedimen pada kondisi *spring tide* dan *neap tide*.
3. Mengetahui pengaruh perubahan luas zona intertidal terhadap kestabilan lingkungan perairan melalui inventarisasi makrozoobentos pada kondisi *spring tide* dan *neap tide*.

Kegunaan dari penelitian ini untuk dapat mengetahui dampak perubahan luas zona intertidal terhadap kestabilan lingkungan perairan yang dimana hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menjadi salah satu referensi untuk penelitian selanjutnya dan sebagai pertimbangan bagi pengelola area untuk proses rehabilitasi, restorasi, maupun pemanfaatan secara berkelanjutan.

1.3 Alur Penelitian



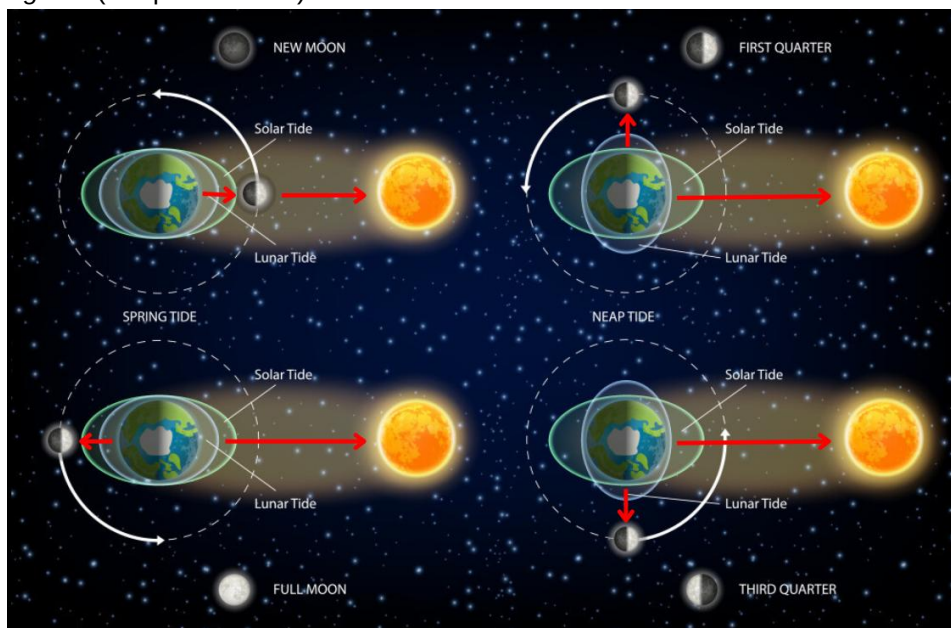
Gambar 1. Diagram alir penelitian

1.4 Landasan Teori

1.4.1 Parameter Oseanografi

Pasang Surut. Pasang surut adalah naik turunnya permukaan air laut secara berkala. Fenomena ini disebabkan oleh gabungan gaya gravitasi dan tarik-menarik dari benda-benda angkasa, utamanya Matahari, Bumi, dan Bulan. Benda angkasa lain juga berpengaruh, tapi dampaknya kecil karena jaraknya terlalu jauh atau ukurannya lebih kecil (Pasomba et al. 2019). Matahari 27 juta kali lebih besar dari Bulan, jaraknya yang sangat jauh dari Bumi (rata-rata 149,6 juta km) membuatnya kurang dominan. Bandingkan dengan Bulan, satelit Bumi, yang jaraknya jauh lebih dekat (rata-rata 381.160 km). Dalam ilmu mekanika alam semesta, jarak jauh lebih menentukan daripada massa dalam hal pengaruh gravitasi. Karena itu, bulan mempunyai peran yang jauh lebih besar dibandingkan dengan matahari dalam pengaruh pasang surut. Bahkan, daya tarik bulan memiliki kekuatan kurang lebih 2,25 kali daripada matahari (Pasomba et al. 2019).

Pasang surut air laut sangat dipengaruhi oleh posisi relatif Bulan dan Matahari terhadap Bumi. Ada dua jenis pasang surut utama yaitu pasang maksimum (*spring tide*) terjadi saat matahari, bumi, dan bulan berada dalam satu garis lurus. Ketika sejajar, gaya gravitasi ketiganya saling menguatkan, menghasilkan pasang naik yang sangat tinggi dan pasang surut yang sangat rendah. Kondisi ini bertepatan dengan fase bulan baru dan bulan purnama. Sebaliknya, pasang minimum (*neap tide*) terjadi saat Matahari membentuk sudut tegak lurus dengan garis yang menghubungkan bumi dan bulan. Pada posisi ini, gaya gravitasi matahari dan bulan saling melemahkan, sehingga perbedaan antara pasang naik dan pasang surut menjadi minimal. Ini terjadi saat fase perempat awal dan perempat akhir bulan. Secara keseluruhan, perbedaan tinggi air antara pasang tertinggi dan terendah (tunggang pasut) jauh lebih kecil saat *neap tide* dibandingkan saat *spring tide* (Rizqi et al. 2021).

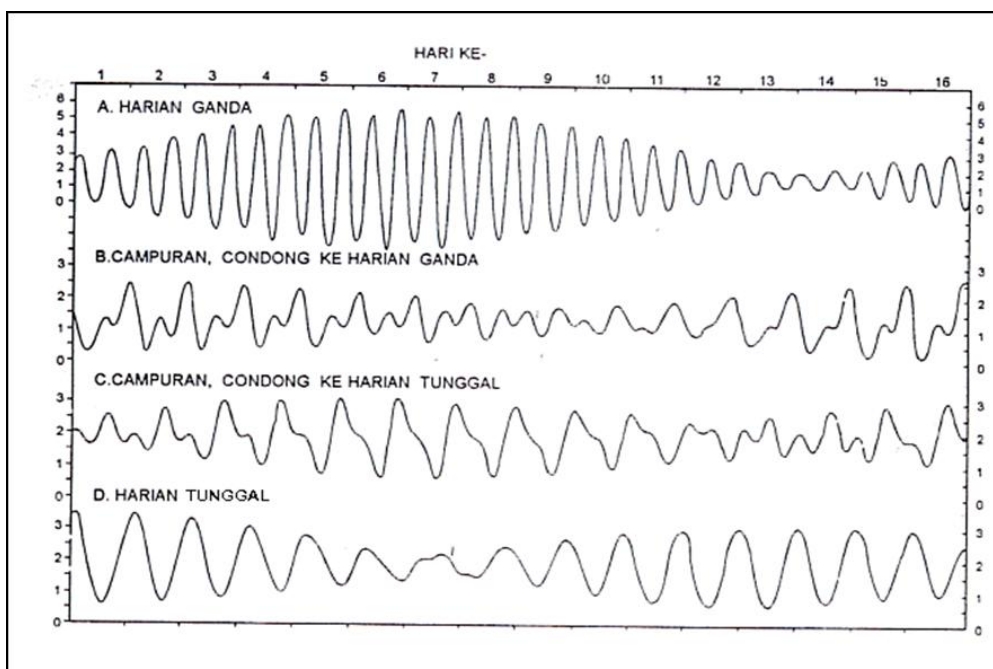


Gambar 2. Ilustrasi Kondisi Pasang Surut
(vector image; Lunar and Solar Tides Explained)

Pasang surut air laut pada umumnya diidentifikasi melalui dua elemen kunci yaitu amplitudo (tinggi gelombang) dan perbedaan fase (waktu puncak gelombang). Komponen dominannya adalah pasang surut tengah harian dan perbedaan fasenya. Amplitudo ini berperan sebagai pembangkit utama kekuatan pasang surut, sementara gerakan pasang surut sendiri membentuk gelombang yang dipengaruhi oleh topografi dasar laut dan bentuk garis pantai. Seiring waktu, kombinasi dari berbagai frekuensi pasang surut dapat terjadi, yang kemudian menyebabkan variasi dalam pola pasang surut itu sendiri (Fitria, 2023).

Penentuan tipe pasang surut didasarkan pada frekuensi harian kejadian pasang dan surut, yang bervariasi karena adanya perbedaan gaya pembangkit pasang surut di setiap lokasi. Secara kuantitatif, klasifikasi tipe pasang surut di suatu perairan dapat dilakukan dengan membandingkan amplitudo komponen pasang surut tunggal utama dan ganda utama melalui perhitungan bilangan *Formzahl*. Menurut Mutiara & Muhiddin (2016) mengidentifikasi bahwa terdapat empat jenis tipe pasang surut yang umum di perairan Indonesia yaitu:

- Pasang surut harian ganda* (Nilai $F < 0,25$). Tipe ini dicirikan oleh dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari dengan tinggi yang hampir sama secara teratur.
- Pasang surut campuran harian ganda* ($0,25 < F < 1,5$). Pasang surut ini memiliki pola dua kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian yang relatif berbeda dalam sehari.
- Pasang surut campuran harian tunggal* ($1,5 < F < 3,0$). Tipe ini menunjukkan satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari, namun pada waktu tertentu terjadi dua kali pasang dan surut dengan periode dan ketinggian yang bervariasi.
- Pasang surut tunggal* (nilai $F > 3,0$). Tipe ini menunjukkan satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari.



Gambar 3. Tipe pasang surut (Purna et al. 2021)

Arus. Arus laut adalah proses pergerakan massa air secara horizontal dan vertikal serta terus menerus. Arus laut terjadi karena adanya tiupan angin, perbedaan salinitas, dan perbedaan suhu (Suwardi et al. 2022). Arus laut di kawasan pesisir atau perairan dangkal dapat dipengaruhi oleh gelombang, pasang surut, dan angin. Khususnya di perairan semi tertutup seperti selat dan teluk, pasang surut merupakan faktor dominan yang menggerakkan sirkulasi massa air. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki pola musiman, di mana arah alirannya stabil selama satu musim dan akan berbalik arah seiring dengan pergantian musim angin (Ilyas, 2019). Arus laut dapat dikelompokkan berdasarkan pendorongnya, salah satunya adalah arus pasang surut. Ini merupakan gerakan horizontal massa air yang bergerak mendekat dan menjauh dari pantai seiring dengan naik turunnya permukaan laut. Perubahan ketinggian permukaan laut itu sendiri disebabkan oleh gaya-gaya pembangkit pasang surut. Kecepatan arus pasang surut, baik saat maksimum maupun minimum, sangat dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian air pada saat pasang tinggi dan surut rendah (Siagian et al. 2021).

Kekuatan arus pasang surut ditentukan oleh volume air yang bergerak dengan ukuran bukaan mulut perairan semi-tertutup seperti teluk. Untuk memperkirakan kekuatannya, dapat dilihat dari besar tunggang pasut (perbedaan tinggi air antara pasang tertinggi dan surut terendah). Semakin besar tunggang pasut, arus pasang surut yang terbentuk juga akan semakin tinggi, dan begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu, arus pasang surut akan lebih kuat pada saat kondisi *spring tide* dibandingkan dengan *neap tide* (Tarya et al. 2023).

Pola arus memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi material dalam kolom air atau kedalaman perairan tertentu. Arus ini berperan penting dalam menentukan massa air serta proses penyebaran dan pengendapan material, termasuk sedimen dan polutan, yang secara kolektif memengaruhi dinamika estuari secara keseluruhan (Tarya et al. 2023). Secara umum, arus juga memainkan peranan krusial dalam transpor nutrisi, larva, dan material lainnya. Selain itu, arus mendukung perkembangan perikanan laut dan produktivitas primer di permukaan, yang pada akhirnya menunjang berbagai aktivitas perikanan manusia di laut (Indrayanti et al. 2021).

Pengukuran arus laut dapat digunakan untuk mengetahui pola sirkulasi pergerakan arus laut yang membawa sedimen dan nutrisi yang mengakibatkan sedimentasi pada suatu daerah. Lebih lanjut, kecepatan arus memainkan peran krusial dalam menentukan distribusi ukuran butir sedimen. Arus yang kuat akan mengakibatkan sedimen berukuran halus tererosi dan terbawa menuju perairan yang lebih dalam dengan kondisi arus yang lebih tenang. Sebaliknya, arus yang lemah hanya mampu mengangkut ukuran sedimen yang lebih halus dan kecil seperti lanau dan lempung di perairan yang lebih dangkal (Nurainie & Wiyanto, 2021).

Batimetri. Batimetri merujuk pada pengukuran variasi topografi dasar laut, yang hasilnya divisualisasikan dalam bentuk peta batimetri. Peta ini menyediakan informasi krusial mengenai morfologi dasar laut dan memiliki berbagai aplikasi vital dalam bidang kelautan (Anzari et al. 2017). Secara terminologis, batimetri didefinisikan sebagai proses pengukuran dan pemetaan topografi dasar laut. Ketika melakukan pemetaan batimetri menggunakan *echosounder*, data yang diperoleh memerlukan koreksi signifikan. Koreksi ini meliputi penyesuaian terhadap kondisi pasang surut, yang merupakan fluktuasi periodik muka air laut, serta koreksi menggunakan data dari *Sound Velocity Profiler*

(SVP). SVP adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur kecepatan rambat suara di dalam kolom air, biasanya melalui emisi sinyal akustik kecil yang diterima pada jarak yang telah ditentukan, guna mendapatkan profil kecepatan suara di lokasi survei (Adiyatno et al. 2017). Kondisi topografi dasar perairan sangat memengaruhi kecepatan pengendapan sedimen. Menurut Maulana (2022), sedimen cenderung mengendap lebih lambat di perairan dalam. Sebaliknya, di perairan dangkal, pengendapan sedimen bisa terjadi lebih cepat, terutama jika arus di lokasi tersebut tidak kuat.

1.4.2 Makrozoobentos

Makrozoobentos adalah organisme hewan yang sebagian atau seluruh hidupnya berada di dasar perairan. Mereka bisa hidup menempel (sesil), menggali lubang, atau merayap. Kelompok hewan ini memiliki peran vital dalam ekosistem perairan, terutama dalam rantai makanan dan produktivitas sekunder. Secara fisik, makrozoobentos adalah hewan bentos dengan ukuran 1,0 mm atau lebih. Berdasarkan tempat hidupnya, makrozoobentos dibagi menjadi dua kategori oleh Khusna (2017) yaitu sebagai *Infauna* atau makrozoobentos yang hidup di dalam substrat dasar perairan dan *Epifauna* yaitu makrozoobentos yang hidup di atas permukaan substrat dasar perairan.

Makrozoobentos juga merupakan organisme yang pergerakannya sangat terbatas dan cenderung menetap di satu jenis sedimen. Karena sifatnya ini, kelimpahan dan keanekaragaman makrozoobentos sangat sensitif terhadap gangguan atau perubahan lingkungan seperti kualitas air dan kondisi substrat tempat mereka hidup (Rizka et al. 2016). Selain itu, menurut Hawari et al. (2014) menjelaskan bahwa bahan organik pada substrat dasar perairan maupun tersuspensi merupakan sumber makanan bagi makrozoobentos, sehingga ketergantungan makrozoobentos terhadap bahan organik total pada sedimen sangat besar. Oleh karena itu, keberadaan makrozoobentos dapat dijadikan sebagai salah satu faktor dalam pengaruh perubahan lingkungan secara periodik.

1.4.3 Zona Intertidal

Zona intertidal atau sering disebut zona pasang surut merupakan ekosistem pesisir yang terletak di antara batas air pasang tertinggi dan air surut terendah (Khairunnisa et al. 2019). Menurut Yulianda et al. (2013) menjelaskan bahwa keunikan zona ini terletak pada kondisi lingkungan yang fluktuatif, dimana pada area ini secara bergantian terendam air laut dan terpapar udara. Kondisi ekstrem ini dapat menciptakan tekanan selektif yang kuat terhadap organisme yang hidup di dalamnya, sehingga harus memiliki adaptasi yang kuat untuk dapat bertahan hidup. Zona Intertidal pada area dekat dengan muara sungai atau area yang terlindung dari gelombang kuat umumnya memiliki karakteristik substrat berlumpur, kaya bahan organik dan didominasi oleh mangrove, serta organisme *infauna* maupun *epifauna* yang mampu beradaptasi dengan kondisi kadar oksigen rendah (Tritama et al. 2022).

Menurut Dewi et al. (2020) zonasi daerah intertidal secara vertikal berdasarkan ketinggian relatifnya terhadap permukaan air laut yaitu sebagai berikut:

- a. Zona *Supratidal* (Zona Atas) adalah area yang jarang terendam air laut, hanya saat pasang tertinggi.

- b. Zona *Mid-intertidal* (Zona Tengah) adalah area yang secara teratur terendam dan terpapar udara.
- c. Zona *Subtidal* (Zona Bawah) adalah area yang hampir selalu terendam air, hanya terpapar udara saat surut terendah.

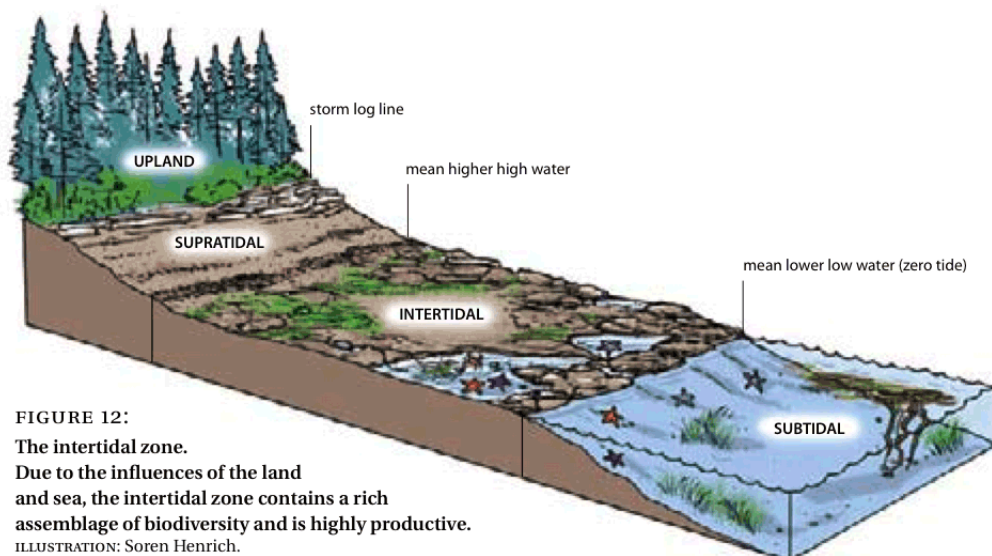


FIGURE 12:
The intertidal zone.
Due to the influences of the land and sea, the intertidal zone contains a rich assemblage of biodiversity and is highly productive.
ILLUSTRATION: Soren Henrich.

Gambar 4. Zona intertidal (<https://stephherbdhc2013.wordpress.com/2013/05/28/perspective/>)

1.4.4 Model Hidrodinamika

Pemodelan pada dasarnya adalah upaya untuk menyederhanakan suatu sistem kompleks agar lebih mudah dipahami. Bentuk model dapat dibagi menjadi dua kategori: formal dan non-formal. Contoh dari model non-formal adalah gambar atau grafik. Model adalah kemampuannya untuk meniru kejadian alam yang sesungguhnya dan membuat peramalan berdasarkan simulasi tersebut. Manusia dapat memahami model yang disederhanakan, bahkan ketika sistem aslinya terlalu kompleks untuk diamati secara keseluruhan pada satu waktu. Oleh karena itu, membangun model sangatlah penting untuk menangkap dan memahami cara kerja suatu sistem, meskipun model tersebut hanya merepresentasikan sebagian kecil dari sistem yang lebih besar (Batti, 2021).

Software MIKE Zero 2024 adalah perangkat lunak yang banyak digunakan dalam berbagai bidang pemodelan. Kemampuannya mencakup simulasi arus, pasang surut, gelombang, dan parameter lingkungan lainnya. *Software* ini memungkinkan prediksi parameter-parameter tersebut melalui pembangunan model hidrodinamika dan fenomena terkait di berbagai lingkungan perairan seperti sungai, danau, estuari, teluk, pantai, dan laut, sesuai dengan kebutuhan pemodelan (Sagala et al. 2021).

Pada pengolahan data, *MIKE Zero 2024* juga berfungsi untuk memvisualisasikan arah datang gelombang yang dominan. Khususnya dalam penelitian, *MIKE Zero 2024* sering digunakan untuk mengoperasikan modul *MIKE21 Flow Model Hydrodynamic* dan memvisualisasikan hasil pemodelan ke dalam bentuk gambar pola dari parameter tertentu (Hiwari & Subiyanto, 2020). Dalam menganalisis dinamika pasang surut dan arus pasang surut, digunakan persamaan hidrodinamika dua dimensi (2D). Persamaan

ini, yang mencakup persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum, seringkali mengalami berbagai penyederhanaan untuk aplikasi spesifik (Wati, 2020). Secara khusus, persamaan hidrodinamika 2D yang telah dirata-ratakan terhadap kedalaman dan mengabaikan pengaruh langsung gaya pembangkit pasang surut (Kasim, 2020) dapat diformulasikan sebagai berikut:

Persamaan gerak:

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

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

Persamaan kontinuitas:

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

Dengan ketentuan:

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

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

Keterangan:

- 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 .

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

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

Persamaan gerak:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - f = -g \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - \frac{K}{h}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - f \bar{u} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{K \bar{v}}{h}$$

Persamaan kontinuitas:

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

Modul Hydrodynamic (HD). Modul hidrodinamika merupakan sistem model numerik yang digunakan untuk mensimulasikan muka air dan aliran di lingkungan seperti estuari, teluk, dan pantai. Model ini mampu merepresentasikan aliran dua dimensi (2D) tidak permanen dalam fluida satu lapisan (diasumsikan homogen secara vertikal), serta dapat diperluas untuk aliran tiga dimensi (3D). Salah satu implementasi dari sistem ini adalah Modul Hidrodinamika *MIKE21*, yang menjadi komponen fundamental dalam program *MIKE21 Flow Model*. Persamaan dasar yang mengatur konservasi massa dan momentum dalam sistem ini dijelaskan oleh DHI Software (2017). Persamaan pengatur dalam model hidrodinamika 2-Dimensi yang diintegrasikan terhadap kedalaman dan persamaan dasar konservasi massa serta momentum, temperatur, salinitas dan densitas perairan dangkal dapat diselesaikan sebagai berikut :

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

Persamaan momentum dalam arah x:

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

Persamaan momentum dalam arah y:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{d} \right) + gd \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{M^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (d \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (d \tau_{xy}) \right] - V V_y + \frac{d}{\rho w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$$

Keterangan:

- $h(x, y, z)$ = 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 ($m^3/s/m$) = (u_h, v_h)
- (u, v) = *depth averaged velocities* dalam arah x dan y

$M(x, y)$	= Manning number ($m^{\frac{1}{3}}/s$)
g	= kecepatan gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$)
$V, V_x, V_y(x, y, t)$	= kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s)
$p_a(x, y, t)$	= tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)
ρ_w	= berat jenis air (kg/m^3)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	= komponen <i>effective shear stress</i>

Modul Sand Transport (ST). Dalam *software MIKE Zero 2024*, *Modul Flow Model FM* merupakan aplikasi pemodelan yang dirancang khusus untuk mensimulasikan pergerakan sedimen kohesif. Modul ini dikembangkan dengan basis sistem pemodelan *mesh fleksibel*, menjadikannya sangat relevan untuk berbagai aplikasi di bidang oseanografi, rekayasa pantai, dan studi lingkungan muara sungai (DHI, 2017). *Modul Sand Transport (ST)* merupakan sebuah model simulasi yang dirancang khusus untuk memprediksi pergerakan sedimen non-kohesif. Cara kerjanya bergantung pada data aliran dari modul hidrodinamika. Modul ini menggunakan beberapa formula populer untuk perhitungan transportasi sedimen, termasuk model-model seperti *Engelund-Hansen*, *Van-Rijn*, *Engelund-Fredsoe*, dan *Meyer-Peter-Muller*. Untuk menghitung nilai transport sedimen vertikal, modul ini memakai persamaan difusi, seperti yang dijelaskan oleh DHI (2017) sebagai berikut:

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

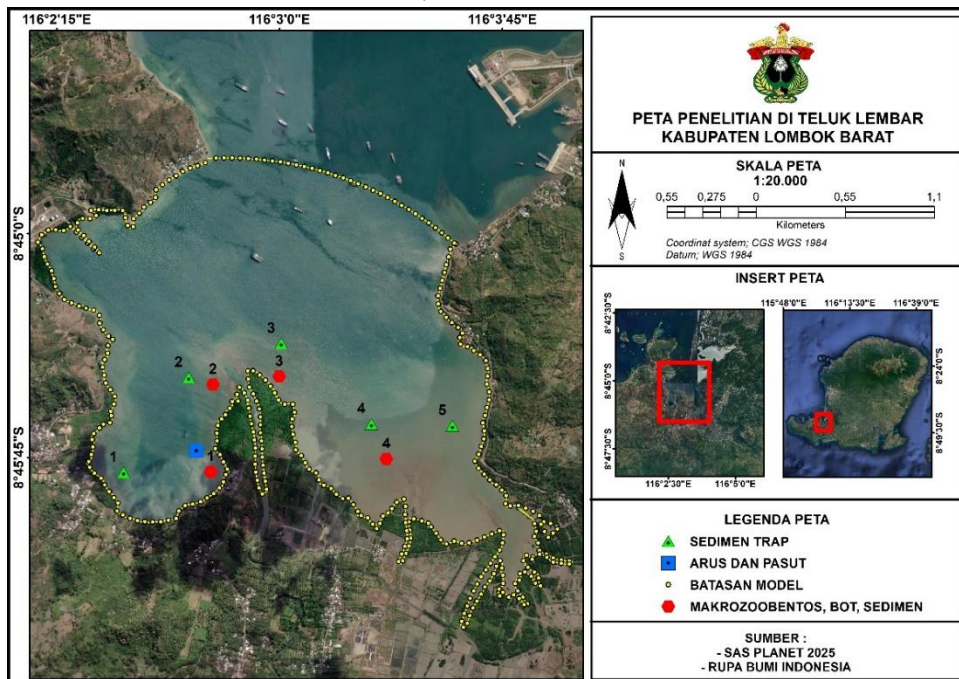
Keterangan :

ε_s	= koefisien turbulensi (m^2/s)
c	= konsentrasi sedimen tersuspensi (kg/m^3)
w	= kecepatan vertikal (m/s)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat

Proses sampling data dan survei lapangan pada penelitian ini dilaksanakan di Teluk Lembar, Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat pada Maret - Juni 2025. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Laut, Jurusan kelautan dan Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram. Laboratorium Oseanografi Fisika dan geomorfologi Pantai, serta Laboratorium Ekologi Laut, Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.



Gambar 5. Peta penelitian

2.2. Alat dan bahan

Adapun alat yang digunakan pada saat sampling maupun pada saat analisis laboratorium dalam penelitian ini yaitu :

Tabel 1. alat penelitian

No	Alat	Kegunaan
1	<i>Echosounder</i>	Pengambil data kedalaman perairan
2	Aki	Sumber listrik
3	Perahu	Alat transportasi
4	<i>Current meter</i>	Pegambil data arah dan kecepatan arus
5	Bak Ukur	Penghitung Pasang Surut
6	Sedimen trap	Pengambil sampel laju sedimentasi
7	<i>Van ven grab</i>	Pengambil sedimen
8	Kabel tis	Pengikat
9	Roll meter	Pengukur Jarak
10	Jaring	Menyaring makrozoobentos
11	Sekop	Mengambil sampel sedimen

No	Alat	Kegunaan
12	Kamera	Alat dokumentasi penelitian
13	Alat tulis menulis	Pencatat data
14	Oven	Pengering sampel sedimen
15	Tanur	Pemanas suhu tinggi
16	Cawan Porselen	Wadah pemanasan Tanur
17	Timbangan analitik	Pengukur berat sedimen
18	<i>Sieve Net</i>	Pengklasifikasi ukur butir sedimen
19	Buku identifikasi	Bahan referensi
20	Laptop	Pengolah data
21	<i>Software ArcGis 10.7.1</i>	Pengolah data luas zona intertidal
22	<i>Software MIKE21</i>	Pengolah data pemodelan hidrodinamika
24	<i>Software Microsoft Excel</i>	Pengolah data

Untuk bahan yang digunakan yaitu :

Tabel 2. bahan penelitian

No	Bahan	Kegunaan
1	Kertas Label	Penanda keterangan sampel
2	Tisu	Pembersih alat
3	Aquades	Pembersih alat
4	Plastik sampel	Wadah penyimpan sampel
5	Sampel makrozoobentos	Bahan uji
6	Sedimen	Bahan uji sampel
7	Label	Penanda sampel
8	Alkohol 70%	Pengawet sampel

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1 Persiapan

Tahap awal yang dilakukan untuk penelitian ini adalah survei lokasi dan studi literatur seperti pencarian jurnal maupun buku yang diperoleh dari berbagai sumber pada lokasi survei sebagai referensi sebelum turun lapangan.

2.3.2 Penentuan Stasiun Sampling

Penentuan stasiun sampling penelitian dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Metode *purposive sampling* merupakan suatu metode penentuan stasiun sampling dengan pertimbangan setiap stasiun sampling memiliki karakteristik tersendiri dengan tetap memperhatikan aspek keterwakilan pada kondisi lokasi penelitian.

2.3.3 Pengambilan Data

Pasang Surut. Data pasang surut dapat diakses pada laman online Badan Informasi Geospasial pada website <https://srgi.big.go.id/>. Data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut yang terekam pada stasiun Pelabuhan Lembar dermaga pelindo, Kabupaten Lombok Barat selama 30 hari dengan interval satu jam. Pengambilan data pasang surut lapangan dilakukan selama 39 jam dengan interval waktu satu jam sebagai data validasi terhadap data sekunder yang telah diakses. Pengambilan data pasang surut diambil menggunakan bak ukur yang telah terpasang pada kolom perairan dengan membaca tinggi muka air laut pada rambu tiang ukur saat pengamatan berlangsung.

Angin. Data angin yang digunakan pada penelitian ini, diperoleh pada website <https://cds.climate.copernicus.eu/> selama 30 hari dengan interval yang sama dengan data sekunder pasang surut yaitu interval satu jam yang dijadikan sebagai salah satu faktor input pada *MIKE21 Flow model FM*.

Batimetri. Pengambilan data kedalaman dilakukan menggunakan alat *echosounder* yang terdiri dari *transduser*, *transreceiver*, dan *gps*. Pengambilan data kedalaman terlebih dahulu dibuatkan jalur perum dengan pola zig-zag tegak lurus dengan garis pantai kemudian diikuti sesuai jalur yang telah dibuat pada saat pemeruman. Setelah pemeruman selesai, hasil data yang terekam berupa titik koordinat, kedalaman, dan waktu pengukuran yang nantinya akan dikoreksi menggunakan data tinggi muka air laut pada saat pemeruman guna untuk mendapat nilai keadaan perairan yang sudah terkoreksi.

Arah dan Kecepatan Arus. Pengukuran arus diambil pada satu titik menggunakan alat *current meter flowatch*. Pengukuran arus dilakukan selama tiga jam pada saat pasang dan pada saat surut dengan interval satu jam dengan cara memasukkan *propeller* pada kolom perairan, hasil pengukuran akan ditampilkan pada *display* alat, kemudian untuk pengukuran arah arus dilakukan menggunakan kompas. Hasil dari pengukuran arus dimaksudkan sebagai data validasi model yang akan dibuat pada modul hidrodinamika *MIKE21 Flow model FM*.

Arah dan Laju Endapan Sedimen. Sampling arah dan laju sedimentasi diambil menggunakan sedimen trap lima arah sederhana berbentuk silinder yang terbuat dari pipa paralon dan beton dengan diameter pipa paralon dua inci dan panjang 10 cm. Sediment trap dipasang pada stasiun yang telah ditentukan dan di letakkan selama 24 jam dengan ketinggian 50 cm. Sampel sedimen yang terdapat di dalam sediment trap dimasukkan ke dalam plastik sampel yang selanjutnya akan dianalisis bobot dalam laboratorium.

Debit Sungai. Pengukuran debit sungai diambil menggunakan alat *current meter flowatch* dengan cara menentukan satu titik sampling. Selanjutnya memasukkan *propeller* alat pada kolom perairan, yang dimana nantinya alat akan merekam data kecepatan arus berdasarkan prinsip kerja alat yaitu laju perputaran *propeller* atau baling baling alat. Setelah data kecepatan arus pada sungai didapatkan, diukur juga kedalaman atau dasar sungai serta lebar sungai untuk mendapatkan data debit sungai. Data debit sungai akan dijadikan sebagai data input model pada modul hidrodinamika *MIKE21 Flow Model FM*.

Sedimen Dasar dan BOT. Sedimen dasar dan bahan organik total diambil menggunakan alat *Van Ven Grab Sampler* pada masing masing stasiun yang telah ditentukan dengan cara, alat dilepaskan ke dasar perairan kemudian ditarik dari permukaan perairan yang nantinya secara otomatis akan menutup dan memperangkap sedimen yang terdapat dalam alat. Selanjutnya sampel dimasukkan kedalam plastik sampel kemudian nantinya akan di analisis lebih lanjut di dalam laboratorium.

Inventarisasi Makrozoobentos. Menurut Maulana dan Sunu (2023), pengambilan sampel makrozoobentos diambil menggunakan alat *Van Ven Grab Sampler* sebanyak 3 kali pengulangan pada setiap stasiun menggunakan transek kuadran 100x100 cm. Sampel makrozoobentos yang diambil yaitu sampel pada permukaan dasar perairan (*epifauna*) dan yang berada pada dalam substrat (*infauna*) sedalam 20-30cm.

Selanjutnya sampel makrozoobentos yang di dapatkan akan dibersihkan kemudian dimasukkan kedalam plastik sampel lalu diberi label serta alkohol yang selanjutnya akan diidentifikasi di Laboratorium.

2.3.4 Pengolahan Data

Pasang Surut. Data pasang surut hasil survei dilapangan di olah menggunakan microsoft excel untuk mendapatkan nilai amplitudo pasang surut, konstanta harmonik, tipe pasang surut beserta nilai elevasi muka air laut. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut yaitu:

$$FORMZahl = \frac{AO1 + AK1}{AM2 + AS2}$$

Keterangan:

- AO1 : Amplitudo komponen pasang surut harian utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik dari bulan
- AK1 : Amplitudo komponen pasang surut harian utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik dari matahari
- AM2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik dari bulan
- AS2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang dipengaruhi oleh gaya tarik dari matahari

Batimetri. Data hasil pengukuran dilapangan menggunakan *echosounder* dapat di ekstraksi menggunakan *software BaseCamp* untuk mendapatkan data kedalaman, waktu dan titik pengambilan. Selanjutnya data yang sudah diekstrak dapat dikoreksi terhadap pasang surut dan kedalaman *transducer* pada saat pemeruman menggunakan *software microsoft excel* untuk mendapatkan nilai kedalaman yang sebenarnya. Berikut rumus yang digunakan yaitu:

$$dt = ds + ht$$

Keterangan:

- dt* : Kedalaman pada waktu t terkoreksi transducer
- ds* : Kedalaman hasil pemeruman
- ht* : Kedalaman transducer

$$dMSL = Dt - (ht - MSL)$$

Keterangan:

- dMSL* : Kedalaman terhadap MSL
- MSL* : Muka air rata-rata
- Dt* : Kedalaman pada waktu t terkoreksi transducer
- ht* : Ketinggian muka air pasang surut pada waktu pemeruman

Arah dan Laju Endapan Sedimen. Hasil pengambilan data dilapangan menggunakan alat sedimen trap di oven hingga kering pada masing masing wadah yang

berbeda sesuai dengan arah pada tiap stasiun sampling. Setelah kering, sampel sedimen kemudian ditimbang dan dihitung menggunakan *software mikrosoft excel* untuk dapat menentukan arah dan jumlah angkutan sedimen selama 24 jam menggunakan rumus berikut :

$$g/L/hari = \frac{Q}{t}$$

$$Q = \sqrt{[(Qu - Qs)^2 + (Qb - Qt)^2]}$$

$$\text{Arah } Q = \text{Arctan} \left[\frac{Qu - Qs}{Qt - Qb} \right]$$

Keterangan:

- Q : Angkutan sedimen
- Qu : Angkutan sedimen dari utara
- Qs : Angkutan sedimen dari selatan
- Qt : Angkutan sedimen dari timur
- Qb : Angkutan sedimen dari barat
- t : Waktu

Debit Sungai. Data debit sungai dapat diperoleh dengan mengukur luas penampang dan kecepatan arus menggunakan rumus berikut:

$$A = p \times t$$

$$Q = A \times v$$

Keterangan:

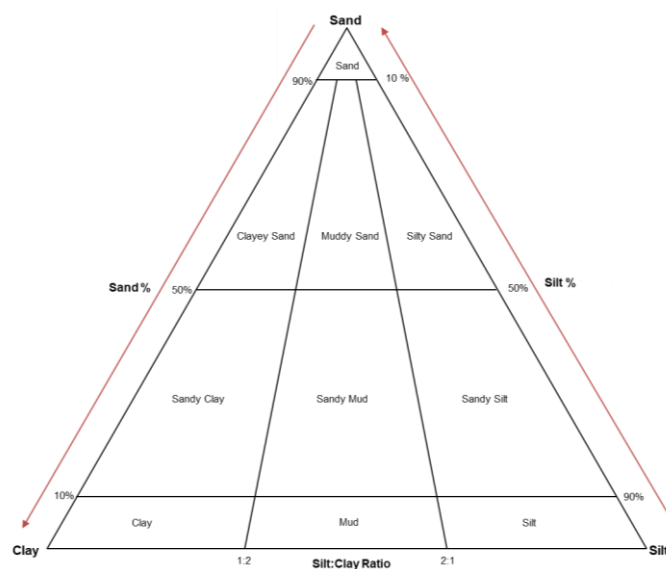
- Q : Debit (m^3/s)
- v : Kecepatan arus (m/s)
- A : Luas penampang (m^2)
- p : Lebar penampang basah (m)
- t : Kedalaman (m)

Ukur Butir Sedimen. Sampel terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven dan ditimbang. Selanjutnya sedimen yang telah kering akan diklasifikasikan menggunakan *shieve net* untuk dapat diketahui ukuran butirnya. Setelah melakukan perhitungan berat ukur butir, dilakukan perhitungan persentase hasil ayakan sedimen menggunakan skala *wentworth* dengan persamaan berikut:

$$\% \text{Berat} = \frac{\text{Berat Hasil Ayakan}}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$$

Tabel 3. Klasifikasi butir sedimen skala *Wenrworth* (Reynaldo & Pranoto, 2019)

Nama Partikel	Jenis	Diameter Partikel (mm)
Kerikil	<i>Boulders</i>	>256
	<i>Cobbles</i> (bongkah)	64 - 256
	<i>Pabbles</i> (kerikil)	4 – 64
	<i>Granules</i> (butir)	2 – 4
Pasir	<i>Very coarse sand</i> (sangat kasar)	1 – 2
	<i>Coarse sand</i> (kasar)	0,5 – 1
	<i>Medium sand</i> (sedang)	0,25 – 0,5
	<i>Fine sand</i> (halus)	0,125 – 0,25
	<i>Very fine sand</i> (sangat halus)	0,0625 – 0,125
Lanau (<i>silt</i>)		0,004 – 0,0625
Lempung (<i>clay</i>)		<0,004

**Gambar 6.** segitiga *shepard* (GradistatV8K7)

Bahan Organik Total. Pengukuran kandungan bahan organik total pada sedimen dilakukan dengan cara menimbang cawan porselen kosong lalu ditimbang sampel sedimen sebanyak 5 gram. Kemudian sampel dipanaskan menggunakan tanur pada suhu optimal yaitu 650°C selama kurang lebih 2-3 jam. Setelah dipanaskan, cawan porselen dikeluarkan dari tanur dan didinginkan menggunakan *desikator*. Lalu ditimbang kembali sampel yang sudah dipanaskan sebagai berat akhir. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai persentase bahan organik total pada sedimen menggunakan metode *Los On Ignition* menurut Sari et al. (2014) sebagai berikut:

$$\% \text{ LOI} = [(B_{aw} - B_c) - (B_{ak} - B_c)] \times 100$$

Keterangan:

LOI : % Bahan Organik Total

Baw : Berat awal

Bc : Berat Cawan Kosong

Bak : Berat akhir

Kategori bahan organik total pada sedimen menurut Maulana et al. (2022) sebagai berikut:

Tabel 4. Kategori bahan organik total (%)

Persentase bahan organik total	Kategori
> 35	Sangat Tinggi
17 – 35	Tinggi
7 – 17	Sedang
3,5 - 7	Rendah
< 3,5	Sangat Rendah

Indeks Ekologi Kestabilan Perairan. Berikut adalah rumus dalam analisis komposisi jenis makrozoobentos menurut Santya et al. (2023) serta untuk membandingkan kestabilan zona intertidal pada dua kondisi yang berbeda yaitu:

Kepadatan.

$$K = \frac{ni}{A}$$

Keterangan:

K : Kepadatan Spesies jenis ke-i (ind/m²)

ni : Total individu ke-i

A : Luas area sampling

Keanekaragaman.

$$H' = \sum_{i=0}^s \left(\frac{ni}{N} \right) \ln \left(\frac{ni}{N} \right)$$

Keterangan:

ni : Total individu ke-i

N : Jumlah Total

H' : Indeks keanekaragaman

Keseragaman.

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

E : Indeks keseragaman

H' : Indeks keanekaragaman

S : Jumlah Spesies

Indeks Dominansi.

$$D = \sum_{i=0}^s \left(\frac{ni}{N} \right)^2$$

Keterangan:

D : Indeks dominansi

ni : Total individu ke-i

N : Jumlah Total

Indeks Similaritas Sorensen (Maherezky et al. 2023).

$$ISS = \frac{2C}{A + B} \times 100 \%$$

Keterangan:

C : Jumlah jenis yang sama pada dua kondisi

A : Jumlah jenis di lokasi pada kondisi A

B : Jumlah jenis di lokasi pada kondisi B

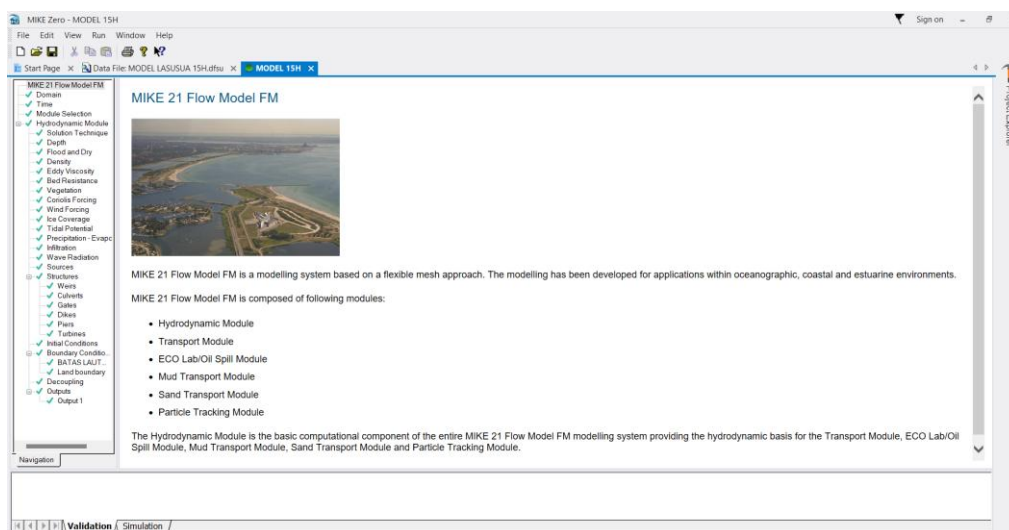
ISS : Indeks kesamaan jenis sorensen

Kategori nilai indeks kestabilan perairan menurut Buana et al. (2021) sebagai berikut:

Tabel 5. kategori indeks ekologi

Keterangan	Rendah	Sedang	Tinggi
Keanekaragaman	$H' < 1$	$1 \leq H' \leq 3$	$H' > 3$
Keseragaman	$0 < E \leq 0,4$	$0,4 < E \leq 0,6$	$0,6 < E \leq 1$
Dominansi	$0 < D \leq 0,5$	$0,5 < D \leq 0,75$	$0,75 < D \leq 1$
Similaritas (%)	< 50	$50 - 75$	> 75

Model. Simulasi model untuk dapat mengetahui luas zona intertidal berdasarkan data yang digunakan yaitu menggunakan pendekatan hidrodinamika yang dibuat menggunakan *software MIKE Zero 2024* dengan modul *MIKE21 Flow Model FM* yang berfungsi untuk mengetahui prediksi model pola arus dan sebaran sedimen yang nantinya akan menjadi input dalam pendekatan model distribusi sedimen pada modul *Sand Transport*. Modul *Sand Transport* ini difungsikan untuk dapat mengetahui konsentrasi distribusi sedimen atau perpindahan partikel sedimen yang dipengaruhi oleh kecepatan dan arah perpindahan massa air. *Output* hasil dari pemodelan ini berupa kondisi area penelitian dalam bentuk gambar dan video secara horizontal (2D).

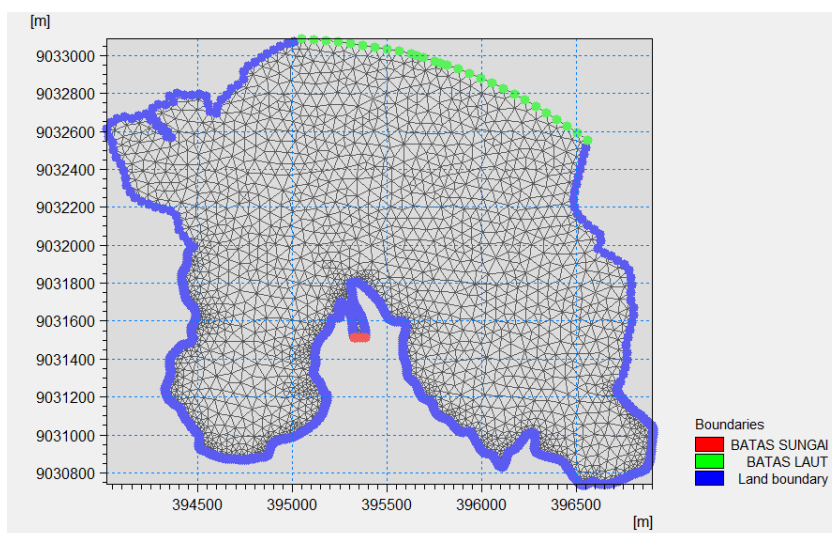


Gambar 7. MIKE21 flow model FM pada MIKE zero 2024

Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam pembuatan model hidrodinamika yaitu sebagai berikut:

Pembuatan Grid dan Mesh. Dalam pemodelan menggunakan *MIKE Zero Toolbox*, langkah awal adalah dengan membuat grid menggunakan node-node yang akan diatur dan dihubungkan untuk membentuk elemen grid. Grid ini berfungsi sebagai kerangka yang menentukan batasan area model, sesuai dengan garis pantai dan area penelitian yang sudah ditetapkan.

Selanjutnya, dibuatlah *mesh* yang merupakan penggambaran 2D dari bentuk topografi lokasi penelitian. Pembuatan *mesh* dilakukan pada sistem *mesh generator* pada modul *MIKE Zero* yang merupakan sistem untuk membuat *mesh* tak terstruktur sesuai dengan jarak node yang telah dibuat pada grid. *Mesh* pada penelitian ini diatur lebih rapat pada area penelitian (zona intertidal) dibandingkan pada area laut, hal ini dimaksudkan untuk prosesing data lebih efisien dan detail. Setelah *mesh* terbentuk, dibuat kategori batasan model yang lebih spesifik seperti batas sungai, laut dan daratan. *Mesh* yang terbentuk kemudian digabungkan dengan data grid serta data batimetri yang kemudian untuk dilakukannya interpolasi data.



Gambar 8. Struktur mesh area penelitian

Model Definition. Model menggunakan *MIKE21 Flow Model FM* adalah sistem pemodelan numerik yang dirancang untuk mensimulasikan proses hidrodinamika dua dimensi (2D) di perairan. Model ini umumnya digunakan untuk menganalisis aliran air, transportasi sedimen, dan perubahan morfologi di sungai, muara, dan daerah pesisir. *MIKE21 Flow Model FM* melakukan pendefinisian model menggunakan pendekatan numerik yang dimana model numerik elemen diintegrasikan ke arah kedalaman perairan yang dianggap konstan relatif terhadap dimensi horizontal, sehingga dapat dikatakan sebagai dua dimensi (2D). Pemodelan numerik pada penelitian ini menggunakan modul *MIKE21 Flow Model FM* sebagai *mesh* yang telah dikonstruksikan pada *MIKE Zero*. Faktor yang ditawarkan dalam menjalankan model hidrodinamika yaitu pengaruh kedalaman, angin, gelombang, pasang surut dan densitas perairan yang dipadukan dengan *mesh* sebagai faktor perhitungannya.

Skenario Model. Skenario model didasari dengan beberapa batasan model seperti data garis pantai sebagai batas daratan, data pasang surut 15 hari dengan interval satu

jam sebagai input pada batas laut, data kedalaman perairan yang sudah terkoreksi datum kenaikan muka air laut rata-rata, dan data debit sungai sebagai input pada batas sungai. Adapun skenario dan nilai input model pada modul *MIKE21 flow model FM* yaitu pada tabel berikut.

Tabel 6. seting parameter dan nilai input model hidrodinamika

Parameter	Nilai Input
<i>Specification File</i>	<i>HD.MIKE 21 Flow Model FM</i>
<i>Domain</i>	<i>Domain Specification:</i> - <i>Map projection: WGS_1984_UTM_Zone_50S</i> - <i>Nodes in file: 3156</i> - <i>Elements in File: 5562</i> <i>Boundary names:</i> - <i>Code 17: Batas Laut</i> - <i>Code 45: Batas Sungai</i>
<i>Time</i>	<i>Simulation Period:</i> - <i>No. of Time Steps : 359</i> - <i>Time Step Interval: 3600 sec</i> - <i>Simulation Start Date: 11/03/2025 00:00:00</i> - <i>Simulation End Date: 25/03/2025 23:00:00</i>
<i>HD: Solution Technique</i>	<i>Shallow Water Equations:</i> - <i>Time Integration: Higher Order</i> - <i>Space Discretization: Higher Order</i> - <i>Minimal Time Step: 0.01 sec</i> - <i>Maximum Time Step: 3600 sec</i> - <i>Critical CFL Number: 0.8</i>
<i>HD: Flood and Dry</i>	<i>Drying Depth: 0.005 m</i> <i>Wetting Depth: 0.1 m</i>
<i>HD: Density</i>	<i>Barotropic</i>
<i>HD: Eddy Viscosity</i>	<i>Smagorinsky Formulation</i> <i>Constant: 0.28</i>
<i>HD: Bed Resistance</i>	<i>Resistance Type: Manning Number Constant: 19 m^{1/3/s}</i>
<i>HD: Coriolis Forcing</i>	<i>Varying in Domain</i>
<i>HD: Wind Forcing</i>	<i>Varying in Time, Constant in Domain</i>
<i>HD: Initial Condition</i>	<i>Constant, 0</i>
<i>HD: Boundary Condition</i>	<i>Batas Laut:</i> <i>Type: Specified Level</i> <i>Format: Varying in Time, Constant Along Boundary</i> <i>Boundary Data Corrections: Include Coriolis</i> <i>Correction, Include Wind Correction</i> <i>Batas Sungai:</i> <i>Type: Specified Discharge</i> <i>Approach: Weak Formulation</i> <i>Format: Varying in time</i> <i>Land Boundary:</i> <i>Type: Land (Zero Normal Velocity)</i>
<i>HD: Outputs</i>	<i>Output Specification:</i> - <i>Field Type: 2D (Horizontal)</i> - <i>Data Type: Discrete Value</i> - <i>Output Format: Area Series</i> - <i>Flood and Dry: Only Real Wet Area</i> - <i>Output File: Run Model HD Intertidal Lembar.dfsu</i>

Terdapat beberapa faktor yang ditawarkan dalam modul *Sand Transport (ST)*, namun pada penelitian ini hanya mengatur skenario model yang dibangun oleh faktor arus (*pure current*), *sedimen properties* (d_{50}), *bed resistance* (nilai *manning* $19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), dan *sources* menggunakan rata rata sedimen tersuspensi pada kolom perairan. Adapun skenario dan nilai input yang dibangun pada modul *Sand Transport* sebagai berikut:

Tabel 7. Seting parameter dan nilai input model *sand transport*

Parameter	Nilai Input
<i>Specification File</i>	<i>ST.MIKE 21 Flow Model</i>
<i>ST: Model Definition</i>	<i>Model Type: Pure Current</i> <i>Fraction Definition:</i> - <i>Bed Load Formula: Engelund and Hansen</i> - <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: 0.172085 mm</i>
<i>ST: Bed Resistance</i>	<i>Resistance from HD Simulation</i>
<i>ST: Sources</i>	<i>Type of Component: Specified Concentration</i> <i>Format: Constant, 40.76 g/m³</i>
<i>ST: Boundary Condition</i>	<i>Batas Laut:</i> <i>Type: Equilibrium condition</i> <i>Batas Sungai:</i> <i>Type: Specified Values, 978.38 g/m³</i>
<i>ST: Outputs</i>	<i>Output Specification:</i> - <i>Field Type: 2D (Horizontal)</i> - <i>Data Type: Discrete Value</i> - <i>Output Format: Area Series</i> - <i>Flood and Dry: Only Real Wet Area</i> - <i>Output File: Run Model ST Intertidal Lembar.dfsu</i>

Luas Zona Intertidal. Pengukuran luas zona intertidal dimaksudkan untuk mengetahui luas zona genangan air pada interval waktu pasang tertinggi hingga surut terendah pada dua kondisi berbeda (*spring tide* dan *neap tide*). Perhitungan luas zona intertidal ini menggunakan *software Arcgis 10.7.1* pada menu atribut tabel *calculate geometry*, yang dimana fitur ini memiliki prinsip perhitungan geometrik dengan didasari oleh nilai koordinat pada *shapefile* yang telah dibuat.

Validasi Model. Terdapat dua validasi model pada penelitian ini, yang pertama yaitu validasi model hasil simulasi arus untuk menilai tingkat akurasi antara data lapangan dengan output hasil pemodelan menggunakan persamaan *Root Mean Square Error (RMSe)*, serta validasi kesalahan model juga dilakukan terhadap luas zona intertidal dengan cara pendigitasian hasil simulasi model dan data lapangan menggunakan *software Arcgis 10.7.1* yang kemudian divalidasi secara visual menggunakan metode *overlay* (Kusniawati et al. 2019). Metode *overlay* yaitu suatu metode yang memperhitungkan tingkat akurasi dari selisih luas data hasil model dengan data lapangan. Untuk mengetahui jumlah pergeseran kesalahan pada zona intertidal,

digunakan titik *centroid* dari poligon hasil model yang kemudian dihitung menggunakan persamaan *Root Mean Square* (RMS). Menurut Chai & Draxler (2014), sebuah model dapat diterima apabila memiliki tingkat kesalahan yang kecil berdasarkan kriteria RMSE berikut:

Tabel 8. Kategori 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
>0,9 (>90)	Sangat Besar

Persamaan yang digunakan untuk menunjukkan tingkat akurasi data hasil model dengan data lapangan yaitu sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs} - x_{mod})^2}{n}}$$

Keterangan:

RMSE : *Root Mean Square*

x_{obs} : Data lapangan

x_{mod} : Data hasil model

n : Jumlah Data

Sedangkan persamaan RMS digunakan untuk menunjukkan kesalahan pergeseran data menurut Kusniawati et al. (2019) yaitu sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}{n}}$$

Keterangan:

RMS : *Root Mean Square*

Δx : Selisih koordinat Xlapangan - Xmodel

Δy : Selisih koordinat Ylapangan - Ymodel

n : Jumlah Data