

## SIMULASI PEMODELAN 3-DIMENSI HIDRODINAMIKA ARUS BAROKLINIK DI PERAIRAIN SELAT ALOR

### 3-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODELING SIMULATION OF BAROCLINIC CURRENTS IN THE WATERS OF THE ALOR STRAIT

Andi Rahman<sup>1</sup>, Widodo Setiyo Pranowo<sup>2</sup>, Agung Kurniawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Jakarta Utara, Indonesia

<sup>2</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional, Serpong, Indonesia

<sup>3</sup>Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

e-mail : achmadiiswan67@gmail.com

#### ABSTRAK

Perairan Selat Alor merupakan salah satu wilayah maritim yang penting di Indonesia, di mana arus baroklinik memiliki peran signifikan dalam mengatur dinamika perairan. Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi pemodelan 3-dimensi untuk memahami perilaku hidrodinamika arus baroklinik di perairan Selat Alor. Pola, arah dan pergerakan arus pada Selat Alor memiliki pola yang hampir sama pada setiap bulannya selama periode pengamatan bulan Januari 2023, April 2023, Juli 2023, dan Oktober 2023 pada musim Barat, peralihan musim barat ke Timur, Musim Timur, serta peralihan Musim Timur ke Barat dengan arah pergerakan dominan menuju utara, kecuali yang terjadi pada Bulan April yaitu arus cenderung mengarah ke arah Selatan hal ini di karenakan beberapa faktor, termasuk perubahan musiman dalam pola angin, suhu permukaan laut, dan fenomena atmosferik lainnya. Nilai rata-rata kecepatan keseluruhan perairan Selat Alor yaitu sekitar 0,804462337 m/s. Arus ini cenderung mengalir ke arah utara, dengan pola aliran yang mengalami defleksi akibat efek Coriolis. Distribusi salinitas arus permukaan di perairan Selat Alor pada setiap Musim Barat cenderung merata yaitu sekitar 34,400 ppt-34,425 ppt. Sementara musim peralihan barat ke timur salinitas lebih tinggi di daerah selatan selat dengan nilai rata-rata 34,04 ppt-34,24 ppt. Pada musim timur sama seperti musim peralihan barat ke timur yaitu cenderung tinggi di area selatan Selat Alor dengan nilai sekitar 33,92 ppt-34,32 ppt. Sedangkan pada musim peralihan timur ke barat yaitu ke arah utara Selat Alor, meningkatkan salinitas di wilayah tersebut dengan nilai rata-rata sekitar 34,43 ppt-34,50 ppt. Sementara untuk distribusi temperatur keseluruhan di perairan Selat Alor rata-rata sekitar 12°C-16°C. Selain itu, simulasi juga mengungkapkan adanya pola aliran sekunder dan turbulensi yang terbentuk akibat interaksi kompleks antara arus utama dengan topografi dasar laut.

**Kata Kunci:** Selat Alor, arus baroklinik, pemodelan hidrodinamika, Navier-Stokes, efek Coriolis.

#### ABSTRACT

*The waters of the Alor Strait are one of Indonesia's crucial maritime regions, where baroclinic currents play a significant role in governing water dynamics. This study conducted 3-dimensional modeling simulations to comprehend the hydrodynamic behavior of baroclinic currents in the Alor Strait. The patterns, directions, and*

*movements of currents in the Alor Strait exhibit nearly consistent behaviors each month during the observed periods of January 2023, April 2023, July 2023, and October 2023, encompassing the West Monsoon, transition from West Monsoon to East Monsoon, East Monsoon, and transition from East Monsoon to West Monsoon. The dominant direction of movement is generally towards the north, except in April when currents tend to flow southward due to various factors, including seasonal changes in wind patterns, sea surface temperatures, and other atmospheric phenomena. The average overall velocity in the waters of the Alor Strait is approximately 0.804462337 m/s. These currents typically flow northward, with deflection patterns influenced by the Coriolis effect. Surface salinity distribution in the Alor Strait during the West Monsoon tends to be uniform, ranging from about 34.400 ppt to 34.425 ppt. During the transition from West Monsoon to East Monsoon, salinity is higher in the southern regions of the strait, averaging between 34.04 ppt and 34.24 ppt. Similarly, during the East Monsoon and its transition to the West Monsoon, salinity remains high in the southern areas of the Alor Strait, ranging approximately from 33.92 ppt to 34.32 ppt and increasing to 34.43 ppt to 34.50 ppt, respectively, as currents move northward. Overall temperature distribution in the Alor Strait averages between 12°C and 16°C. Additionally, simulations reveal secondary flow patterns and turbulence formed due to the complex interactions between the main currents and the seabed topography.*

**Keywords:** *Alor Strait, baroclinic currents, hydrodynamic modeling, Navier-Stokes, Coriolis effect.*

## PENDAHULUAN

Alor adalah sebuah pulau yang terletak di ujung Timur Kepulauan Nusa Tenggara. Luas wilayahnya 2.119 km<sup>2</sup>, dan titik tertingginya 1.839 m. Pulau ini dibatasi oleh Laut Flores dan Laut Banda di sebelah utara, Selat Ombai di selatan (memisahkan dengan Pulau Timor), serta Selat Pantar di barat (memisahkan dengan Pulau Pantar. Pulau Alor adalah satu dari 92 pulau terluar Indonesia karena berbatasan langsung dengan Timor Leste di sebelah selatan (Afriana *et al.*, 2020; Aprilia *et al.*, 2020;).

Salah satu parameter perairan yang penting untuk diteliti dan mempunyai pengaruh cukup tinggi terhadap parameter lainnya adalah arus laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola arus di Perairan Selat Alor dan kaitannya dengan fenomena suhu dingin. Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari pengumpulan data primer, data sekunder dan pengolahan data. Data yang diolah berupa data arus, pasang

surut, batimetri, suhu, angin dan salinitas. Untuk menunjang keselamatan dalam pelayaran maupun kegiatan pengangkutan barang, selain keahlian nahkoda dan ketersediaan alat keselamatan juga sangat diperlukan adanya informasi arus. Peta arus memuat informasi-informasi yang dibutuhkan oleh pelaut dalam bernavigasi sehingga tujuan keselamatan pelayaran bisa tercapai.

Pushidrosal pada tahun 2023 telah melaksanakan ekspedisi Jala Citra 3 di Selat Alor tersebut. Tugas Akhir ini melakukan eksperimen menggunakan pemodelan numerik hidrodinamika 3-dimensi Baroklinik untuk mengetahui karakteristik kolom air di Selat Alor di lapisan permukaan, lapisan tengah, dan lapisan dekat dasar.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dan penyusunan tugas akhir ini akan dilakukan di Kampus Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) Jurusan Hidro-Oseanografi, yang berlokasi di Jl.

Ganesha No.1, Kelurahan Kelapa Gading Barat, Kec. Kelapa Gading, Kota Jakarta Utara, DKI Jakarta 14240.

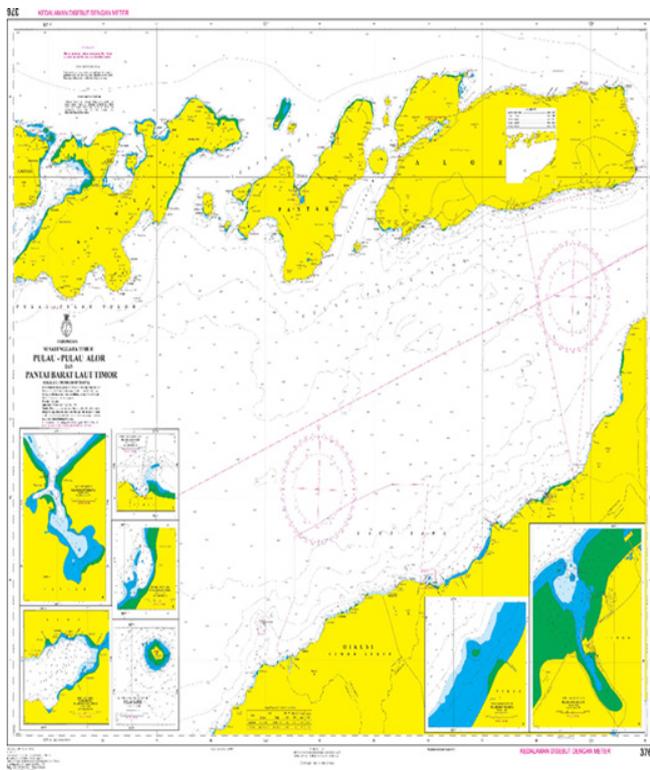
### Bahan Penelitian

Pada penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data sekunder antara lain yaitu :

1. Peta Laut No. 376 yang digunakan sebagai referensi awal untuk menentukan domain model batimetri (Gambar 1).
2. Data angin adalah salah satu parameter pendukung pemodelan
3. hidrodinamika. Diperoleh dengan mendownload di *web Copernicus*.
4. Data prediksi pasang surut adalah data yang digunakan sebagai validasi hasil dari model hidrodinamika.

### Tahap Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini dilakukan penyiapan data-data yang dibutuhkan untuk membuat pemodelan hidrodinamika Arus Baroklinik seperti data pasang surut, data arus, data angin, data batimetri dan data garis pantai,



Gambar 1. Peta Laut Indonesia No 376.  
(Sumber Pushidrosal)

data suhu dan salinitas (Arif *et al.*, 1984).

1. Data pasang surut dari Pushidrosal untuk wilayah perairan Selat Alor dan kemudian untuk data pasang surut pembanding menggunakan data pasang surut prediksi dan juga data pasang surut dari BIG dengan cara mendownload dari website. Untuk data pasang surut (Asri *et al.*, 2014) yang digunakan yaitu dari tanggal 1 Januari 2023 sampai dengan 31 Desember 2023.
2. Data arus diperoleh melalui permohonan ke pushidrosal dan untuk pembanding dilakukan dengan data yang diperoleh dari GEBCO yang kemudian diolah menggunakan *software* ODV kemudian dilanjutkan dengan menggunakan MIKE 3 untuk selanjutnya dilakukan simulasi pemodelannya.
3. Data suhu dan salinitas diperoleh melalui proses permohonan data ke Pushidrosal. Data suhu dan salinitas diharapkan agar mengcover seluruh area pemodelan sehingga memaksimalkan hasil dari pemodelan itu sendiri.
4. Data batimetri (Poerbandono & Djunarsjah, 2005) diperoleh dengan cara permohonan data ke pushidrosal. Untuk selanjutnya data batimetri akan di input kedalam MIKE 3 sebagai data bathimetri. Data batimetri yang di input adalah sebagai data utama untuk pemodelan, karena data batimetri merupakan area yang akan dimodelkan. Semakin banyak dan rapat akan semakin bagus data pemodelan yang dihasilkan.
5. Data angin diperoleh dari bank data organisasi internasional *European Centre for Medium Range Weather Forecast* (ECMWF). Organisasi ini didukung oleh 31 negara anggota seperti Belgia, Denmark serta beberapa Organisasi meteorologi dunia seperti *World Meteorological Organization* (WMO), *African Centre of Meteorological Applications for Development* (ACMAD) dan *Joint Research Centre* (JRC) serta organisasi besar lainnya Set data dari ERA Project dari ERA Interim yang diambil pada stasiun 16. Parameter

surface diantaranya adalah ketinggian angin pada 10 meter komponen u dan v dalam satuan meter/detik, menggunakan sistem grid 0,1250 x 0,1250 atau sekitar 14km<sup>2</sup>. Resolusi temporal harian pada pukul 00.00,06.00,12.00,18.00 satuan waktu GMT. Data yang dihasilkan adalah berformat grib dan netcdf (*network common data form*) dimana format netcdf atau .nc ini dapat dibaca dan diolah menggunakan perangkat ODV, Matlab dan GrADS. Data observasi yang diambil berasal dari satelit observasi di stasiun 16.

6. Data-data yang diperoleh dari website ini didukung dari data observasi lapangan. Observasi tersebut dilakukan melalui *surface buoy*, *surface bathy*, *surface TESAC*, *SYNOP ships*, observasi dari pesawat udara (AMDAR, AIREP, ACAR) serta satelit-satelit cuaca lokal pembanding lainnya. Tampilan ECMWF dan plottingan data di software ODV untuk kemudian data tersebut diolah menggunakan software ODV untuk mendapatkan data nc yang selanjutnya akan di input kedalam pemodelan MIKE 3 (Fajri & Sukemi, 2020).
7. Data garis pantai diperoleh dengan digitasi manual menggunakan ArcGIS 10.4.1 dan juga overlay dari peta citra satelit untuk validasi antara peta nomor 376 dari Pushidrosal untuk selanjutnya data digitasi di ekspor untuk selanjutnya di input kedalam pemodelan MIKE 3 sebagai batas area (*Boundary*) pemodelan. Data garpan sendiri yaitu untuk membedakan batas pemodelan antara daratan dengan batas perairan.

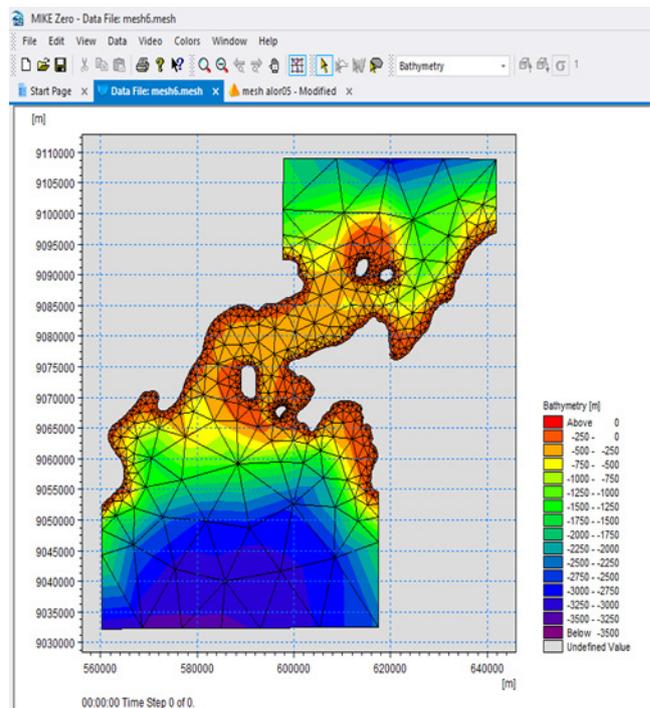
### Tahap Simulasi Pemodelan

Pada tahapan ini dilakukan pemodelan hidrodinamika Arus baroklinik menggunakan software MIKE-3. Untuk membuat file grid bathymetri harus dipersiapkan terlebih dahulu informasi terkait lokasi atau domain area yang akan dimodelkan. Informasi tersebut meliputi data kedalaman perairan (batimetri) dan data garis pantai (daratan). Pada Mike salah satu modul yang berfungsi untuk



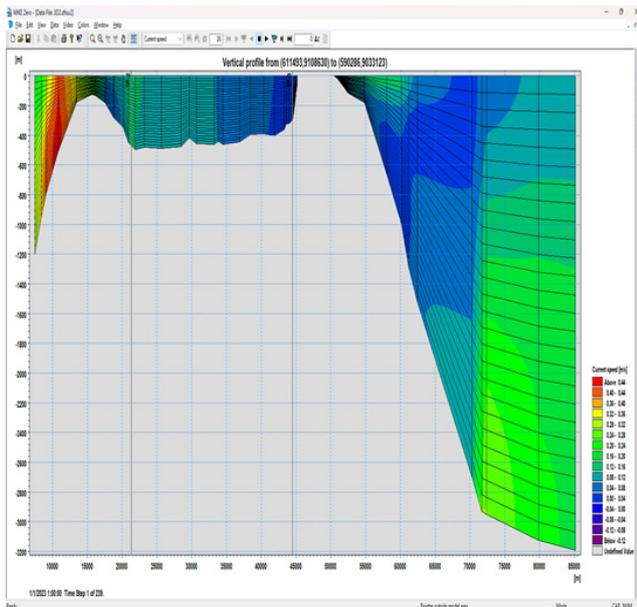
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

membuat grid bathymetri adalah bathymetries (.batsf) dimana keluarannya merupakan grid yang teratur dengan bentuk segi empat (*finite difference*). File *bathymetries* (.batsf) diperlukan sebagai input utama untuk



Gambar 3. Grid Horizontal.

Sumber: (Penulis)



Gambar 3. Grid Lapisan vertikal.

Sumber: (Penulis)

menjalankan model hidrodinamika MIKE 3.

Untuk membuat file *grid bathymetri* terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

#### 1. Membuat Area Pemodelan

Pada langkah ini akan dilakukan pemilihan proyeksi peta, batasan koordinat dan luasan area pemodelan. Tahapannya adalah pertama klik icon MIKE 3, kemudian klik *New File*. Pada document MIKE Zero pilih *Bathymetries* (batsf), selanjutnya tentukan *Type Map Projection*, *Geographical position of Origin* dan *Size* untuk ukuran area kerja. Sehingga akan muncul tampilan area kerja berupa garis-garis net peta yang merupakan batasan tampilan koordinat area kerja.

#### 2. Pemanggilan Data

Setelah area kerja ditentukan selanjutnya dilakukan pemanggilan data garis pantai dan data kedalaman perairan kedalam area kerja. Tahapannya adalah klik *Work Area* kemudian pilih *Background Management*, selanjutnya klik *Import*, pilih file garis pantai dan batimetri yang telah dipersiapkan. Sehingga akan muncul tampilan yang berupa polygon sebagai garis pantai (daratan) dan titik-titik sebagai kedalaman perairan.

#### 3. Membuat Batasan Grid Bathymetri

Setelah data garis pantai (daratan) dan data kedalaman perairan tersedia di area kerja maka langkah selanjutnya yaitu membuat batasan *grid bathymetri*. Batasan grid bathymetri ditentukan pada daerah penelitian yang akan dimodelkan. Pembuatan batasan grid bathymetri dilakukan dengan mempertimbangkan proses-proses yang berpengaruh pada pemodelan. Tahapannya adalah pertama klik *Work Area* kemudian pilih *Bathymetri Management*, kemudian klik *New* selanjutnya tentukan *Projection* sebagai koordinat awal. Kemudian tentukan *Grid Spacing* dan *Grid Dimensions*, pada langkah ini akan dilakukan perhitungan jumlah dan jarak grid untuk membuat batasan grid bathymetri yang akan dimodelkan. Setelah selesai memasukkan jumlah dan jarak *grid* akan muncul batasan grid bathymetri yang akan dimodelkan.

#### 4. Interpolasi Data Batimetri Menjadi Data *Grid Bathymetri*.

Setelah membuat batasan *grid bathymetri* yang akan dimodelkan maka langkah selanjutnya yaitu interpolasi data batimetri menjadi data grid. Pada langkah ini dilakukan import data batimetri untuk diinterpolasi menjadi data input model. Tahapannya adalah pilih *Import From Background* pada *Toolbar* kemudian *drag area* yang akan dimodelkan. Kemudian klik sekali lagi pada *Import From Background*. Selanjutnya pilih *Work Area*, kemudian pilih *Bathymetri Management*, selanjutnya klik *Interpolate*, kemudian Ok. Selanjutnya klik *Export*, dan simpan File *Interpolate Grid Bathymetri* pada folder yang terdapat dikomputer.

#### 5. Membuat file *time series* Angin

Untuk membuat *File Time Series*, harus dipersiapkan terlebih dahulu informasi terkait data angin diarea yang akan dimodelkan. Informasi tersebut meliputi data kecepatan angin dan data arah angin. Setelah data kecepatan dan arah angin tersedia, maka

langkah selanjutnya yaitu membuat *File Time Series* angin. Tahapannya adalah pertama klik icon MIKE 3, kemudian klik *New File* akan muncul *Product Types*, pada Document pilih *Time Series* kemudian Ok. Maka akan muncul File Properties untuk pengisian data Time Series. Tentukan periode pembuatan data dan parameter angin yang digunakan. Selanjutnya klik Ok, maka akan muncul tampilan data Time Series tetapi masih kosong, kemudian copy data kecepatan dan arah angin dari Microsoft Excel ke kolom data *file Time Series*.

#### 6. Membuat File Prediksi Pasang Surut

Untuk membuat file prediksi pasang surut yang harus dipersiapkan terlebih dahulu adalah informasi terkait lokasi atau domain area yang akan dimodelkan. Informasi tersebut meliputi area batas terbuka (Hadi & Radjawane, 2009).

Pada tiap titik dibatas terbuka tersebut digunakan elevasi pasang surut prediksi MIKE 3 *Toolbox*. Setelah area batas terbuka ditentukan, langkah selanjutnya yaitu membuat file prediksi pasang surut dengan membuka MIKE 3 *Toolbox*, kemudian klik Tidal, pilih *Tide Prediction Of Heights*, isi nama *Set Up Name* kemudian klik *Next*, akan muncul kotak *Constituent Description*, pilih *Prediction based on global tide model data*, kemudian isi Data File. selanjutnya menentukan "mulai prediksi, selesai prediksi dan interval prediksi setiap berapa jam" Kemudian menentukan *Line Series Output* untuk file Barat, file Timur dan file Selatan yang diperlukan sebagai batas terluar model, sehingga akan tersimpan ketiga file tersebut dalam format dfs1.

#### 7. Set Up Model

Setelah selesai membuat *Grid Batimetri*, *Time Series* dan data prediksi pasang surut, maka selanjutnya yaitu *Set Up Model*. Tahapan ini merupakan tahapan yang menggunakan MIKE 3 *Document Flow Model* dengan dua parameter yaitu parameter dasar dan parameter hidrodinamika. Setiap parameter

terdiri dari beberapa parameter yang harus diisi, dipilih dan memasukkan data. Setelah semua parameter diisi langkah selanjutnya yaitu *Running model* sampai 100%.

#### Pemodelan Numerik Secara Umum

Pemodelan numerik Dibangun berdasarkan formula matematis yang terkait dengan fenomena alam dan selanjutnya dilakukan penyelesaian terhadap formula yang berkaitan tersebut. Pada model matematika tersebut fenomena/peristiwa alam dideskripsikan dengan salah satu set persamaan. Kecocokan model terhadap fenomena atau peristiwa alamnya tergantung dari ketepatan formulasi persamaan matematis dalam mendeskripsikan fenomena/peristiwa alam yang kemungkinan ditirukan (Hermawan, 2013). Dalam perkembangan ilmu oseanografi, model numerik banyak pembantu dalam menjelaskan fenomena-fenomena yang ada di dalam dengan mudah dipahami, dimengerti lebih mendalam. Seiring dengan perkembangan teknologi komputer, para pakar oseanografi fisika mengembangkan model-model Hidrodinamika untuk memprediksi gerak masa air di laut. Dengan memahami prinsip-prinsip fisika dan dengan alat bantu perhitungan matematika dan perangkat komputer beberapa permasalahan yang secara analitik sulit dipecahkan dapat dipecahkan dengan metode numerik. Sampai saat ini banyak sekali model dikembangkan. Bahkan beberapa institusi kelautan dunia membuat paket-paket model yang bisa di-running dalam personal komputer berbasis windows, misalnya Mike 3, yang di dalamnya terdapat berbagai macam modul pemodelan diantaranya yaitu pemodelan hidrodinamika.

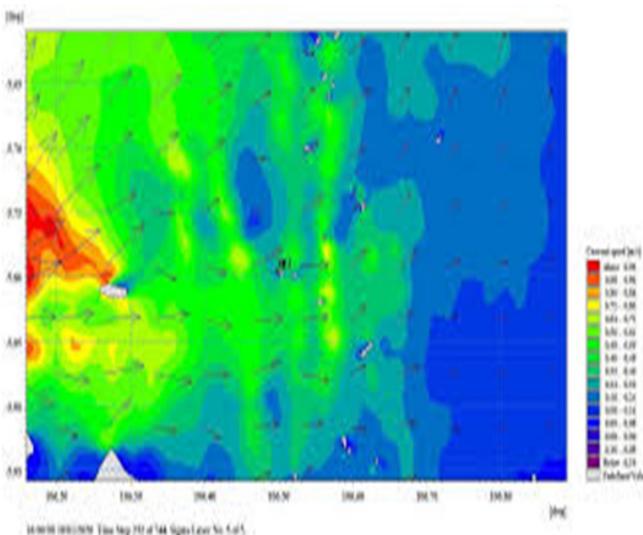
#### Pemodelan Hidrodinamika

Model adalah deskripsi yang disederhanakan, terutama secara matematis dari suatu proses atau sistem, untuk membantu perhitungan atau prediksi menurut (Kamus Oxford). Model juga bisa bermakna rencana, representasi atau deskripsi yang menjelaskan suatu objek, sistem, atau konsep,

yang seringkali berupa penyederhanaan atau idealisasi.

Hidrodinamika cabang ilmu yang berhubungan dengan gerak liquid atau lebih dikhususkan pada gerak air. Bentuknya dapat berupa model fisik, model citra, (gambar, komputerisasi, grafis, dll) atau rumusan matematis. Sehingga pemodelan hidrodinamika adalah proses matematis untuk memodelkan perilaku aliran fluida, seperti air atau udara, berdasarkan persamaan dasar fisika yang menggambarkan pergerakan fluida (Permadi *et al.*, 2015). Pemodelan hidrodinamika digunakan untuk memprediksi pola aliran, distribusi tekanan, kecepatan fluida, dan variabel lainnya dalam sistem hidrolik atau aerodinamika (Gambar 5).

MIKE-3 Hidrodinamic Module (HD module) adalah model matematika untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di open model boundary. HD module mensimulasikan perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, Teluk, pantai dan laut ([www.mikebydhi.com](http://www.mikebydhi.com)). Perangkat lunak MIKE-3 terdiri dari 3 metode grid yaitu :



Gambar 5. Contoh Pemodelan Hidrodinamika Arus. (Sumber: Jurnal Unsri)

1. Satu grid: persamaan *non-linear* waktu tergantung penuh kelangsungan dan konservasi momentum diselesaikan dengan teknik beda hingga implisit dengan variabel yang didefinisikan pada persegi panjang.
2. *Multi grid* : multiple versi grid menggunakan mesin simulasi yang sama dan pendekatan numerik sebagai versi jaringan tunggal. Namun, menyediakan kemungkinan daerah khusus dalam model. Semua domain dalam model terkait secara dinamis.
3. *Flexibel mesh* : adalah metode terstruktur dan menggunakan teknik solusi volume hingga sel-berpusat. Metode ini didasarkan pada unsur-unsur segitiga linier.

Perangkat lunak MIKE-3 dengan metode Flexible Mesh adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan 3 dimensi yang memiliki kelebihan dalam proses pemodelannya karena metode ini dapat menyesuaikan garis pantai yang dan memberikan kemudahan dalam proses running model, serta hasil yang didapat mudah dipahami dan dimengerti.

Contoh aplikasi perangkat lunak MIKE-3 adalah :

1. Perkiraan air untuk operasi laut yang aman dan navigasi.
2. Banjir pesisir dan badai peringatan gelombang
3. Sirkulasi sekunder, Pusaran dan Vortisitas
4. Pelabuhan
5. Bendungan
6. Tsunami

MIKE-3 dapat diterapkan untuk berbagai fenomena, seperti pemodelan hidrolik pasang surut dan lain sebagainya.

Beberapa karakteristik pada pemodelan adalah sebagai berikut :

1. Dibuat dalam bentuk grafis dan tambahan keterangan secara tekstual.
2. Dapat diamati dengan pola *Top Down* dan *Partitioned*.
3. Memenuhi persyaratan minimal : *reducancy*
4. Dapat mempresentasikan tingkah laku

sistem dengan cara yang transparan.

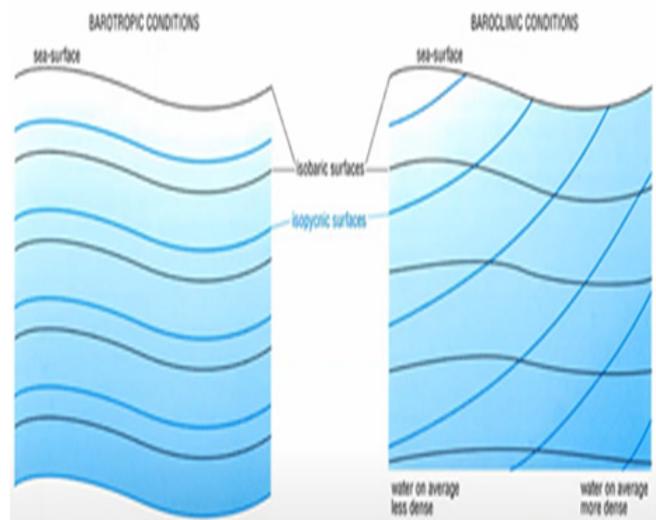
Dari karakteristik pemodelan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa model itu dibuat dalam bentuk grafis atau bergambar sehingga dapat memudahkan pengguna dan dilengkapi juga dengan keterangan dari gambar atau grafis tersebut. Alur dari proses model tersebut dapat dilihat dan diamati dan yang terpenting adalah dapat mempresentasikan proses daripada sistem yang dibuat dan dapat dipahami oleh pengguna.

### Arus Baroklinik

Barotropik dan Baroklinik merupakan kondisi tekanan dan densitas di lautan. Kedua parameter utama tersebut digambarkan dengan garis yang menunjukkan permukaan tekanan dan densitas dengan nilai yang. Permukaan tekanan yang sama disebut dengan Isobarik sedangkan permukaan dengan nilai densitas yang sama disebut Isopicnic.

Arus baroklinik (Rawi, 2012; Rizal *et al.*, 2009) adalah jenis arus laut yang memiliki gradien kepadatan lintang. Ini berarti bahwa perbedaan dalam densitas air laut terjadi secara horizontal di lintang yang berbeda. Arus ini umumnya terjadi di perbatasan antara dua massa air laut yang memiliki sifat fisik yang berbeda, seperti suhu atau salinitas yang berbeda. Kata “baroklinik” mengacu pada sifat kestabilan yang dimiliki oleh jenis arus ini. Karena adanya perbedaan kepadatan horizontal, arus baroklinik cenderung lebih stabil daripada arus barotropik, yang memiliki kepadatan seragam di seluruh lintang.

Arus baroklinik sering kali berkaitan dengan fenomena atmosfer dan samudra yang kompleks, seperti sistem frontal, pusaran samudra, dan aliran pesisir yang rumit. Mereka dapat memainkan peran penting dalam proses-proses penting seperti sirkulasi global air laut dan transfer panas di samudra. Studi tentang arus baroklinik penting untuk pemahaman yang lebih baik

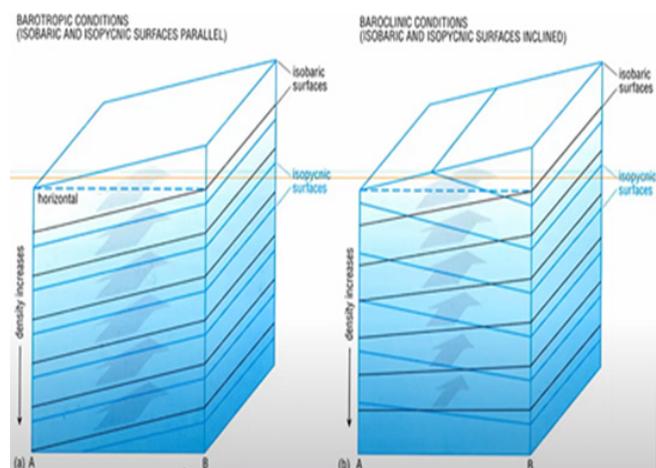


Gambar 6. Kondisi Densitas (Isopiknal) Dan Tekanan (Isobarik) Di Kolom Air Kondisi Barotropik (kiri), Dan Kondisi Baroklinik (Kanan) .

tentang dinamika samudra, pola cuaca, dan perubahan iklim global.

Hubungan permukaan tekanan dan densitas tersebut dapat digambarkan seperti Gambar 6.

Gambar 7 menunjukan kondisi Barotropik. Pada kondisi tersebut air laut tercampur sempurna dan densitasnya homoge. Densitas tidak bertambah terhadap kedalaman sehingga permukaan isobarik tidak hanya



Gambar 7. Variasi Lateral Densitas (Isopiknal) Dan Tekanan (Isobarik) Di Kolom Air Pada Kondisi Barotropik (Kiri) Dan Kondisi Baroklinik (Kanan).

sejajar pada permukaan laut tetapi juga pada permukaan Isopiknik. variasi temperatur terhadap permukaan horizontal ditentukan hanya oleh kemiringan permukaan laut, sehingga permukaan isobarik sejajar pada permukaan laut. Namun, variasi densitas tergantung pada berat air dan kemudian tekanan bekerja pada permukaan horizontal. Pada Gambar B terdapat variasi lateral densitas sehingga permukaan isobarik tidak sejajar dengan permukaan laut. Permukaan isobarik berpotongan dengan isopiknik dan dua kemiringan tersebut berlawanan arah. Kondisi ini disebut Baroklinik. Pada kondisi barotropik, distribusi densitas tidak mempengaruhi permukaan isobarik. Sebaliknya pada kondisi baroklinik, variasi lateral densitas mempengaruhi permukaan isobarik.

Kita juga dapat mengetahui pada kondisi Barotropik sudut slope yg terbentuk pada isobar selalu sama sedangkan pada kondisi Baropiknik sudutnya mengecil dan cenderung bisa menjadi datar dengan semakin dalamnya kedalaman laut.

### Mike 3

Berdasarkan manual book MIKE 3, MIKE 3 adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer untuk 3D free-surface flows. MIKE 3 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, danau, estuari, teluk, pantai dan laut. Program ini dikembangkan oleh DHI Water and Environment. MIKE 3 terdiri dari beberapa modul, diantaranya adalah MIKE 3 hydrodynamic (HD) module.

MIKE 3 hydrodynamic (HD) module adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di open model boundaries. Hydrodynamic module mensimulasi perbedaan muka air dan

arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari, teluk dan pantai. Efek dan fasilitasi yang termasuk di dalamnya yaitu:

- *bottom shear stress* (tekanan geser dasar)
- *wind shear stress* (tekanan geser angin)
- *barometric pressure gradients* ( gradien tekanan udara)
- *Coriolis force* ( gaya Coriolis)
- *momentum dispersion* (dispersi momentum)
- *sources and sinks* (sumber dan tenggelam)
- *evaporation* (penguapan)
- *flooding and drying* (banjir dan pengeringan)
- *wave radiation stresses* (tekanan radiasi gelombang)

Beberapa aplikasi perangkat lunak MIKE 3 yaitu; pemodelan arus, pemodelan gelombang, sedimentasi, pelabuhan, energi laut, pencemaran, ekologi dan lain-lain.

Model hidrodinamik dalam MIKE 3 HD adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuary, teluk dan pantai. Persamaan berikut, konservasi massa dan momentum, menggambarkan aliran dan perbedaan muka air:

Persamaan massa (Persamaan 1).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots\dots\dots 1)$$

Persamaan momentum pada sumbu x (Persamaan 2)

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{P_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{P_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \dots\dots\dots 2$$

Persamaan momentum pada sumbu y (Persamaan 3).

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{P_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{P_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \dots\dots\dots 3$$

dimana,

$h(x,y,t)$  = kedalaman air ( $=\zeta - d$ , m)  
 $d(x,,)$  = kedalaman air dalam berbagai waktu (m)  
 $\zeta(x,,)$  = elevasi permukaan (m)  
 $p(x,,)$  = flux density dalam arah x dan y ( $m^3/s/m$ )  
 $y$  =  $(u_h, v_h)$ ;  $(u, v)$  = depth averaged velocity dalam arah x dan  
 $C(x,)$  = tahanan Chezy ( $m^{1/2}/s$ )  
 $g$  = kecepatan gravitasi ( $m/s^2$ )  
 $(V)$  = faktor gesekan angin  
 $V,,(x,y,t)$  = kecepatan angin dalam arah x dan y ( $m/s$ )  
 $\Omega(x,)$  = parameter Coriolis ( $s^{-1}$ )  
 $p_a(x,y,t)$  = tekanan atmosfer ( $kg/m/s^2$ )  
 $P_w$  = berat jenis air ( $kg/m^3$ )  
 $x,$  = koordinat ruang (m)  
 $t$  = waktu (s)  
 $T_{xx} T_{xy} T_{yy}$  = komponen effective shear stress

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pola Arus Pada lapisan Permukaan Bulan Januari 2023

Karakteristik pola arus permukaan pada bulan Januari 2023 dipengaruhi oleh tiupan angin pada musim Barat dimana dominasi arus akan bergerak ke Utara dan Timur laut. Selain itu dengan kondisi tersebut bulan Januari juga akan mengalami curah hujan yang lebih besar dibandingkan dengan bulan lain pada musim yang berbeda. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pola arus dipengaruhi oleh arah pergerakan angin yang bergerak menuju Utara dan Timur Laut.

Arus di Selat Alor yang mengarah ke utara pada bulan Januari bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk:

1. Musim dan Perubahan Musim: Pada bulan Januari, di sebagian besar belahan bumi bagian utara, terjadi musim dingin atau musim kemarau. Perubahan ini dapat memengaruhi pola angin dan tekanan atmosfer, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi arus laut di daerah tersebut.
2. Pemanasan Diferensial: Perbedaan suhu air antara utara dan selatan Selat Alor

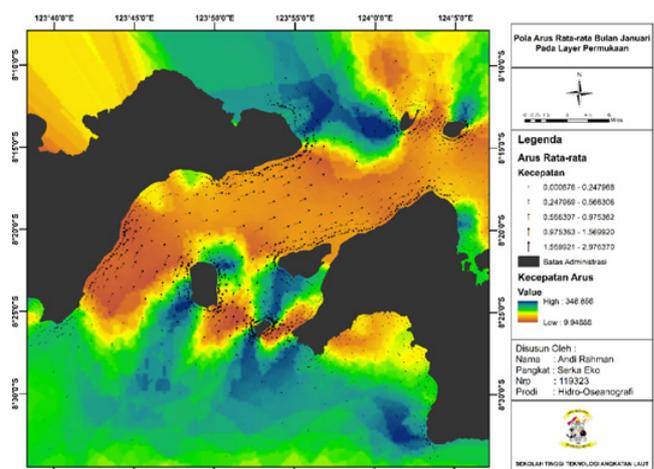
pada bulan Januari mungkin menciptakan gradien tekanan yang mendorong arus ke arah utara.

Faktor-faktor ini, bersama-sama atau secara terpisah, dapat menyebabkan arus di Selat Alor mengarah ke utara pada bulan Januari. Visualisasi pola arus permukaan dan arah pergerakannya dapat dilihat pada gambar 8. Pada pola rata-rata arus nilai kecepatan pada keseluruhan perairan Selat Alor berkisar  $0,804462337$  m/s. Berikut adalah visualisasi dominasi yang menunjukkan arah rerata pergerakan arus layer permukaan Selat Alor pada bulan Januari 2023.

### Pola Arus Pada Lapisan Permukaan Bulan April 2023 Pembuatan

Sirkulasi arus pada lapisan permukaan yang di lalui pada peralihan musim barat ke musim timur di perairan Selat Alor arus cenderung bergerak ke arah selatan dengan rata-rata kecepatan arus  $0,740702253$  m/s. Arus di Selat Alor pada bulan April yang mengarah ke selatan bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk perubahan musiman dalam pola angin, suhu permukaan laut, dan fenomena atmosferik lainnya.

Bulan April bisa merupakan periode di mana pola angin musiman berubah, yang



Gambar 8. Karakteristik Pola Arus Rata-rata Lapisan Permukaan Bulan Januari 2023.

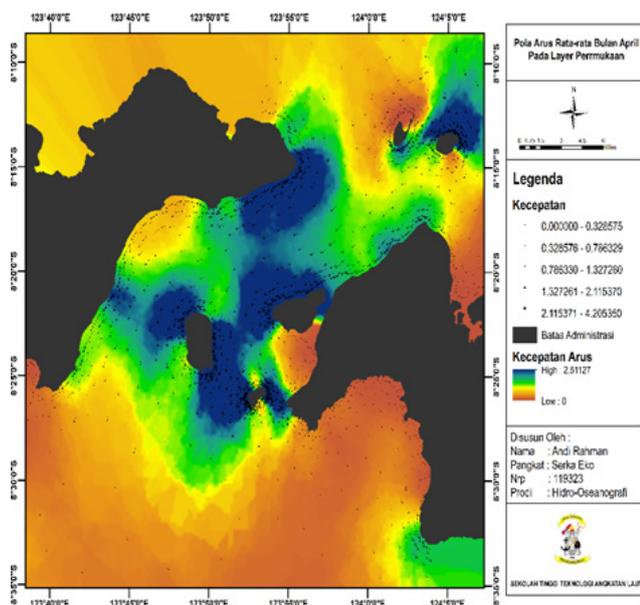
Sumber: (Penulis)

pada gilirannya dapat mengubah arah arus laut. Jika angin dominan bertiup dari utara ke selatan, misalnya, itu dapat menyebabkan arus yang mengarah ke selatan di Selat Alor. Perubahan suhu permukaan laut dapat mempengaruhi sirkulasi air laut di daerah tersebut. Jika ada perbedaan suhu yang signifikan antara utara dan selatan Selat Alor, itu dapat menciptakan gradien tekanan yang mendorong arus ke arah yang berlawanan (Sutomo, 2008). Berikut adalah visualisasi dominansi arah arus pada lapisan permukaan di peralihan musim barat ke musim timur pada Perairan Selat Alor pada bulan April 2023 (Gambar 9).

### ***Pola Arus Pada Lapisan Permukaan Bulan Juli 2023***

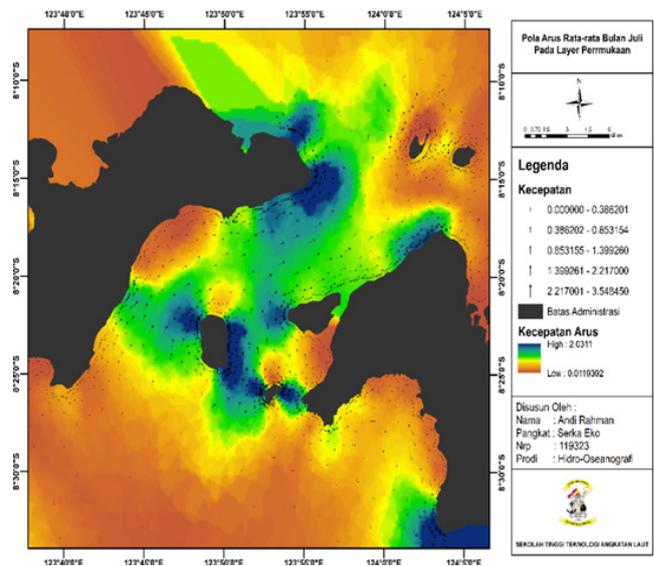
Pada umumnya, di wilayah Indonesia termasuk Selat Alor, bulan Juli bisa menjadi periode musim kemarau atau transisi antara musim hujan dan kemarau. Pola angin yang dominan pada bulan ini mungkin bertiup dari arah tertentu, seperti timur laut atau barat daya, tergantung pada pola musiman yang dominan di wilayah tersebut pada saat itu.

Dari hasil simulasi yang di dihasilkan arah



Gambar 9. Karakteristik Pola Arus Rata-rata Lapisan Permukaan Bulan April 2023.

Sumber: (Penulis)



Gambar 10. Karakteristik Pola Arus Rata-rata Lapisan Permukaan Bulan Juli 2023.

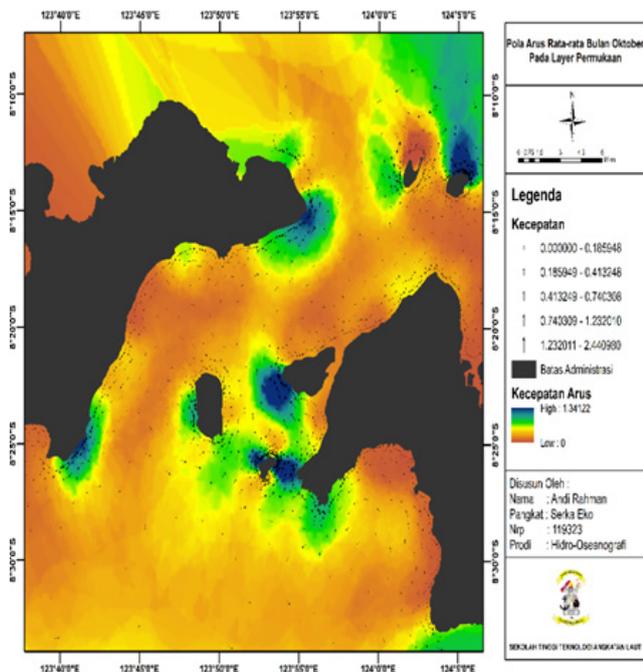
Sumber: (Penulis)

arus di perairan Selat Alor pada bulan Juli rata-rata menuju ke arah Barat laut sampai Utara dengan rata-rata kecepatan arus lapisan permukaan sekitar 0,869288122 m/s. Berikut adalah visualisasi dominansi arah arus dan kecepatan pada lapisan permukaan pada Perairan Selat Alor bulan Juli 2023 (Gambar 10).

### ***Pola Arus Pada Lapisan Permukaan Bulan Oktober 2023***

Arus laut di Selat Alor pada bulan Oktober juga dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti musim angin, suhu air, dan topografi dasar laut. Pada umumnya, bulan Oktober di wilayah Indonesia sering merupakan periode peralihan antara musim kemarau dan musim hujan.

Di daerah Selat Alor, arus laut bisa berubah-ubah tergantung pada pola angin yang dominan dan distribusi suhu air. Selat Alor terletak di antara pulau Alor dan pantai utara Pulau Timor, dan merupakan bagian dari jalur pelayaran penting di Indonesia. Arus laut di daerah ini bisa cukup kuat dan berubah-ubah, terutama di daerah dengan perbedaan kedalaman dan topografi yang kompleks. Dalam konteks Selat Alor, arus



Gambar 11. Karakteristik Pola Arus Rata-rata Lapisan Permukaan Bulan Juli 2023.

Sumber: (Penulis)

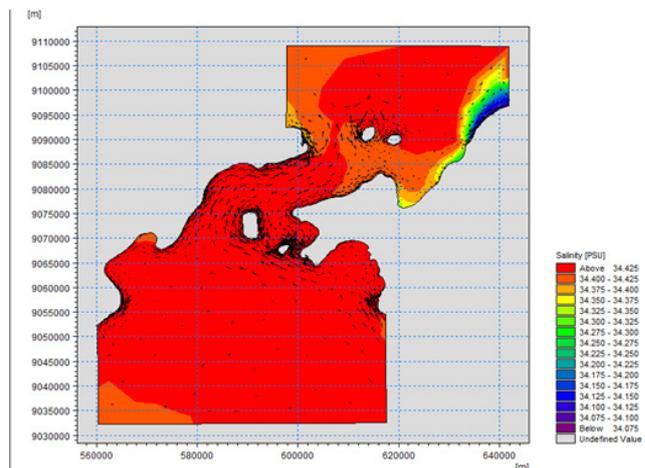
laut pada bulan Oktober cenderung bergerak ke utara. Penyebabnya bisa bervariasi, tetapi salah satunya adalah pengaruh dari angin muson barat daya yang dominan pada periode tersebut.

Angin ini dapat mendorong air laut ke utara, menyebabkan arus laut mengikuti arah yang sama. Sementara itu untuk kecepatan rata-rata arus permukaan pada bulan ini yaitu 0.814074841 m/s. Berikut adalah visualisasi dominansi arah arus dan kecepatan pada lapisan permukaan pada Perairan Selat Alor bulan Oktober 2023 (Gambar 11).

### Salinitas Arus Pada Bulan Januari 2023 di Selat Alor

Rata-rata salinitas di perairan Selat Alor berkisar antara 33 hingga 34 ppt (*parts per thousand*) atau sekitar 33 hingga 34 gram garam per kilogram air. Namun, perlu diingat bahwa salinitas bisa bervariasi di berbagai bagian selat dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan, aliran sungai, pola angin, dan arus laut.

Pada bulan Januari di perairan Selat



Gambar 12. Simulasi Distribusi Salinitas pada Bulan Januari 2023.

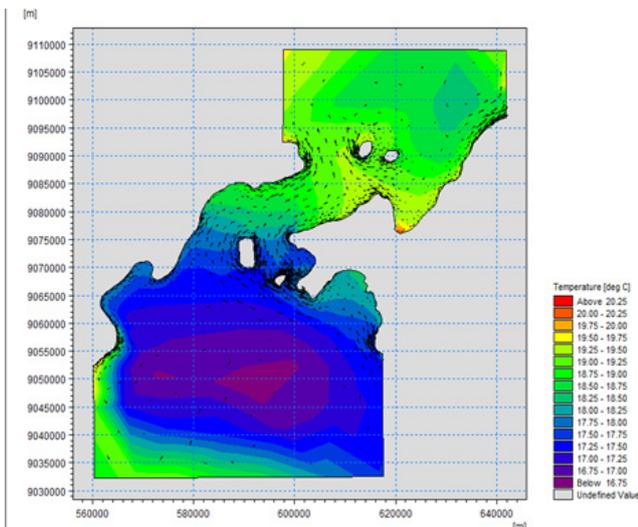
Sumber: (Penulis)

Alor, salinitasnya cenderung merata yaitu sekitar 34,400 ppt-34,425 ppt. Ini bisa terjadi karena kondisi cuaca dan arus laut yang relatif stabil pada bulan tersebut. Meskipun terdapat perubahan musim, Selat Alor biasanya tidak mengalami fluktuasi yang besar dalam salinitasnya selama bulan Januari (Gambar 12).

### Temperatur Arus Pada Bulan Januari 2023 Di Selat Alor

Perairan di Selat Alor bisa menjadi lebih dingin karena beberapa faktor, termasuk:

1. Arus Laut: Selat Alor merupakan bagian dari jalur arus laut yang penting di wilayah tersebut. Arus laut dapat membawa air dari wilayah yang lebih dingin, terutama jika arus tersebut berasal dari kedalaman laut yang lebih dalam.
2. *Upwelling*: Seperti yang dibahas sebelumnya, fenomena *upwelling* dapat terjadi di beberapa wilayah laut, termasuk Selat Alor. Ketika air yang lebih dingin dari lapisan dalam laut naik ke permukaan, ini dapat menyebabkan suhu permukaan laut menjadi lebih dingin.
3. Pengaruh Iklim: Faktor-faktor iklim seperti angin dan suhu udara lokal dapat mempengaruhi suhu permukaan laut di Selat Alor. Angin yang bertiup dari arah yang lebih dingin atau iklim lokal yang cenderung sejuk dapat menyebabkan suhu



Gambar 13. Distribusi Temperatur Di Perairan Selat Alor Bulan Januari 2023.

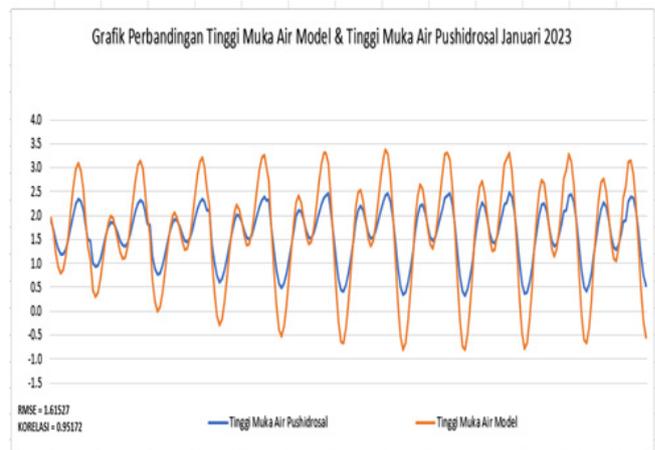
Sumber: (Penulis)

air di permukaan laut menjadi lebih rendah.  
 4. Kedalaman Laut: Selat Alor juga memiliki ciri-ciri topografi bawah laut yang mungkin menyebabkan beberapa area memiliki kedalaman yang lebih dalam, yang mana air di sana mungkin lebih dingin.

Pada musim barat, suhu di perairan Selat Alor berkisar antara sekitar 14°C hingga 20°C. Perubahan suhu yang lebih besar mungkin terjadi di daerah tertentu selama musim barat karena pengaruh arus dan upwelling yang mungkin terjadi di wilayah tersebut (Gambar 13).

### Validasi Elevasi Muka Laut

Validasi elevasi muka laut dilakukan untuk membandingkan kesesuaian antara data model dengan data lapangan yang digunakan untuk mengetahui bagaimana hubungan diantara kedua data. Semakin dekat hubungan diantara keduanya maka hasil model dapat dinyatakan mampu mewakili kondisi sebenarnya sehingga model tersebut mampu mewakili kondisi lapangan (Warren *et al.*, 1992; Widyastuti *et al.*, 2015). Validasi dilakukan dengan membandingkan data surface elevation MIKE 21 dengan data pasang surut PUSHIDROSAL dan BIG selama periode simulasi bedangsung. Uji

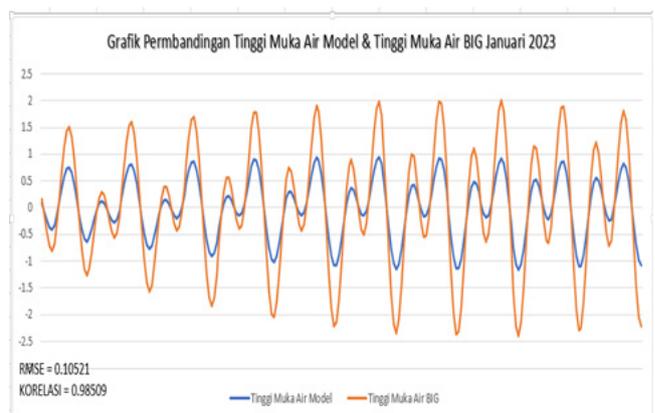


Gambar 14. Validasi Elevasi Muka Air Dengan Data Pasut Pushidrosal Januari 2023.

Sumber: (Penulis)

validasi dilakukan pada bulan Januari 2023, April 2023, Juli 2023, dan Oktober 2023. Uji validasi dilakukan pada stasiun pasang surut dermaga nusantara Pelindo III Kalabahi, Perairan Selat Alor dan BIG Perairan Selat Alor.

Uji validasi pada bulan Januari 2023 menunjukkan bahwa nilai tingkat kesalahan prediksi, *Root Mean Square Error* (RMSE) dengan data pasang BIG adalah 0.1052 dan hubungan diantara dua data, korelasi, memiliki nilai 0,9851. Sedangkan nilai tingkat kesalahan prediksi, *Root Mean Square Error* (RMSE) dengan data pasang PUSHIDROSAL adalah 1,6153 dan hubungan diantara dua data, korelasi, memiliki nilai 0,9517. Dua



Gambar 15. Validasi Elevasi Muka Air Dengan Data Pasut BIG Januari 2023.

Sumber: (Penulis)

parameter tersebut menunjukkan bahwa ada ketidaksesuaian diantara data model dengan data lapangan PUSHIDROSAL yaitu ada perbedaan pada nilai RMSE, tetapi kedua data tersebut memiliki pola yang sama. Berikut adalah grafik perbandingan diantara kedua data PUSHIDROSAL dan BIG dengan hasil model.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Pola, arah dan pergerakan arus pada Selat Alor memiliki pola yang hampir sama pada setiap bulannya selama periode pengamatan bulan Januari 2023, April 2023, Juli 2023, dan Oktober 2023 pada musim Barat, peralihan musim barat ke Timur, Musim Timur, serta peralihan Musim Timur ke Barat dengan arah pergerakan dominan menuju utara, kecuali yang terjadi pada Bulan April yaitu arus cenderung mengarah ke arah Selatan hal ini di karenakan beberapa faktor, termasuk perubahan musiman dalam pola angin, suhu permukaan laut, dan fenomena atmosferik lainnya. Bulan April bisa merupakan periode di mana pola angin musiman berubah, yang pada gilirannya dapat mengubah arah arus laut. Nilai rata-rata kecepatan keseluruhan perairan Selat Alor yaitu sekitar 0,804462337 m/s.

Distribusi salinitas arus permukaan di perairan Selat Alor pada setiap Musim Barat cenderung merata yaitu sekitar 34,400 ppt-34,425 ppt. Sementara musim peralihan barat ke timur salinitas lebih tinggi di daerah selatan selat dengan nilai rata-rata 34,04 ppt-34,24 ppt. Pada musim timur sama seperti musim peralihan barat ke timur yaitu cenderung tinggi di area selatan Selat Alor dengan nilai sekitar 33,92 ppt-34,32 ppt. Sedangkan pada musim peralihan timur ke barat yaitu ke arah utara Selat Alor, meningkatkan salinitas di wilayah tersebut dengan nilai rata-rata sekitar 34,43 ppt-34,50 ppt.

Sementara untuk distribusi temperatur keseluruhan di perairan Selat Alor rata-rata sekitar 12°C-16°C. Temperatur di Selat Alor cenderung dingin karena dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah arus laut yang mengalir di daerah tersebut. Arus laut yang berasal dari pergerakan massa air dari Samudra Pasifik dan Samudra Hindia bisa mempengaruhi suhu di Selat Alor.

### **Saran**

Saran penelitian dengan judul Simulasi Pemodelan 3-Dimensi Hidrodinamika Arus Baroklinik Di Perairan Selat Alor untuk waktu mendatang adalah: Pengamatan lapangan diperlukan untuk mengetahui besarnya nilai arus pada perairan dan besarnya perubahan ketebalan lapisan dasar perairan. Periode simulasi dapat dilakukan dalam periode yang panjang yang mencakup kondisi signifikan pada setiap musim. Spesifikasi area pada perairan dekat pantai diperlukan agar resolusi data yang dihasilkan lebih bagus.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas Rahmat, tauhid, dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan jurnal ini hingga selesai. Shalawat serta salam, senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis ingin berterima kasih kepada Prof. Dr. Ing Widodo S Pranowo, S. T., M.Si selaku Dosen Pembimbing pertama dan Agung Kurniawan S.Tr.Geo selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan waktu, arahan, dan bimbingan. Serta kedua orang tua kami karena berkat semangat dan dukungan mereka, penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu dan menjadi sumber informasi selama pengerjaan jurnal ini sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrina, A., Khairullah, K., & Helmi, H. (2020). Analisis Kualitas air Drainase Irigasi Langkahan-Jambo Aye Akibat Pengaruh Pasang Surut Untuk Budidaya Padi Sawah Di Meunasah Tingkeum Kecamatan Madat Kabupaten Aceh Timur. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 5(1), 572-577.
- Aprilia, E., & Pratomo, D. G. (2017). Pemodelan Hidrodinamika 3-Dimensi Pola Persebaran Sedimentasi Pra dan Pasca Reklamasi Teluk Jakarta. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), A539-A544.
- Arief, D. (1984). Pengukuran salinitas air laut dan peranannya dalam ilmu kelautan. *Oseana*, 9(1), 3-10.
- Asri, A. C. A., Suryoputro, A. A. D., & Atmodjo, W. (2014). Studi Karakteristik Arus Laut Di Perairan Marunda, Jakarta Utara. *Journal of Oceanography*, 3(4), 601-609.
- Fajri, F., & Sukemi, S. (2020, February). Dfcv Estimasi Tinggi Gelombang Laut Dengan Kecepatan Angin Laut Menggunakan Gaussian Filter. *In Annual Research Seminar (ARS)*, 5(1), 174-179.
- Hadi, S. & Radjawane, I. (2009). *Arus Laut*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Hermawan, M. S. (2013). *Pengolahan Data Arus Pasut Menggunakan Software Matlab Metode Least Square*. Tugas Akhir Program Studi Hidro-Oseanografi, STTAL, Jakarta.
- Permadi, L. C., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). Studi Arus Pada Perairan Laut Di Sekitar Pltu Sumuradem Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Journal of Oceanography*, 4(2), 516-523.
- Poerbandono., & Djunarsjah, E. (2005). *Survei Hidrografi*. Refika Aditama, Bandung.
- Rawi, S. (2012). *Arus Pasang Surut, Kursus Intensif Jurusan Teknik Hidro-Oseanografi*, STTAL, Jakarta.
- Rizal, S., Setiawan, I., Muhammad, T. I., & Wahid, M. A. (2009). Simulasi Pola Arus Baroklinik di Perairan Indonesia Timurdengan Model NumerikTiga-dimensi. *Jurnal Matematika dan Sains*, 14.
- Sutomo, A. (2008). *Analisa Pola Arus Dengan Pemodelan Numerik ADCIRC-2D Untuk Kepentingan Search And Rescue (SAR) Di Laut*. Tugas Akhir Program Studi Hidro-Oseanografi, STTAL, Jakarta.
- Warren, I. R., & Bach, H. (1992). MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas. *Environmental Software*, 7(4), 229-240.
- Widyastuti, M. S., Ningsih, N. S., & Risnadi, R. Karakteristik Pasang Surut Di Delta Mahakam (Studi Kasus Di Bekapai Dan Tunu). *Prosiding*, 27.

