

# **APLIKASI MODEL NUMERIK TIGA DIMENSI UNTUK SIMULASI HIDRODINAMIKA LAUT**

## **PROPOSAL DISERTASI**

Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dan  
memenuhi syarat-syarat guna pelaksanaan penelitian Disertasi

Oleh:

**MUH. NUR HIDAYAT**  
**2108201010005**



**PROGRAM STUDI DOKTOR MATEMATIKA DAN APLIKASI SAINS  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SYIAH KUALA  
DARUSSALAM, BANDA ACEH  
JUNI, 2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi : Aplikasi Model Numerik Tiga Dimensi untuk Simulasi  
Hidrodinamika Laut  
Nama Mahasiswa : Muh. Nur Hidayat  
NPM : 2209300070026  
Program Studi : Doktor Matematika dan Aplikasi Sains

Menyetujui  
Komisi Pembimbing,  
Promotor

Prof. Dr. Ir. Syamsul Rizal  
NIP. 196101221987031003

Ko-Promotor I,

Ko-Promotor II,

Prof. Dr. Marwan Ramli, S.Si.,M.Si.  
NIP. 197111251999031003

Prof. Dr. Muchlisin Z.A, S.Pi.,M.Sc.  
NIP. 197109111999031003

Mengetahui

Ketua Program Studi  
Doktor Matematika dan Aplikasi Sains,

Direktur Program Pascasarjana  
Universitas Syiah Kuala,

Prof. Dr.rer.nat. Rinaldi Idroes, S.Si.  
NIP. 196808251994031003

Prof. Dr. Ir. Darusman, M.Sc.  
NIP. 196210091987021001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat karunia-Nya sehingga proposal penelitian yang berjudul **Aplikasi Model Numerik Tiga Dimensi untuk Simulasi Hidrodinamika Laut** dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Doktor Matematika dan Aplikasi Sains, Universitas Syiah Kuala.

Penyusunan proposal penelitian ini tidak dapat selesai tanpa bantuan dari tim pembimbing. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak tersebut.

Proposal penelitian ini tidak luput dari segala kekurangan, baik dalam hal penulisan maupun pembahasan dari topik penelitian. Oleh sebab itu, diperlukan saran demi penyusunan penelitian yang lebih baik. Semoga penelitian dapat memberi manfaat bagi pembaca untuk melaksanakan penelitian selanjutnya.

Banda Aceh, 15 Juni 2023

Penulis

## RINGKASAN

Samudera Hindia adalah samudera terbesar ketiga di dunia, meliputi sekitar 19.8% dari total volume lautan dan merupakan lautan yang sangat berpengaruh bagi ekosistem di Bumi. Cakupan wilayah dari Samudera Hindia termasuk di dalamnya Teluk Benggala (*Bay of Bengal (BoB)*), Laut Andaman, Selat Malaka, dan Perairan Aceh. Dengan cakupan wilayah yang begitu luas, Samudera Hindia merupakan penyumbang besar bagi sistem iklim dunia dan oleh karena itu sangat penting untuk dapat diprediksi. Pengembangan model kelautan berusaha untuk menggambarkan iklim global dengan cukup baik disertai dengan pengamatan. Namun, variabilitas spasial dan temporal perlu dipahami untuk prediksi yang lebih baik. Kajian mengenai kontribusi parameter meteorologi: *2m air temperature*, *2m specific humidity*, *convective precipitation rate*, *sea level pressure*, *wind stress U*, dan *wind stress V* terhadap variabilitas MLD menggunakan data output model resolusi tinggi untuk jangka panjang belum pernah dilakukan sebelumnya khususnya untuk wilayah perairan Aceh, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi MLD berdasarkan parameter meteorologi yang telah disebutkan sebelumnya. Analisis dengan model iklim ditekankan sebagai verifikasi untuk observasi MLD yang dilakukan pada sampel stasiun wilayah penelitian. Pada akhirnya, dari hasil analisis yang dilakukan akan diperoleh hubungan antara parameter meteorologi dan MLD. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dan memperkaya pengetahuan tentang kedalaman lapisan campuran. Hal ini karena kedalaman lapisan campuran berperan penting secara iklim fisik dalam hal menentukan interval kisaran temperatur di wilayah laut dan pesisir. Sebagai tambahan, panas yang tersimpan dalam lapisan campuran menyediakan sumber panas yang mendorong variabilitas global seperti El Niño. Kedalaman lapisan campuran juga berperan dalam menentukan tingkatan rata-rata cahaya yang dapat dilihat oleh organisme laut seperti fitoplankton. Selain itu, dari periodisitas model iklim yang diperoleh akan bermanfaat untuk tujuan fishing ground, mitigasi perubahan iklim dan bencana hidro-oseanografi, tata ruang dan konservasi laut, dan sumber energi terbarukan.

# DAFTAR ISI

|  | Halaman   |
|--|-----------|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                      | iii       |
| <b>RINGKASAN</b> .....                           | iv        |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                          | v         |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                        | vi        |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                       | vii       |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                     | viii      |
| <br>   |           |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                   | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                         | 1         |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                         | 2         |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                      | 3         |
| 1.4 Urgensi dan Kebaruan Penelitian .....        | 3         |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                     | 3         |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                  | 4         |
| <br>   |           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....             | <b>5</b>  |
| 2.1 Persamaan Primitif .....                     | 5         |
| 2.2 Model Iklim .....                            | 7         |
| <br>   |           |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....       | <b>10</b> |
| 3.1 Domain dan Data Penelitian .....             | 10        |
| 3.1.1 Domain Penelitian .....                    | 10        |
| 3.1.2 Data Penelitian.....                       | 10        |
| 3.1.3 Pengumpulan Data .....                     | 10        |
| 3.2 Analisis Data .....                          | 11        |
| 3.2.1 Model Musiman .....                        | 11        |
| 3.2.2 Analisis Korelasi.....                     | 12        |
| 3.3 Prosedur Penelitian.....                     | 12        |
| 3.3.1 Penentuan Kedalaman Lapisan Campuran ..... | 12        |
| 3.3.2 Alur Penelitian .....                      | 13        |
| <br>   |           |
| <b>BAB IV BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN</b> .....  | <b>14</b> |
| 4.1 Biaya Penelitian .....                       | 14        |
| 4.2 Jadwal Penelitian .....                      | 15        |
| <br>   |           |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                      | <b>16</b> |
| <br>   |           |
| <b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b> .....                   | <b>19</b> |

## DAFTAR TABEL

|           |   | <b>Halaman</b> |
|-----------|---|----------------|
| Tabel 3.1 | Rangkuman data penelitian.....                | 10             |
| Tabel 4.1 | Ringkasan anggaran biaya penelitian .....     | 14             |
| Tabel 4.2 | Ringkasan jadwal pelaksanaan penelitian ..... | 15             |

## DAFTAR GAMBAR

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| Gambar 2.1 Kurva persamaan siklus musiman untuk beberapa nilai $\alpha, \beta$ dan $\gamma$ . .....   | 8              |
| Gambar 3.1 Peta batimetri Samudera Hindia, diperoleh dari SRTM30+ (Becker <i>et al.</i> , 2009). Warna dalam peta menunjukkan kedalaman 0-5000 m sedangkan pulau digambarkan tanpa warna. | 11             |
| Gambar 3.2 Kurva persamaan siklus musiman untuk beberapa nilai $\alpha, \beta$ dan $\gamma$ . .....   | 12             |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| Lampiran 1. Justifikasi Anggaran Penelitian.....           | 19             |
| Lampiran 2. Dukungan Sarana dan Prasarana Penelitian ..... | 20             |
| Lampiran 3. Surat Pernyataan Mahasiswa .....               | 21             |



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Samudera Hindia adalah samudera terbesar ketiga di dunia, meliputi sekitar 19.8% dari total volume lautan (Eakins dan Sharman, 2010) dan merupakan lautan yang sangat berpengaruh bagi ekosistem di Bumi. Cakupan wilayah dari Samudera Hindia termasuk di dalamnya Teluk Benggala (*Bay of Bengal* (BoB)), Laut Andaman, Selat Malaka, dan Perairan Aceh. Dengan cakupan wilayah yang begitu luas, Samudera Hindia merupakan penyumbang besar bagi sistem iklim dunia dan oleh karena itu sangat penting untuk dapat diprediksi. Pengembangan model kelautan berusaha untuk menggambarkan iklim global dengan cukup baik disertai dengan pengamatan. Namun, variabilitas spasial dan temporal perlu dipahami untuk prediksi yang lebih baik. Pemanasan matahari dan kekuatan angin bervariasi dalam ruang dan waktu yang akan tercermin dalam variabilitas lapisan campuran laut dan suhu permukaan. Oleh karena itu, fokus utama dari tesis ini adalah peran gaya atmosfer lokal pada variabilitas lapisan campuran dan akibatnya pada suhu permukaan laut.

Beberapa studi observasional dan pemodelan telah dilakukan untuk mempelajari pengaruh interaksi atmosfer-laut terhadap variabilitas suhu permukaan laut (SST), salinitas permukaan laut (SSS), klorofil-a (chl-a), kedalaman lapisan campuran (MLD) dan sirkulasi pada wilayah perairan Samudera Hindia, diantaranya adalah, (Kantha *et al.*, 2019) yang meneliti tentang pencampuran turbulen di lapisan atas BoB utara dipengaruhi oleh lapisan dangkal yang menutupi perairan asin teluk, yang dihasilkan dari arus besar air tawar dari sungai-sungai besar yang mengalir dari anak benua Asia dan dari curah hujan di atas teluk selama musim panas. Karena BoB juga berbatasan dengan laut Arab, perbedaan sering terjadi pada musim dingin, yaitu upwelling dan konveksi musim dingin, yang meningkatkan biomassa fitoplankton di Laut Arab, tetapi sangat lemah atau bahkan tidak ada di BoB.

Demikian pula, masukan nutrisi melalui aliran sungai ke BoB tidak cukup untuk meningkatkan stok fitoplankton di luar perairan (Jyothibabu *et al.*, 2021). BoB

memiliki keunikan akibat intrusi air tawar dari curah hujan yang tinggi selama musim panas sebagai hasil penetrasi insolasi matahari di kolom air (Kantha *et al.*, 2019). (Srivastava *et al.*, 2018) mensimulasikan model tanpa gaya angin dekat permukaan, hasilnya adalah SST (*Sea Surface Temperature*) wilayah tersebut sangat meningkat di semua musim, sedangkan, tanpa adanya gaya radiasi gelombang pendek yang masuk, mereka mendapatkan hasil yang benar-benar berlawanan. Ditemukan bahwa pengaruh pemaksaan fluks air tawar pada SST wilayah tersebut sangat kecil. Ditemukan juga bahwa SSS (*Sea Surface Salinity*) laut Arab dan BoB menurun tanpa adanya gaya angin dekat permukaan dan radiasi gelombang pendek yang masuk, sedangkan di BoB utara meningkat tanpa adanya gaya fluks air tawar (Srivastava *et al.*, 2018).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Pada latar belakang, telah diuraikan penelitian-penelitian terkait MLD dan mengapa MLD penting untuk menggambarkan iklim global. Telah dijelaskan pula secara ringkas mengenai hal-hal apa saja yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Fokus dari penelitian tesis ini adalah menjawab masalah utama, yaitu

Bagaimana pengaruh parameter meteorologi terhadap kedalaman lapisan campuran (*Mixed Layer Depth*) di Perairan Aceh?

Subpertanyaan berikut akan berkontribusi pada perumusan jawaban atas masalah utama.

- Bagaimana analisis kedalaman lapisan campuran (MLD) di wilayah perairan Aceh dalam 12 bulan pada tahun 2021?
- Bagaimana analisis model iklim untuk parameter-parameter meteorologi *2m air temperature*, *2m specific humidity*, *convective precipitation rate*, *sea level pressure*, *wind stress U*, dan *wind stress V* selama 22 tahun, tahun 2000 - 2021?
- Bagaimana hubungan parameter meteorologi terhadap analisis kedalaman lapisan campuran (MLD) di wilayah perairan Aceh?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tesis ini adalah mencari tahu pengaruh parameter meteorologi terhadap kedalaman lapisan campuran (*Mixed Layer Depth*) di Perairan Aceh dengan cara menjawab beberapa masalah terkait,

- Analisis kedalaman lapisan campuran (MLD) di wilayah perairan Aceh dalam 12 bulan pada tahun 2021.
- Analisis model iklim untuk parameter-parameter meteorologi *2m air temperature*, *2m specific humidity*, *convective precipitation rate*, *sea level pressure*, *wind stress U*, dan *wind stress V* selama 22 tahun, tahun 2000 - 2021.
- Hubungan parameter meteorologi terhadap analisis kedalaman lapisan campuran (MLD) di wilayah perairan Aceh.

### **1.4. Urgensi dan Kebaruan Penelitian**

Sejauh pengamatan kami, studi secara detail terkait 6 parameter meteorologi dan dampaknya terhadap lapisan vertikal di wilayah perairan Aceh belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, dirasa penting untuk melakukan penelitian ini guna mengetahui pengaruh parameter meteorologi terhadap kedalaman lapisan campuran (MLD).

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dan memperkaya pengetahuan tentang kedalaman lapisan campuran atau MLD. Hal ini karena MLD berperan penting secara iklim fisik dalam hal menentukan interval kisaran temperatur di wilayah laut dan pesisir. Sebagai tambahan, panas yang tersimpan dalam lapisan campuran menyediakan sumber panas yang mendorong variabilitas global seperti El Niño. MLD juga berperan dalam menentukan tingkatan rata-rata cahaya yang dapat dilihat oleh organisme laut seperti fitoplankton. Selain itu, dari periodisitas model iklim yang diperoleh akan bermanfaat untuk tujuan fishing ground, mitigasi perubahan

iklim dan bencana hidro-oseanografi, tata ruang dan konservasi laut, dan sumber energi terbarukan.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Tesis ini tersusun atas 5 bab. Bab pertama menjelaskan pendahuluan tentang latar belakang mengapa penelitian ini dilakukan, background masalah yang mendasari, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta kebaruan dari penelitian. Bab kedua berisikan tinjauan pustaka menyangkut ulasan singkat materi penelitian. Bab ketiga membahas tentang metode penelitian yang dilakukan, data yang digunakan, serta diagram alir (*flowchart*) dari penelitian. Bab keempat membahas hasil dan pembahasan penelitian. Terakhir, bab kelima membahas tentang kesimpulan dari penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan lebih detail mengenai pustaka relevan dan tinjauan teori dalam penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk mereview, mengupdate, mengkritik dan mensintesis literatur, melakukan meta-analisis literatur, melakukan konsepsi ulang dari topik yang direview, dan menjawab pertanyaan spesifik penelitian dari topik yang telah direview dalam literatur (Torraco, 2016).

### 2.1. Persamaan Primitif

Model sirkulasi laut atau *Ocean General Circulation Models* (OGCM) menggunakan persamaan Navier-Stokes untuk memodelkan fenomena fisis yang terjadi di lautan. Lautan adalah fluida yang dapat dijelaskan dengan baik dengan pendekatan persamaan-persamaan primitif, yaitu persamaan Navier-Stokes serta persamaan keadaan nonlinier yang menggabungkan dua variabel (temperatur dan salinitas) dengan kecepatan fluida, dan mempertimbangkan beberapa asumsi dan hipotesis (Gurvan *et al.*, 2022).

Beberapa asumsi yang digunakan dalam persamaan Navier-Stokes diantaranya asumsi Boussinesq, asumsi hidrostatik, dan asumsi tak termampatkan (*incompressibility*). Misalkan  $\rho$  sebagai densitas in situ,  $T$  sebagai temperatur potensial,  $S$  sebagai salinitas,  $p$  sebagai tekanan,  $z$  sebagai koordinat vertikal, dan  $g$  sebagai percepatan gravitasi. Asumsi yang digunakan dalam persamaan Navier-Stokes dapat dituliskan sebagai berikut.

Asumsi Boussinesq

$$\rho = \rho(T, S, p). \quad (2.1)$$

Berdasarkan asumsi Boussinesq, pengaruh variasi densitas terhadap sistem diabaikan kecuali kontribusinya terhadap gaya apung.

Asumsi hidrostatik

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g. \quad (2.2)$$

Berdasarkan asumsi hidrostatik, persamaan momentum vertikal direduksi menjadi

persamaan kesetimbangan antara variabel gradien tekanan vertikal dan gaya apung.

Asumsi tak termampatkan

$$\nabla \cdot U = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (2.3)$$

Berdasarkan asumsi tak termampatkan, persamaan 3-D divergensi untuk vektor kecepatan  $U = (u, v, w)$  (dalam koordinat kartesius  $(x, y, z)$ ) dianggap sama dengan 0.

Selanjutnya misalkan  $U = U_h + wk$  ( $h$  adalah notasi vektor horizontal lokal di atas bidang  $(i, j)$ ). Persamaan vektor invarian (invarian di bawah transformasi koordinat sehingga dapat diterapkan secara seragam dalam sistem koordinat lengkung ortogonal mana pun) dari persamaan primitif dalam sistem vektor  $(i, j, k)$  dapat dituliskan dalam persamaan berikut (Gurvan *et al.*, 2022).

Persamaan kesetimbangan momentum

$$\frac{\partial U_h}{\partial t} = - \left[ (\nabla \times U) \times U + \frac{1}{2} \nabla(U^2) \right]_h - f k \times U_h - \frac{1}{\rho_o} \nabla_h p + D^U + F^U. \quad (2.4)$$

Dalam Persamaan (2.4) di atas, suku  $(\nabla \times U) \times U + \frac{1}{2} \nabla(U^2)$  dapat ditulis sebagai  $U \cdot \nabla U$  dan merupakan suku percepatan konvektif dari persamaan momentum. Suku  $\nabla_h p$  merupakan gradien tekanan,  $f = 2\Omega \cdot k$  merupakan percepatan Coriolis (dengan  $\Omega$  adalah vector kecepatan sudut bumi),  $D^U$  merupakan parameterisasi dari fisika skala kecil untuk momentum sedangkan  $F^U$  merupakan suku gaya permukaan untuk momentum.

Persamaan konservasi panas dan salinitas

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= -\nabla \cdot (T U) + D^T + F^T \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= -\nabla \cdot (S U) + D^S + F^S, \end{aligned} \quad (2.5)$$

dengan operator  $\nabla$  sebagai vektor turunan yang diperumum dalam arah  $(i, j, k)$ , variabel  $D^T$  dan  $D^S$  merupakan parameterisasi dari fisika skala kecil untuk temperatur dan salinitas sedangkan variabel  $F^T$  dan  $F^S$  merupakan suku gaya permukaan untuk temperatur dan salinitas.

Dalam aplikasinya, persamaan Navier-Stokes tidak hanya digunakan untuk memodelkan laut, tapi juga merambah ke bidang pemodelan cuaca (Rohli dan Li, 2021), aliran air dalam pipa (Ouchiha *et al.*, 2012) dan aliran udara di sekitar sayap pesawat (Tulus *et al.*, 2019). Dalam bentuk persamaan lengkap dan simplifikasi, persamaan ini juga dapat digunakan untuk mendesain kereta api (Croquer *et al.*, 2020), pesawat terbang (Chau dan Zingg, 2021), dan mobil (Ambarita *et al.*, 2018). Terdapat juga studi tentang aliran darah (Gill *et al.*, 2021), desain stasiun pembangkit listrik (Yang *et al.*, 2019), dan analisis polusi udara (Issakhov *et al.*, 2022).

## 2.2. Model Iklim

Aplikasi deret waktu (*time series*) banyak melibatkan data yang menunjukkan siklus musiman. Contoh yang paling umum digunakan adalah data cuaca. Dalam penelitian Haridhi *et al.* (2016), model nonlinear regresi digunakan untuk mengkarakterisasi hubungan antara SST (*sea surface temperatur*) dan ND (*net deployment*) - penyebaran jaring nelayan pukat cincin tradisional. Untuk memvalidasi temuan ini, mereka menggunakan persamaan siklus musiman Crawley (2012) dan mencari korelasi antara data SST dan data meteorologi. Dilain hal, Ikhwan *et al.* (2022) dalam penelitiannya mengkaji tentang kedalaman lapisan campuran (MLD) di laut Andaman menggunakan data salinitas (SSS) dari model 3-D CMEMS (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service*). Model iklim digunakan untuk mengidentifikasi dan memvalidasi jumlah musim MLD dalam setahun. Misalkan sebuah titik bergerak dengan kecepatan konstan pada suatu lingkaran dengan jari-jari  $\rho$  dan  $t$  adalah waktu yang dihitung saat jari-jari terhubung dengan titik pusat pada sudut  $\theta$  dibawah sumbu horizontal. Jika titik tersebut diproyeksikan pada sumbu horizontal maka jarak proyeksi dari titik pusat dapat dituliskan sebagai

$$x = \rho \cos(\omega t - \theta), \quad (2.6)$$

dengan  $\rho$  adalah amplitudo,  $\omega$  adalah kecepatan sudut atau frekuensi, dan  $\theta$  adalah perpindahan fase. Gerakan proyeksi bolak-balik sepanjang sumbu horizontal digambarkan sebagai gerak harmonik sederhana.

Kecepatan sudut diukur dalam radian per satuan periode, kuantitas  $2\pi/\omega$  ada-

lah periode siklus. Pergerakan fase, juga diukur dalam radian, menunjukkan sejauh mana fungsi kosinus telah berpindah oleh pergeseran sepanjang waktu. Jadi, alih-alih puncak fungsi terjadi pada waktu  $t = 0$ , seperti yang terjadi pada fungsi kosinus biasa, sekarang terjadi pada waktu  $t = \theta/\omega$ . Selanjutnya perhatikan bahwa  $\cos(A - B) = \cos(A) \cos(B) + \sin(A) \sin(B)$ , akibatnya persamaan (2.6) dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos(\theta) \cos(\omega t) + \rho \sin(\theta) \sin(\omega t) \\ &= \alpha \cos(\omega t) + \beta \sin(\omega t), \end{aligned} \quad (2.7)$$

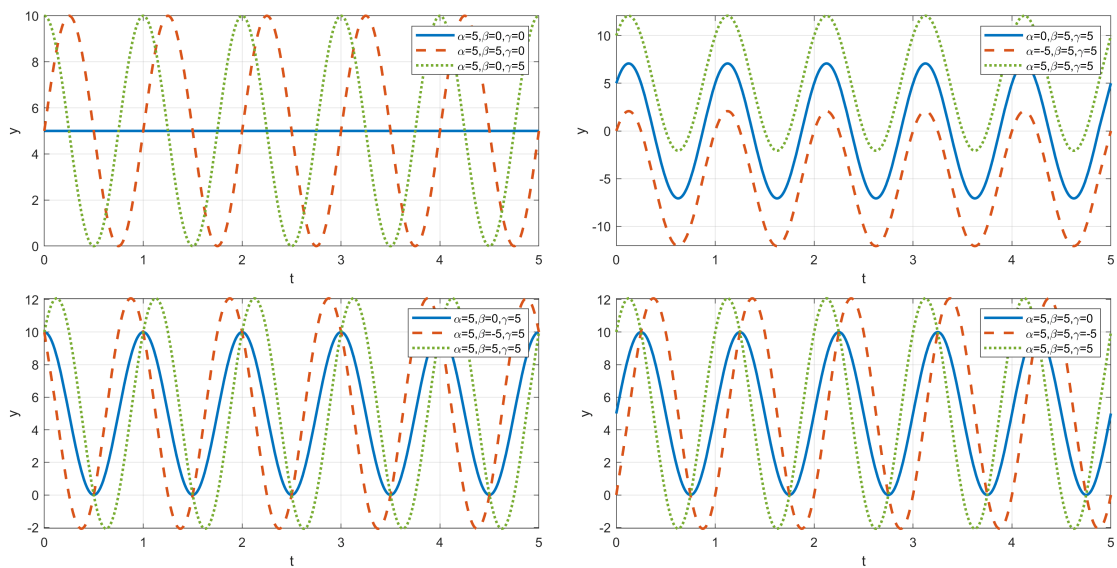
dengan

$$\alpha = \rho \cos(\theta), \quad \beta = \rho \sin(\theta), \quad \text{dan} \quad \alpha^2 + \beta^2 = \rho^2.$$

Persamaan untuk siklus musiman (Crawley, 2012) dapat dituliskan sebagai

$$y = \alpha + \beta \sin(2\pi t) + \gamma \cos(2\pi t) + \epsilon, \quad (2.8)$$

dengan  $\alpha$  adalah konstanta pergeseran vertikal,  $\beta$  adalah amplitudo dari gelombang sinus,  $\gamma$  adalah amplitudo dari gelombang kosinus,  $t$  adalah waktu, dan  $\epsilon$  adalah elemen residual yang mewakili komponen *white-noise* tidak beraturan dalam proses pengambilan data.



Gambar 2.1. Kurva persamaan siklus musiman untuk beberapa nilai  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ .



Gambar 3.2 menampilkan ilustrasi persamaan 3.1 untuk nilai  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  yang berbeda. Nilai  $\alpha$  yang berbeda mempengaruhi posisi kurva terhadap sumbu-y. Sedangkan nilai  $\beta$  dan  $\gamma$  yang berbeda mempengaruhi posisi kurva terhadap sumbu-x.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Domain dan Data Penelitian**

##### **3.1.1. Domain Penelitian**

Penelitian ini mengkaji hubungan antara IOD, variabel oseanografi (arus, temperatur, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih) dan meteorologi (laju presipitasi dan angin) di Samudera Hindia dengan koordinat ( $0^{\circ} - 24.6^{\circ}$  N) dan ( $78.2^{\circ} - 105^{\circ}$  E) (lihat Gambar 3.1).

##### **3.1.2. Data Penelitian**

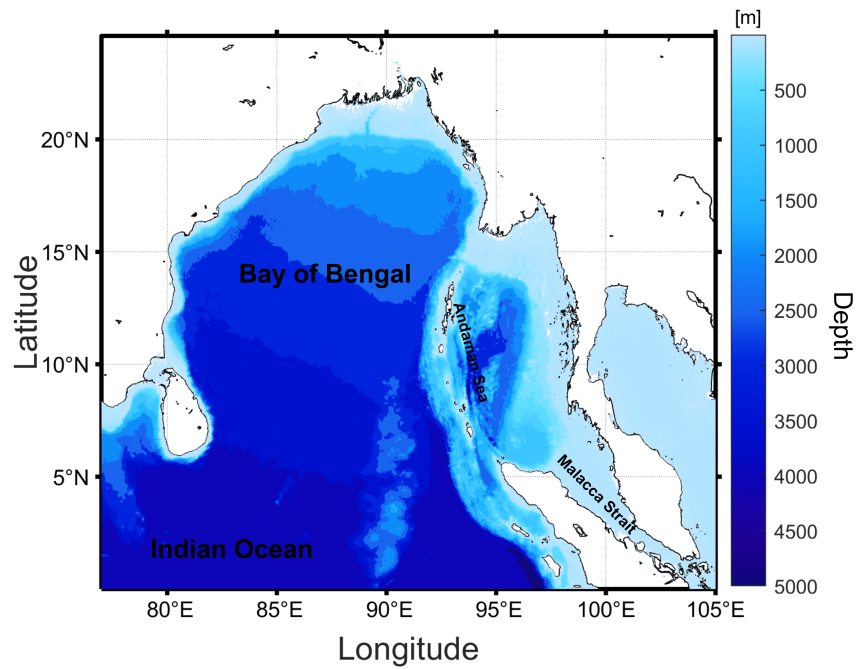
Data yang digunakan dapat dilihat secara lengkap dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Rangkuman data penelitian

| No | Data               | Periode   | Sumber      | Referensi |
|----|--------------------|-----------|-------------|-----------|
| 1  | IOD                | 1994-2021 | AUSS        | AUSS      |
| 2  | Arus               | 1994-2021 | CMEMS/HYCOM | AUSS      |
| 3  | Temperatur laut    | 1994-2021 | CMEMS/HYCOM | AUSS      |
| 4  | Salinitas          | 1994-2021 | CMEMS/HYCOM | AUSS      |
| 5  | MLD                | 1994-2021 | CMEMS       | AUSS      |
| 6  | Chl-a              | 1994-2021 | CMEMS/MODIS | AUSS      |
| 7  | Fluks air tawar    | 1994-2017 | J-OFURO3    | AUSS      |
| 8  | Fluks panas bersih | 1994-2017 | J-OFURO3    | AUSS      |
| 9  | Laju presipitasi   | 1994-2021 | NCEP/NCAR   | AUSS      |
| 10 | Angin              | 1994-2021 | NCEP/NCAR   | AUSS      |

##### **3.1.3. Pengumpulan Data**

Data dalam Tabel 3.1 merupakan data yang tersedia secara gratis dan bersifat terbuka. Data ini dapat diunduh secara langsung pada website penyedia data ataupun menggunakan koding. Koding dengan bahasa *Shell script* (terminal Linux) disajikan dalam Lampiran 1.



Gambar 3.1. Peta batimetri Samudera Hindia, diperoleh dari SRTM30+ (Becker *et al.*, 2009). Warna dalam peta menunjukkan kedalaman 0-5000 m sedangkan pulau digambarkan tanpa warna.

### 3.2. Analisis Data

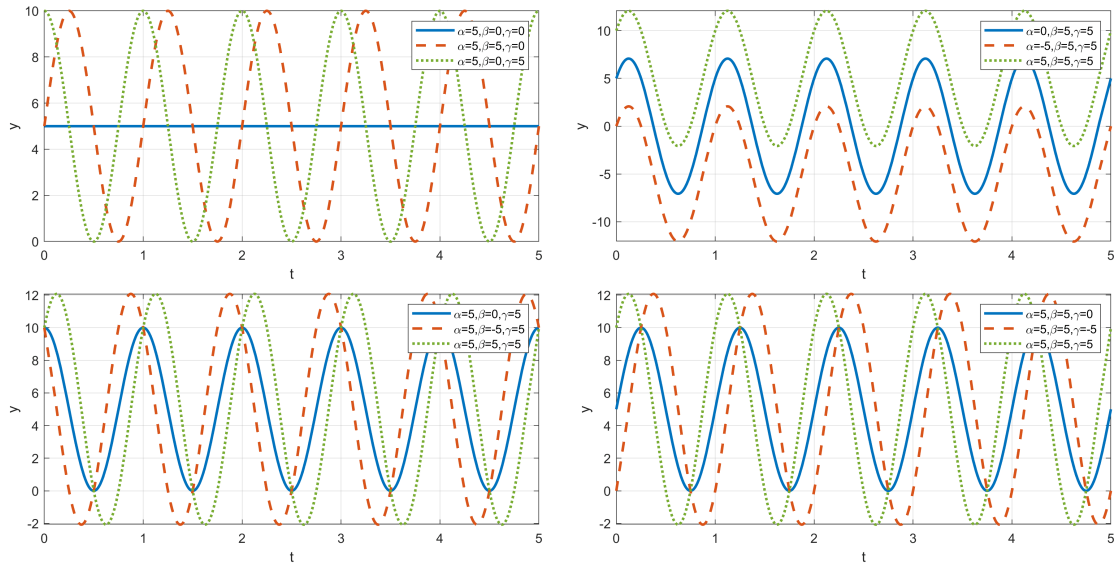
#### 3.2.1. Model Musiman

Persamaan siklus musiman (Crawley, 2012) dapat dituliskan sebagai

$$y = \alpha + \beta \sin(2\pi t) + \gamma \cos(2\pi t) + \epsilon, \quad (3.1)$$

dengan  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  adalah konstanta pergeseran vertikal, amplitudo dari gelombang sinus, dan amplitudo dari gelombang kosinus. Dalam persamaan ini,  $t$  adalah waktu dan  $\epsilon$  adalah elemen residual yang mewakili komponen *white-noise* tidak beraturan dalam proses pengambilan data.

Gambar ini merupakan ilustrasi persamaan 3.1 untuk nilai  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  yang berbeda. Nilai  $\alpha$  yang berbeda mempengaruhi posisi kurva terhadap sumbu-y. Sedangkan nilai  $\beta$  dan  $\gamma$  yang berbeda mempengaruhi posisi kurva terhadap sumbu-x.



Gambar 3.2. Ilustrasi persamaan model musiman.

### 3.2.2. Analisis Korelasi

Penelitian ini menganalisis hubungan antara IOD, variabel oseanografi (arus, temperatur, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih) dan meteorologi (laju presipitasi dan angin). Persamaan korelasi dan koefisien korelasi yang digunakan dapat dituliskan sebagai (Hidayat *et al.*, 2023; Haditiar *et al.*, 2020)

$$y = a + rx$$

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3.2)$$

dengan  $\alpha$  adalah konstanta titik potong sumbu- $y$ ,  $r$  adalah kemiringan dari garis regresi (koefisien regresi),  $x_i, y_i$  adalah variable yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi dengan  $i$  adalah indeks data. Sedangkan  $\bar{x}$  dan  $\bar{y}$  adalah rata-rata.

### 3.3. Prosedur Penelitian

#### 3.3.1. Penentuan Kedalaman Lapisan Campuran

MLD ditentukan dengan menggunakan data temperatur HYCOM dari hasil penggambaran *cross-section* pada bagian selatan BoB, di latitude 9°C, dan bagian utara BoB, di latitude 19°C. *Cross-section* temperatur menggunakan kriteria beda

hingga, khususnya kriteria nilai *threshold* temperatur,  $\Delta t = 0.1^{\circ}\text{C}$  dengan referensi dari permukaan laut (0, 0). Cara yang digunakan untuk mengestimasi ketebalan MLD adalah dengan cara melihat perubahan temperatur pada setiap kedalaman. Gambar *cross-section* temperatur diplot terlebih dahulu tanpa kontur menggunakan kriteria *threshold*  $0.1^{\circ}\text{C}$  untuk menghasilkan gambar dengan warna biru, hijau, dan kuning yang berbeda yang merupakan representasi dari perubahan temperatur. Gambar kontur kemudian ditambahkan untuk melihat secara jelas nilai temperatur berdasarkan interval  $1^{\circ}\text{C}$ . Indikator nilai ketebalan MLD berdasarkan perubahan warna dan temperatur yang terjadi pertama kali dari permukaan laut pada gambar.

### 3.3.2. Alur Penelitian

Prosedur penelitian mengikuti diagram alir pada Gambar ?? dan dapat dijelaskan sebagai berikut.

- **Start.** *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Matlab dan R.
- **Input.** Data-data terkait penelitian yang akan digunakan sebagai *input* didownload terlebih dahulu.
- **Process.** Setelah data tersedia, data kemudian diinterpolasi untuk memenuhi data yang kosong serta untuk memperoleh resolusi spasial yang lebih tinggi. Selanjutnya data hasil interpolasi kemudian dibaca dan di konversi ke dalam data matriks pada Matlab.
- **Output.** Hasilnya adalah peta arus, elevasi, temperatur, dan data meteorologi.
- **Process.** Peta temperatur kemudian diobservasi untuk menentukan kedalaman lapisan campuran selama 12 bulan. Selanjutnya, dilakukan analisis model iklim terhadap data meteorologi (*2m air temperature*, *2m specific humidity*, *convective precipitation rate*, *sea level pressure*, *wind stress U*, dan *wind stress V*) selama 22 tahun dari tahun 2002 sampai 2021.
- **Output.** Terakhir, diperoleh hasil analisis hubungan MLD dan model iklim.

## **BAB IV**

### **BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN**

#### **4.1. Biaya Penelitian**

Anggaran biaya penelitian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Ringkasan anggaran biaya penelitian

| No    | Jenis Pengeluaran   | Biaya yang diusulkan (Rp) |
|-------|---|---------------------------|
| 1     | Honorarium untuk pelaksana, petugas laboratorium, pengumpul data, pengolah data, dan penganalisis data.   | 19.500.000                |
| 2     | Pembelian bahan habis pakai untuk ATK, fotocopy, surat menyurat, penyusunan laporan, cetak, penjilidan, publikasi, pulsa, internet, dan bahan laboratorium. | 71.400.000                |
| 3     | Perjalanan untuk biaya survei/sampling data, seminar/workshop DN-LN, biaya akomodasi, konsumsi, perdiem/lumpsum, transport.                                 | 59.100.000                |
| 4     | Sewa untuk peralatan/mesin/ruang laboratorium, kendaraan, dan peralatan penunjang penelitian lainnya.   | 0                         |
| Total |   | 150.000.000               |

## 4.2. Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian disusun berdasarkan lama studi yang telah ditempuh dan akan ditempuh. Penelitian diusulkan dalam tiga tahun, dengan rincian kegiatan sebagai berikut:

Tabel 4.2. Ringkasan jadwal pelaksanaan penelitian

| No | Kegiatan                                  | Tahun I   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|----|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|    |   | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1  | Studi literatur                           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2  | Penyusunan proposal                       |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3  | Persiapan data model dan data observasi   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 4  | Pemrosesan data                           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| No | Kegiatan                                  | Tahun II  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|    |   | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 5  | Pemrosesan data lanjutan                  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 6  | Hasil dan analisis                        |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 7  | Publikasi 1                               |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8  | Studi literatur lanjutan                  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 9  | Hasil dan analisis                        |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| No | Kegiatan                                  | Tahun III |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|    |   | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 10 | Publikasi 2                               |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 11 | Studi literatur untuk penulisan disertasi |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 12 | Penyusunan disertasi                      |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

## DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, H., Siregar, M. R., dan Kawai, H. (2018, mar). Study on aerodynamics characteristics an urban concept car for energy-efficient race. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 343(1), 012025. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/343/1/012025> doi: 10.1088/1757-899X/343/1/012025
- Becker, J., Sandwell, D., Smith, W., Braud, J., Binder, B., Depner, J., ... others (2009). Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: Srtm30\_plus. *Marine Geodesy*, 32(4), 355–371.
- Chau, T., dan Zingg, D. W. (2021). Aerodynamic Optimization of a Transonic Strut-Braced-Wing Regional Aircraft Based on the Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations. In *Aiaa aviation and aeronautics forum and exposition, aiaa aviation forum 2021*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA. Retrieved from <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2021-2526> doi: 10.2514/6.2021-2526
- Crawley, M. J. (2012). *The r book*. John Wiley & Sons.
- Croquer, S., Fellouah, H., dan Poncet, S. (2020, jul). Aerodynamic Performance of Different Metro Train Geometries through a Straight Tunnel Based on Steady and Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes Modeling. *SAE Technical Papers*, 2020-January, 91–104. Retrieved from <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2020-01-5068/> doi: 10.4271/2020-01-5068
- Eakins, B., dan Sharman, G. (2010). *Volumes of the World's Oceans from ETOPO1 | NCEI*. Retrieved 2022-07-31, from [https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo1\\_ocean\\_volumes.html](https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo1_ocean_volumes.html)
- Gill, H., Fernandes, J., Chehab, O., Prendergast, B., Redwood, S., Chiribiri, A., ... Lamata, P. (2021, dec). Evaluation of aortic stenosis: From Bernoulli and Doppler to Navier-Stokes. *Trends in Cardiovascular Medicine*. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1050173821001468> doi: 10.1016/j.tcm.2021.12.003
- Gurvan, M., Bourdallé-Badie, R., Chanut, J., Clementi, E., Coward, A., Ethé, C., ... Moulin, A. (2022, March). *Nemo ocean engine*. Zenodo. Retrieved from <https://doi.org/10.5281/zenodo.6334656> doi: 10.5281/zenodo.6334656
- Haditjar, Y., Putri, M. R., Ismail, N., Muchlisin, Z. A., Ikhwan, M., dan Rizal, S. (2020, sep). Numerical study of tides in the Malacca Strait with a 3-D model. *Helvion*, 6(9), e04828. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020316716> doi: 10.1016/j.helivon.2020.e04828
- Haridhi, H. A., Nanda, M., Wilson, C. R., dan Rizal, S. (2016, nov). Preliminary study of the sea surface temperature (SST) at fishing ground locations based on the net deployment of traditional purse-seine boats in the northern waters of Aceh - A community-based data collection approach. *Regional Studies in Marine Science*, 8, 114–121. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352485516302146> doi: 10.1016/j.rsma.2016



.10.002

- Hidayat, M., Wafdan, R., Ramli, M., Muchlisin, Z., dan Rizal, S. (2023). Relationship between chlorophyll-a, sea surface temperature, and sea surface salinity. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9(3), 389–402.
- Ikhwan, M., Haditiar, Y., Wafdan, R., Ramli, M., Muchlisin, Z. A., dan Rizal, S. (2022, feb). Seasonal variability of mixed layer depth in the Andaman Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–10. Retrieved from <https://link.springer.com/10.1007/s13762-022-03976-5> doi: 10.1007/s13762-022-03976-5
- Issakhov, A., Tursynzhanova, A., dan Abylkassymova, A. (2022, may). Numerical study of air pollution exposure in idealized urban street canyons: Porous and solid barriers. *Urban Climate*, 43, 101112. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221209552200030X> doi: 10.1016/j.uclim.2022.101112
- Jyothibabu, R., Karnan, C., Arunpandi, N., Santhi Krishnan, S., Balachandran, K., dan Sahu, K. (2021, feb). Significantly dominant warm-core eddies: An ecological indicator of the basin-scale low biological production in the Bay of Bengal. *Ecological Indicators*, 121, 107016. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X20309559> doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107016
- Kantha, L., Weller, R. A., Farrar, J. T., Rahaman, H., dan Jampana, V. (2019, oct). A note on modeling mixing in the upper layers of the Bay of Bengal: Importance of water type, water column structure and precipitation. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 168, 104643. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967064519300657> doi: 10.1016/j.dsr2.2019.104643
- Ouchiha, Z., Loraud, J. C., Ghezal, A., Kessal, M., Benzaoui, A., dan Ghiaasiaan, S. M. (2012, apr). An investigation of highly pressurized transient fluid flow in pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 92, 106–114. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308016111001645> doi: 10.1016/j.ijpvp.2011.11.006
- Rohli, R. V., dan Li, C. (2021). The seven basic equations in weather forecasting models. In *Meteorology for coastal scientists* (pp. 171–185). Cham: Springer International Publishing. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-3-030-73093-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-73093-2_18) doi: 10.1007/978-3-030-73093-2\_18
- Srivastava, A., Dwivedi, S., dan Mishra, A. K. (2018, apr). Investigating the role of air-sea forcing on the variability of hydrography, circulation, and mixed layer depth in the Arabian Sea and Bay of Bengal. *Oceanologia*, 60(2), 169–186. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0078323417300957> doi: 10.1016/j.oceano.2017.10.001
- Torraco, R. J. (2016, jul). Writing Integrative Reviews of the Literature. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*, 7(3), 62–70. Retrieved from <https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJAVET.2016070106> doi: 10.4018/IJAVET.2016070106
- Tulus, Khairani, C., Marpaung, T. J., dan Suriati. (2019, nov). Computational Ana-

- lysis of Fluid Behaviour Around Airfoil with Navier-Stokes Equation. In *Journal of physics: Conference series* (Vol. 1376, p. 012003). IOP Publishing. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1376/1/012003> doi: 10.1088/1742-6596/1376/1/012003
- Yang, D. D., Luo, X. W., Liu, D. M., Huang, R. F., dan Zhu, Z. C. (2019, sep). Unstable flow characteristics in a pump-turbine simulated by a modified Partially-Averaged Navier-Stokes method. *Science China Technological Sciences*, 62(3), 406–416. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11431-017-9259-3> doi: 10.1007/s11431-017-9259-3

## Lampiran 1. Justifikasi Anggaran Penelitian

| <b>1. Honorarium</b>                              |  |                    |                   |                                |
|---|--|--------------------|-------------------|--------------------------------|
| Honor   | Honor/Jam (Rp)   | Waktu (Jam/Minggu) | Minggu            | Honor per Tahun (Rp)           |
| Teknisi 1   | 25.000   | 5                  | 20                | 2.500.000                      |
| Teknisi 2   | 25.000   | 5                  | 20                | 2.500.000                      |
| Pengolah data                                     | 50.000   | 6                  | 5                 | 1.500.000                      |
| Sekretariat                                       | 25.000   | 5                  | 24                | 3.000.000                      |
| SUB TOTAL (Rp)                                    |  |                    |                   | 9.500.000                      |
| <b>2. Pembelian Bahan Habis Pakai</b>             |  |                    |                   |                                |
| Material  | Justifikasi Pemakaian  | Kuantitas          | Harga Satuan (Rp) | Harga Peralatan Penunjang (Rp) |
| ATK   | Bahan pendukung  | 1 paket            | 10.000.000        | 10.000.000                     |
| Eksternal hardisk                                 | Penyimpanan data mentah dan hasil olah data  | 4 paket            | 1.300.000         | 5.200.000                      |
| Print laporan                                     | Pelaporan hasil dan kegiatan penelitian  | 500 lembar         | 2.000             | 1.000.000                      |
| Publikasi prosiding konferensi                    | Biaya 1 paket seminar dan publikasi pada prosiding                                 | 1 kali             | 3.000.000         | 3.000.000                      |
| Fotokopi  | Penggandaan data mentah, hasil analisis, dan draft laporan                         | 5000 lembar        | 250               | 1.250.000                      |
| SUB TOTAL (Rp)                                    |  |                    |                   | 23.800.000                     |
| <b>3. Perjalanan</b>                              |  |                    |                   |                                |
| Material  | Justifikasi Perjalanan   | Kuantitas          | Harga Satuan (Rp) | Biaya per Tahun (Rp)           |
| Transportasi seminar/workshop DN/LN               | Transportasi udara dari Banda Aceh ke kota tujuan seminar DN/LN                    | 1 kali PP          | 14.000.000        | 14.000.000                     |
| Akomodasi penginapan                              | Penginapan di hotel bintang tiga/empat   | 3 malam            | 1.100.000         | 3.300.000                      |
| Konsumsi/uang saku seminar/workshop DN/LN         | Konsumsi yang tidak ditanggung oleh hotel dan penyelenggara seminar/workshop DN/LN | 3 hari             | 800.000           | 2.400.000                      |
| SUB TOTAL (Rp)                                    |  |                    |                   | 19.700.000                     |
| <b>4. Sewa</b>                                    |  |                    |                   |                                |
| Material  | Justifikasi Sewa   | Kuantitas          | Harga Satuan (Rp) | Biaya per Tahun (Rp)           |
| -   | -  | -                  | -                 | 0                              |
| SUB TOTAL (Rp)                                    |  |                    |                   | 0                              |
| TOTAL ANGGARAN YANG DIPERLUKAN SETIAP TAHUN (Rp)  |  |                    |                   | 50.000.000                     |
| TOTAL ANGGARAN YANG DIPERLUKAN SELURUH TAHUN (Rp) |  |                    |                   | 150.000.000                    |

## **Lampiran 2. Dukungan Sarana dan Prasarana Penelitian**

Dukungan yang memungkinkan terlaksananya penelitian ini adalah tersedianya saran dan prasarana seperti:

1. Laboratorium Laboratorium Pemodelan Oseanografi Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
2. Sarana/prasarana umum Ruang diskusi Prodi DMAS USK.

### **Lampiran 3. Surat Pernyataan Mahasiswa**

#### **SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muh. Nur Hidayat

NPM : 2209300070026

Prodi : Doktor Matematika dan Aplikasi Sains

Dengan ini menyatakan bahwa proposal penelitian saya dengan judul:

Aplikasi Model Numerik Tiga Dimensi untuk Simulasi Hidrodinamika Laut

yang diusulkan untuk memenuhi Mata Kuliah Proposal Disertasi (MASP02) pada Program Studi Doktor Matematika dan Aplikasi Sains (DMAS) bersifat original dan bebas plagiat.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan kelulusan untuk Mata Kuliah ini akan dibatalkan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Banda Aceh, 15 Juni 2023  
Yang menyatakan,

Muh. Nur Hidayat  
NPM. 2108201010005