

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

Penelitian ini membahas tentang *Indian Ocean Dipole* (IOD), yang merupakan perbedaan suhu permukaan laut antara Samudra Hindia bagian barat tropis dan Samudra Hindia bagian timur tropis. IOD memiliki peran penting dalam sistem iklim global dan dampaknya terhadap musim hujan, pertanian, dan perikanan di wilayah tersebut. Karena meningkatnya emisi gas rumah kaca antropogenik, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan parameter oseanografi dan meteorologi yang menggerakkan IOD untuk memahami hubungan antara IOD dan perubahan iklim. Penelitian ini menggunakan aplikasi pemodelan laut untuk menganalisis interaksi antara parameter oseanografi seperti arus, temperatur laut, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, dan fluks panas bersih, serta parameter meteorologi seperti tekanan angin dan laju presipitasi. Tujuannya adalah untuk memberikan wawasan tentang mekanisme yang mendorong IOD dan potensi responsnya terhadap perubahan iklim. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pemahaman kita tentang interaksi kompleks antara laut dan atmosfer di wilayah Samudra Hindia.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
RINGKASAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Urgensi Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait dan Tahapan Penelitian IOD	6
2.2 Model Numerik dan Parameter	7
2.3 <i>Road Map</i> Penelitian	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1 Domain dan Data Penelitian	10
3.1.1 Domain Penelitian	10
3.1.2 Data Penelitian	10
3.1.3 Pengumpulan Data	11
3.2 Analisis Data	12
3.2.1 Model Musiman	12
3.2.2 Analisis Korelasi	14
3.3 Prosedur Penelitian	14
BAB IV BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN	16
4.1 Biaya Penelitian	16
4.2 Jadwal Penelitian	17
DAFTAR PUSTAKA	18
LAMPIRAN-LAMPIRAN	22

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.1	Jenis luaran dan indikator capaian tiap tahun	5
Tabel 3.1	Rangkuman data penelitian.....	11
Tabel 4.1	Ringkasan anggaran biaya penelitian	16
Tabel 4.2	Ringkasan jadwal pelaksanaan penelitian	17

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Road Map Penelitian	9
Gambar 3.1 Peta batimetri Samudra Hindia, diperoleh dari SRTM30+ (Becker <i>et al.</i> , 2009). Warna dalam peta menunjukkan kedalaman 0-5000 m sedangkan pulau digambarkan tanpa warna.	12
Gambar 3.2 Ilustrasi persamaan model musiman.	13
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian	15

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Kode Skrip untuk Mengunduh Data.....	22
Lampiran 2. Justifikasi Anggaran Penelitian.....	24
Lampiran 3. Dukungan Sarana dan Prasarana Penelitian	25
Lampiran 4. Surat Pernyataan Mahasiswa	26

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Samudra Hindia merupakan salah satu dari tiga Samudra terbesar di dunia, dengan volume lautan mencapai sekitar 19.8% dari total volume lautan di seluruh dunia (Eakins dan Sharman, 2010). Karena wilayahnya yang sangat luas, Samudra Hindia memiliki peran penting dalam sistem iklim global dan oleh karena itu sangat penting untuk dapat memprediksi perubahan yang terjadi di dalamnya.

Indian Ocean Dipole (IOD) merupakan interaksi anomali antara laut dan atmosfer, yang melibatkan osilasi yang tidak teratur dari suhu permukaan laut (*sea surface temperature* (SST)) di Samudra Hindia tropis. IOD adalah perbedaan SST antara Samudra Hindia bagian barat tropis (50° E-70° E, 10° S-10° N) dan Samudra Hindia bagian timur tropis (90° E-110° E, 10° S-0° N) (Shunmugapandi *et al.*, 2022; Thushara dan Vinayachandran, 2020; Sattar dan Cheung, 2019). Kekuatan IOD diukur berdasarkan *Dipole Mode Index* (DMI), untuk menghitung perbedaan anomali suhu permukaan laut antara Samudra Hindia bagian barat tropis dan Samudra Hindia bagian timur tropis (Saji *et al.*, 1999). Kekuatan dan frekuensi kejadian IOD telah terbukti memiliki dampak signifikan pada iklim musim hujan (Qiu *et al.*, 2014), pertanian (Q. Zhang *et al.*, 2016), dan perikanan (Lan *et al.*, 2013) di wilayah tersebut. Dengan peningkatan emisi gas rumah kaca antropogenik, kekhawatiran tentang dampak potensial perubahan iklim pada IOD dan pola iklim yang terkait semakin meningkat.

Untuk lebih memahami hubungan antara IOD dan perubahan iklim, sangat penting untuk memodelkan parameter oseanografi dan meteorologi yang menggerakkan IOD. Penelitian ini akan menggunakan aplikasi pemodelan laut untuk mempelajari keterkaitan antara IOD, parameter oseanografi seperti arus, temperatur laut, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, dan fluks panas bersih, dan parameter meteorologi seperti tekanan angin dan laju presipitasi. Dengan menganalisis interaksi antara parameter-parameter ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang mekanisme yang mendorong IOD dan potensi responsnya terhadap perubahan iklim.

Penggunaan aplikasi pemodelan laut semakin penting dalam studi perubahan iklim, karena memungkinkan para peneliti untuk mensimulasikan dan memprediksi perilaku parameter oseanografi dan meteorologi dari waktu ke waktu. Studi tentang pemodelan laut berkaitan dengan pembentukan model dan sifat-sifat sistem di dalamnya. Dalam praktiknya, pembentukan model ini memanfaatkan model numerik dan program komputasi dengan tujuan untuk mengatasi keterbatasan data observasi (*in situ*), juga untuk alasan efektifitas serta efisiensi biaya dan waktu yang digunakan. Penelitian sebelumnya mengembangkan model numerik dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes untuk memodelkan sirkulasi arus laut dan menganalisis variabel hidrodinamika laut lainnya. Sebagai contoh, simulasi arus laut di perairan Indonesia akibat gaya pembangkit angin menggunakan model persamaan Navier-Stokes 2 dimensi (Rizal *et al.*, 2018; Ikhwan *et al.*, 2019; Haditiar *et al.*, 2019). Model Navier-Stokes yang dibangun dalam penelitian ini menggunakan pendekatan hidrostatik dan nonhidrostatik. Dalam penelitian lain, model persamaan Navier-Stokes 3 dimensi digunakan untuk mengkaji sirkulasi arus pasang surut baroklinik M2 dan hidrodinamika laut yang berasal dari fenomena El Nino (Rizal *et al.*, 2010; Haditiar *et al.*, 2020; Ikhwan *et al.*, 2021).

Model-model ini dapat digunakan untuk mempelajari dampak perubahan iklim pada laut dan ekosistem yang terkait, serta untuk mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan tersebut. Dalam penelitian ini, model laut akan digunakan secara jangka panjang untuk mempelajari IOD, yang diharapkan dapat berkontribusi pada pemahaman kita tentang interaksi kompleks antara laut dan atmosfer di wilayah Samudra Hindia.

1.2. Rumusan Masalah

Secara keseluruhan, masalah utama dari penelitian ini adalah menyelidiki hubungan antara IOD, parameter oseanografi, dan meteorologi seperti arus, suhu, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin dengan menggunakan aplikasi pemodelan laut, serta mengevaluasi dampak potensial perubahan pada IOD dan pola iklim yang terkait. Dengan memahami mekanisme yang mendorong IOD dan dampaknya terhadap perubahan iklim, penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi pada ilmu pengetahuan, yaitu pemahaman tentang inte-

raksi kompleks antara laut dan atmosfer serta memberikan strategi untuk mitigasi dan adaptasi terhadap dampak perubahan iklim di wilayah Samudra Hindia.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah menyelidiki hubungan antara IOD dengan parameter oseanografi dan meteorologi seperti arus, suhu, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin, serta dampaknya terhadap ekosistem laut dengan cara menjawab beberapa tujuan khusus berikut.

- Menggambarkan peta IOD, arus, suhu, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin di Samudra Hindia.
- Menggambarkan dan menganalisis model musiman untuk parameter-parameter oseanografi dan meteorologi, seperti arus, suhu, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin di Samudra Hindia.
- Melakukan analisis korelasi untuk mengukur kekuatan dan arah dari hubungan antara IOD dengan parameter-parameter oseanografi dan meteorologi.

1.4. Urgensi Penelitian

Samudra Hindia merupakan rumah bagi populasi biota laut yang besar dan semakin bertumbuh, di mana banyak dari mereka bergantung pada sumber daya maritimnya. IOD telah terbukti memiliki dampak signifikan pada keanekaragaman hayati laut, perikanan, dan masyarakat pesisir, terutama selama peristiwa ekstrem seperti kekeringan (Pan *et al.*, 2018) dan siklon (Wahiduzzaman *et al.*, 2022). Frekuensi dan intensitas peristiwa ini semakin meningkat dari hari ke hari karena pengaruh perubahan iklim. Oleh karena itu, penting untuk memahami mekanisme yang mendorong variasi IOD agar dapat mengembangkan strategi adaptasi dan mitigasi yang efektif.

Selain itu, Samudra Hindia adalah pemain utama dalam sistem iklim global, dengan keterkaitan yang kuat dengan Samudra Pasifik dan Samudra Atlantik. Perubahan di Samudra Hindia dapat memiliki dampak signifikan pada pola iklim global,

terutama melalui pengaruhnya pada sistem musim hujan yang menyediakan air dan makanan bagi miliaran orang di Asia dan Afrika. Oleh karena itu, memahami interaksi kompleks antara IOD dan parameter-parameter oseanografi dan meteorologi lainnya sangat penting untuk proyeksi dan pengembangan model iklim.

Wilayah Samudra Hindia saat ini mengalami perubahan lingkungan yang cepat akibat aktivitas manusia dan perubahan iklim. Perubahan ini mempengaruhi sifat fisik dan kimia laut, seperti suhu, salinitas, dan ketersediaan nutrisi, yang pada gilirannya mempengaruhi siklus biogeokimia dan ekosistem. IOD adalah salah satu penggerak utama dari perubahan ini, dan memahami korelasinya dengan parameter lain sangat penting untuk memprediksi dan mengurangi dampaknya pada wilayah Samudra Hindia.

Secara keseluruhan, penelitian tentang korelasi antara IOD dan berbagai parameter oseanografi dan meteorologi sangat mendesak untuk dilakukan karena dampak signifikan dari parameter-parameter ini pada wilayah Samudra Hindia, pola iklim global, dan kesejahteraan jutaan orang. Karena perubahan iklim terus mengubah sifat fisik dan kimia laut, memahami korelasi ini kritis untuk mengembangkan strategi adaptasi dan mitigasi yang efektif.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dan kebaruan penelitian tentang IOD terletak pada potensi untuk lebih memahami interaksi kompleks antara berbagai parameter oseanografi dan meteorologi serta dampaknya terhadap wilayah Samudra Hindia. Meskipun beberapa penelitian telah meneliti korelasi antara IOD dengan berbagai parameter oseanografi dan meteorologi, masih banyak yang harus dipelajari tentang mekanisme yang mendorong hubungan ini. Selain itu, karena perubahan iklim terus mengubah sifat fisik dan kimia Samudra Hindia, semakin penting untuk memahami bagaimana perubahan ini akan memengaruhi IOD dan sistem ekologi, sosial, dan ekonomi yang terkait.

Secara khusus, manfaat dari penelitian ini adalah

- Memperoleh peta IOD, arus, suhu, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin di Samudra Hindia.
- Peta dan hasil analisis model musiman untuk parameter-parameter oseanografi

dan meteorologi, seperti arus, suhu, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin di Samudra Hindia.

- Hasil analisis korelasi untuk mengukur kekuatan dan arah dari hubungan antara IOD dengan parameter-parameter oseanografi dan meteorologi.

Adapun target jenis luaran dari penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 1.1

Tabel 1.1. Jenis luaran dan indikator capaian tiap tahun

No	Jenis Luaran	Indikator Capaian		
		TS1	TS+1	TS+2
1	Artikel ilmiah dimuat di jurnal indeks bereputasi (JIB) internasional		2 draft/ submitted	2 reviewed/ accepted
2	Artikel ilmiah dimuat di prosiding internasional		1 draft/ submitted	1 reviewed/ accepted
3	Disertasi			1

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait dan Tahapan Penelitian IOD

Berdasarkan hasil analisis data observasi selama 40 tahun (1958-1997), Saji *et al.* (1999) menunjukkan suatu fenomena mode dipol di Samudera Hindia, yaitu pola variasi internal dengan suhu permukaan laut (*sea surface temperature* (SST)) anomali yang rendah di sekitar Sumatra dan SST yang tinggi di sebelah barat Samudera Hindia, dengan angin dan presipitasi yang menyertainya. Keterkaitan spasial-temporal antara SST dan angin mengungkapkan keterkaitan yang kuat melalui medan presipitasi dan dinamika laut. Proses interaksi udara-laut ini unik dan melekat pada Samudera Hindia, dan terbukti independen dari fenomena El Nino (osilasi selatan). Penemuan mode dipol ini yang menjelaskan sekitar 12% dari variasi SST di Samudera Hindia, dan pada tahun-tahun aktifnya juga menyebabkan curah hujan yang parah di Afrika Timur dan kekeringan di Indonesia.

Liu *et al.* (2023) menemukan anomali salinitas positif yang signifikan di lapisan atas Samudra Hindia tropis pusat selama periode tertentu dan menganalisis kondisi atmosfer dan proses dinamika samudra yang terkait dengan peristiwa ini. Chu *et al.* (2022) mempelajari dinamika variasi antartahunan arus khatulistiwa di Samudra Hindia dan mengukur efek dari mode iklim ENSO dan IOD pada arus. Xing *et al.* (2022) mengeksplorasi respons arus laut khatulistiwa selama fase puncak IOD, yang memberikan umpan balik positif laut yang mendukung puncak IOD. L. Zhang dan Han (2021) meneliti Atlantic Nino dan dampaknya pada iklim regional dan global. Secara keseluruhan, studi-studi ini berkontribusi pada pemahaman kita tentang interaksi kompleks antara arus laut, kondisi atmosfer, dan variabilitas iklim di Samudra Hindia dan Atlantik.

Polonsky dan Torbinsky (2021) mengkaji fitur pembentukan lapisan kritis di zona ekuator-tropika Samudra Hindia, dan bagaimana hal tersebut terkait dengan terbentuknya IOD. Valsala *et al.* (2020) meneliti dampak IOD pada siklus karbon di atas laut dan variasinya di Samudra Hindia, dengan pengamatan biogeo kimia dan model sirkulasi biogeo kimia laut global. Mereka menemukan bahwa IOD menyebabkan

variasi signifikan dalam pengeluaran CO₂ dari laut ke udara di wilayah tenggara tropika Samudra Hindia karena dinamika upwelling dan anomali bergerak ke barat. (Y. Zhang *et al.*, 2020) membedakan IOD dari pola tripole baru yang baru saja ditemukan, yang memiliki SSTAs positif (negatif) di atas wilayah tengah tropika (tenggara dan barat) Samudra Hindia.

2.2. Model Numerik dan Parameter

Dalam subbab ini, akan dibahas mengenai persamaan untuk parameter dan deskripsi tentang model numerik yang digunakan dalam penelitian ini.

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 parameter (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 ρ 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 parameter 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 Ω 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

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

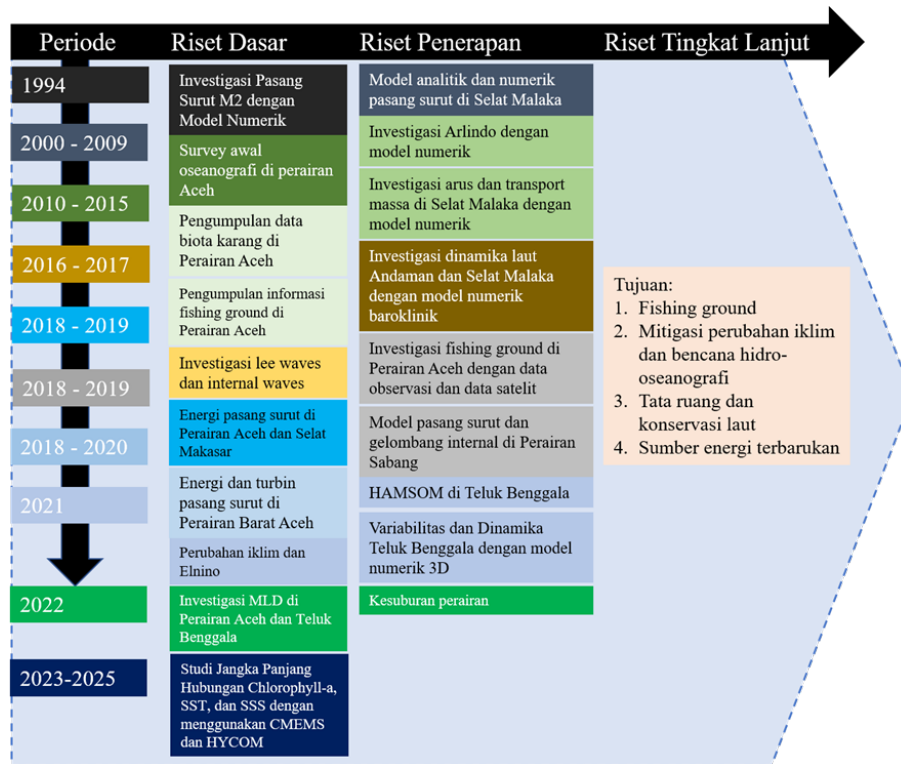
dengan operator ∇ sebagai vektor turunan yang diperumum dalam arah (i, j, k) , parameter D^T dan D^S merupakan parameterisasi dari fisika skala kecil untuk temperatur dan salinitas sedangkan parameter F^T dan F^S merupakan suku gaya permukaan untuk temperatur dan salinitas.

Untuk parameter lainnya seperti kedalaman lapisan campuran atau *mixed layer*

depth (MLD), *chlorophyll-a* (Chl-a), laju presipitasi, fluks air tawar, fluks panas bersih, dan tekanan angin dapat dituliskan sebagai berikut.

2.3. Road Map Penelitian

Road Map penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 2.1



Gambar 2.1. Road Map Penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Domain dan Data Penelitian

3.1.1. Domain Penelitian

Penelitian ini mengkaji hubungan antara IOD, parameter oseanografi (arus, temperatur, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, fluks panas bersih) dan meteorologi (laju presipitasi dan tekanan angin) di Samudra 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

Intensitas IOD direpresentasikan oleh gradien anomali suhu permukaan laut (SST) antara Samudra Hindia ekuator bagian barat ($50^{\circ} E - 70^{\circ} E$ dan $10^{\circ} S - 10^{\circ} N$) dan Samudra Hindia ekuator bagian tenggara ($90^{\circ} E - 110^{\circ} E$ dan $10^{\circ} S - 0^{\circ} N$). Gradien ini dinamakan sebagai *Dipole Mode Index* (DMI) (Jiang *et al.*, 2021; Dwivedi, 2012). Beberapa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data arus laut, temperatur laut, salinitas, MLD, dan Chl-a. Data-data ini dapat diperoleh dari website penyedia data *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) (<https://resources.marine.copernicus.eu/products>) dan *HYbrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) (<https://www.hycom.org>). Data lainnya adalah fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, dan tekanan angin yang bersumber dari *National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research reanalysis I* (NCEP/NCAR) (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>) (Kalnay *et al.*, 1996) dan J-OFURO3 yang merupakan generasi ketiga dari *Japanese ocean flux data set* (<https://www.j-ofuro.com/en/>) yang menggunakan pengamatan penginderaan jarak jauh (Tomita *et al.*, 2019).

Hasil yang sangat baik diperoleh dengan membandingkan data suhu 3D (dalam Kelvin) CMEMS dengan data pengamatan *in situ* pada kedalaman 0 hingga 5 m di Samudra Hindia. Hal ini tercermin dari nilai *Root Mean Square* (RMS), untuk perbandingan *in situ thematic centre* (INS TAC), dengan nilai 0.65, dan untuk data *in situ* CORIOLIS,

dengan nilai 0.44. Perbandingan data salinitas 3D (dalam satuan salinitas praktis (psu)) dengan data pengamatan *in situ* juga menunjukkan hasil yang sangat baik. Nilai RMS pada kedalaman 0 hingga 5 m untuk data global dan Samudra Hindia masing-masing adalah 0.65 dan 0.204 (Lellouche et al., 2019). Sama halnya dengan perbandingan model CMEMS dan konsentrasi *float* Chl-a (*Biogeochemical-Argo* (BGC-Argo), data pengukuran). Hal ini ditunjukkan oleh koefisien korelasi dan *Root Mean Square Error* (RMSE) masing-masing sebesar 0,81 dan 0,59 (Lamouroux et al., 2019).

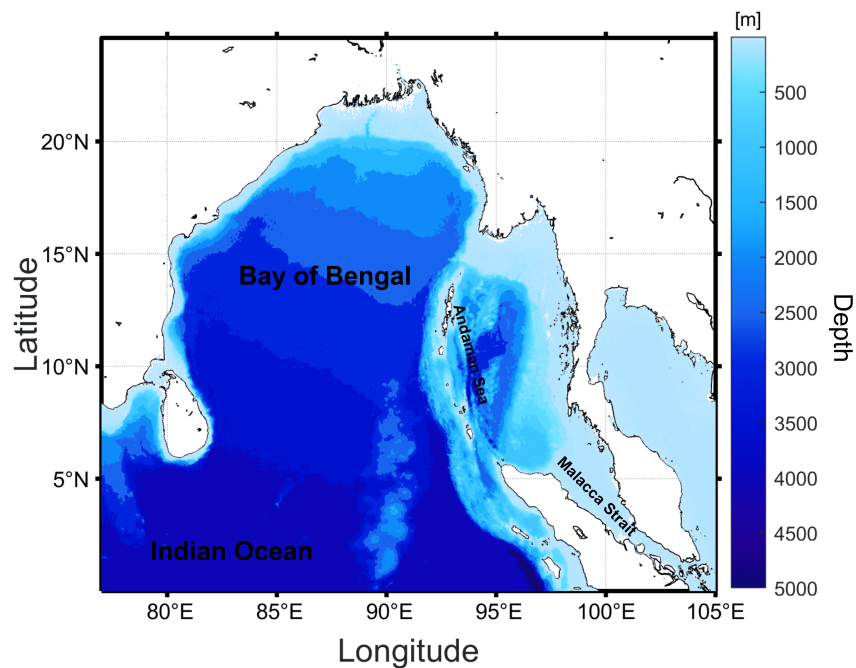
Data yang digunakan dapat dilihat secara lengkap dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Rangkuman data penelitian

No	Data	Periode	Sumber	Referensi
1	DMI	1994-2021	NOAA/PSL	(Saji dan Yamagata, 2003)
2	Arus	1994-2021	CMEMS/HYCOM	(Lellouche et al., 2018; Chassignet et al., 2007)
3	Temperatur laut	1994-2021	CMEMS/HYCOM	(Lellouche et al., 2018; Chassignet et al., 2007)
4	Salinitas	1994-2021	CMEMS/HYCOM	(Lellouche et al., 2018; Chassignet et al., 2007)
5	MLD	1994-2021	CMEMS	(Lellouche et al., 2018)
6	Chl-a	1994-2021	CMEMS	(Lellouche et al., 2018)
7	Fluks air tawar	1994-2017	J-OFURO3	(Tomita et al., 2019)
8	Fluks panas bersih	1994-2017	J-OFURO3	(Tomita et al., 2019)
9	Laju presipitasi	1994-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay et al., 1996)
10	tekanan angin	1994-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay et al., 1996)

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 kode skrip. Kode skrip yang digunakan untuk mengunduh data dengan bahasa *Shell script* (terminal Linux) dan Python disajikan dalam Lampiran 1.



Gambar 3.1. Peta batimetri Samudra 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

Data jangka panjang dapat dianalisis dengan menggunakan analisis deret waktu, seperti contohnya adalah analisis model musiman, yang bertujuan untuk menganalisis kemungkinan adanya pola musiman yang berulang dalam periode tertentu pada data tersebut. Monsoon merupakan penyebab utama perubahan IOD, parameter oseanografi seperti arus, temperatur, salinitas, MLD, Chl-a, fluks air tawar, dan fluks panas bersih, serta parameter meteorologi seperti laju presipitasi dan angin. Penelitian ini akan menganalisis parameter-parameter tersebut dengan menggunakan model musiman yang didasarkan pada pola kejadian monsun. Model musiman ini digunakan untuk mengamati pola periodik dan memprediksi parameter-parameter berdasarkan keteraturan mereka. Dengan cara ini, akan diketahui apakah parameter yang diteliti mengikuti pola monsun yang terjadi, apakah terjadi pergeseran bulanan pada masing-masing parameter dalam model musiman yang dibangun, serta apakah parameter-parameter tersebut mengikuti

pola monsun yang sama.

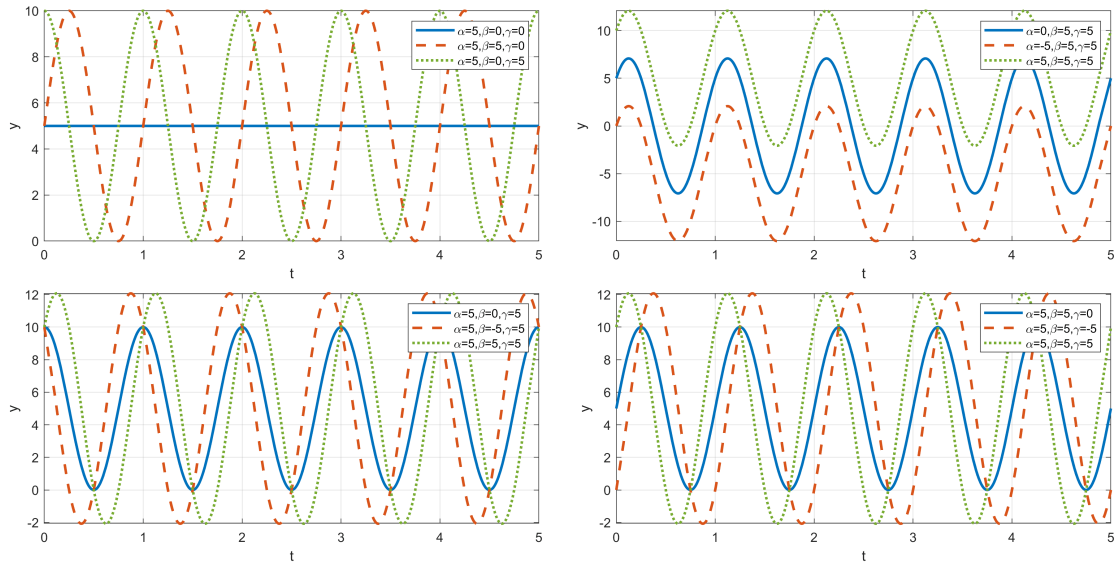
Beberapa penelitian yang menggunakan model musiman adalah Haridhi *et al.* (2016) yang meneliti tentang hubungan antara *sea surface temperatur* (SST) dan *net deployment* (ND) - penyebaran jaring nelayan pukat cincin tradisional. Ikhwan *et al.* (2022) dalam penelitiannya mengkaji tentang kedalaman lapisan campuran (MLD) di laut Andaman menggunakan data *sea surface salinity* (SSS) dari model 3-D *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Hidayat *et al.* (2023), mengkaji tentang hubungan antara SST, SSS, dan Chl-a di *Northern Bay of Bengal* (NBoB).

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 α , β , dan γ adalah konstanta pergeseran vertikal, amplitudo dari gelombang sinus, dan amplitudo dari gelombang kosinus. Dalam persamaan ini, t adalah waktu dan ϵ adalah elemen residual yang mewakili komponen *white-noise* tidak beraturan dalam proses pengambilan data.

Gambar 3.2 merupakan ilustrasi persamaan 3.1 untuk nilai α , β dan γ yang berbeda. Nilai α yang berbeda mempengaruhi posisi kurva terhadap sumbu-y. Sedangkan nilai β dan γ yang berbeda mempengaruhi posisi kurva terhadap sumbu-x.



Gambar 3.2. Ilustrasi persamaan model musiman.

3.2.2. Analisis Korelasi

Analisis korelasi berfungsi sebagai alat eksplorasi data dan pembuatan hipotesis terkait hubungan antara parameter yang diteliti. Dalam penelitian ini, analisis korelasi digunakan untuk mengukur kekuatan (nilai koefisien korelasi) dan arah (positif/negatif) hubungan antara indeks IOD dengan parameter lainnya, serta untuk menentukan signifikansi koefisien korelasi tersebut.

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

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

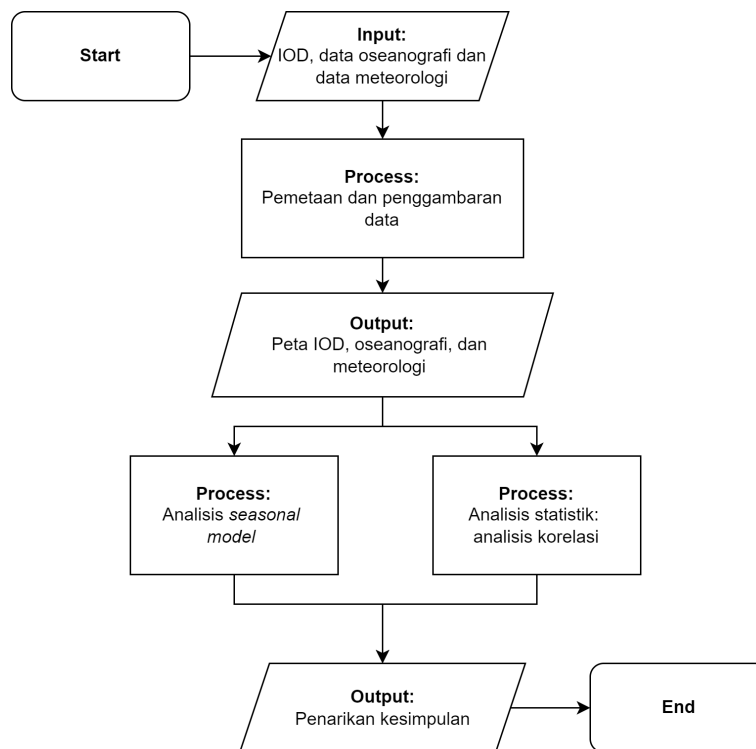
dengan a adalah konstanta titik potong sumbu- y , r adalah kemiringan dari garis regresi (koefisien regresi), x_i, y_i adalah variable yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi dengan i adalah indeks data. Sedangkan \bar{x} dan \bar{y} adalah rata-rata.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengikuti diagram alir pada Gambar 3.3 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* diunduh terlebih dahulu.
- **Process.** Setelah data tersedia, kemudian data diolah dengan cara melakukan pemetaan dan penggambaran data.
- **Output.** Hasilnya adalah peta IOD, oseanografi, dan meteorologi secara jangka panjang.

- **Process.** Tahapan selanjutnya adalah analisis data. Dalam tahap ini dilakukan analisis model musiman (*seasonal model*) untuk mengidentifikasi pola musiman dan memprediksi parameter berdasarkan keteraturannya. Dilakukan juga analisis statistik, dalam hal ini analisis korelasi untuk melihat hubungan IOD, parameter oseanografi dan meteorologi.
- **Output.** Terakhir, diperoleh kesimpulan berdasarkan analisis yang telah dilakukan.
- **End.** Penelitian selesai.



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

BAB IV

BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN

4.1. Biaya Penelitian

Ringkasan anggaran biaya penelitian selama 3 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.1.

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 sebagaimana tertera dalam Tabel 4.2.

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

- 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.
- Chassignet, E. P., Hurlburt, H. E., Smedstad, O. M., Halliwell, G. R., Hogan, P. J., Wallcraft, A. J., ... Bleck, R. (2007, mar). The HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) data assimilative system. *Journal of Marine Systems*, 65(1-4), 60–83. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924796306002855> doi: 10.1016/j.jmarsys.2005.09.016
- Chu, X., Han, W., Zhang, L., dan Chen, G. (2022, oct). Effects of climate modes on interannual variability of the equatorial currents in the Indian ocean. *Climate Dynamics*, 1–14. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-022-06515-7> <https://link.springer.com/10.1007/s00382-022-06515-7> doi: 10.1007/s00382-022-06515-7
- Crawley, M. J. (2012). *The r book*. John Wiley & Sons.
- Dwivedi, S. (2012, dec). Forecasting the peak anomalies of dominant intrinsic modes of Indian Ocean Dipole. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 70, 73–82. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967063712002026> doi: 10.1016/j.dsr.2012.10.005
- 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
- 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
- Haditiar, 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. *Heliyon*, 6(9), e04828. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020316716> doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04828
- Haditiar, Y., Putri, M. R., Ismail, N., Muchlisin, Z. A., dan Rizal, S. (2019, nov). Numerical Simulation of Currents and Volume Transport in the Malacca Strait and Part of South China Sea. *Engineering Journal*, 23(6), 129–143. Retrieved from <https://www.engj.org/index.php/ej/article/view/3350/896> doi: 10.4186/ej.2019.23.6.129
- 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., Haditjar, 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
- Ikhwan, M., Haditjar, Y., Wafdan, R., Setiawan, I., Marwan, Muchlisin, Z. A., dan Rizal, S. (2019, nov). Wind driven circulation in Makassar Strait during monsoon 2017. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1), 012062. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/348/1/012062> doi: 10.1088/1755-1315/348/1/012062
- Ikhwan, M., Wafdan, R., Haditjar, Y., Ramli, M., Muchlisin, Z. A., dan Rizal, S. (2021). Simulation and Analysis of Marine Hydrodynamics Based on the El Niño Scenario. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 7(4), 543–554. Retrieved from https://www.gjesm.net/article_243711.html doi: <https://doi.org/10.22034/GJESM.2021.04.04>
- Jiang, Z., Rashid, M. M., Johnson, F., dan Sharma, A. (2021, jan). A wavelet-based tool to modulate variance in predictors: An application to predicting drought anomalies. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104907. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815220309646> doi: 10.1016/j.envsoft.2020.104907
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... Joseph, D. (1996, mar). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437–471. Retrieved from [http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0477\(1996\)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0477(1996)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO;2) doi: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2
- Lan, K.-W., Evans, K., dan Lee, M.-A. (2013, jul). Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. *Climatic Change*, 119(1), 63–77. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/s10584-012-0637-8> doi: 10.1007/s10584-012-0637-8
- Lellouche, J.-M., Greiner, E., Le Galloudec, O., Garric, G., Regnier, C., Drevillon, M., ... Le Traon, P.-Y. (2018, sep). Recent updates to the Copernicus Marine Service global ocean monitoring and forecasting real-time 1/12° high-resolution system. *Ocean Science*, 14(5), 1093–1126. Retrieved from <https://os.copernicus.org/articles/14/1093/2018/> doi: 10.5194/os-14-1093-2018
- Liu, J., Wang, D., Zu, T., Huang, K., dan Zhang, O. Y. W. (2023, apr). Either IOD leading or ENSO leading triggers extreme thermohaline events in the central tropical Indian Ocean. *Climate Dynamics*, 60(7-8), 2113–2129. Retrieved from <https://link.springer.com/10.1007/s00382-022-06413-y> doi: 10.1007/s00382-022-06413-y
- Pan, X., Chin, M., Ichoku, C. M., dan Field, R. D. (2018, aug). Connecting Indonesian Fires and Drought With the Type of El Niño and Phase of the Indian Ocean Dipole During 1979-2016. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*,

- 123(15), 7974–7988. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1029/2018JD028402> doi: 10.1029/2018JD028402
- Polonsky, A., dan Torbinsky, A. (2021, dec). The IOD-ENSO Interaction: The Role of the Indian Ocean Currents System. *Atmosphere*, 12(12), 1662. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/12/1662/htmlhttps://www.mdpi.com/2073-4433/12/12/1662> doi: 10.3390/atmos12121662
- Qiu, Y., Cai, W., Guo, X., dan Ng, B. (2014, may). The asymmetric influence of the positive and negative IOD events on China's rainfall. *Scientific Reports*, 4(1), 4943. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/srep04943> doi: 10.1038/srep04943
- Rizal, S., Setiawan, I., Boihaki, B., Haditir, Y., Iskandar, T., dan Sugianto, S. (2018, dec). Simulation of current using a two-dimensional numerical model in the Aceh Barat Daya waters, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 216(1), 012019. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/216/1/012019> doi: 10.1088/1755-1315/216/1/012019
- Rizal, S., Setiawan, I., Wahid, M. A., dan Musman, M. (2010). Currents Simulation in the Malacca Straits by Using Three-Dimensional Numerical Model (Simulasi Arus di Selat Melaka Menggunakan Model Berangka Tiga Dimensi). *Sains Malaysiana*, 39(4), 519–524.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., dan Yamagata, T. (1999, sep). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751), 360–363. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/43854http://www.nature.com/articles/43854> doi: 10.1038/43854
- Saji, N. H., dan Yamagata, T. (2003). Structure of SST and surface wind variability during Indian Ocean Dipole mode events: COADS observations. *Journal of Climate*, 16(16), 2735–2751. Retrieved from https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/16/16/1520-0442_2003_016_2735_sosasw_2.0.co_2.xml doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<2735:SOSASW>2.0.CO;2
- Sattar, A. M., dan Cheung, K. K. (2019, nov). Comparison between the active tropical cyclone seasons over the Arabian Sea and Bay of Bengal. *International Journal of Climatology*, 39(14), 5486–5502. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.6167https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.6167https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.6167> doi: 10.1002/JOC.6167
- Shunmugapandi, R., Gedam, S., dan Inamdar, A. B. (2022, oct). Impact of Indian Ocean Dipole Events on Phytoplankton Size Classes Distribution in the Arabian Sea. *Oceans*, 3(4), 480–493. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2673-1924/3/4/32> doi: 10.3390/oceans3040032
- Thushara, V., dan Vinayachandran, P. N. (2020, jul). Unprecedented Surface Chlorophyll Blooms in the Southeastern Arabian Sea During an Extreme Negative Indian Ocean Dipole. *Geophysical Research Letters*, 47(13), e2019GL085026. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/>

2019GL085026 doi: 10.1029/2019GL085026

- Tomita, H., Hihara, T., Kako, S., Kubota, M., dan Kutsuwada, K. (2019). An introduction to J-OFURO3, a third-generation Japanese ocean flux data set using remote-sensing observations. *Journal of Oceanography*, 75(2), 171–194. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10872-018-0493-x> doi: 10.1007/s10872-018-0493-x
- Valsala, V., Sreeush, M. G., dan Chakraborty, K. (2020, nov). The IOD Impacts on the Indian Ocean Carbon Cycle. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(11). Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020JC016485><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020JC016485> doi: 10.1029/2020JC016485
- Wahiduzzaman, M., Cheung, K., Luo, J.-J., Bhaskaran, P. K., Tang, S., dan Yuan, C. (2022, feb). Impact assessment of Indian Ocean Dipole on the North Indian Ocean tropical cyclone prediction using a Statistical model. *Climate Dynamics*, 58(3-4), 1275–1292. Retrieved from <https://link.springer.com/10.1007/s00382-021-05960-0> doi: 10.1007/s00382-021-05960-0
- Xing, H., Wang, W., Wang, D., dan Xu, K. (2022, jun). Roles of Equatorial Ocean Currents in Sustaining the Indian Ocean Dipole Peak. *Journal of Ocean University of China*, 21(3), 622–632. Retrieved from <https://link.springer.com/10.1007/s11802-022-4864-y> doi: 10.1007/s11802-022-4864-y
- Zhang, L., dan Han, W. (2021, oct). Indian Ocean Dipole leads to Atlantic Niño. *Nature Communications*, 12(1), 5952. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26223-w> doi: 10.1038/s41467-021-26223-w
- Zhang, Q., Gu, X., Singh, V. P., Liu, L., dan Kong, D. (2016, apr). Flood-induced agricultural loss across China and impacts from climate indices. *Global and Planetary Change*, 139, 31–43. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921818115300801> doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.10.006
- Zhang, Y., Li, J., Zhao, S., Zheng, F., Feng, J., Li, Y., dan Xu, Y. (2020, sep). Indian Ocean tripole mode and its associated atmospheric and oceanic processes. *Climate Dynamics*, 55(5-6), 1367–1383. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-020-05331-1><https://link.springer.com/10.1007/s00382-020-05331-1> doi: 10.1007/s00382-020-05331-1

Lampiran 1. Kode Skrip untuk Mengunduh Data

Kode yang digunakan untuk memperoleh data HYCOM sebagai berikut

```
1 #Kode berikut menggunakan bahasa Shell Scripting (terminal linux)
2 #Syntax untuk mendownload data variabel HYCOM
3 #Sesuaikan akronim nama, tahun, dan koordinat: #AKRONIM, #TAHUN, #
  KOORDINAT
4
5 #Eksperimen HYCOM: GOFs 3.1: 41-layer HYCOM + NCODA Global 1/12°
  Analysis, cakupan waktu: 2014-July to Present
6 for k in {01..12}; do for i in {01..31}; do for j in 00 03 06 09 12
  15 18 21; do wget -O HYCOM_#AKRONIM_months_${k}_days_${i}_hours_${
  j}.nc4 "https://ncss.hycom.org/thredds/ncss/GLBy0.08/expt_93.0?
  var=#AKRONIM&north=#KOORDINAT&west=#KOORDINAT&east=#KOORDINAT&
  south=#KOORDINAT&disableProjSubset=on&horizStride=1&time=#TAHUN-${
  k}-${i}T${j}%3A00%3A00Z&vertCoord=&addLatLon=true&accept=netcdf4
  "; done; done; done
7
8 #Eksperimen HYCOM: GOFs 3.1: 41-layer HYCOM + NCODA Global 1/12°
  Reanalysis, cakupan waktu: 1994-01-01 to 2015-12-31
9 for k in {01..12}; do for i in {01..31}; do for j in 00 03 06 09 12
  15 18 21; do wget -O HYCOM_#AKRONIM_months_${k}_days_${i}_hours_${
  j}.nc4 "http://ncss.hycom.org/thredds/ncss/GLBv0.08/expt_53.X/
  data/#TAHUN?var=#AKRONIM&north=#KOORDINAT&west=#KOORDINAT&east=#
  KOORDINAT&south=#KOORDINAT&disableProjSubset=on&horizStride=1&
  time=#TAHUN-${k}-${i}T${j}%3A00%3A00Z&vertCoord=&addLatLon=true&
  accept=netcdf4"; done; done; done
```

Kode yang digunakan untuk memperoleh data NEMO/CMEMS sebagai berikut

```
1 #Kode berikut menggunakan bahasa Python
2 #Syntax untuk mendownload data variabel CMEMS
3 #Sesuaikan akronim nama, tahun, dan koordinat
4
5 #Untuk data arus, temperatur, salinitas, MLD
6 #Eksperimen CMEMS: GLOBAL_ANALYSISFORECAST_PHY_001_024 (Analysis and
  Forecast), cakupan waktu: Since 29 Nov 2020
7 python -m motuclient --motu https://nrt.cmems-du.eu/motu-web/Motu --
  service-id GLOBAL_ANALYSISFORECAST_PHY_001_024-TDS --product-id
  cmems_mod_glo_phy-cur_anfc_0.083deg_P1D-m --date-min "2023-03-24
  00:00:00" --date-max "2023-03-26 23:59:59" --depth-min
  0.49402499198913574 --depth-max 3.5 --variable uo --variable vo
  --out-dir <OUTPUT_DIRECTORY> --out-name <OUTPUT_FILENAME> --user
  <USERNAME> --pwd <PASSWORD>
8 #Eksperimen CMEMS: GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030 (Reanalysis),
  cakupan waktu: 1 Jan 1993 to 31 Dec 2020
9 python -m motuclient --motu https://my.cmems-du.eu/motu-web/Motu --
  service-id GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030-TDS --product-id
  cmems_mod_glo_phy_my_0.083_P1D-m --date-min "2020-12-31 00:00:00"
  --date-max "2020-12-31 23:59:59" --depth-min 0.49402499198913574
  --depth-max 3.5 --variable bottomT --out-dir <OUTPUT_DIRECTORY>
  --out-name <OUTPUT_FILENAME> --user <USERNAME> --pwd <PASSWORD>
10
11 #Untuk data chl-a
12 #Eksperimen CMEMS: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_BIO_001_028 (Analysis
  and Forecast), cakupan waktu: Since 4 May 2019
```

```

13 python -m motuclient --motu https://nrt.cmems-du.eu/motu-web/Motu --
    service-id GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_BIO_001_028-TDS --product-id
    global-analysis-forecast-bio-001-028-daily --date-min "2020-12-31
    00:00:00" --date-max "2020-12-31 23:59:59" --depth-min
    0.49402499198913574 --depth-max 3.5 --variable chl --out-dir <
    OUTPUT_DIRECTORY> --out-name <OUTPUT_FILENAME> --user <USERNAME>
    --pwd <PASSWORD>
14 #Eksperimen CMEMS: GLOBAL_MULTIYEAR_BGC_001_029 (Hindcast), cakupan
    waktu: 1 Jan 1993 to 31 Dec 2020
15 python -m motuclient --motu https://my.cmems-du.eu/motu-web/Motu --
    service-id GLOBAL_MULTIYEAR_BGC_001_029-TDS --product-id
    cmems_mod_glo_bgc_my_0.25_P1D-m --date-min "2020-12-31 00:00:00"
    --date-max "2020-12-31 23:59:59" --depth-min 0.5057600140571594
    --depth-max 3.5 --variable chl --out-dir <OUTPUT_DIRECTORY> --out
    -name <OUTPUT_FILENAME> --user <USERNAME> --pwd <PASSWORD>

```

Kode yang digunakan untuk memperoleh data NCEP/NCAR sebagai berikut

```

1 #Kode berikut menggunakan bahasa Shell Scripting (terminal linux)
2 #Syntax untuk mendownload data variabel NCEP
3 #Sesuaikan akronim nama, tahun, dan koordinat
4
5 #Syntax untuk mendownload data NCEP/NCAR
6 for i in {1994..2021}; do wget -O NCEP_AirT_years_${i}.nc4 "https://
    downloads.psl.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis/surface_gauss/air
    .2m.gauss.${i}.nc"; done; done; done

```

Lampiran 2. Justifikasi Anggaran Penelitian

1. Honorarium				
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
2. Pembelian Bahan Habis Pakai				
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
3. Perjalanan				
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
4. Sewa				
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 3. 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 4. 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