

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
2209300070026



**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 (DMAS)

Menyetujui,
Komisi Pembimbing,

Promotor

Prof. Dr. Ir. Syamsul Rizal
NIP. 19610122 198703 1 003

Ko-Promotor I,

Ko-Promotor II,

Prof. Dr. Marwan, S.Si.,M.Si
NIP. 19711125 199903 1 003

Prof. Dr. Muchlisin Z.A, S.Pi.,M.Sc
NIP. 19710911 199903 1 003

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
Doktor Matematika dan Aplikasi Sains (DMAS)

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Syiah Kuala

Prof. Dr.rer.nat. Ir. Rinaldi Idroes, S.Si
NIP. 19680825 199403 1 003

Prof. Dr. Hizir
NIP. 19680531 199303 1 003

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

Tujuan penelitian ini adalah memahami hubungan antara parameter oseanografi, meteorologi, monsun, dan kelimpahan ikan di Samudera Hindia. Hal ini penting karena Samudera Hindia berperan dalam sistem iklim global dan perubahan di dalamnya berdampak signifikan. Penelitian ini menggunakan pemodelan laut untuk menganalisis interaksi parameter-parameter tersebut dan memberikan wawasan tentang IOD dan responsnya terhadap perubahan iklim. Penelitian ini juga menganalisis hubungan antara IOD, klorofil-a, kedalaman lapisan campuran, dan kelimpahan ikan. IOD berdampak pada iklim dan perikanan. Perubahan IOD mempengaruhi suhu permukaan laut, pola arus, kelimpahan plankton, dan produktivitas di laut, termasuk konsentrasi klorofil-a. Klorofil-a merupakan indikator produktivitas primer di laut dan berperan penting dalam mendukung kelangsungan hidup dan keberlanjutan rantai makanan, termasuk ikan. Perubahan kedalaman lapisan campuran juga mempengaruhi nutrisi, oksigen, dan kondisi fisik yang penting bagi ikan. Penelitian ini menyelidiki hubungan parameter-parameter tersebut dengan monsun, mengkaji pengaruh IOD terhadap kelimpahan dan distribusi ikan, serta menggali interaksi kompleks laut dan atmosfer di Samudera Hindia. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman mendalam tentang perubahan iklim di wilayah ini dan menjadi dasar untuk strategi mitigasi dan adaptasi kedepannya.

Kata kunci: Samudera Hindia; Indian Ocean Dipole (IOD); Perubahan iklim; Interaksi laut dan atmosfer.

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	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Penelitian Terkait IOD	7
2.2 Model Numerik dan Parameter	11
2.2.1 Arus Laut, Temperatur Laut, dan Salinitas	11
2.2.2 Klorofil-a dan Kedalaman Lapisan Campuran	12
2.2.3 Fluks Panas Bersih dan Fluks Air Tawar	14
2.2.4 Ketinggian Permukaan Laut dan Arus Pasang Surut	15
2.2.5 Parameter Meteorologi	15
2.3 Peta Jalan Penelitian	16
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 17
3.1 Domain dan Data Penelitian	17
3.1.1 Domain Penelitian	17
3.1.2 Data Penelitian	18
3.1.3 Validasi Data	18
3.1.4 Pengumpulan Data	19
3.2 Analisis Data	20
3.2.1 Model Musiman	20
3.2.2 Analisis Korelasi	22
3.2.3 Analisis Regresi	23
3.3 Prosedur Penelitian	25
 BAB IV BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN	 27
4.1 Biaya Penelitian	27
4.2 Jadwal Penelitian	28
 DAFTAR PUSTAKA	 29
 LAMPIRAN-LAMPIRAN	 37

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.1	Jenis luaran dan indikator capaian tiap tahun	6
Tabel 3.1	Rangkuman data penelitian.....	20
Tabel 4.1	Ringkasan anggaran biaya penelitian	27
Tabel 4.2	Ringkasan jadwal pelaksanaan penelitian	28

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Road Map</i> Penelitian	16
Gambar 3.1 Peta batimetri Samudera Hindia, diperoleh dari SRTM30+ (Becker <i>et al.</i> , 2009).	17
Gambar 3.2 Ilustrasi persamaan model musiman.	22
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian	26

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Kode Skrip untuk Mengunduh Data.....	37
Lampiran 2. Justifikasi Anggaran Penelitian.....	39
Lampiran 3. Dukungan Sarana dan Prasarana Penelitian	40
Lampiran 4. Surat Pernyataan Mahasiswa	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Samudera Hindia merupakan salah satu dari tiga samudera 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, Samudera Hindia berperan penting dalam sistem iklim global. Oleh karena itu, perubahan yang terjadi di dalamnya sangat penting untuk diprediksi.

IOD atau *Indian Ocean Dipole* merupakan interaksi anomali antara laut dan atmosfer, yang melibatkan osilasi yang tidak teratur dari temperature permukaan laut (SST) di Samudera Hindia tropis. IOD adalah fenomena perbedaan SST pada Samudera Hindia bagian barat tropis (50° E-70° E, 10° S-10° N) dan Samudera 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) (Saji *et al.*, 1999). Kekuatan dan frekuensi peristiwa IOD telah terbukti memiliki dampak signifikan pada iklim musim hujan (Qiu *et al.*, 2014) dan perikanan (Lan *et al.*, 2013) di wilayah tersebut. Dengan peningkatan emisi gas rumah kaca antropogenik (dihasilkan oleh aktivitas manusia), kekhawatiran tentang dampak potensial perubahan iklim pada IOD dan pola iklim yang terkait semakin meningkat.

Pemodelan parameter oseanografi dan meteorologi yang menggerakkan IOD berfungsi untuk lebih memahami hubungan antara IOD dan perubahan iklim. Dengan menganalisis interaksi antara parameter-parameter ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang mekanisme yang mendorong IOD dan potensi responsnya terhadap perubahan iklim.

Pemodelan laut sangat 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*), efektifitas serta efisiensi biaya dan waktu penelitian. Penelitian sebelumnya mengembangkan model numerik persamaan Navier-Stokes dan memodelkan sirkulasi arus laut serta 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). 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).

IOD mempengaruhi suhu permukaan laut dan pola arus di Samudera Hindia. Perubahan IOD menyebabkan perubahan suhu permukaan laut, termasuk peningkatan atau penurunan suhu. Ini dapat mempengaruhi kelimpahan plankton dan produktivitas di laut, termasuk konsentrasi klorofil-a (Chl-a) (Brewin *et al.*, 2012). Chl-a adalah pigmen yang digunakan oleh alga dan fitoplankton dalam proses fotosintesis, dan merupakan indikator utama produktivitas primer di laut (Huot *et al.*, 2007). Perubahan konsentrasi Chl-a dapat berdampak pada rantai makanan di laut, termasuk populasi ikan yang bergantung pada plankton sebagai sumber makanan.

MLD, atau kedalaman lapisan campuran, juga berhubungan dengan produktivitas di laut. MLD mencerminkan kedalaman di mana proses pencampuran air terjadi secara efektif. Perubahan MLD mempengaruhi pengangkutan nutrisi, oksigen, dan kondisi fisik lainnya yang penting bagi organisme laut, termasuk ikan. Perubahan MLD juga dapat mempengaruhi stratifikasi termal dan keberadaan *thermocline*, yang mempengaruhi distribusi dan migrasi ikan di laut (Bernal *et al.*, 2017).

Dengan demikian, IOD, Chl-a, dan MLD dapat berperan dalam menentukan kondisi ekologis di Samudera Hindia, termasuk ketersediaan makanan dan habitat bagi ikan. Pengetahuan tentang hubungan variabel-variabel ini dapat membantu dalam pengelolaan perikanan dan pemahaman tentang ekosistem laut secara keseluruhan.

1.2. Rumusan Masalah

Secara keseluruhan, masalah utama dari penelitian ini adalah memahami hubungan antara parameter oseanografi, parameter meteorologi, dan pola kejadian monsun

dengan menggunakan aplikasi pemodelan laut terhadap kelimpahan dan distribusi populasi ikan, serta dampak IOD terhadapnya. Diharapkan hasil penelitian ini dapat berkontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dengan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang interaksi kompleks antara laut dan atmosfer serta memberikan strategi untuk mitigasi dan adaptasi terhadap dampak perubahan iklim di wilayah Samudera Hindia.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah menyelidiki hubungan antara berbagai parameter oseanografi dan meteorologi dengan kejadian monsun serta mengevaluasi pengaruh IOD terhadap kelimpahan dan distribusi populasi ikan dengan cara menjawab beberapa tujuan khusus berikut.

- Menentukan kekuatan dan arah dari hubungan klorofil-a, temperatur permukaan laut, dan salinitas permukaan laut dengan berfokus pada pola dan variasi mereka selama kejadian monsun.
- Menentukan ketebalan MLD dan hubungannya terhadap parameter meteorologi (temperatur udara, kelembaban spesifik, laju konvektif presipitasi, tekanan permukaan laut, dan tekanan angin) berdasarkan pola kejadian monsun.
- Menentukan pengaruh ketinggian permukaan laut dan arus pasang surut terhadap konsentrasi klorofil-a.
- Menentukan pengaruh fluks panas bersih dan temperatur permukaan laut terhadap konsentrasi klorofil-a.
- Menentukan kekuatan dan arah dari hubungan IOD dengan parameter oseanografi (arus laut, suhu laut, salinitas, MLD, klorofil-a, fluks air tawar, dan fluks panas bersih) dan meteorologi (laju presipitasi dan tekanan angin), serta menentukan parameter yang paling berpengaruh terhadap variasi IOD berdasarkan pola kejadian monsun.
- Menentukan pengaruh IOD terhadap kelimpahan dan distribusi populasi ikan.

1.4. Urgensi Penelitian

Samudera Hindia merupakan rumah bagi populasi biota laut yang besar dan kompleks, 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). Karena pengaruh perubahan iklim, frekuensi dan intensitas peristiwa ini semakin meningkat dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, mekanisme yang mendorong variasi IOD penting dipahami agar strategi adaptasi dan mitigasi yang efektif dapat dikembangkan.

Selain itu, Samudera Hindia adalah pemain utama dalam sistem iklim global, dengan keterkaitan yang kuat dengan Samudera Pasifik dan Samudera Atlantik. Perubahan di Samudera Hindia memiliki dampak signifikan pada pola iklim global, terutama melalui pengaruhnya pada sistem musim hujan yang menyediakan air dan makanan bagi miliaran orang di Benua Asia dan Afrika. Oleh karena itu, pemahaman interaksi kompleks antara IOD dan parameter-parameter oseanografi dan meteorologi lainnya sangat penting untuk proyeksi dan pengembangan model iklim.

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

Di wilayah Indonesia sendiri, tercatat bahwa peristiwa IOD pada tahun 2019 merupakan peristiwa IOD terkuat dan terparah semenjak tahun 1980. Hal ini berdasarkan data observasi satelit dan *in situ* (pengumpulan data melalui kapal dan pelampung) OISSTv2 (Reynolds *et al.*, 2002). Peristiwa ini telah menyebabkan kerugian sosial ekonomi yang besar, termasuk kekeringan parah yang berlangsung lama di Indonesia dan curah hujan tinggi di Afrika timur selama musim hujan yang singkat (Lu dan Ren, 2020).

Secara keseluruhan, penelitian tentang hubungan antara berbagai parameter

oseanografi dan meteorologi dengan kejadian monsun serta evaluasi pengaruh IOD terhadap kelimpahan dan distribusi populasi ikan sangat mendesak untuk dilakukan karena pola iklim global, kesejahteraan jutaan orang, dan dampak signifikan parameter-parameter ini pada wilayah Samudera Hindia. Karena perubahan iklim terus mengubah sifat fisik dan kimia laut, memahami korelasi ini kritis untuk pengembangan strategi adaptasi dan mitigasi yang efektif.

1.5. Manfaat Penelitian

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

Secara khusus, manfaat dari penelitian ini adalah

- Mengetahui kekuatan dan arah dari hubungan klorofil-a, temperatur permukaan laut, dan salinitas permukaan laut serta pola variasinya selama kejadian monsun.
- Mendapatkan data ketebalan MLD dan hubungannya terhadap parameter meteorologi (temperature udara, kelembaban spesifik, laju konvektif presipitasi, tekanan permukaan laut, dan tekanan angin) berdasarkan pola kejadian monsun.
- Mengetahui pengaruh ketinggian permukaan laut dan arus pasang surut terhadap konsentrasi klorofil-a.
- Mengetahui pengaruh fluks panas bersih dan temperatur permukaan laut terhadap konsentrasi klorofil-a.
- Mendapatkan pola periodik yang didasarkan pada kejadian monsun serta mengetahui kekuatan dan arah dari hubungan IOD, parameter oseanografi (arus laut, temperatur laut, salinitas, MLD, klorofil-a, fluks air tawar, dan fluks panas bersih), dan parameter meteorologi (laju presipitasi dan tekanan angin).

- Mengetahui pengaruh IOD dengan kelimpahan dan distribusi populasi ikan.

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 IOD

Fenomena mode dipol (IOD) di Samudera Hindia pertama kali diteliti oleh Saji *et al.* (1999). Saji *et al.* (1999) menemukan bahwa terdapat pola variasi internal dengan anomali *sea surface temperature* (SST) rendah di sekitar Sumatra dan tinggi di sebelah barat Samudera Hindia, disertai dengan angin dan presipitasi. Keterkaitan spasial-temporal antara SST dan angin mengungkapkan hubungan yang kuat melalui medan presipitasi dan dinamika lautan. Proses interaksi udara-laut ini unik dan terbukti independen dari fenomena osilasi selatan El Nino (ENSO). Penemuan mode dipol ini menjelaskan sekitar 12% variasi SST di Samudera Hindia, yang juga menyebabkan curah hujan yang parah di Afrika timur dan kekeringan di Indonesia selama tahun-tahun aktifnya.

Liu *et al.* (2023) menunjukkan bahwa terdapat anomali salinitas positif yang signifikan di lapisan atas (*upper layer*) Samudera Hindia tropis tengah (*central tropical Indian Ocean*) dari musim gugur 2010 hingga musim semi 2011 dan dari musim gugur 2016 hingga musim semi 2017. Pengaruh fenomena La Nina dan IOD negatif (nIOD) yang kuat pada tahun 2010 dan 2016 memunculkan anomali salinitas positif di Samudera Hindia timur pada akhir tahun 2010 dan 2016 sebagai hasil dari angin barat yang kuat dan arus zonal positif. Chu *et al.* (2022) mengkaji tentang dinamika variabilitas antar-tahunan dari arus khatulistiwa di Samudra Hindia dan mengukur pengaruh dari fenomena ENSO dan IOD terhadap arus tersebut. ENSO dan IOD memiliki pengaruh yang sebanding terhadap anomali arus antar-tahunan di *subsurface-eastern basin* (SEB), namun IOD memiliki peran yang lebih besar daripada ENSO di *upper-central basin* (UCB).

Xing *et al.* (2022) mengeksplorasi respons arus samudera khatulistiwa selama fase puncak IOD. Selama musim puncak IOD, serangkaian respons laut bermunculan, yaitu: (1) divergensi meridional yang signifikan di lapisan permukaan dan konvergensi di lapisan bawah permukaan di wilayah khatulistiwa dan (2) divergensi dan konvergensi meridional terbukti mendukung pelemahan *Wyrtki jet* (WJ) di lapisan permukaan dan

peningkatan *Equatorial Undercurrent* (EUC) di lapisan bawah permukaan. L. Zhang dan Han (2021) menemukan bahwa peningkatan curah hujan di Samudera Hindia tropis bagian barat selama IOD positif (pIOD) melemahkan pertukaran angin timur di Samudera Atlantik tropis dan menyebabkan anomali suhu hangat di cekungan Atlantik khatulistiwa bagian tengah dan timur (*central and eastern equatorial Atlantic basin*) sehingga memicu fenomena Atlantik Nino.

Polonsky dan Torbinsky (2021) mengkaji fitur pembentukan lapisan kritis di zona ekuator-tropika Samudera Hindia dan kaitannya dengan IOD. Sebagian besar kasus pembentukan IOD sebagai mode inheren (tidak tergantung pada proses di Pasifik) disertai dengan pembentukan lapisan kritis. Lebih lanjut, ketidakstabilan dalam sistem arus zonal dapat menjadi alasan terjadinya fenomena IOD dan asimetri amplitudo indeks mode dipol (DMI) antara peristiwa positif dan negatif. Valsala *et al.* (2020) menggunakan data pengamatan biogeo kimia dan model sirkulasi biogeo kimia laut global untuk meneliti dampak IOD pada siklus karbon di laut dan variasinya di Samudera Hindia. IOD menyebabkan variasi signifikan dalam proses pertukaran CO₂ dari laut ke udara di wilayah tenggara tropika Samudera Hindia (*southeastern tropical Indian Ocean*) karena dinamika *upwelling* dan anomali yang bergerak ke barat. Y. Zhang *et al.* (2020) menemukan fenomena *Indian Ocean tripole* (IOT), yang memiliki karakteristik *sea surface temperature anomalies* (SSTA) positif di wilayah tengah tropika dan negatif di tenggara dan barat Samudera Hindia. Perbedaan spasial-temporal, serta perbedaan signifikan dari hasil analisis *empirical orthogonal function* (EOF) mengilustrasikan bahwa IOT berbeda dari IOD.

Sun *et al.* (2022) meneliti respons asimetris SSS yang signifikan terhadap dua kejadian pIOD dan nIOD di selatan Samudera Hindia tropis. Beberapa studi lain juga menyoroti pentingnya IOD dalam menggerakkan variasi antartahunan SSS, seperti penelitian oleh Rathore *et al.* (2020) yang menggunakan komposit musiman selama peristiwa ENSO/IOD untuk memahami variasi dalam transportasi kelembaban dan curah hujan di Australia, serta asosiasi mereka dengan variasi SSS. Studi lainnya oleh Sun *et al.* (2019) dan Q. Zhang *et al.* (2016) mengidentifikasi mode dipol salinitas di Samudera Hindia tropis, yang disebut S-IOD, pola variasi SSS antar tahunan dengan anomali salinitas rendah di bagian tengah khatulistiwa dan salinitas tinggi di sebelah

tenggara Samudera Hindia tropis.

Selain itu, terdapat penelitian tentang dampak IOD pada kedalaman lapisan campuran (MLD) di Samudera Hindia, seperti penelitian oleh Sadhukhan *et al.* (2021) yang menemukan bahwa peristiwa nIOD berasosiasi dengan MLD yang lebih dalam di BoB sedangkan pIOD menyebabkan MLD yang lebih dangkal. Korelasi parsial menunjukkan bahwa fluks panas bersih (NHF) adalah kontributor utama pendalaman MLD di BoB utara, sedangkan tekanan angin mengontrol pendalaman di BoB selatan. Z. Zhang *et al.* (2022) menunjukkan bahwa selama nIOD, MLD menurun karena daerah anomali evaporasi minus presipitasi negatif. Sebaliknya, selama pIOD, MLD meningkat karena daerah anomali evaporasi minus presipitasi positif.

Sun *et al.* (2019) menemukan bahwa sirkulasi laut di Samudera Hindia selatan tropis berkontribusi secara signifikan terhadap anomali SSS selama peristiwa nIOD. Kenaikan gelombang Rossby membuat kedalaman termoklin dan MLD semakin dangkal. Air dengan salinitas tinggi di bawah permukaan bergerak ke lapisan permukaan dan mendinginkan SST. Hal ini menekan presipitasi lokal untuk memberikan umpan balik positif bagi peningkatan SSS. Dandapat *et al.* (2021) menemukan variasi antartahunan dari MLD berhubungan dengan peristiwa IOD di BoB. MLD dangkal selama fase pIOD, sedangkan MLD rata-rata lebih dalam (sekitar 50 m) selama fase nIOD. Pada tahun pIOD, gelombang Kelvin pesisir yang tidak normal (KW_s) menyebar, memantulkan gelombang Rossby, dan memicu *upwelling* untuk membentuk MLD dangkal di seluruh BoB. Fluks panas bersih positif pada antarmuka udara-laut juga memainkan peran dominan dalam pendangkalan MLD pada tahun pIOD, karena radiasi gelombang pendek meningkat dan melebihi efek pendinginan fluks panas laten (LHF) selama periode ini.

Sari *et al.* (2020) menemukan bahwa selama peristiwa pIOD kanonik, konsentrasi Chl-a yang tinggi diamati di sekitar Selat Sunda dan sepanjang pantai ujung barat Pulau Jawa di sekitar wilayah Cilacap. Namun, selama peristiwa pIOD Modoki, konsentrasi Chl-a lebih tinggi dan terdistribusi lebih luas. Devi dan Sarangi (2017) menemukan bahwa pIOD menyebabkan konsentrasi Chl-a yang rendah ($<2 \text{ mg/m}^3$) dan produktivitas primer yang rendah di Laut Arab (AS). El Nino menyebabkan proses *downwelling*, yang mengakibatkan konsentrasi Chl-a rendah ($<1 \text{ mg/m}^3$) di BoB dan AS. La Nina menyebabkan proses *upwelling*, dan menghasilkan konsentrasi Chl-a yang

tinggi ($>2,0 \text{ mg/m}^3$) di BoB dan AS. Mandal *et al.* (2022) dan Simanjuntak dan Lin (2022) membahas pengaruh ENSO dan IOD pada variasi Chl-a di pesisir selatan Jawa dan pantai selatan Pulau Sunda Kecil (LSI) dan menemukan bahwa Chl-a yang intens diamati selama tahun-tahun pIOD, sedangkan konsentrasi Chl-a paling sedikit diamati selama tahun-tahun nIOD.

Luang-on *et al.* (2022) menunjukkan bahwa konsentrasi Chl-a di Teluk Thailand bagian atas (uGoT) terkait dengan fenomena ENSO, bukan IOD. Selama *southwest monsoon* (SWM), anomali Chl-a berkorelasi dengan curah hujan dan debit sungai untuk peristiwa La Nina/El Nino. Selama musim *northeast monsoon* (NEM), anomali Chl-a berkorelasi dengan debit sungai dan angin untuk peristiwa La Nina/El Nino. Sedangkan pada musim lainnya, anomali Chl-a berkorelasi dengan kecepatan angin dan curah hujan tinggi untuk peristiwa El Nino. Setiawan *et al.* (2020) meneliti hubungan antara konsentrasi Chl-a, SST, dan tekanan angin permukaan laut di Laut Halmahera (HS) yang dipengaruhi oleh Monsun Australia-Indonesia (AIM), ENSO, dan IOD. Pada skala waktu antar tahunan, tekanan permukaan laut dan tekanan angin koheren dengan fase ENSO dan IOD, dan selama peristiwa El Nino dan pIOD, tekanan permukaan laut dan tekanan angin di HS sangat meningkat, sebaliknya selama peristiwa La Nina dan peristiwa nIOD, tekanan permukaan laut dan tekanan angin di HS menurun. Hal ini mendukung peningkatan dan pengurangan konsentrasi Chl-a di wilayah tersebut. Penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan permukaan laut dan tekanan angin sangat penting dalam menentukan konsentrasi Chl-a di HS.

Secara keseluruhan, dari penelitian-penelitian yang telah disebutkan diatas, kebaruan penelitian ini terletak pada potensi untuk lebih memahami interaksi yang kompleks antara berbagai parameter dan dampaknya di kawasan Samudera Hindia. Analisis pengaruh skala spasial dan temporal yang berbeda, termasuk perbedaan regional dan tren jangka panjang juga merupakan kebaruan dalam penelitian ini. Sementara beberapa penelitian telah meneliti korelasi antara IOD dan berbagai parameter oseanografi serta parameter meteorologi masih banyak yang harus dipelajari tentang mekanisme yang mendorong hubungan ini.

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.

2.2.1. Arus Laut, Temperatur Laut, dan Salinitas

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.

2.2.2. Klorofil-a dan Kedalaman Lapisan Campuran

Klorofil-a (Chl-a) adalah pigmen fotosintetik utama yang ditemukan pada tanaman, alga, dan bakteri fotosintetik. Chl-a di laut merupakan pigmen yang paling

banyak ditemukan pada fitoplankton (mikroorganisme fotosintetik yang membentuk dasar dari rantai makanan laut) dan memainkan peran penting dalam siklus karbon dan oksigen di laut. Selain itu, Chl-a juga digunakan sebagai indikator kualitas air laut karena konsentrasinya dapat memberikan petunjuk tentang produktivitas di perairan tersebut. Data Chl-a yang digunakan dalam penelitian ini merupakan produk hasil dari model biogeo kimia PISCES (Aumont *et al.*, 2015) dan merupakan bagian dari model OGCM, NEMO.

Persamaan untuk biomassa Chl-a (I^{chl}) (dimana I dapat berupa *Pytoplankton* (P) atau *Diatom* (D)) untuk kedua kelompok fitoplankton diparameterisasi menggunakan model foto-adaptif Geider *et al.* (1997):

$$\begin{aligned} \frac{\partial I^{chl}}{\partial t} = & (1 - \delta^I)(12\theta_{min}^{chl} + (\theta_{max}^{chl,I} - \theta_{min}^{chl,I})\rho^{I^{chl}})\mu^I I - m^I \frac{I}{K_m + I} I^{chl} \\ & - sh \times w^I I I^{chl} - \theta^{chl,I} g^Z(I)Z - \theta^{chl,I} g^M(I)M, \end{aligned} \quad (2.6)$$

dengan I adalah kelompok fitoplankton dan $\theta^{chl,I}$ adalah rasio klorofil-ke-karbon dari kelas fitoplankton, 12 mewakili massa molar karbon, $\rho^{I^{chl}}$ adalah rasio energi terasimilasi terhadap energi yang diserap.

Kedalaman lapisan campuran atau MLD dapat dihitung dengan menggunakan temperatur laut, salinitas, atau densitas laut. MLD yang dihitung dengan temperatur dapat ditemukan pada kedalaman laut dengan temperatur yang relatif konstan. Lapisan campuran terbentuk karena adanya pengaruh angin permukaan, gelombang, dan arus yang menyebabkan pencampuran air pada lapisan atas dan membagikan panas ke seluruh lapisan ini. Di bawah lapisan campuran terdapat perubahan temperatur yang cepat seiring dengan peningkatan kedalaman laut, lapisan ini dikenal sebagai termoklin. MLD dapat diestimasi dari kombinasi variabel ambang batas dari profil densitas dan profil temperatur laut 0.2°C (Pers. 2.7) (de Boyer Montegut *et al.*, 2004). Kriteria variabel dalam densitas sesuai dengan variasi temperatur lokal sebesar 0.2°C dari temperatur pada kedalaman 10 meter (Pers. 2.8). Hasil MLD akhir adalah nilai minimum dari MLD yang dihitung dari kriteria kepadatan dan MLD dari kriteria temperatur.

$$MLD = \text{Kedalaman dimana } (\sigma_0 = \sigma_{0_{10m}} + \Delta\sigma_0) \quad (2.7)$$

$$MLD = \text{Kedalaman dimana } (T = T_{10m} + \Delta \pm 0.2^{\circ}C), \quad (2.8)$$

dengan $\Delta\sigma_0 = \sigma_0(\theta_{10m} - 0.2^{\circ}C, S_{10m}, P_0) - \sigma_0(\theta_{10m}, S_{10m}, P_0)$.

2.2.3. Fluks Panas Bersih dan Fluks Air Tawar

Fluks panas bersih atau *net heat flux* (NHF) adalah jumlah panas yang masuk atau keluar dari permukaan laut yang disebabkan oleh perbedaan temperatur air laut dan temperatur udara di atasnya. Jika temperatur udara lebih tinggi dari temperatur air laut, maka NHF akan masuk ke laut. Sebaliknya, jika temperatur udara lebih rendah dari temperatur air laut, maka NHF akan keluar dari laut. NHF dapat dihitung sebagai jumlah dari komponen-komponen berikut (Tomita *et al.*, 2021):

$$NHF = SWR + LWR + LHF + SHF, \quad (2.9)$$

dengan SWR =*net shortwave radiation*, LWR =*net long wave radiation*, LHF =*surface latent heat flux*, dan SHF =*sensible heat flux*. Dalam penelitian ini, semua aliran panas diasumsikan positif ketika mereka mengarah ke atas, menjauhi permukaan laut ke atmosfer.

Fluks air tawar atau *freshwater flux* (FWF) adalah jumlah air tawar yang masuk atau keluar dari wilayah laut tertentu, termasuk curah hujan, aliran sungai, penguapan, dan es laut. Ketidakseimbangan antara air tawar masuk dan keluar dari wilayah laut dapat berdampak pada sirkulasi laut dan ketersediaan nutrisi bagi organisme laut. FWF dapat dihitung dengan cara sebagai berikut (Tomita *et al.*, 2019):

$$\begin{aligned} FWF &= EVAP - RAIN, \\ EVAP &= LHF/\rho L_e. \end{aligned} \quad (2.10)$$

dengan $EVAP$ =evaporasi dan $RAIN$ =curah hujan atau presipitasi di atas laut. Sedangkan ρ adalah densitas air laut dan L_e adalah vaporisasi panas laten dalam air yang didefinisikan sebagai fungsi dari SST.

2.2.4. Ketinggian Permukaan Laut dan Arus Pasang Surut

Pasang surut adalah fenomena teratur dan dapat diprediksi yang disebabkan oleh tarikan gravitasi bulan dan matahari. Untuk model pasang surut, variabel yang diminati adalah arus pasang surut U (komponen timur-barat) dan V (komponen utara-selatan) serta ketinggian permukaan laut (Z). Gerakan pasang surut air laut diberikan oleh persamaan matematika berikut (Wahyudi *et al.*, 2019).

$$Z(t) = Z_0 \sum_{k=1}^m f_k H_k \cos(\omega_k t + v_k - g_k), \quad (2.11)$$

dengan $Z(t)$ adalah tinggi permukaan air pada waktu t , Z_0 adalah tinggi permukaan air rata-rata, f_k adalah faktor koreksi astronomi untuk amplitudo elemen pembangkit pasang surut H_k , ω_k adalah kecepatan sudut, v_k adalah faktor koreksi untuk fase, dan g_k adalah fase.

2.2.5. Parameter Meteorologi

Laju presipitasi merupakan tingkat curah hujan yang jatuh ke permukaan laut pada suatu wilayah tertentu. Hal ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti SST, kelembaban udara, dan angin. Laju presipitasi di laut dapat berpengaruh pada ketersediaan air tawar, salinitas, serta pola sirkulasi dan transportasi massa air di dalam laut. Perhitungan laju presipitasi mengikuti Pers. 2.10.

Angin memainkan peran penting dalam mendorong arus permukaan dan juga dalam proses interaksi udara-laut. Sebagian besar proses interaksi udara-laut ditentukan dengan menggunakan tekanan angin (*wind stress*), suatu ukuran transfer momentum yang disebabkan oleh gerakan relatif antara laut dan atmosfer (Chacko *et al.*, 2022). Tekanan angin berdasarkan aerodinamis massal (*bulk-aerodynamic*) dirumuskan sebagai,

$$\tau = \rho_a C_d U_w^2 \quad (2.12)$$

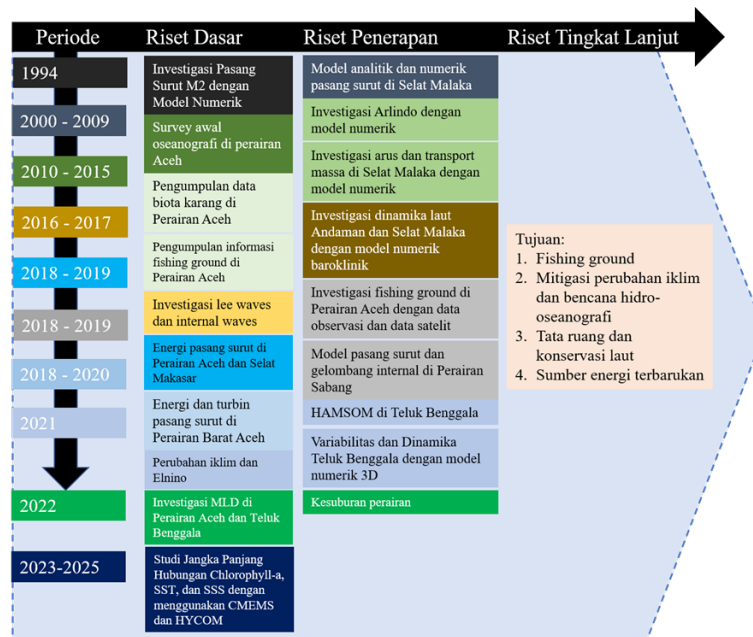
dengan ρ_a adalah densitas udara (1.225 kg/m^3), C_d koefisien seret (*dimensionless*) ($\approx 1.3 \times 10^{-3}$) dan U_w kecepatan angin.

Parameter meteorologi lainnya adalah 2m *air temperature* atau temperatur udara

2m adalah temperatur udara yang berada pada 2 meter di atas permukaan (laut atau tanah). 2m *specific humidity* atau kelembapan spesifik 2m mengacu pada berat (jumlah) uap air yang terkandung dalam satuan berat (jumlah) udara yang berada pada 2 meter di atas permukaan (laut atau tanah). *Convective precipitation rate* atau laju presipitasi konvektif adalah laju presipitasi yang dihasilkan oleh skema konveksi. Presipitasi konvektif terjadi ketika udara naik secara vertikal melalui mekanisme konveksi mandiri (berlangsung secara singkat). Terakhir, *sea level pressure* atau tekanan permukaan laut adalah tekanan atmosfer pada permukaan laut.

2.3. Peta Jalan Penelitian

Road Map atau peta jalan penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 2.1



Gambar 2.1. *Road Map* Penelitian

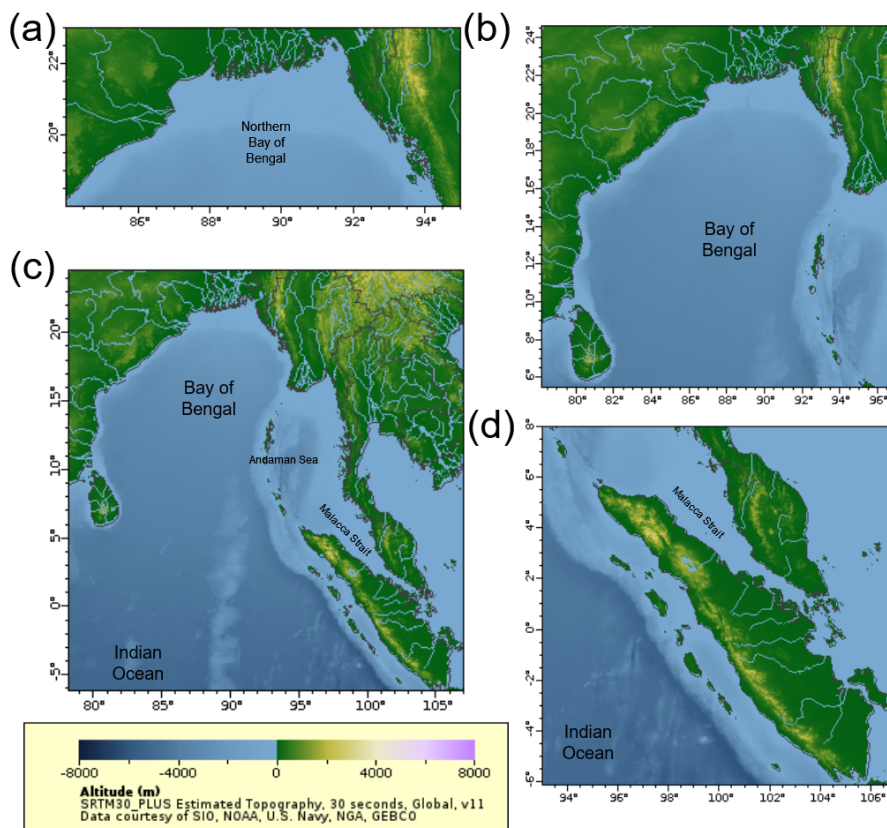
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Domain dan Data Penelitian

3.1.1. Domain Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Samudera Hindia. Berdasarkan tujuan penelitian, domain penelitian direncanakan sebagai berikut.

- Domain tujuan penelitian 1, 3, dan 4 sesuai dengan Gambar 3.1(a).
- Domain tujuan penelitian 2 sesuai dengan Gambar 3.1(b).
- Domain tujuan penelitian 5 sesuai dengan Gambar 3.1(d).
- Domain tujuan penelitian 6 sesuai dengan Gambar 3.1(c).



Gambar 3.1. Peta batimetri Samudera Hindia, diperoleh dari SRTM30+ (Becker *et al.*, 2009).

3.1.2. Data Penelitian

Tabel 3.1 adalah rangkuman data yang digunakan dalam penelitian ini. Data DMI diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration/Physical Sciences Laboratory* (NOAA/PSL) (Saji dan Yamagata, 2003) sedangkan data arus laut, temperatur laut, salinitas, MLD, dan Chl-a dapat diperoleh dari website penyedia data *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS)(Lellouche *et al.*, 2018) dan *HYbrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM)(Chassignet *et al.*, 2007). Data lainnya adalah fluks air tawar, fluks panas bersih, laju presipitasi, tekanan angin, laju konvektif presipitasi, temperatur udara, dan kelembaban spesifik yang bersumber dari *National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research reanalysis 1* (NCEP/NCAR) (Kalnay *et al.*, 1996) dan J-OFURO3 yang merupakan generasi ketiga dari *Japanese ocean flux data set* yang menggunakan pengamatan penginderaan jarak jauh (Tomita *et al.*, 2019).

Ketinggian permukaan laut (*sea level*) dan arus pasang surut bersumber dari *Tidal Model Driver* (TMD). TMD adalah paket MATLAB untuk mengakses konstituen harmonik, dan untuk membuat prediksi pasang surut. TMD memiliki resolusi $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ dengan delapan konstituen pasang surut (Padman dan Erofeeva, 2005). Data produktivitas primer bersih (NPP) bulanan dengan resolusi 9km diperoleh dari situs web Produktivitas Laut Oregon State University (www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/) dan data tangkapan perikanan rawai (*longline*) jangka panjang di Samudra Hindia diperoleh dari situs web Komisi Tuna Samudra Hindia (IOTC) (<http://www.iotc.org>) untuk periode Januari 2002 hingga Desember 2021 (Lan *et al.*, 2013).

3.1.3. Validasi Data

Validasi data model adalah suatu langkah penting untuk memastikan keakuratan dan keandalan model tersebut. Dalam praktiknya, dilakukan pemilihan lokasi stasiun yang representatif dimana stasiun tersebut merupakan lokasi pengukuran *in situ* yang mewakili daerah dan waktu yang sama atau serupa dengan lokasi yang diprediksi oleh model. Selanjutnya akan dilakukan komparasi statistik antara data output model dan data *in situ* pengukuran, seperti *mean* (rata-rata), *standard deviation* (simpangan baku),

dan korelasi antara keduanya serta *root mean square error* (RMSE) atau bias. Dilakukan juga visualisasi perbandingan atau plot untuk membandingkan tren waktu atau pola spasial dari data model dan data in situ. Hal ini dapat membantu dalam menentukan sejauh mana model dapat mereproduksi pola yang diamati secara langsung.

Dalam penelitian ini, data DMI dari NOAA/PSL dibandingkan dengan data DMI dari hasil observasi satelit permukaan laut oleh *NASA MEaSUREs/PO.DAAC* (Kumar *et al.*, 2020). Untuk data oseanografi seperti: arus laut, temperatur laut, salinitas, dan MLD dari model CMEMS dapat dibandingkan dengan data model HYCOM untuk paramter yang sama. Data pembanding yang juga dapat digunakan adalah data *in situ Ocean Moored buoy Network for Northern Indian* (OMNI) atau *Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction* (RAMA) (<https://incois.gov.in/portal/datainfo/buoys.jsp>). Data yang tersedia untuk OMNI/RAMA mencakup temperatur laut, salinitas, arus laut, serta data permukaan meteorologi seperti angin, kelembaban, tekanan, temperatur udara, curah hujan dan radiasi. Data Chl-a dari model CMEMS dibandingkan dengan data sensor satelite *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (Pagano dan Durham, 1993). Untuk data fluks air tawar dan fluks panas bersih dibandingkan dengan data NCEP/NCAR. Data meteorologi lainnya seperti laju presipitasi, tekanan angin, laju konvektif presipitasi, temperatur udara, kelembaban spesifik, tekanan permukaan laut dari model NCEP/NCAR dapat dibandingkan dengan data OMNI/RAMA dan data model *ECMWF Reanalysis v5* (ERA5) (Hersbach *et al.*, 2020).

3.1.4. 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.

Tabel 3.1. Rangkuman data penelitian

No	Data	Periode	Sumber	Referensi
Data IOD				
1	DMI	1994-2021	NOAA/PSL	(Saji dan Yamagata, 2003)
Data Oseanografi				
2	Arus laut	1994-2021	CMEMS/HYCOM	(Lellouche <i>et al.</i> , 2018; Chassignet <i>et al.</i> , 2007)
3	Temperatur laut	1994-2021	CMEMS/HYCOM	(Lellouche <i>et al.</i> , 2018; Chassignet <i>et al.</i> , 2007)
4	Salinitas	1994-2021	CMEMS/HYCOM	(Lellouche <i>et al.</i> , 2018; Chassignet <i>et al.</i> , 2007)
5	MLD	1994-2021	CMEMS	(Lellouche <i>et al.</i> , 2018)
6	Klorofil-a (Chl-a)	1994-2021	CMEMS	(Lellouche <i>et al.</i> , 2018)
7	Fluks air tawar	1994-2017	J-OFURO3	(Tomita <i>et al.</i> , 2019)
8	Fluks panas bersih	1994-2017	J-OFURO3	(Tomita <i>et al.</i> , 2019)
9	Ketinggian permukaan laut (SL)	2022	TMD	(Padman dan Erofeeva, 2005)
10	Arus pasang surut	2022	TMD	(Padman dan Erofeeva, 2005)
Data Meteorologi				
11	Laju presipitasi	1994-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay <i>et al.</i> , 1996)
12	Tekanan angin	1994-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay <i>et al.</i> , 1996)
13	Laju konvektif presipitasi	2002-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay <i>et al.</i> , 1996)
14	Temperatur udara	2002-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay <i>et al.</i> , 1996)
15	Kelembaban spesifik	2002-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay <i>et al.</i> , 1996)
16	Tekanan permukaan laut	2002-2021	NCEP/NCAR	(Kalnay <i>et al.</i> , 1996)
Data Perikanan				
17	Produktifitas primer bersih (NPP)	2002-2021	Oregon State University	(Lan <i>et al.</i> , 2013)
18	Data tangkapan perikanan rawai jangka panjang	2002-2021	IOTC	(Lan <i>et al.</i> , 2013)

3.2. Analisis Data

3.2.1. Model Musiman

Data jangka panjang dapat dianalisis dengan model musiman (*seasonal model*). Fungsinya adalah untuk mempelajari kemungkinan adanya pola periodik dari data tersebut. Monsun merupakan penyebab utama perubahan IOD, parameter oseanografi seperti arus laut, temperatur laut, 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 penentuan pola periodik dan prediksi 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 SST dan *net deployment* (ND) - penyebaran jaring nelayan pukat cincin tradisional. Ikhwan *et al.* (2022) dalam penelitiannya mengkaji tentang MLD di Laut Andaman (AS) menggunakan data SSS dari model 3-D *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS).

Setiap fungsi periodik dapat diuraikan menjadi penjumlahan gelombang sinus dan kosinus. Persamaan terkait hal ini disebut juga sebagai deret Fourier atau model Harmonik. Secara matematis hal ini dapat dituliskan sebagai (Goela *et al.*, 2016; Hyndman dan Athanasopoulos, 2018)

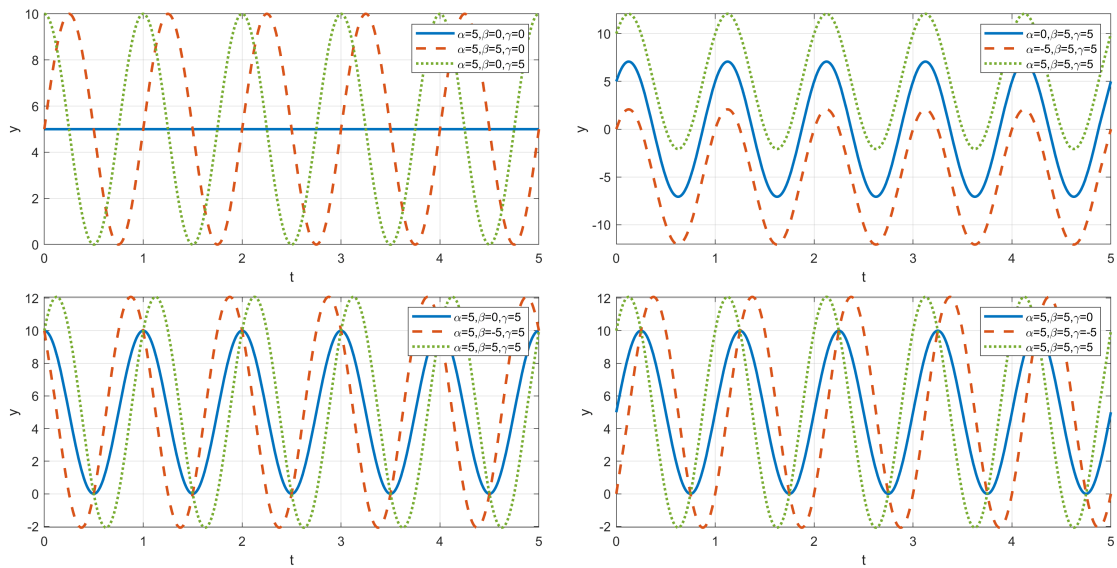
$$y = \alpha + \sum_{k=1}^N \left[\beta_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{m}\right) + \gamma_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{m}\right) \right] + \epsilon, \quad (3.1)$$

dengan α , β_k , γ_k , k , dan m adalah konstanta pergeseran vertikal, koefisien komponen sinus, koefisien komponen kosinus, ordo atau frekuensi gelombang sinus dan kosinus, dan periode fungsi. $y = y(t)$ mewakili fungsi periodik yang didekomposisi, dengan t adalah waktu yang merupakan variabel independen. Dalam hal ini, y merupakan parameter oseanografi dan meteorologi sesuai dengan Tabel 3.1. Bentuk sederhana dari Pers. 3.1 dapat dituliskan sebagai persamaan siklus musiman (Crawley, 2012)

$$y = \alpha + \beta \sin(2\pi t) + \gamma \cos(2\pi t) + \epsilon, \quad (3.2)$$

dengan α , β , dan γ adalah konstanta pergeseran vertikal, amplitudo dari gelombang sinus, dan amplitudo dari gelombang kosinus. Dalam persamaan ini, $y = y(t)$ mewakili fungsi periodik yang didekomposisi, dengan t adalah waktu yang merupakan variabel independen. ϵ adalah elemen residual yang mewakili komponen *white-noise* tidak beraturan dalam proses pengambilan data. Parameter-parameter yang tidak diketahui, yaitu α , β , dan γ , diperkirakan menggunakan metode kuadrat terkecil (*ordinary least squares*) (Goela *et al.*, 2016).

Gambar 3.2 merupakan ilustrasi persamaan 3.2 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 dalam menentukan 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.

Analisis korelasi mempelajari hubungan linier antara variabel/parameter yang diteliti. Jika terdapat hubungan antara dua karakteristik, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi apakah variabel pertama dapat digunakan untuk memprediksi variabel kedua melalui analisis regresi. Kekuatan dari korelasi ditentukan berdasarkan koefisien korelasi (R), yang bervariasi antara -1 dan +1. Berdasarkan Schober *et al.* (2018), jika $R \in [0.00, 0.10]$ maka korelasi diabaikan. Jika $R \in [0.10, 0.39]$ maka korelasi lemah. Jika $R \in [0.40, 0.69]$ maka korelasi kuat. Jika $R \in [0.90, 1.00]$ maka korelasi sangat kuat. Sementara itu, arah dari korelasi dapat berupa korelasi positif atau korelasi negatif. Korelasi positif terjadi jika nilai variabel pertama berbanding lurus dengan variabel kedua. Sedangkan korelasi negatif terjadi jika nilai variabel pertama berbanding terbalik dengan variabel kedua. Persamaan koefisien korelasi dapat dituliskan sebagai berikut (Hidayat *et al.*, 2023; Haditir *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2022).

- Korelasi Pearson

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3.3)$$

dengan 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. Analisis korelasi Pearson merupakan korelasi linear antara variabel yang berukuran metrik.

- Korelasi Spearman

$$R_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (3.4)$$

dengan n adalah jumlah kasus dan d_i adalah perbedaan peringkat antara dua variabel. Korelasi Spearman adalah pendamping non-parametrik dari korelasi Pearson.

Untuk menggunakan korelasi Pearson, variabel harus terdistribusi secara normal dan harus terdapat hubungan linear antara variabel-variabel tersebut. Distribusi normal dapat diuji baik secara analitis maupun grafis dengan menggunakan plot QQ (*Quantile-Quantile plot*) sedangkan korelasi linear dapat diperiksa dengan menggunakan scatter plot. Jika kondisi-kondisi ini tidak terpenuhi, maka digunakan korelasi Spearman.

Signifikansi dari koefisien korelasi diuji dengan uji t dengan cara menguji apakah koefisien korelasi secara signifikan berbeda dari nol (uji bebas linier). Dalam hal ini, hipotesis nol menyatakan tidak ada korelasi antara variabel yang dipertimbangkan, sementara hipotesis alternatif mengasumsikan adanya korelasi. Dengan tingkat signifikansi (α) pada 1% atau 5%, jika nilai $p < 5\%$, hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima yang berarti bahwa terdapat hubungan antara variabel dalam populasi. Persamaan untuk t-statistik dapat dituliskan sebagai

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{1-R^2}. \quad (3.5)$$

dengan n ukuran sampel dan R korelasi yang ditentukan dalam sampel.

3.2.3. Analisis Regresi

Analisis regresi berfungsi untuk mengetahui ukuran pengaruh satu atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen. Dalam hal ini, variabel dependen

(y) dapat berupa IOD, Chl-a, atau data perikanan, sedangkan variabel independen (x) dapat berupa arus laut, temperatur laut, salinitas, MLD, fluks air tawar, fluks panas bersih, ketinggian permukaan laut, arus pasang surut, laju presipitasi, dan tekanan angin. Analisis regresi dibedakan sebagai berikut (Angelini, 2019).

- Regresi Linear Sederhana

$$y = a \cdot x + b \quad (3.6)$$

dengan y dan x adalah variabel dependen dan independen, b adalah konstanta titik potong sumbu- y , dan a adalah koefisien regresi yang mengukur pengaruh variabel independen (x) terhadap variabel dependen (y).

- Regresi Linier Berganda

$$y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_k \cdot x_k + b, \quad (3.7)$$

dengan y dan x_1, x_2, \dots, x_k adalah variabel dependen dan independen, b adalah konstanta titik potong sumbu- y , dan a_1, a_2, \dots, a_k adalah koefisien regresi yang mengukur pengaruh variabel independen (x_1, x_2, \dots, x_k) terhadap variabel dependen (y).

- Regresi Polinomial

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_k \cdot x^k, \quad (3.8)$$

dengan y dan x adalah variabel dependen dan independen, k adalah derajat polinomial, dan a_1, a_2, \dots, a_k adalah koefisien regresi yang mengukur pengaruh variabel independen (x) terhadap variabel dependen (y).

Untuk mengevaluasi kualitas prediksi atau penjelasan model regresi terhadap variabel dependen, digunakan dua ukuran utama, yaitu koefisien determinasi R^2 dan kesalahan estimasi standar (*standard estimation error*). Koefisien determinasi R^2 menggambarkan proporsi variansi yang dapat dijelaskan oleh variabel independen. Semakin tinggi nilai R^2 , semakin baik kualitas model regresi. Perhitungan R^2 melibatkan

perbandingan antara variansi nilai perkiraan ($S_{\hat{y}}$) dan variansi nilai yang diamati (S_y),

$$R^2 = \frac{S_{\hat{y}}}{S_y}. \quad (3.9)$$

Koefisien determinasi R^2 dipengaruhi oleh jumlah variabel independen yang digunakan. Semakin banyak variabel independen yang termasuk dalam model regresi, semakin besar resolusi variansi R^2 . Untuk memperhitungkan hal ini, digunakan R^2 yang disesuaikan (*adjusted R^2*).

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n - 1}{n - k - 1}. \quad (3.10)$$

dengan n adalah jumlah sampel dan k adalah jumlah variabel independen dalam model regresi. Kesalahan estimasi standar adalah simpangan baku dari kesalahan estimasi. Hal ini memberikan gambaran sejauh mana prediksi berbeda dari nilai yang sebenarnya. Secara grafis, kesalahan estimasi standar adalah penyebaran nilai yang diamati di sekitar garis regresi.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k - 1}}, \quad (3.11)$$

dengan y_i adalah nilai yang diamati, \hat{y}_i adalah nilai yang diprediksi dari model regresi, n adalah jumlah sampel, dan k adalah jumlah variabel independen.

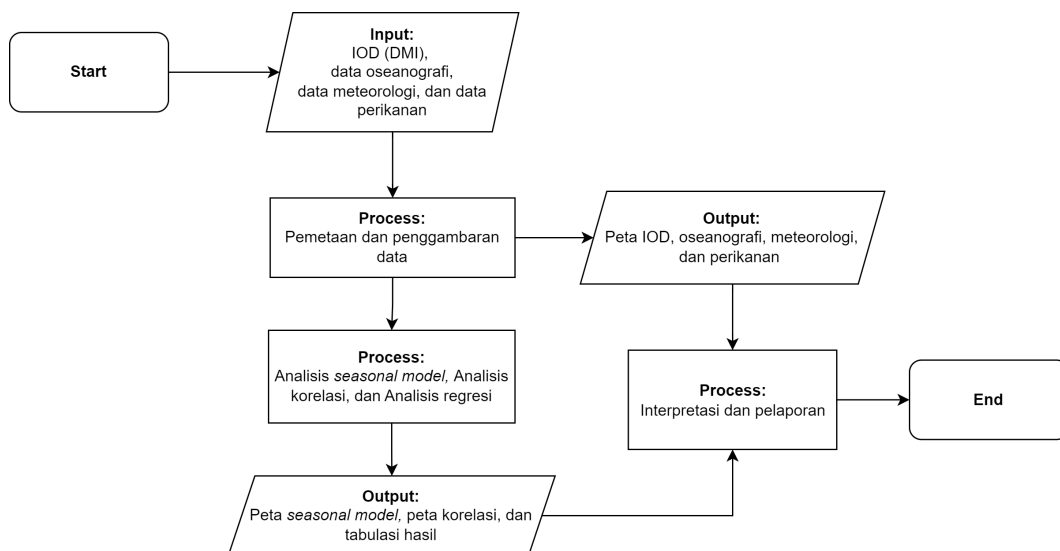
3.3. Prosedur Penelitian

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 penelitian diunduh terlebih dahulu. Adapun data yang digunakan adalah data IOD (DMI), data oseanografi, data meteorologi, dan data perikanan berdasarkan Tabel 3.1.
- **Process.** Data kemudian diolah dengan cara melakukan pemetaan dan penggambaran data. Pada tahap ini, akan dilakukan proses pemetaan data, yaitu proses memetakan atau menetapkan data dari satu format ke format lain dengan tujuan

untuk memudahkan pengolahan data, sehingga dapat digunakan untuk tujuan analisis atau pelaporan. Selanjutnya pembersihan data, yaitu proses mengidentifikasi, mengubah, atau menghapus data yang tidak akurat, tidak lengkap, atau tidak relevan dalam kumpulan data. Terakhir proses penggambaran data, yaitu proses menyajikan data dalam bentuk visual, seperti grafik, diagram, atau peta dengan tujuan untuk memudahkan pemahaman dan analisis terhadap data yang kompleks dan memudahkan untuk melihat pola dan tren dari data yang disajikan.

- **Output.** Penggambaran data pada tahap sebelumnya menghasilkan peta IOD, oseanografi, meteorologi, dan perikanan secara jangka panjang.
- **Process.** Dalam tahap ini akan dilakukan beberapa analisis data, diantaranya model musiman (*seasonal model*), analisis korelasi, dan analisis regresi.
- **Output.** Dari proses analisis data diperoleh peta seasonal model, peta korelasi, dan tabulasi hasil.
- **Process.** Hasil output dari peta-peta IOD, oseanografi, meteorologi, perikanan, model musiman, korelasi, dan tabulasi kemudian diinterpretasikan dan dituliskan dalam laporan.
- **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

- Angelini, C. (2019). Regression analysis. In S. Ranganathan, M. Gribskov, K. Nakai, dan C. Sch  nbach (Eds.), *Encyclopedia of bioinformatics and computational biology* (p. 722-730). Oxford: Academic Press. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128096338203609> doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20360-9>
- Aumont, O., Eth  , C., Tagliabue, A., Bopp, L., dan Gehlen, M. (2015). Piscesv2: an ocean biogeochemical model for carbon and ecosystem studies. *Geoscientific Model Development*, 8(8), 2465–2513. Retrieved from <https://gmd.copernicus.org/articles/8/2465/2015/> doi: 10.5194/gmd-8-2465-2015
- 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.
- Bernal, D., Brill, R. W., Dickson, K. A., dan Shiels, H. A. (2017). Sharing the water column: physiological mechanisms underlying species-specific habitat use in tunas. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27, 843–880.
- Brewin, R. J., Hirata, T., Hardman-Mountford, N. J., Lavender, S. J., Sathyendranath, S., dan Barlow, R. (2012). The influence of the indian ocean dipole on interannual variations in phytoplankton size structure as revealed by earth observation. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 77, 117–127.
- Chacko, N., Ali, M. M., dan Bourassa, M. A. (2022, mar). Impact of Ocean Currents on Wind Stress in the Tropical Indian Ocean. *Remote Sensing*, 14(7), 1547. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1547> doi: 10.3390/rs14071547
- 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.
- Dandapat, S., Chakraborty, A., Kuttippurath, J., Bhagawati, C., dan Sen, R. (2021, oct). A numerical study on the role of atmospheric forcing on mixed layer depth variability in the Bay of Bengal using a regional ocean model. *Ocean Dynamics*, 71(10), 963–979. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-021-01475-8> https://www.researchgate.net/profile/Radharani-Sen/publication/354053744_A_numerical_study_on_the_role_of_atmospheric_forcing_on_mixed_layer_depth

- [_variability_in_the_Bay_of_Bengal_using_a_region](#) doi: 10.1007/s10236-021-01475-8
- de Boyer Montegut, C., Madec, G., Fischer, A. S., Lazar, A., dan Iudicone, D. (2004). Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12). Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2004JC002378> doi: <https://doi.org/10.1029/2004JC002378>
- Devi, K. N., dan Sarangi, R. K. (2017, oct). Time-series analysis of chlorophyll- a , sea surface temperature, and sea surface height anomalies during 2003-2014 with special reference to El Nino, La Nina , and Indian Ocean Dipole (IOD) Years. *International Journal of Remote Sensing*, 38(20), 5626–5639. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2017.1343511https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431161.2017.1343511?needAccess=true&role=buttonhttps://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2017.1343511> doi: 10.1080/01431161.2017.1343511
- 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
- Geider, R., MacIntyre, H., dan Kana, T. (1997). Dynamic model of phytoplankton growth and acclimation: responses of the balanced growth rate and the chlorophyll a: carbon ratio to light, nutrient-limitation and temperature. *Marine Ecology Progress Series*, 148, 187–200.
- Goela, P. C., Cordeiro, C., Danchenko, S., Icely, J., Cristina, S., dan Newton, A. (2016). Time series analysis of data for sea surface temperature and upwelling components from the southwest coast of portugal. *Journal of Marine Systems*, 163, 12–22.
- 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.rasma.2016.10.002
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... others (2020). The era5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.
- 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.
- Huot, Y., Babin, M., Bruyant, F., Grob, C., Twardowski, M., dan Claustre, H. (2007). Does chlorophyll a provide the best index of phytoplankton biomass for primary productivity studies? *Biogeosciences discussions*, 4(2), 707–745.
- Hyndman, R. J., dan Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.
- 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
- Ikhwan, M., Haditiar, 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., Haditiar, Y., Ramli, M., Muchlisin, Z. A., dan Rizal, S. (2021). Simulation and Analysis of Marine Hydrodynamics Based on the El Nino 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>
- 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
- Kumar, P., Hamlington, B., Cheon, S.-H., Han, W., dan Thompson, P. (2020). 20th century multivariate indian ocean regional sea level reconstruction. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(10), e2020JC016270.
- 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
- Lu, B., dan Ren, H.-L. (2020). What caused the extreme indian ocean dipole event in 2019? *Geophysical Research Letters*, 47(11), e2020GL087768. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020GL087768> (e2020GL087768 2020GL087768) doi: <https://doi.org/10.1029/2020GL087768>
- Luang-on, J., Ishizaka, J., Buranapratheprat, A., Phaksopa, J., Goes, J. I., Kobayashi, H., ... Matsumura, S. (2022, aug). Seasonal and interannual variations of MODIS Aqua chlorophyll-a (2003-2017) in the Upper Gulf of Thailand influenced by Asian monsoons. *Journal of Oceanography*, 78(4), 209–228. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10872-021-00625-2><https://link.springer.com/10.1007/s10872-021-00625-2> doi: 10.1007/s10872-021-00625-2
- Mandal, S., Susanto, R. D., dan Ramakrishnan, B. (2022, apr). On Investigating the Dynamical Factors Modulating Surface Chlorophyll-a Variability along the South Java Coast. *Remote Sensing*, 14(7), 1745. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1574444><https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1745/pdf><https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1745> doi: 10.3390/rs14071745
- Padman, L., dan Erofeeva, S. (2005). Tide model driver (tmd) manual. *Earth and Space research*.
- Pagano, T. S., dan Durham, R. M. (1993). Moderate resolution imaging spectroradiometer (modis). In *Sensor systems for the early earth observing system platforms* (Vol. 1939, pp. 2–17).
- Pan, X., Chin, M., Ichoku, C. M., dan Field, R. D. (2018, aug). Connecting Indonesian Fires and Drought With the Type of El Nino 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/html><https://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
- Rathore, S., Bindoff, N. L., Ummenhofer, C. C., Phillips, H. E., dan Feng,

- M. (2020, aug). Near-Surface Salinity Reveals the Oceanic Sources of Moisture for Australian Precipitation through Atmospheric Moisture Transport. *Journal of Climate*, 33(15), 6707–6730. Retrieved from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/15/jcliD190579.xml><http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JCLI-D-19-0579.1> doi: 10.1175/JCLI-D-19-0579.1
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C., dan Wang, W. (2002). An improved in situ and satellite sst analysis for climate. *Journal of Climate*, 15(13), 1609 - 1625. Retrieved from https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/13/1520-0442_2002_015_1609_aiaisas_2.0.co_2.xml doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1609:AIISAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1609:AIISAS>2.0.CO;2)
- Rizal, S., Setiawan, I., Boihaki, B., Haditjar, 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.
- Sadhukhan, B., Chakraborty, A., dan Kumar, A. (2021, mar). Role of external forcing on the seasonal and interannual variability of mixed layer depth over the Bay of Bengal using reanalysis datasets during 1980-2015. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93, 101200. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377026520301585> doi: 10.1016/j.dynatmoce.2020.101200
- 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/43854><http://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
- Sari, Q., Utari, P., Setiabudidaya, D., Yustian, I., Siswanto, E., dan Iskandar, I. (2020, jan). Surface chlorophyll-a variations in the Southeastern Tropical Indian Ocean during various types of the positive Indian Ocean Dipole events. *International Journal of Remote Sensing*, 41(1), 171–184. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2019.1637962><https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2019.1637962> doi: 10.1080/01431161.2019.1637962

- 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.6167><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.6167><https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.6167> doi: 10.1002/JOC.6167
- Schober, P., Boer, C., dan Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & analgesia*, 126(5), 1763–1768.
- Setiawan, R. Y., Wirasatriya, A., Hernawan, U., Leung, S., dan Iskandar, I. (2020, jan). Spatio-temporal variability of surface chlorophyll-a in the Halmahera Sea and its relation to ENSO and the Indian Ocean Dipole. *International Journal of Remote Sensing*, 41(1), 284–299. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2019.1641244><https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2019.1641244> doi: 10.1080/01431161.2019.1641244
- 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
- Simanjuntak, F., dan Lin, T.-H. (2022, mar). Monsoon Effects on Chlorophyll-a, Sea Surface Temperature, and Ekman Dynamics Variability along the Southern Coast of Lesser Sunda Islands and Its Relation to ENSO and IOD Based on Satellite Observations. *Remote Sensing*, 14(7), 1682. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1569066><https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1682/pdf><https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1682> doi: 10.3390/rs14071682
- Sun, Q., Du, Y., Zhang, Y., Feng, M., Chowdary, J. S., Chi, J., ... Yu, W. (2019, may). Evolution of Sea Surface Salinity Anomalies in the Southwestern Tropical Indian Ocean During 2010-2011 Influenced by a Negative IOD Event. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(5), 3428–3445. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018JC014580><https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2018JC014580><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018JC014580> doi: 10.1029/2018JC014580
- Sun, Q., Zhang, Y., Du, Y., dan Jiang, X. (2022, nov). Asymmetric Response of Sea Surface Salinity to Extreme Positive and Negative Indian Ocean Dipole in the Southern Tropical Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(11). Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2022JC018986>https://www.researchgate.net/profile/Qiwei-Sun-3/publication/364727966_Asymmetric_response_of_sea_surface_salinity_to_extreme_positive_and_negative_Indian_Ocean_Dipole_in_the_southern_tr

- doi: 10.1029/2022JC018986
- 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
- Tomita, H., Kutsuwada, K., Kubota, M., dan Hihara, T. (2021, feb). Advances in the Estimation of Global Surface Net Heat Flux Based on Satellite Observation: J-OFURO3 V1.1. *Frontiers in Marine Science*, 8, 8. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.612361/full> doi: 10.3389/fmars.2021.612361
- 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/10.1029/2020JC016485https://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
- Wahyudi, H., Haditir, Y., Ikhwan, M., Wafdan, R., Setiawan, I., Muhammad, M., ... Rizal, S. (2019). Numerical study of tides in the bay of sabang. In *Iop conference series: Earth and environmental science* (Vol. 348, p. 012096).
- 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 Nino. *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

- Zhang, Z., Wang, J., dan Yuan, D. (2022, jun). Mixed Layer Salinity Balance in the Eastern Tropical Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(6). Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2021JC018229><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JC018229> doi: 10.1029/2021JC018229
- Zhao, G., Ding, W., Tian, J., Liu, J., Gu, Y., Shi, S., ... Sun, N. (2022). Spearman rank correlations analysis of the elemental, mineral concentrations, and mechanical parameters of the lower cambrian niutitang shale: A case study in the fenggang block, northeast guizhou province, south china. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109550.

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