

**ANALISIS VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DI PERAIRAN
INDONESIA PERIODE 1974-2023 MENGGUNAKAN METODE
EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)**

SKRIPSI

Oleh

**FITRIA TRI ANGGRAINI
NPM 1914221022**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISIS VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DI PERAIRAN
INDONESIA PERIODE 1974-2023 MENGGUNAKAN METODE
EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)**

Oleh

FITRIA TRI ANGGRAINI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISIS VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DI PERAIRAN INDONESIA PERIODE 1974-2023 MENGGUNAKAN METODE *EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION* (EOF)

Oleh

FITRIA TRI ANGGRAINI

Perubahan iklim global yang dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca telah menyebabkan kenaikan suhu rata-rata permukaan laut (SPL), termasuk di wilayah perairan Indonesia. Fenomena iklim seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) secara signifikan memengaruhi variabilitas SPL di wilayah ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola sebaran serta variabilitas SPL di perairan Indonesia selama periode 1974–2023 dengan menggunakan metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF). Metode EOF diterapkan untuk mengekstraksi pola utama dari dataset SPL yang menghasilkan informasi mengenai variabilitas spasial dan perubahan yang dipengaruhi oleh faktor oseanografi. Data yang digunakan mencakup suhu permukaan laut, indeks ENSO dan indeks IOD. Hasil analisis menunjukkan bahwa SPL di wilayah Indonesia mengalami tren peningkatan selama lima dekade terakhir dengan variasi pola sebaran yang berbeda secara regional. Perairan Natuna menunjukkan SPL yang relatif lebih rendah, yang dipengaruhi oleh interaksi monsun dan arus dari Laut Cina Selatan. Sebaliknya, peningkatan SPL yang signifikan terjadi di Laut Jawa, perairan selatan Jawa, Laut Flores, dan Laut Sawu, yang dipengaruhi oleh kombinasi IOD, Arus Lintas Indonesia (Arlindo), dan monsun barat. Analisis EOF mengidentifikasi enam *mode* utama variabilitas SPL, dengan *mode* EOF1 memiliki 62,49% varians yang didominasi oleh pengaruh IOD, monsun, serta ENSO, sedangkan *mode* EOF2 memiliki 22,74% varians yang didominasi oleh ENSO dan IOD. *Mode-mode* selanjutnya merepresentasikan pengaruh fenomena seperti *Madden Julian Oscillation* (MJO), arus laut, dan proses *upwelling*. Secara keseluruhan, distribusi dan variabilitas SPL di perairan Indonesia dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara fenomena iklim global seperti ENSO dan IOD, serta faktor regional seperti monsun, Arlindo, dan pemanasan global. Dominasi ENSO dan IOD dalam mengatur variabilitas SPL ditunjukkan oleh kontribusi varians tertinggi pada *mode-mode* EOF utama.

Kata kunci: EOF, Indonesia, Iklim, Suhu Permukaan Laut, Variabilitas

ABSTRACT

EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF) ANALYSIS OF SEA SURFACE TEMPERATURE VARIABILITY IN INDONESIA WATERS (1974-2023)

By

FITRIA TRI ANGGRAINI

Global climate change driven by increased greenhouse gas emissions has caused a rise in the average sea surface temperature (SST), including in Indonesian waters. Climatic phenomena such as the *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) and the *Indian Ocean Dipole* (IOD) significantly influence SST variability in this region. This study aimed to analyze the distribution patterns and variability of SST in Indonesian waters during the period 1974–2023 by employing the *Empirical Orthogonal Function* (EOF) method. The EOF method is applied to extract dominant patterns from the SST dataset, providing insights into spatial variability and changes influenced by oceanographic factors. The data utilized include sea surface temperature records alongside ENSO and IOD indices. The analysis reveals that SST in Indonesian waters has exhibited an increasing trend over the past five decades, with regional variations in spatial distribution. The Natuna Sea shows relatively lower SST, which is attributed to the interaction between monsoonal winds and currents from the South China Sea. Conversely, significant SST increases occur in the Java Sea, southern Java waters, Flores Sea, and Sawu Sea, driven by the combined influences of the IOD, the *Indonesian Throughflow* (Arlindo), and the westerly monsoon. EOF analysis identifies six principal modes of SST variability, with EOF1 accounting for 62.49% of the variance and dominated by IOD, monsoon, and ENSO influences, while EOF2 explains 22.74% of the variance and is primarily dominated by ENSO and IOD. Subsequent modes represent the impacts of phenomena such as the *Madden Julian Oscillation* (MJO), ocean currents, and *upwelling* processes. Overall, the distribution and variability of SST in Indonesian waters are governed by the complex interplay of global climate phenomena such as ENSO and IOD, alongside regional factors including monsoons, Arlindo, and global warming. The dominant roles of ENSO and IOD in regulating SST variability are evidenced by their substantial contributions to the leading EOF modes

Keywords: Climate, EOF, Indonesia, Sea Surface Temperature, Variability

Judul

: ANALISIS VARIABILITAS SUHU
PERMUKAAN LAUT DI PERAIRAN
INDONESIA PERIODE 1974-2023
MENGUNAKAN METODE *EMPIRICAL*
ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)

Nama Mahasiswa

: **Fitria Tri Anggraini**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1914221022

Program Studi

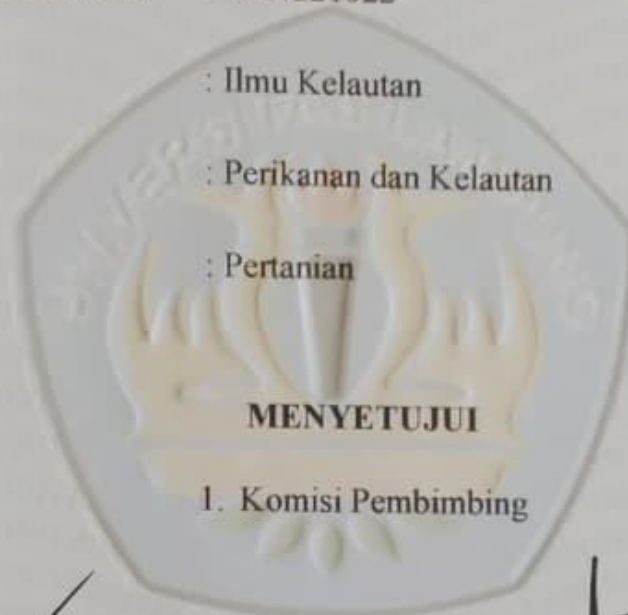
: Ilmu Kelautan

Jurusan

: Perikanan dan Kelautan

Fakultas

: Pertanian



Eko Efendi, S.T., M.Si.

NIP. 197803292003121001

Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.

NIP. 199001202019031011

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D.

NIP. 198309232006042001

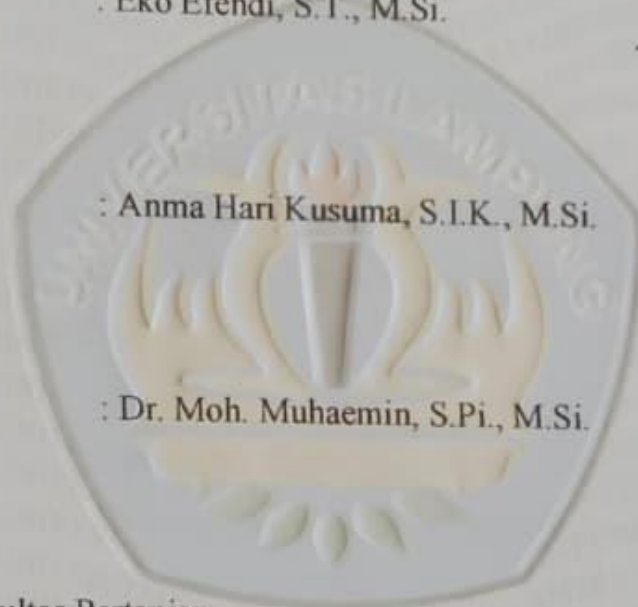
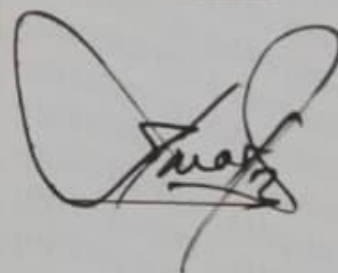
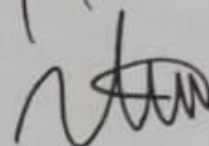
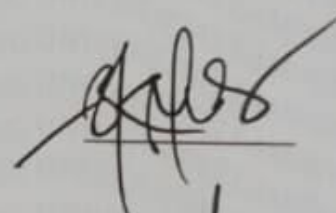
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Eko Efendi, S.T., M.Si.

Sekretaris : Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.

Anggota : Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kyswanita Futas Hidayat, M.P.
NID. 00111181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Juni 2025



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN

Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp (0721) 704946 Fax (0721) 770347

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul “**Analisis Variabilitas Suhu Permukaan Laut di Perairan Indonesia periode 1974-2023 menggunakan metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF)**” tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 1 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Fitria Tri Anggraini
NPM. 1914221022

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pasuruan, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, pada tanggal 24 Juni 2001 sebagai anak ketiga dari pasangan suami istri Bapak Suwardi dan Almh. Ibu Sri Yanti. Penulis menempuh pendidikan formal dari Taman Kanak-kanak PGRI, Lampung Selatan pada tahun 2006-2007, Sekolah Dasar Negeri 1 Pasuruan pada tahun 2007-2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Penengahan pada tahun 2013-2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Kalianda pada tahun 2016-2019. Penulis sedang menempuh pendidikan di perguruan tinggi sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Oseanografi Perikanan dan aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) Universitas Lampung sebagai bendahara bidang Kerohanian pada tahun 2022. Penulis juga aktif pada organisasi UKM Paduan Suara Mahasiswa (PSM) Universitas Lampung sebagai anggota pada tahun 2019. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Pusat Riset Penginderaan Jauh Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRPJ-BRIN) pada bulan Mei-Agustus 2022.

Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, orang hebat yang selalu memperjuangkan dan memberikan yang terbaik untuk anak-anaknya. Skripsi ini juga sebagai bentuk dedikasi saya kepada Almarhumah ibu saya yang belum sempat saya berikan kebahagiaan. Skripsi ini sebagai tanda bahwa perjuangan orang tua saya tidak sia-sia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Analisis Variabilitas Suhu Permukaan Laut di Perairan Indonesia periode 1974-2023 menggunakan metode Empirical Orthogonal Function (EOF)*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sains di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila;
2. Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
5. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Penguji Utama;
6. Suwardi dan Sri Yanti selaku kedua orang tua.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan dan penulisan skripsi jauh dari kata sempurna. Penulis berharap skripsi dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa lain dan bagi pembaca diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang skripsi ini.

Bandar Lampung, Agustus 2025

Fitria Tri Anggraini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kondisi Umum Perairan Indonesia.....	5
2.2 Pemanasan Global	6
2.3 Suhu Permukaan Laut (SPL).....	6
2.4 Variabilitas Iklim	7
2.4.1 <i>El Nino Southern Oscillation</i> (ENSO).....	8
2.4.2 <i>Indian Ocean Dipole</i> (IOD)	12
2.4.3 <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO).....	15
2.4.4 Angin Monsun.....	17
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Bahan dan Alat	20
3.2.1 Bahan	20
3.2.2 Alat	20
3.3 Prosedur Penelitian	21
3.3.1 Tahap Persiapan	21
3.3.2 Tahap Pengolahan Data	21
3.3.3 Tahap Analisis Data.....	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan Indonesia	24
4.1.1 Sebaran SPL periode 1974-1983.....	24
4.1.2 Sebaran SPL periode 1984-1993.....	30
4.1.3 Sebaran SPL periode 1994-2003.....	32

4.1.4 Sebaran SPL periode 2004-2013.....	36
4.1.5 Sebaran SPL periode 2014-2023.....	39
4.2 Hubungan Anomali SPL, ENSO dan IOD	41
4.3 Variabilitas Suhu Permukaan Laut	52
V. SIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Simpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bahan penelitian	20
2. Alat penelitian.....	20
3. Hasil analisis EOF SPL secara statistik	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.	4
2. Kondisi Samudera Pasifik saat fase (a) Netral, (b) La Nina dan (c) El Nino.	10
3. Wilayah indeks SOI dan ONI.....	11
4. Wilayah fenomena IODM berdasarkan anomali SPL di WTIO dan SETIO..	13
5. Perbedaan SPL pada fase IODM (a) Netral, (b) Positif, dan (c) Negatif.	14
6. Pergerakan MJO.	15
7. Pergerakan monsun (a) barat dan (b) timur.....	18
8. Peta lokasi penelitian.	19
9. Sebaran suhu permukaan laut periode 1974-1983.....	25
10. Sebaran suhu permukaan laut periode 1984-1993.....	31
11. Sebaran suhu permukaan laut periode 1994-2003.....	33
12. Sebaran suhu permukaan laut periode 2004-2013.....	37
13. Sebaran suhu permukaan laut periode 2014-2023.....	40
14. Hubungan anomali rata-rata SPL, ONI dan DMI periode 1974-1983.....	42
15. Sebaran suhu permukaan laut (a) tahun 1974, (b) tahun 1976-1977, dan (c) tahun 1982-1983.....	43
16. Hubungan anomali rata-rata SPL, ONI dan DMI periode 1984-1993.....	44
17. Sebaran suhu permukaan laut (a) tahun 1984, (b) tahun 1986-1987, (c) tahun 1988-1989, dan (d) tahun 1991-1992.	45
18. Hubungan anomali rata-rata SPL, ONI dan DMI periode 1994-2003.....	46
19. Sebaran suhu permukaan laut (a) tahun 1994-1996, (b) tahun 1997-1998, dan (c) tahun 1998-1999.....	47
20. Hubungan anomali rata-rata SPL, ONI dan DMI periode 2004-2013.....	48
21. Sebaran suhu permukaan laut (a) tahun 2004-2005, (b) tahun 2007-2008, (c) tahun 2009, dan (d) tahun 2010-2011.	49
22. Hubungan anomali rata-rata SPL, ONI dan DMI periode 2014-2023.....	50
23. Sebaran suhu permukaan laut (a) tahun 2014-2015, (b) tahun 2018 dan (c) tahun 2020-2021.	51

24. Sebaran spasial anomali SPL hasil analisis EOF <i>mode</i> 1.....	54
25. Sebaran spasial anomali SPL hasil analisis EOF <i>mode</i> 2.....	55
26. Sebaran spasial anomali SPL hasil analisis EOF <i>mode</i> 3.....	56
27. Sebaran spasial anomali SPL hasil analisis EOF <i>mode</i> 4.....	57
28. Sebaran spasial anomali SPL hasil analisis EOF <i>mode</i> 5.....	58
29. Sebaran spasial anomali SPL hasil analisis EOF <i>mode</i> 6.....	59

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Perubahan iklim global yang ditimbulkan oleh emisi gas rumah kaca telah menyebabkan peningkatan suhu rata-rata bumi, termasuk suhu lautan. Selama periode 1955–2010, kandungan panas laut global terus meningkat yang menyebabkan pencairan es di kutub dan kenaikan muka air laut (Schmitz, 2017). Dalam rentang waktu 2010–2023, pemanasan global semakin mempercepat peningkatan suhu permukaan laut (SPL) termasuk di perairan Indonesia. Perairan Indonesia terletak di wilayah tropis di antara Samudera Pasifik dan Hindia menerima paparan panas tinggi sepanjang tahun. Menurut Hadi (2010), daerah tropis dan subtropis mengalami kelebihan panas karena posisinya yang hampir selalu tegak lurus terhadap sinar matahari. Selain itu, karakteristik perairan Indonesia dipengaruhi oleh pencampuran massa air dari kedua samudera tersebut. Peningkatan SPL di perairan Indonesia terjadi secara signifikan, terutama di Laut Pasifik Barat, khususnya di sekitar Papua (Syaifullah, 2015; Latifah et al., 2024). Faktor-faktor seperti fenomena laut ENSO, IOD, MJO, serta perubahan iklim global turut memengaruhi fluktuasi suhu permukaan laut di perairan Indonesia.

Variabilitas suhu permukaan laut (SPL) di perairan Indonesia sangat dipengaruhi oleh fenomena iklim global seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan monsun. Pengaruh ENSO di perairan Indonesia menyebabkan penurunan SPL dan curah hujan serta peningkatan konsentrasi klorofil-a saat fase El Nino, sedangkan saat fase La Nina menyebabkan kenaikan SPL dan curah hujan serta penurunan klorofil-a (Seprianti et al., 2016). Menurut Asyam et al. (2024) dan Narulita (2017) IOD positif menyebabkan berkurangnya curah hujan dan menurunkan SPL, sedangkan IOD negatif akan me-

ningkatkan SPL dan curah hujan di wilayah perairan Indonesia. Penelitian lain dilakukan oleh Nababan et al. (2021) bahwa SPL di perairan Indonesia cenderung lebih tinggi selama musim barat hingga musim peralihan 1 dan lebih rendah selama musim timur hingga musim peralihan 2. Pola ini dipengaruhi oleh angin musiman, intensitas radiasi matahari dan fluktuasi IOD. Hal ini menunjukkan bahwa variasi SPL di perairan Indonesia tidak hanya dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer lokal tetapi juga oleh interaksi antara fenomena iklim global yang saling memperkuat atau melemahkan satu sama lain.

Analisis variabilitas SPL di perairan Indonesia telah dilakukan oleh Robial et al. (2016) selama 600 bulan (1963-2012) menggunakan metode EOF menunjukkan bahwa fenomena laut Indonesia selama 600 bulan memiliki variabilitas SPL yang fluktuatif. *Mode* EOF dapat menjelaskan secara spasial maupun temporal. Secara spasial, *mode* EOF menunjukkan distribusi pola SPL yang khas di wilayah perairan Indonesia, yang dapat dipengaruhi oleh arus laut, pola monsun, ENSO dan IOD. Secara umum, pola temporal dapat menggambarkan siklus dari fenomena yang dijelaskan pada setiap mode EOF dan kuat lemahnya fenomena tersebut. Fluktuasi SPL yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perairan Indonesia dipengaruhi oleh dinamika oseanografi global dan regional.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang ada tersebut variabilitas SPL pada rentang waktu yang sama di seluruh perairan Indonesia belum banyak dikaji. Variabilitas perubahan SPL dapat diketahui dari data yang dikumpulkan secara spasial dan temporal. Oleh karena itu, rentang waktu antara 1974-2023 dipilih untuk mengkaji perubahan terbaru dalam fenomena iklim dan global.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Menganalisis pola sebaran suhu permukaan laut di perairan Indonesia.
2. Menganalisis variabilitas suhu permukaan laut di perairan Indonesia dengan metode EOF.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut.

1. Dapat digunakan sebagai informasi pola sebaran dan karakteristik variabilitas SPL di wilayah perairan Indonesia.
2. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya dalam mengkaji fenomena perairan sebagai informasi dalam memprediksi iklim untuk jangka panjang dan cuaca untuk jangka pendek di wilayah Indonesia.

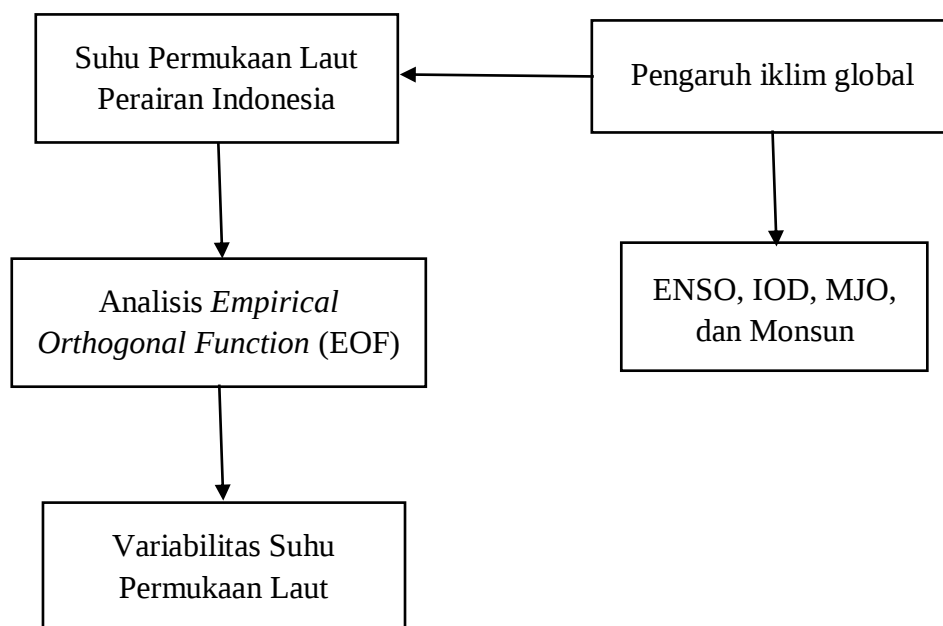
1.4 Kerangka Pemikiran

Wilayah perairan Indonesia yang terletak di antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia memainkan peran penting dalam sirkulasi laut global dan dinamika iklim regional. Posisi geografis ini menyebabkan wilayah perairan Indonesia menjadi zona transisi penting yang memengaruhi pola suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Asia Tenggara. Suhu permukaan laut di wilayah perairan Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk interaksi antara arus laut, pola angin, serta dinamika atmosfer. Fluktuasi SPL memiliki dampak besar terhadap kondisi cuaca, pola curah hujan, dan keseimbangan ekosistem laut, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap sektor perikanan.

Suhu permukaan laut di perairan Indonesia mengalami variasi akibat berbagai fenomena iklim global, seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Madden Julian Oscillation* (MJO) dan monsun. ENSO dapat menyebabkan pemanasan atau pendinginan abnormal di wilayah Pasifik tropis yang berdampak langsung pada suhu laut di Indonesia. Sementara itu, IOD berperan dalam menentukan pola anomali suhu di Samudera Hindia yang memengaruhi distribusi curah hujan dan pola angin musiman di wilayah Asia Tenggara. Kombinasi dari fenomena-fenomena ini menciptakan fluktuasi suhu yang bersifat tahunan hingga antar-tahun, sehingga menyebabkan ketidakstabilan kondisi laut dan atmosfer di wilayah Indonesia.

Untuk memahami pola variabilitas suhu permukaan laut, analisis berbasis data diperlukan untuk mengidentifikasi pola utama yang menyebabkan perubahan

SPL di wilayah Indonesia. Salah satu metode yang biasa digunakan adalah *Empirical Orthogonal Function* (EOF) yang memungkinkan untuk melakukan analisis spasial dan temporal dari data SPL dalam jangka panjang. Hasil analisis menggunakan metode EOF dapat menunjukkan variasi SPL yang disebabkan oleh fenomena seperti ENSO, IOD, MJO, dan monsun yang teridentifikasi dengan jelas. Hal ini akan memudahkan dalam menginterpretasi dampaknya terhadap perubahan iklim dan interaksi laut-atmosfer di Indonesia. Bagan alir kerangka pemikiran pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Umum Perairan Indonesia

Secara geografis hampir 70% wilayah Indonesia merupakan perairan laut. Perairan Indonesia berpotensi menyimpan kekayaan laut yang luar biasa, seperti potensi perikanan, industri kelautan, jasa kelautan, transportasi dan wisata bahari. Luas lautan Indonesia mencapai 5,8 juta km² dengan panjang garis pantai mencapai 95.181 km dan luas perairan 5,8 juta km² (Prayoga, 2020). Kondisi geografis tersebut memberikan kelimpahan potensi sumber daya perikanan bagi Indonesia. Berdasarkan data FAO tahun 2022, menjelaskan Indonesia memiliki wilayah yang sebagai sumber daya perikanan yaitu sebesar 26.606.000 ha (Anugrah & Arindra, 2021).

Perairan Indonesia termasuk salah satu wilayah yang terdampak oleh fenomena ENSO). Selama periode El Nino, permukaan laut mengalami anomali positif dengan kenaikan puluhan sentimeter di Samudera Pasifik timur dan anomali negatif di Samudera Pasifik barat (Yustiana et al., 2023). Selain ENSO, fenomena iklim yang berpengaruh terhadap perairan Indonesia adalah IOD. Fenomena iklim ENSO dan IOD dapat memengaruhi variabilitas hujan di Indonesia. IOD merupakan perbedaan anomali SPL antara bagian barat dan timur. Apabila anomali SPL di Samudera Hindia pantai barat Sumatera lebih besar daripada dibagian timur, maka tekanan udara di atmosfer Samudera Hindia bagian barat akan sangat rendah dibandingkan di bagian timur (Narulita, 2017).

Tipologi perairan Indonesia didominasi oleh zona dangkal dan perairan transisi yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi suhu dan tekanan atmosfer akibat ENSO dan IOD. Selama fase El Nino dan IOD positif di wilayah paparan dangkal mengalami perubahan suhu permukaan laut dan pola arus yang signifi-

kan, sehingga berpengaruh pada distribusi ikan, plankton dan produktivitas primer laut. Di sisi lain, perairan dalam berperan sebagai penyimpan energi dan penggerak sirkulasi laut dalam yang memengaruhi pasokan nutrient dari dasar laut ke permukaan saat terjadi pencampuran massa air (Nurafifah et al., 2022).

2.2 Pemanasan Global

Pemanasan global merupakan istilah yang menunjukkan peningkatan suhu rata-rata di atas permukaan bumi. Suhu udara rata-rata permukaan bumi meningkat sekitar $0,76^{\circ}\text{C}$ dalam 100 tahun terakhir. IPCC memprediksi bahwa suhu global cenderung meningkat $1,1^{\circ}\text{C}$ - $6,4^{\circ}\text{C}$ dalam 90 tahun ke depan (Syaifullah, 2015). Dampak dari pemanasan global sampai saat ini adalah perubahan iklim. Pemanasan global telah meningkatkan terjadinya kekeringan secara global, gelombang panas, dan frekuensi terjadinya badai tropis. Pemanasan global juga akan menyebabkan pergeseran musim sebagai akibat dari adanya perubahan pola hujan. SPL dapat dihubungkan sebagai indeks banyaknya uap air pembentuk awan di atmosfer. Jika SPL panas maka uap air di atmosfer banyak akibat proses penguapan. Sebaliknya, jika SPL dingin maka uap air di atmosfer menjadi berkurang. Di wilayah Indonesia, SPL memiliki kisaran yang antara 26°C - $31,5^{\circ}\text{C}$. Untuk melihat pengaruh pemanasan global dapat diamati dari anomali SPL yang dapat didefinisikan sebagai penyimpangan (Syaifullah, 2015).

2.3 Suhu Permukaan Laut (SPL)

Suhu permukaan laut merupakan salah satu parameter oseanografi yang menentukan volume air di lautan dan berhubungan dengan lapisan air laut di bawahnya, sehingga dapat digunakan dalam menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di lautan, misalnya fenomena air, *upwelling*, *front* (pertemuan dua massa, dan aktivitas biologi di laut (Rachman et al., 2019). Selain fenomena tersebut ada fenomena lainnya yang dapat diketahui dengan cara menganalisis SPL yaitu analisis fenomena El Nino, La Nina, IODM, *sea level heigh*, *sea level rises*, perubahan iklim dunia, pergerakan arus laut (*Gulf Stream*), dan lain-lainnya. SPL mempunyai efek langsung dan tidak langsung pada fotosintesis di lautan.

Anomali SPL negatif yang terjadi dari laut selatan Jawa sampai laut barat Sumatera adalah indikasi adanya *upwelling* regional. Berdasarkan penelitian Susanto et al., (2001), data SPL dan Tinggi Paras Laut (TPL) sepanjang pantai selatan Jawa sampai barat Sumatera telah terjadi *upwelling* pada bulan Mei sampai Oktober dengan SPL lebih dingin dan TPL lebih rendah. Letak geografis wilayah laut selatan Jawa dan barat Sumatera berada pada sistem angin monsun sehingga mengakibatkan kondisi oseanografi lautnya dipengaruhi oleh angin monsun serta dipengaruhi juga oleh perubahan iklim global yaitu El Nino dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Shinoda et al., 2004).

Pengaruh yang dapat timbul secara langsung terhadap fotosintesis yaitu karena adanya reaksi dalam reaksi kimia enzim yang berperan dalam melakukan fotosintesis. Meskipun SPL tidak memiliki reaksi secara langsung yang dapat mempengaruhi hidrologi suatu perairan. Akan tetapi, semakin dalam perairan maka akan semakin rendah suhu dan semakin tinggi salinitas yang dapat mengurangi laju tenggelamnya fitoplankton (Wang et al., 2022).

Suhu permukaan air dapat memengaruhi aktivitas biologis yang ada di dalamnya, sehingga perubahan SPL di perairan yang sangat kecil ($\pm 0,02^{\circ}\text{C}$) dapat menyebabkan perubahan kepadatan populasi ikan yang ada di dalam perairan tersebut. Ikan cenderung menghindari air yang panas dan berpindah ke suhu yang lebih rendah. Perubahan SPL di perairan sub-optimal dapat menyebabkan berkurangnya migrasi dan aktivitas makan yang akan menghambat pemijahan lanjutan (Wiryanwan et al., 2020).

2.4 Variabilitas Iklim

Variabilitas merupakan suatu ukuran yang mengukur sebaran data. Variabilitas diukur dari seberapa jauh data penyimpangan dari rata-ratanya atau biasa disebut dengan ukuran penyimpangan (Sevilla, 2013). Variabilitas iklim merupakan suatu gejala yang ditimbulkan dari perubahan iklim. Variabilitas iklim menyebabkan fluktuasi curah hujan yang tidak dapat diprediksi dan cenderung tidak menentu, sehingga sering menimbulkan kejadian kekeringan maupun banjir. Variabilitas iklim memiliki durasi kejadian dalam jangka waktu bulanan hingga 10 tahun. Berdasarkan skalanya variabilitas iklim dapat dibagi menjadi tiga, yaitu

skala global (ENSO, IOD dan pemanasan global), skala regional (badai tropis dan MJO), dan lokal (angin darat-laut dan angin gunung-lembah) (Purboningtyas et al., 2018).

2.4.1 *El Nino Southern Oscillation (ENSO)*

El Nino Southern Oscillation (ENSO) merupakan fenomena gabungan interaksi lautan atmosfer yang menyebabkan variasi iklim tahunan di dunia. Komponen lautan dari ENSO adalah El Nino dan La Nina, sedangkan komponen atmosfernya adalah *Southern Oscillation*. Pusat aktivitas ENSO berada di Samudera Pasifik yang berdekatan dengan garis ekuator (Rachmat, 2017). ENSO adalah fenomena periodik yang terjadi akibat adanya penyimpangan kondisi interaksi antara lautan dan atmosfer sepanjang Samudera Pasifik sekitar ekuator dari keadaan normalnya, sehingga memengaruhi variabilitas iklim di wilayah ekuator Samudera Pasifik dan beberapa bagian bumi. ENSO memiliki tiga fase yaitu netral, La Nina dan El Nino. Ketiga fase ENSO berkaitan dengan fluktuasi suhu permukaan laut dan interaksi dengan atmosfer.

El Nino terjadi ketika SPL di bagian timur Samudera Pasifik meningkat. Namun, suhu di barat Samudera Pasifik dan sekitar Indonesia mengalami penurunan (penyimpangan) yang menyebabkan curah hujan menurun. Hal sebaliknya akan terjadi ketika fenomena La Nina. Untuk mengetahui fenomena ENSO dapat dilihat dari indikator anomali SPL, tekanan udara di atmosfer dan elevasi permukaan laut (Rejeki et al., 2017). Perubahan fase ENSO menyebabkan pergeseran konvergensi angin yang berdampak pada distribusi awan dan pola hujan, terutama selama musim peralihan dan kemarau (Wahidah et al., 2021).

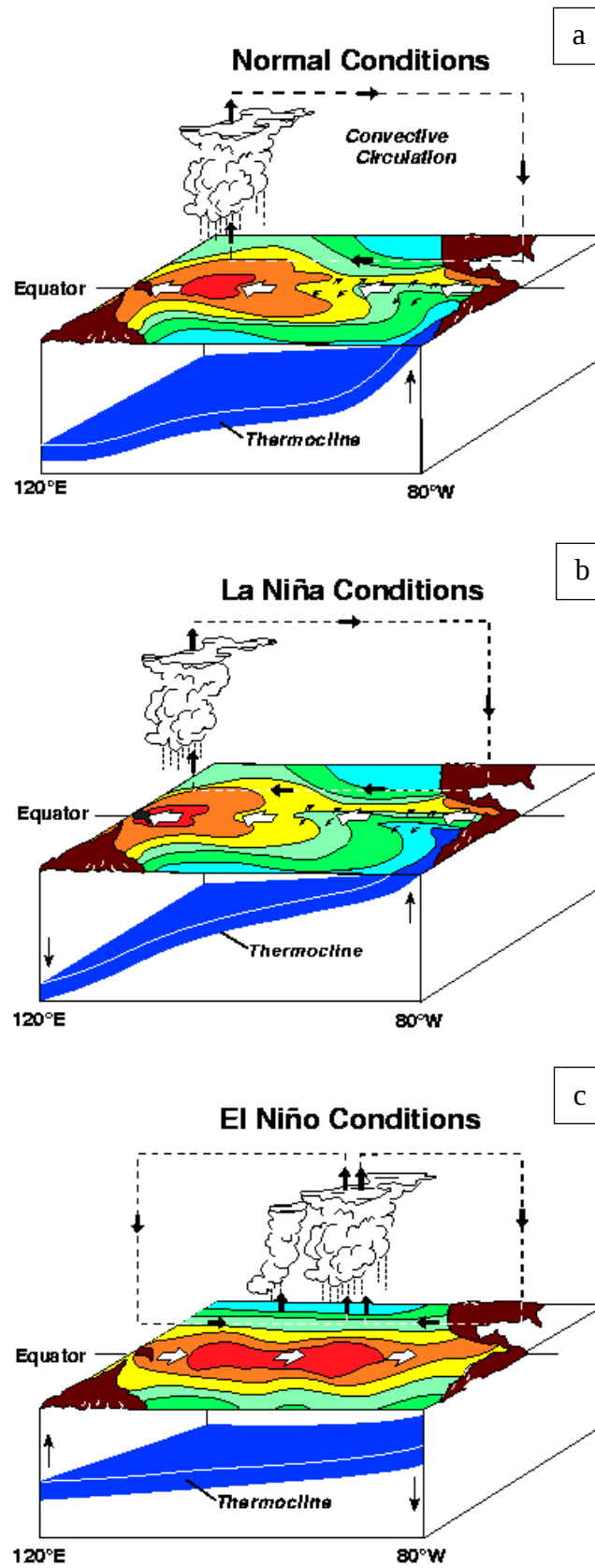
Fase netral adalah kondisi normal dari ENSO, di mana tidak terjadi La Nina maupun El Nino. Pada fase netral, SPL, pola hujan dan sirkulasi atmosfer di wilayah tropis berada dalam kondisi rata-ratanya. Dinamika atmosfer akan dikendalikan oleh faktor iklim yang lain pada fase ini. Selama fase ENSO netral, SPL di barat Pasifik akan selalu lebih hangat dari bagian timur Pasifik. Pada (Gambar 2a) menunjukkan bagian bawah atmosfer dan arus laut permukaan mengalirkan udara yang bergerak dari timur ke barat. Pada bagian atas atmosfer, aliran udara

bergerak dari barat ke timur yang disebabkan adanya konvergensi pada area laut yang hangat di barat Pasifik (Ahrens, 2012).

Fase La Nina disebut sebagai fase ENSO dingin. La Nina adalah pola cuaca yang bisa terjadi di Samudera Pasifik setiap beberapa tahun sekali. Pada (Gambar 2b) menunjukkan musim dingin tahun La Nina, angin ini jauh lebih kuat dari biasanya. Hal ini membuat air di Samudera Pasifik dekat khatulistiwa beberapa derajat lebih dingin dari biasanya. Hasilnya, *upwelling* menjadi lebih kuat di sepanjang pantai Amerika Selatan dengan SPL yang lebih dingin dari biasanya di wilayah Samudera Pasifik bagian timur dan SPL yang lebih hangat dari biasanya di Samudera Pasifik bagian barat (Zakir et al., 2009).

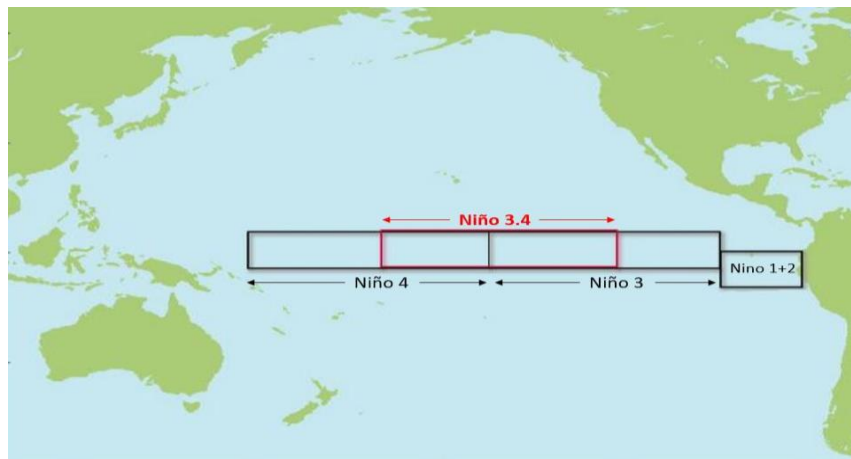
La Nina umumnya memberikan dampak seperti peningkatan curah hujan di wilayah Pasifik ekuator barat dan kekeringan di wilayah Pasifik ekuator timur. Peningkatan curah hujan di bagian Pasifik barat karena adanya peningkatan sistem konvektif. Peningkatan sistem konvektif terjadi akibat desakan dari angin pasat timur yang menggeser sistem konvektif yang biasanya ada di Pasifik ekuator tengah ke arah Pasifik ekuator barat hingga perairan Indonesia timur dan tengah. Adanya konvergensi pada fase ini mengakibatkan massa udara yang sangat lembab bergerak naik dan terjadi hujan. Dampak dari fase La Nina berupa peningkatan *upwelling* yang memungkinkan peningkatan air laut kaya nutrisi naik ke permukaan di sekitar ekuator Pasifik timur. Pada akhirnya selama fase La Nina terjadi peningkatan hasil tangkapan di Pasifik timur (Ahrens, 2012).

Fase El Nino disebut sebagai fase ENSO hangat. Pada (Gambar 2c) menunjukkan SPL di Pasifik ekuator timur menjadi lebih panas dari pada kondisi normalnya. Fase El Nino mengakibatkan konveksi terjadi di daerah timur Pasifik yang menyebabkan curah hujan meningkat. Banyaknya konveksi menyebabkan massa udara berkumpul ke wilayah Pasifik ekuator timur. Sehingga wilayah Indonesia curah hujannya berkurang dan beberapa wilayah mengalami kekeringan (Rachmat, 2017). Selama fase El Nino, massa air laut mengalami perpindahan dari barat ke timur sebagai hasil dari proses naiknya SPL di Pasifik tengah dan timur. Pada wilayah Pasifik timur tangkapan ikan akan berkurang sebagai dampak dari terjadinya fase El Nino (Ahrens, 2012).



Gambar 2. Kondisi Samudera Pasifik saat fase (a) Netral, (b) La Nina dan (c) El Nino.
 Sumber: <http://www.climate.gov/enso> (diakses 20 November 2024).

El Nino disertai dengan perubahan sirkulasi di atmosfer dikenal sebagai osilasi selatan. Maka dari itu, fenomena gabungan ini sering disebut dengan istilah ENSO (*El Nino Southern Oscillation*). El Nino merupakan anomali positif suhu muka laut di Samudera Pasifik bagian tengah dan timur, sehingga untuk keperluan prediksi hujan maupun SPL Indonesia maka digunakan data SPL pada Nino 3.4 yaitu pada wilayah 5°LU-5° LS, 120-170° BT (Rachmat, 2017). Fenomena ENSO diketahui dari nilai indeks osilasi selatan (*Soutchern Oscillation Index-SOI*) dan indeks osilasi nino (*Oceanic Nino Index-ONI*). SOI ditentukan dari perbedaan tekanan udara permukaan laut di Tahiti dan Darwin (Hidayat et al., 2018). ONI ditentukan dari anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino 3.4. Daerah penentuan SOI dan ONI dapat disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Wilayah indeks SOI dan ONI.
Sumber: <http://www.bom.gov>
(diakses 20 November 2024).

Fenomena El Nino dapat menimbulkan dampak secara global karena melemahnya angin pasat timur dan sirkulasi muson melemah. Kondisi ini memicu akumulasi curah hujan di wilayah Indonesia, Amerika Tengah, dan Amerika Selatan bagian barat akan berkurang serta wilayah Pasifik ekuatorial tengah dan barat. Kondisi pada daerah tersebut mengalami cuaca yang cenderung hangat dan lembap. Fenomena La Nina memiliki dampak yang berbanding terbalik dengan El Nino. El Nino dan La Nina juga memiliki beberapa dampak yang terjadi terhadap masyarakat Indonesia. El Nino memiliki dampak yang dapat menimbulkan banyak permasalahan terhadap kehidupan masyarakat mulai dari gagal panen, keba-

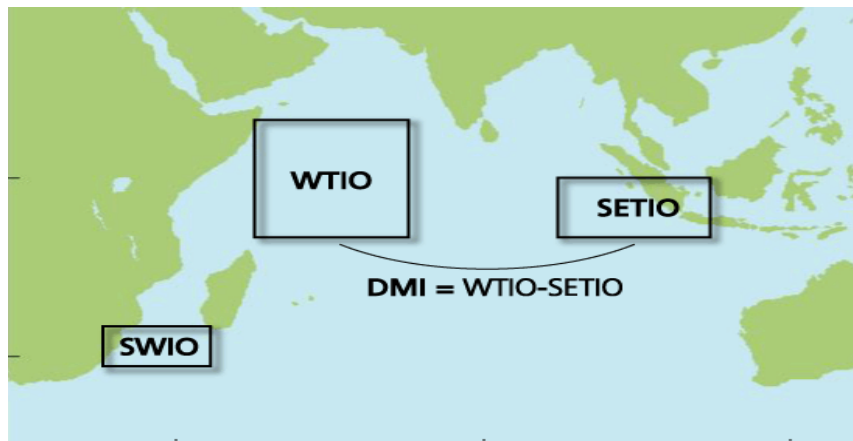
karan hutan, kekeringan dan ancaman kelaparan, sedangkan La Nina akan menimbulkan musim penghujan yang berkepanjangan dan mengakibatkan ancaman banjir maupun tanah longsor (Safitri, 2015).

2.4.2 *Indian Ocean Dipole (IOD)*

Indian Ocean Dipole (IOD) merupakan anomali iklim yang terjadi karena adanya interaksi atmosfer dengan laut yang terjadi di Samudera Hindia. Aktivitas IOD dapat ditentukan melalui indikator yang disebut dengan *Dipole Mode Index (DMI)*. *Dipole Mode Index* didefinisikan sebagai perbedaan antara anomali suhu permukaan laut *Western Tropical Indian Ocean* (WTIO atau 50°E-70°/10°S-10°N) dan anomali suhu permukaan laut di *Southeaztern Tropical Indian Ocean* (SETIO atau 90°E-110°E/10°-ekuator). Berdasarkan DMI, IOD dapat digolongkan ke dalam tiga fase yaitu fase negatif, netral dan positif (Vinayachandran et al., 2001).

Fenomena IOD muncul dengan diawali adanya anomali SPL negatif di Selat Lombok sampai selatan Jawa disekitar bulan Mei-Juni dan menguat ke arah barat Sumatera pada bulan Juli-Agustus. Pada saat yang bersamaan di Samudera Hindia bagian barat sedang terjadi pola anomali SPL positif. Perbedaan tekanan antara kedua sisi tersebut menyebabkan semakin kuatnya angin tenggara di sepanjang garis khatulistiwa dan pantai barat Sumatera sehingga menyebabkan SPL menyebar dari selatan Jawa hingga barat Sumatera. Fenomena IOD memuncak pada bulan September-Oktober dan akan menghilang pada bulan November-Desember (Brown et al., 2009).

DMI (*Dipole Mode Index*) merupakan nilai untuk menentukan fenomena IOD berada pada fase positif atau negatif. Fenomena IODM positif terjadi saat nilai DMI memiliki nilai sama dengan atau lebih besar dari 0,5. Fenomena IODM negatif terjadi saat nilai DMI memiliki nilai sama dengan atau lebih kecil dari -0,5. Nilai DMI dapat diketahui dari perbedaan anomali suhu permukaan laut antara WTIO yang terletak di bagian timur benua Afrika dan SETIO yang terletak di sekitaran Sumatera dan selatan Jawa (Shalin & Sanilkumar, 2013). Daerah WTIO dan SETIO untuk menentukan DMI disajikan pada Gambar 4.



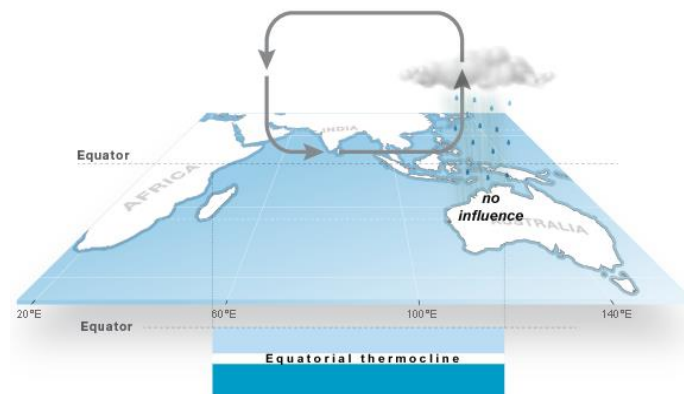
Gambar 4. Wilayah fenomena IODM berdasarkan anomali SPL di WTIO dan SETIO.
Sumber: <http://www.jamstec.go.jp> (diakses 21 November 2024).

IODM netral terjadi apabila sirkulasi Walker di bagian dekat permukaan akan mengalir dari Samudera Hindia ke atas perairan Indonesia karena SPL sedikit lebih hangat (Gambar 5a). Pusat konvektif berada di atas wilayah benua maritim Indonesia yang membentuk hujan di wilayah tersebut hingga ke Australia. IOD dalam fase netral, jika selisih SPL antara Samudera Hindia timur dan Samudera Hindia barat berkisar antara $-0,5$ sampai $+0,5^{\circ}\text{C}$ (Day, 2020).

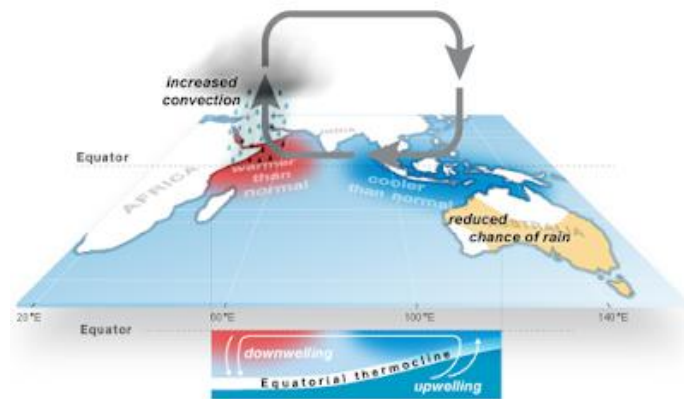
IODM positif terjadi ketika menguatnya sirkulasi Hadley, sehingga angin pasat tenggara di ekuator meningkat. Anomali angin ini mendorong transport Ekman sehingga terbentuk gundukan Ekman (*ekman ridge*) di selatan ekuator sekitar 5°LS (Samudera Hindia). Keadaan ini dapat mengakibatkan SPL bagian barat Samudera Hindia lebih hangat dari biasanya dan suhu permukaan laut perairan barat Sumatera lebih dingin dari biasanya (Krishnan & Swapna, 2009). Kondisi IODM positif membuat curah hujan di Indonesia menjadi lebih rendah (Asyam et al., 2024). Perubahan kondisi ini diilustrasikan pada Gambar 5b.

IODM negatif adalah kebalikan dari fenomena IODM positif. Suhu permukaan laut bagian barat Samudera Hindia menjadi lebih dingin dan suhu permukaan laut di timur samudera menjadi lebih hangat. Angin membawa intensitas massa awan yang tinggi menuju Indonesia dan sekitar bagian timur Samudera Hindia, dengan kata lain di Indonesia terjadi peningkatan curah hujan (Mashita & Gaol, 2019). Ilustrasi IODM negatif disajikan pada Gambar 5c.

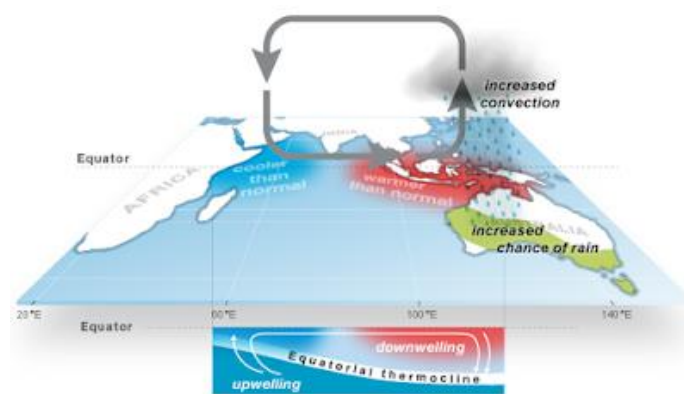
a

Indian Ocean Dipole (IOD): **Neutral phase**

b

Indian Ocean Dipole (IOD): **Positive phase**

c

Indian Ocean Dipole (IOD): **Negative phase**

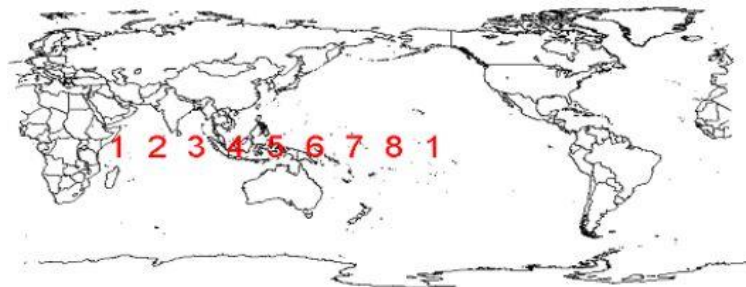
Gambar 5. Perbedaan SPL pada fase IODM (a) Netral, (b) Positif, dan (c) Negatif.
 Sumber: <http://www.bom.gov.au> (diakses 21 November 2024).

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan oleh *Bureau of Meteorology* (Biro Meteorologi Australia), pada periode 1960 sampai 2013 telah terjadi 9 kali IOD positif dan 9 kali IOD negatif. IOD positif terjadi pada tahun 1961, 1963, 1972, 1983, 1994, 1997, 2006, dan 2012. Sementara itu, IOD negatif terjadi pada tahun 1960, 1964, 1974, 1981, 1989, 1992, 1996, 1998, dan 2010 (Pradiko et al., 2017).

2.4.3 *Madden Julian Oscillation (MJO)*

Madden Julian Oscillation (MJO) merupakan salah satu fenomena global yang memengaruhi iklim dan cuaca di Indonesia. MJO sebagian besar berpengaruh terhadap pola curah hujan di Indonesia dan daerah sekitarnya yang dilintasi oleh garis khatulistiwa. Peristiwa MJO pertama kali terdeteksi oleh Madden dan Julian dengan menggunakan data *rawinsodne* dengan periode harian di pulau Kanton, Republik Kiribati (3S, 172W), dan Singapura (1,3N, 103,8E) selama 10 tahun (Pattipeilohy et. al., 2019).

MJO bergerak ke Timur dari Samudera Hindia menuju Samudera Pasifik sekali osilasi dalam waktu 30-60 hari dibagi dalam 8 fase. Fase 1 di Afrika (2100 BB-600 BT), fase 2 di Samudera Hindia bagian barat (600 BT-800 BT), fase 3 di Samudera Hindia bagian timur (800 BT-1000 BT), fase 4 dan fase 5 di benua maritim Indonesia (1000 BT-1400 BT), fase 6 di wilayah Pasifik barat (1400 BT-1600 BT), fase 7 di Pasifik tengah (1600 BT-1800 BT), dan fase 8 daerah konveksi di belahan bumi bagian barat (1800 BT-1600 BB) (Fitriyani, 2014). Pergerakan *Madden Julian Oscillation (MJO)* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pergerakan *Madden Julian Oscillation (MJO)*.
 Sumber: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov>
 (diakses 24 Januari 2025)

Fase 1 MJO memiliki ciri-ciri mulai aktifnya konveksi di bagian timur Afrika atau Samudera Hindia barat dekat pesisir Afrika. Curah hujan akan meningkat di wilayah Afrika timur dan Samudera Hindia tengah pada fase awal ini. Akibatnya terhadap Indonesia cenderung mengeringkan sebagian wilayah barat Indonesia. Pada fase 2, konveksi mulai bergerak ke timur yang menyebabkan hujan meningkat di sekitar Maladewa, Sri Lanka dan India bagian selatan. Wilayah Indonesia mulai mengalami transisi ke kondisi kering. Fase 3 memiliki ciri-ciri curah hujan yang tinggi di bagian timur Samudera Hindia dan pesisir Sumatera bagian barat. Hal ini menandakan konveksi mulai memasuki wilayah Indonesia. Pada fase 4 memiliki ciri-ciri curah hujan yang sangat tinggi di wilayah Indonesia akibat aktivitas konvektif puncak di Indonesia bagian barat. Wilayah Hindia dan Afrika pada fase ini mulai mengering (Wheeler & Hendon, 2004).

Fase 5 memiliki ciri-ciri hujan lebat yang berpindah ke wilayah Tengah dan timur Indonesia dan membawa kelembapan tinggi. Keadaan ini berpotensi meningkatkan potensi hujan di Australia bagian utara. Fase 6 ditandai dengan curah hujan tinggi berpindah ke barat Pasifik dan Indonesia mulai memasuki masa kering. Fase ini sering dikaitkan dengan pembentukan siklon tropis di wilayah Pasifik barat. Pada fase 7, wilayah Indonesia umumnya kering secara menyeluruh karena angin timur di Indonesia menguat dan meningkatkan kekeringan. Selain itu, konveksi dan puncak hujan berada di wilayah Pasifik tengah yang berpotensi meningkatkan SPL. Fase 8 ditandai dengan konveksi dan hujan di sekitar Ekuador dan Peru. Setelah fase ini, konveksi akan kembali ke fase 1 (Afrika) dan kembali ke siklus baru (Zhang, 2005).

MJO terdiri dari 2 fase yaitu, fase peningkatan curah hujan (konvektif) dan fase curah hujan menurun. Pada fase konvektif terjadi dalam 8 fase. Fase ke- 8 MJO dalam menyelesaikan satu kali periode osilasi diawali dengan Samudera Hindia bagian barat dan berakhir pada bagian timur Afrika. MJO adalah fenomena skala besar yang terjadi akibat adanya pola sirkulasi atmosfer yang kuat. Terdapat hubungan timbal balik yang erat antara atmosfer dan laut sehingga keduanya Saling dipengaruhi dan memengaruhi. Fenomena laut dan atmosfer yang memengaruhi daerah Indonesia adalah Muson, *Dipole Mode (DM)*, *Madden Julian Oscilla-*

tion (MJO) dan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), dengan beragam siklus intra-musiman, musiman hingga antar tahunan.

Di wilayah tropis MJO memiliki karakteristik utama yaitu adanya wilayah peningkatan dan penurunan curah hujan yang bergerak berpasangan mengelilingi bumi dari barat ke timur dan biasanya terjadi di sepanjang Samudera Hindia hingga Samudera Pasifik. Karakteristik MJO dapat dikaji lebih dalam menggunakan struktur 3 dimensi, yaitu ketika *suppressed convective* kuat dari lautan Hindia hingga lautan Pasifik Tengah. Anomali siklonik pada level 200 mb bergerak mengikuti daerah dari *suppressed convective* (Pattipeilohy et al., 2019).

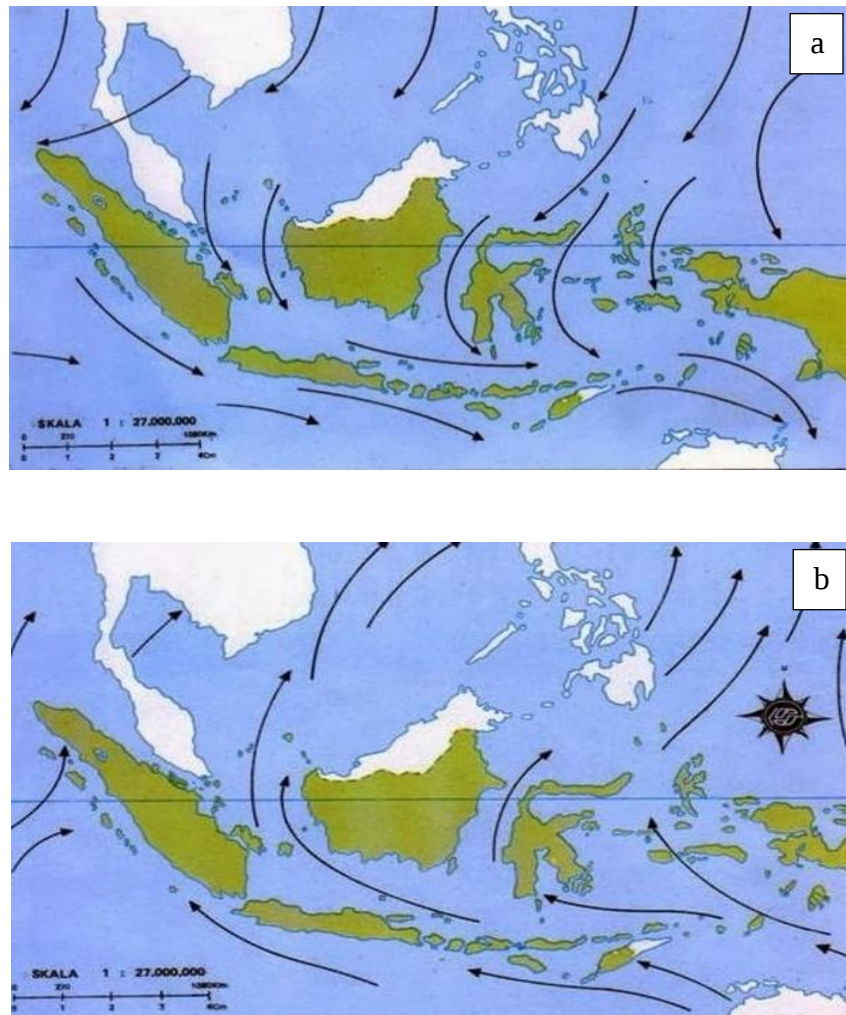
2.4.4 Angin Monsun

Angin monsun (angin musim) adalah pola angin yang berpengaruh di Indonesia. Hal ini disebabkan karena Indonesia terletak diantara benua Asia dan Australia serta diantara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Menurut Yananto & Rini (2016), pada dasarnya keadaan musim di Indonesia terbagi menjadi tiga, yaitu musim barat, musim timur dan musim peralihan.

Musim barat (monsun barat) terjadi pada bulan Oktober-Februari. Pada periode ini matahari berada di belahan bumi selatan yang menyebabkan Australia lebih banyak memperoleh panas matahari dibandingkan benua Asia. Akibatnya di Asia temperaturnya rendah dan tekanan udaranya tinggi, begitu pula sebaliknya di Australia. Oleh karena itu, terjadi pergerakan angin dari benua Asia ke benua Australia. Angin dari benua Asia akan dibelokkan oleh gaya *coriolis* pada saat melintasi khatulistiwa dan terbentuklah angin monsun barat (Yananto & Rini, 2016). Pergerakan angin monsun barat dapat dilihat pada Gambar 7a.

Musim timur terjadi pada bulan April-Agustus, ketika matahari bergeser ke belahan bumi utara yang mengakibatkan benua Asia temperaturnya menjadi tinggi dan tekanan udaranya rendah, begitupun sebaliknya di benua Australia. Akibatnya terjadi pergerakan angin di benua Australia ke benua Asia melalui Indonesia. Angin ini tidak membawa uap banyak dan menurunkan hujan karena hanya melewati laut kecil dan jalur sempit, seperti Laut Timor, Laut Arafura dan sebagian selatan Irian Jaya dan Nusa Tenggara. Pergerakan angin monsun timur dapat dilihat pada Gambar 7b. Pada musim peralihan matahari bergerak melintasi khatu-

listiwa, sehingga angin menjadi lemah dan arahnya tidak menentu. Musim peralihan ini terbagi menjadi 2, yaitu musim peralihan I (periode Maret-April) dan musim peralihan II (periode September-Oktober) (Yananto & Rini, 2016).

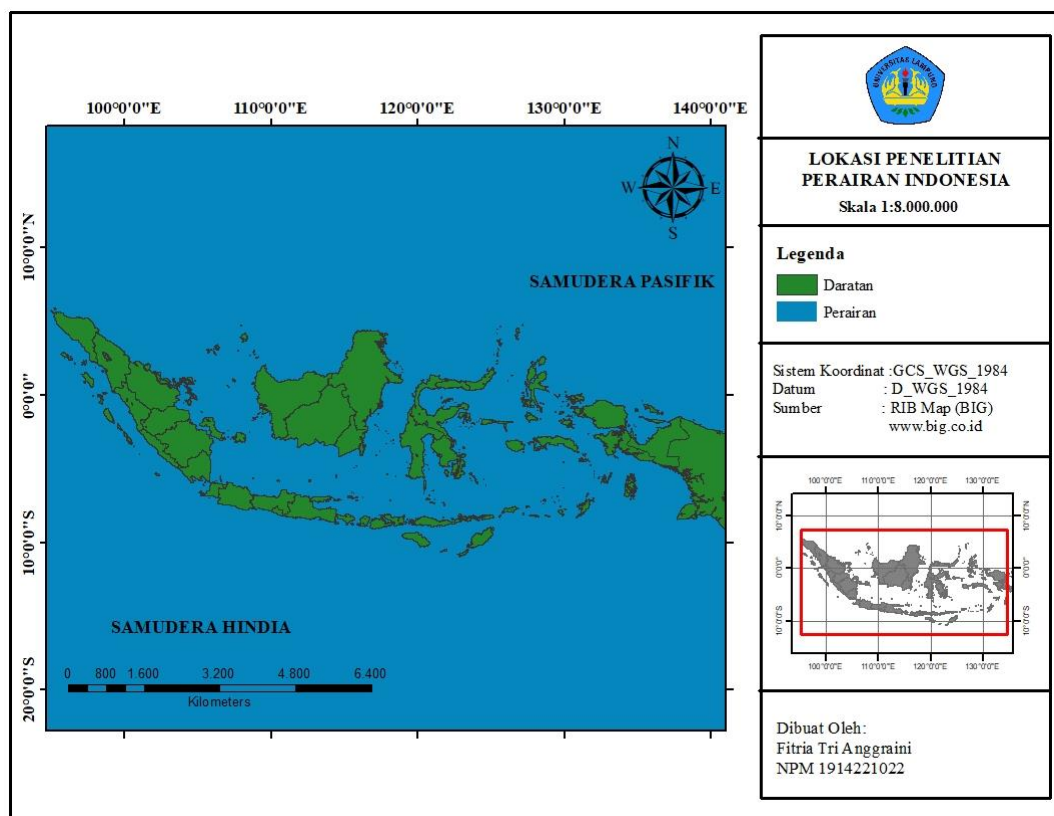


Gambar 7. Pergerakan monsun (a) barat dan (b) timur.
Sumber: Fauziah (2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dimulai dari bulan November 2023 sampai Agustus 2024 dengan lokasi penelitian di perairan Indonesia. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data *time series* selama 50 tahun menggunakan data suhu permukaan laut (SPL). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta lokasi penelitian.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam melakukan penelitian sebagai berikut.

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan penelitian

No.	Bahan	Sumber Data	Kegunaan
1.	Data SPL HadISPL1	<i>Met Office Hadley</i> https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html	Untuk melihat sebaran suhu permukaan laut di perairan Indonesia.
2.	Peta Administrasi Indonesia	<i>Ina-Geoportal</i> https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/	Untuk membedakan daerah daratan dengan perairan.
3.	Indeks IOD	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DMI/	Untuk mengidentifikasi fenomena IOD yang terjadi di perairan Indonesia.
4.	Indeks ENSO	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php	Untuk menggambarkan fase El Nino dan fase La Nina di perairan Indonesia.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat penelitian

No.	Alat	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Laptop	Lenovo IdeaPad-130	Untuk mengunduh data, proses mengolah data melalui <i>software</i> dan penyimpanan data serta menulis penelitian.
2.	Perangkat Lunak <i>Python</i>	Versi 3.12	Untuk mengakses perangkat lunak <i>Jupyter Notebook</i> dan mengunduh yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data di perangkat lunak <i>Jupyter Notebook</i> .
3.	Perangkat Lunak <i>Jupyter Notebook</i>	Versi 6.5.2	Untuk pengolahan data suhu permukaan laut.
4.	ArcGIS	Versi 10.8	Untuk pembuatan peta lokasi penelitian.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian yang dilakukan terdapat beberapa tahap, yaitu persiapan data, pengolahan data dan analisis data.

3.3.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dilakukan untuk menyiapkan semua data yang akan digunakan dalam penelitian. Untuk membuat peta sebaran SPL dibutuhkan data reanalisis HadISPL1 selama 50 tahun (1974-2023) yang diunduh dari situs <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadiSPL/data/download.html>. Data yang digunakan merupakan data yang telah diakumulasi selama 30 hari dan telah melalui proses koreksi geometrik serta koreksi radiometrik.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian menggunakan analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF). Analisis ini digunakan untuk mengkaji variasi spasial dan temporal dari parameter SPL dengan mengekstraksi data set multivarian ke dalam metode orthogonal berdasarkan matriks kovarian data. Setiap mode yang dihasilkan terdiri dari fungsi eigen spasial yang mewakili pola variabilitas spasial di setiap waktu yang menunjukkan variasi pola spasial dengan waktu. Analisis EOF yang digunakan untuk menggambarkan *Eigen Value Problem* (EPV) (Wijaya et al., 2021).

Analisis EOF dapat didefinisikan setelah anomali data matriks ditentukan, kovarian dari matriks kemudian ditentukan dengan persamaan berikut (Hannachi, 2004).

$$X(t,s) = \sum_{k=1}^M c_k(t)u_k(s) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$X(t,s)$ = fungsi waktu (t) dan ruang (s)

M = banyaknya mode

$u_k(s)$ = fungsi ruang

$c_k(t)$ = fungsi waktu (*principal component*)

Dari fungsi ruang dan waktu dalam bentuk matriks dijabarkan sebagai berikut.

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

$$= \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$X = X_i$ (fungsi dari matriks x)

$T = 1, \dots, n$ (fungsi ruang)

$i = 1, \dots, p$ (fungsi waktu)

Sehingga rata-rata waktu pada ruang dihitung dengan persamaan berikut.

$$\bar{x} = (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_p) = \frac{1}{n} \mathbf{1}_n^T X \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$\mathbf{1}_n$ = matriks identitas bernilai 1

Anomali data rata-rata klimatologi pada (t, sk) dengan $t = 1, \dots, n$ dan $k = 1, \dots, p$ dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$X' = X - \mathbf{1}_n \bar{x} = \left(I_n - \frac{1}{n} \mathbf{1}_n \mathbf{1}_n^T \right) X = HX \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

I_n = matriks identitas dari $n \times n$

H = pusat matriks pada ordo ke n

Setelah mengetahui anomali data matriks telah ditentukan, kovarians dari matriks kemudian ditentukan dengan persamaan.

$$\xi = \frac{1}{n-1} X'X \dots\dots\dots (5)$$

Selanjutnya digunakan *Eigen Value Problem* (EPV) untuk menentukan *eigen value* dan *eigen vektor* dengan persamaan berikut.

$$\xi a = \lambda a \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

a = *eigen vektor* dari matriks ξ dan λ

Eigen value umumnya digunakan untuk membedakan dalam persamaan persen, k adalah mode dalam EOF.

$$\frac{100 \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \% \dots\dots\dots (7)$$

3.3.3 Tahap Analisis Data

Analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif secara *time series* dan analisis spasial. Analisis data *time series* merupakan analisa yang menjelaskan dan mengukur perubahan atau perkembangan data selama satu periode (Hasan, 2002). Penelitian dilakukan secara *time series* yaitu dengan menggunakan nilai-nilai dari parameter yang diambil tiap 30 hari dalam waktu 50 tahun untuk mengetahui perubahan nilai dari setiap parameter dalam rentang waktu 50 tahun.

Analisis spasial dilakukan dengan melihat pola sebaran SPL yang dihasilkan dari pengolahan data reanalisis HadISPL1. Analisis dilakukan dengan karakteristik variabilitas parameter SPL selama 50 tahun di wilayah Indonesia.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Sebaran SPL di perairan Indonesia bagian barat dipengaruhi oleh fenomena IOD, monsun, dan pemanasan global. Perairan Indonesia bagian tengah dipengaruhi oleh fenomena ENSO, monsun, Arlindo dan pemanasan global. Perairan Indonesia bagian timur dipengaruhi oleh fenomena ENSO, Arlindo dan pemanasan global.
2. Variabilitas SPL dengan metode EOF didominasi oleh fenomena ENSO dan IOD yang ditunjukkan oleh nilai varians dari *mode* EOF1 dan *mode* EOF2.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Perbedaan SPL antara wilayah barat, tengah dan timur Indonesia dapat dijadikan indikator wilayah potensial untuk perikanan berdasarkan suhu perairan.
2. Pengaruh siklus monsun, IOD dan ENSO terhadap SPL di Indonesia menunjukkan pentingnya analisis lebih lanjut mengenai dampak musiman ini untuk mendukung ketahanan pangan sektor perikanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus., Widodo, S. P., Nurhidayat., Nuki, W. A., & Hendra. (2024). Karakteristik suhu dan salinitas di Selat Makassar berdasarkan data ctd cruise Arlindo 2005 dan timit 2015. *Jurnal Chart Datum*, 2(1), 107-116. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v8i2.144>.
- Ahrens, C. D. (2012). *Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere*. Cengage Learning.
- Aji, T., Widodo, S. P., Nuki, W. A., Agustinus., M. Azis, K., & Amri, R. (2023). The correlation of the mixed layer depth with La Nina and El Nino index in the Natuna Basin. *Omni-Akuatika*, 19(2), 205-215. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2023.19.2.1089>.
- Alfiqri, M. Z., Gentur, H., & Rikha, W. (2024). Pengaruh El Nino 2015-2016 dan La Nina 2020-2021 terhadap SPL, klorofil-a, dan intensitas curah hujan di Laut Sulawesi. *Journal of Oceanography*, 6(3), 239-248. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i3.20009>.
- Anugrah, A. N., & Arindra, A. (2021). Literature review potensi dan pengelolaan sumber daya perikanan laut di Indonesia. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia*, 3(2), 31-36. <https://jurnal.uns.ac.id/jsei/article/view/70902>.
- Ariska, M., Suhadi, Supari, Muhammad, I., & Ishaq I. (2024). Spatio-temporal variations of Indonesian rainfall and their links to Indo-Pacific modes. *Journal Atmosphere*, 15(10), 1-18. <https://doi.org/10.3390/atmos15091036>.
- Asyam, A. M. D., Baskoro, R., & Rikha, W. (2024). Hubungan ENSO dan IOD terhadap suhu permukaan laut dan curah hujan di selatan Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(2), 165-172. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i2.17274>.
- Atmadipoera, A. S., Agitha, S. J., Mulia, P., & Anastasia, R. T. D. K. (2020). Upwelling characteristics in the Southern Java Waters during strong La Nina 2010 and super El Nino 2015. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 257-276. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.28977>.

- Atmadipoera, A. S., Selfrida, M. H., Mulia, P., & Dwi, Y. N. (2016). Variasi spasial dan temporal Arlindo di Selat Makassar. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(1), 299-320. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v8i1.13221>.
- Beliyana, E., Nining, S. N., Sekar, R. G., & Ayi, T. (2023). Characteristics of marine heatwaves in the Indonesian waters during the PDO, ENSO, and IOD phases and their relationships to net surface heat flux. *Journal of Atmosphere*, 14(1), 1-21. <https://doi.org/10.3390/atmos14061035>.
- Brown, J., Lynch, A. H., & Marshall, A. G. (2009). Variability of the *Indian Ocean Dipole* in coupled model paleoclimate simulations. *Journal of Geophysical Research*, 114(1), 1-12. <https://doi.org/10.1029/2008JD010346>.
- Cahyarini, S. Y., & Suharsono. (2015). The Influence of ENSO/IOD on SPL signal in Kendari, Southeast Sulawesi Waters: 27year records of Sr/Ca from Porites corals. *Indonesian Journal on Geoscience*, 2(1), 43-51. <https://doi.org/10.17014/ijog.2.1.43-51>.
- Cai, W., Benjamin, N., Guojian, W., Agus, S., Lixin, W., & Kai, Y. (2022). Increased ENSO sea surface temperature variability under four IPCC emission scenarios. *Nature Climate Change*, 12(1), 228-231. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01282-z>.
- Cai, W., Peter, V. R., & Tim, C. (2012). An asymmetry in the IOD and ENSO teleconnection pathway and its impact on Australian climate. *Journal of Climate*, 25(1), 6318-6329. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-11-00501.1>.
- Chao, L., Hongying, T., Xiaoxu, T., Jiaying, J., & Kailong, S. (2024). Comparison of the impacts of sea surface temperature in the Western Pacific and Indian Ocean on the asian summer monsoon anticyclone and water vapor in the upper troposphere. *Remote Sensing*, 16(2), 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs16162922>.
- Day, B. (2020). *Fenomena Indian Ocean Dipole (IOD), salah satu pengendali iklim di Indonesia*. Litnus.
- Doi, T., Andrea, S., Takuya, F., Hiroyuki, S., & Latsufumi, S. (2019). Impacts of temperature measurements from sea turtles on seasonal prediction around the Arafura Sea. *Front in Marine Science*, 6(7), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00719>.
- Fan, Y., Fan, K., Zhiqing, X., & Shuanglin, L. (2018). ENSO–South China Sea summer monsoon interaction modulated by the Atlantic multidecadal oscillation. *Journal of Climate*, 31(1), 3061-3076. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-17-0448.1>.

- Fauziah, L. (2019). *Gambar peta tiupan angin muson barat dan timur*. Grasindo.
- Fitriyani. (2014). Identifikasi *Madden Julian Oscillation* (MJO) untuk prediksi peluang banjir tahunan di Sub DAS Solo hulu bagian tengah 2007-2012 (No Publikasi 30694) [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta]. Repository Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Fritz, M., Michael, M., Leopold, H., & Susanna, W. (2023). Assessment of Indonesian throughflow transports from ocean reanalyses with mooring-based observations. *Ocean Science*, 19(1), 1203–1223. <https://doi.org/10.5194/os-19-1203-2023>.
- Giu, L. O. M. G., Agus, S. A., Yuli, N., & Dwiyoaga, N. (2020). Struktur vertikal dan variabilitas Arlindo yang masuk ke tepi barat Laut Banda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 455-469. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.29142>.
- Gunawan, D. Dea, Haryoko, U., Sopaheluwakan, A., Kadarsah, Ripaldi, A., Pradama, R. P., Muharsyah, R., Ratna, Linarko, A., & Ferdika. (2018). *Kaji ulang rencana aksi nasional adaptasi perubahan iklim (RAN-API)*. Bapenas.
- Habibie, M. N., & Tri, A. N. (2014). Karakteristik dan tren perubahan suhu permukaan laut di Indonesia periode 1982-2009. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), 37-49. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i1.171>.
- Hadi, S. (2010). *Pengantar oseanografi fisis*. Institut Teknologi Bandung.
- Hannachi, A. (2004). *A primer for EOF analysis of climate data*. University of Reading.
- Haryanto, Y. D., Nelly, F. R., Dendi, R. P., Nindya, P., Saveira, F. I., Arief, W. S., M. Fadli., Nugroho, D. H., Shujiang, L., & R. Dwi, S. (2021). Effect of monsoon phenomenon on sea surface temperatures in Indonesia through-flow region and Southeast Indian Ocean. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(6), 914-923. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.56.6.80>.
- Haryanto, Y. D., Novi, F., Agus, H. Sutrisno, A., & M. Zainuri. (2018). Propagation of *upwelling* on western-coast Sumatra during *Madden-Julian Oscillation* event. *Journal of Ecological Engineering*, 19(1), 122–128. <https://doi.org/10.12911/22998993/79420>.
- Haryanto, Y. D., Rezfiko, A., Sutrisno, A., Agus, H., & M. Zainuri. (2019). Effect of the monsoon to sea surface temperature in the Java Sea. *Advances in Engineering Research*, 167(1), 86-89. <https://doi.org/10.2991/icoma18.2019.19>.

- Hasan, I. (2002). *Pokok-pokok materi statistik 2 (statistik inferentif)*. Bumi Aksara.
- Hendon, H. H. (2003). Indonesian rainfall variability: impacts of ENSO and local air sea interaction. *American Meteorological Society*, 16(1), 1775-1790. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1775:irvioe>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1775:irvioe>2.0.CO;2).
- Hidayat, A. M., Efendi, U., Agustina, L., dan Winarso, P. A. (2018). Korelasi indeks nino 3.4 dan *Southern Oscillation Index* (SOI) dengan variasi curah hujan di Semarang. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), 75–81. <https://doi.org/10.29122/jstm.v19i2.3143>.
- Hidayat, U., Suwignyo, P., Yosafat, D. H., & Nelly, F. R. (2021). Pengaruh EN-SO terhadap curah hujan dan kelembapan relatif serta suhu permukaan laut di Sulawesi. *Buletin GAW Bariri*, 2(2), 88-96. <https://doi.org/10.31172/bgb.v2i2.56>.
- Horhoruw, S. M., Agus, S. A., Mulia, P., & Adi, P. (2015). Struktur arus dan variasi spasial Arlindo di Selat Makassar dari Ekspedisi Ewin 2013. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 20(2), 87-100. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.20.2.87-100>.
- Hu, X., Janet, S., Bongliang, Y., Benoit, T., Philippe, G., Ariane, K., Guillaume, R., Xiang, L., Zheng, W., Yao, L., Dwiyooga, N., Corry, C., & Dewi, S. (2019). Interannual variability of the Sulawesi Sea circulation forced by Indo-Pacific planetary waves. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(1), 1-18. <https://doi.org/10.1029/2018JC014795>.
- Huang, B., Chunying, L., Viva, B., Eric, F., Garrett, G., Bill, H., Tom, S., & Huai-Min, Z. (2021). Improvements of the daily optimum interpolation sea surface temperature (DOISPL) Version 2.1. *Journal of Climate*, 34(1), 2923-1939. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0166.1>.
- Huang, B., Matthew, J. M., Tim, B., Eric, F., Byron, E. G., Jay, H. L., Chunying, L., J. Jared, R., Carl, J. S., Fengying, S., Russell, V., Claude, N. W., Xu-ngang, Y., & Hui-Min, Z. (2020). Uncertainty estimates for sea surface temperature and land surface air temperature in NOAA GlobalTemp Version 5. *Journal of Climate*, 33(1), 1351-1379. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0395.1>.
- Huang, B., Peter, W. T., Viva, F. B., Tim, B., Gennady. C., Jay, H. L. Matthew, J. M., Thomas, M. S., Russell, S. V., & Huai, M. Z. (2017). Extended re-constructed sea surface temperature, version 5 (ERSPLv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(1), 8179-8205. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>.

- Ismail, M. F. A., Johannes, K., Joachim, R., Taslim, A., Handy, C., Rudhy, A., Erma, Y., Abdul, B., & Asep, S. B. (2023). Seasonal mixed layer temperature and salt balances in the Banda Sea observed by an Argo float. *Geoscience Letters*, 10(10), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s4056202300266x>.
- Iskandar, I., Deni, O. L., Agus, D. S., Riza, Y. S., Anindya, W., Raden, D. S., Wijaya, M., Muhammad, I., Rozirwan, Joga, D. S., & Kunarso. (2022). Extreme positive *Indian Ocean Dipole* in 2019 and its impact on Indonesia. *Journal Sustainability*, 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su142215155>.
- Iskandar, M. R.; Ismail, M. F. A., Arifin, T., & Chandra, H. (2021). Marine heatwaves of sea surface temperature off south Java. *Journal Heliyon*, 7(12), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08618>.
- Jatisworo, D., Denny, W. K., Bambang, S., & Rizki, H. (2020). Analisis spasio-temporal variabilitas suhu permukaan laut di Wilayah Pengelolaan Perikanan berdasarkan data satelit Modis Aqua: studi kasus di WPP 573 dan WPP 715. *Majalah Ilmiah Globe*, 22(2), 101-112. <https://doi.org/10.3390/su142215155>.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal componen analysis*. Second Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Krishnan, R., & Swapna, P. (2009). Significant influence of the boreal summer monsoon flow on the Indian Ocean response during dipole events. *Journal of Climate*, 22(21), 5611–5634. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2176.1>.
- Kunarso., Dwi, H. I., Aziz, R., Bayu, M., Anindya, W., R. Dwi S. (2023). Effect of extreme ENSO and IOD on the variability of chlorophyll-a and sea surface temperature in the North and South of Central Java province. *Journal of Marine Sciences*, 28(1), 1-11. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.1.111>.
- Kunarso & Indra, B. P. (2024). The thermocline upper and lower threshold temperature variability on the variation of *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Oscillation Dipole Mode* (IOD), and monsoon at southern Java waters. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(5), 11274-11280. <https://ijrpr.com/uploads/V5ISSUE5/IJRPR28729>.
- Kurniadi, A., Evan, W., Seung-Ki, M., & Min-Gyu, S. (2021). Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 4(1), 1-17. <https://doi.org/10.1002/joc.7040>.
- Kusuma, D. W., Murdimanto, A., Aden, L. Y., Sukresno, B., Jatisworo, B., & Hanintyo. (2017). Sea surface temperature dynamics in Indonesia. *Earth and Environmental Science*, 98(1), 1-13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012038>.

- Lasut, A. Y., Wilhelmina, P., Veibe, W., Calvyn, A. S., Robert, A. B., Alfret, L., & Deiske, A. S. (2021). The relationship between *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) and oceanographic parameters in North Sulawesi waters. *Aquatic Science & Management*, 9(1), 17-25.
<https://doi.org/10.35800/jasm.9.1.2021.32494>.
- Latifah, A. L., Wulandari, S. Y., & Kunarso. (2024). Hubungan suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a terhadap hasil tangkapan Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) yang didaratkan di Pelabuhan Tamperan, Pacitan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(3), 197-208.
<https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i3.20575>.
- Lee, H. S. (2015). General rainfall patterns in Indonesia and the potential impact of local seas on rainfall intensity. *Journal Water*, 7(1), 1751-1768.
<https://doi.org/10.3390/w7041751>.
- Lehodey, P., Arnaud, B., Alistair, J. H., Hidetada, K., Sam, M. Christophe, E. M., Graham, P., Jeffrey, P., & Desiree, T. (2021). ENSO impact on marine fisheries and ecosystems. *Geophysical Monograph*, 25(3), 429-451.
<https://doi.org/10.1002/9781119548164.ch19>.
- Lestari, I. L., Nurdianti, S., & Sopaheluwakan, A. (2016). Analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) berbasis *Singular Value Decomposition* (SVD) pada data curah hujan Indonesia. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, 15(1), 13-22. <https://doi.org/10.29244/jmap.15.1.13-22>.
- Ling, W. Y., Du, Y., Zhang, Y. & Zheng, X. (2012). Interannual variability of sea surface temperature in the Northern Indian Ocean associated with ENSO and IOD. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 5(4), 295–300.
<https://doi.org/10.1080/16742834.2012.11446856>.
- Liu, S., Juncheng, Z., Ye qiang, S., Qiyang, J., Yunxia, C., & Jinglong, Y. (2023). The intensified trend of coastal *upwelling* in the South China Sea during 1982-2020. *Journal Frontiers in Marine Science*, 10(1), 1-11.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1084189>.
- Liu, Q., Jia, Y., Wang, Q., Chu, P. C., Liu, P. (2001). Seasonal and intra-seasonal thermocline variability in the central South China Sea. *Geophysical Research Letters, American Geophysical Union*, 28(1), 4467-4470.
<https://doi.org/10.1029/2001GL013185>.
- Loo, Y. Y., Lawal, B., & Ajit, S. (2014). Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers*, 16(1), 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.02.009>.
- Mardiansyah, W., Dedi, S., M. Yusup, N. K., Indra, Y., Zulkifli, D., & Iskhaq, I. (2018). On the influence of ENSO and IOD on rainfall variability over the

- Musi Basin, South Sumatra. *Science and Technology Indonesia*, 3(4), 157-163. <https://doi.org/10.26554/sti.2018.3.4.157-163>.
- Mashita, M., & Gaol, L. J. (2019). Variability of sea surface temperature (SST) and chlorophyll-a (Chl-a) concentrations in the Eastern Indian Ocean during the period 2002–2017. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 16(1), 55-62. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3147>.
- Matthew, H. E., & Fei, H. (2005). On the interannual variability of the Indonesian throughflow and its linkage with ENSO. *Journal of Climate*, 18(1), 1435-1444. <https://doi.org/10.1175/JCLI3322.1>.
- McPhaden, M. J., Stephen, E. Z., & Michael, H. G. (2006). ENSO as an integrating concept in earth science. *Journal of Science*, 314(1), 1740-1745. <https://doi.org/10.1126/science.1132588>.
- Millenia, Y. W., Muhammad, H., & Lilik, M. (2022). Analisis mekanisme pengaruh IOD, ENSO dan monsun terhadap suhu permukaan laut dan curah hujan di perairan Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4), 87-98. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i4.14414>.
- Monahan, A. H., John, C. F., Maarten, H. P. A., David, B. S., & Gerald, R. N. (2009). Empirical orthogonal functions: the medium is the message. *Journal of Climate*, 22(1), 6501-6514. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3062.1>.
- Mulsandi, A., Yonny, K., Rahmat, H., Akhmad, F., & Ardhasena, S. (2024). Detecting Indonesian Monsoon signals and related features using space–time Singular Value Decomposition (SVD). *Journal Atmosphere*, 15(20), 1-15. <https://doi.org/10.3390/atmos15020187>.
- Nababan, B., Evelyn, G. Br. S., & James P. P. (2021). Variabilitas suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di Samudera Hindia bagian timur laut sebelah barat Sumatera. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 12(2), 143-159. <https://doi.org/10.24319/jtpk.12.143-159>.
- Napitu, A. M., & Arnold, L. G. (2015). Intraseasonal sea surface temperature variability across the Indonesian seas. *Journal of Climate*, 28(1), 8710-8727. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00758.1>.
- Narulita, I. (2017). Pengaruh ENSO dan IOD pada variabilitas curah hujan di DAS Cerucuk, Pulau Belitung. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 4(1), 45-60. <https://doi.org/10.21082/jti.v41n1.2017.45-60>.
- Ningsih, S. N., Sekar, R. G., Erlin, B., & Ayi, T. (2023). Marine heatwave characteristics in the Makassar Strait and its surrounding waters. *Journal of Water*, 15(2), 1-22. <https://doi.org/10.3390/w15142645>.

- Nurafifah, O. U., Muhammad, Z., & Anindya, W. (2022). Pengaruh ENSO dan IOD terhadap distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a pada periode *upwelling* di Laut Banda. *Indonesia Journal of Oceanography*, 4(3), 74-85. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i3.14971>.
- Nur'utami, M. N., & Rahmat, H. (2016). Influences of IOD and ENSO to Indonesian rainfall variability: role of atmosphere ocean interaction in the Indo-Pacific sector. *Procedia Environmental Sciences*, 33(1), 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.070>.
- Nur'utami, M. N., & Tadahiro, Y. (2022). Interannual variability of the Indonesian rainfall and air-sea interaction over the Indo-Pacific associated with interdecadal Pacific Oscillation phases in the dry season. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 100(1), 77-97. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2022-004>.
- Pattiepeilohy, W. J., Femmy, M. B., & Devina, P. A. (2019). Analisis pengaruh *Madden Julian Oscillation* (MJO) terhadap anomali curah hujan di wilayah Ngurah Rai. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5(2), 49-56. <https://doi.org/10.31212/jmkg.v6i2.123>.
- Pradiko, I., Suroso R., & Hasril, H. S. (2017). Mengenal anomali-anomali iklim dan efeknya terhadap produktivitas tanaman Kelapa Sawit di Indonesia. *Warta PPKS*, 22(3), 111-121. <https://iopri.co.id/warta/detail/22/3/2017>.
- Prastiwi, D. A. (2020). Pengaruh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap curah hujan di Indonesia berdasarkan data TRMM 3B43 (No Publikasi 27866) [Skripsi, Universitas Sriwijaya]. Repository Universitas Sriwijaya.
- Prayoga, S. Y. (2020). Penegakan hukum tindak pidana penangkapan ikan secara illegal oleh kapal berbendera asing pada wilayah perairan zona ekonomi eksklusif Indonesia. *Jurnal Legal Reasoning*, 3(1), 49-64. <https://doi.org/10.35814/jlr.v3i1.2232>.
- Purboningtyas, T. P., Arya, H. D., & Eka, I. K. P. (2018). Dampak variabilitas iklim terhadap struktur nafkah rumah tangga petani dan pola adaptasi. *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 6(3), 189-197. <https://doi.org/10.22500/sodality.v6i3.21514>.
- Putra, A. P., Agus, S. A., & John, I. P. (2020). Respons suhu permukaan laut dan klorofil-a terhadap kejadian ENSO dan IODM di wilayah Indo-Pasifik tropis. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 167-182. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.30693>.
- Putra, D. P., Tamima, A., & Devina, P. A. (2016). Analisis pengaruh IOD dan ENSO terhadap distribusi klorofil-a pada periode *upwelling* di Perairan

- Sumbawa Selatan. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 4(2), 1-10. <https://www.researchgate.net/publication/328043217>.
- Putra, R. M., Solih, A., & Bagas, E. A. H. (2021). Identifikasi pengaruh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), and *Madden Julian Oscillation* (MJO) terhadap intensitas curah hujan bulanan di Indonesia berbasis machine learning. *Buletin Meteo Ngurah Rai*, 6(2), 1-8. <https://www.researchgate.net/publication/344451698>.
- Puryajati, A. D., Wirasatriya, A., Maslukah, L., Sugianto, D. N., Ramdani, F., Jallil, A. R., & Andrawina, Y. O. (2021). The effect of ENSO and IOD on the variability of sea surface temperature and rainfall in the Natuna Sea. *Earth and Environmental Science*, 7(5), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/750/1/012020>.
- Qu, T., Yan, D., Jane, S., Gary, M., & Julia, S. (2005). Sea surface temperature and its variability in the Indonesian region. *Journal Oceanography*, 18(4), 50-61. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.05>.
- Rachman, H. A., Gaol, J. L., Syamsudin, F., & As-syakur, A. (2019). Influence of coastal *upwelling* on sea surface temperature trends Banda Sea. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 429(1), 1-12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012015>.
- Rachmat, D. P. (2017). Verifikasi probabilistik prediksi ENSO model dinamik operasional IRI (*International Research Institute*) (No Publikasi 28955) [Skripsi, Universitas Hasanuddin]. Repository Universitas Hasanuddin.
- Rachmayani, R., Nining, S. N., Farrah, H., & Yasmin, N. (2023). Long-term trend and variability of volume transport and advective heat flux through the boundaries of the Java Sea based on a global ocean circulation model (1950–2013). *Journal of Water*, 15(7), 1-23. <https://doi.org/10.3390/w15040740>.
- Radjawane, I. M., Lamona, I. B., Bayu, P., M. Fadli., & Hugo, S. P. (2015). Inter-annual variation of ocean heat content in outer Indonesian waters in warming ocean (case study: West Sumatra waters). *AIP Conference Proceedings*, 1677(1), 1-5. <https://doi.org/10.1063/1.4930695>.
- Ramadhan, T. D. (2022). Variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a 2019 di Laut Jawa. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 4(2), 73-78. <https://doi.org/10.62703/jhi.v4i2.33>.
- Rejeki, H. A., Munasik, & Kunarso. (2017). The effect of ENSO to the variability of sea surface height in Western Pacific Ocean and Eastern Indian Ocean and its connectivity to the Indonesia throughflow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 55(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012066>.

- Robial, S. M. (2016). Analisis *Empirical Ortogonal Function* (EOF) berbasis *Eigen Value Problem* (EVP) pada dataset suhu permukaan laut Indonesia (No Publikasi 31227) [Tesis, Institut Pertanian Bogor]. Repository Institut Pertanian Bogor.
- Robial, S. M., Nurdianti, S., & Sopaheluwakan, A. (2016). Analisis *Empirical Ortogonal Function* (EOF) berbasis *Eigen Value Problem* (EVP) pada dataset suhu permukaan laut Indonesia. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, 15(1), 1-12. <https://doi.org/10.29244/jmap.15.1.1-12>.
- Roxy, M. K., Kapoor, R., Pascal, T., & Sebastien, M. (2014). The curious case of Indian Ocean warming. *Journal of Climate*, 27(1), 8501-8509. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00471.1>.
- Safitri, S. (2015). El Nino, La Nina dan dampaknya terhadap kehidupan. *Jurnal Criksetra*, 4(8), 153-156. <https://doi.org/prefix10.36706>.
- Safitri, M., Cahyarini, S. Y., & Putri, M. R. (2012). Variasi arus Arlindo dan parameter oseanografi di Laut Timor sebagai indikasi kejadian ENSO. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(2), 369-377. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v4i2.7800>.
- Santoso, A., Mathew, H. E., Jules, B. K., & Wenju, C. (2022). Indonesian throughflow variability and linkage to ENSO and IOD in an ensemble of CMIP5 models. *American Meteorological Society*, 35(1), 3161-3178. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0465.1>.
- Santoso, D. (2019). Sebaran suhu permukaan laut (SPL) secara spasial dan temporal di perairan Selat Alas provinsi Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Biologi Tropis*, 19(1), 34-41. <https://doi.org/0.29303/jbt.v19i1.1043>.
- Schmitz, H. (2017). *Human activity and the greenhouse effect*. Purde Extension.
- Seprianto, K. Kunarso, and A. Wirasatriya. (2016). Studi pengaruh El Nino *Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan Karimunjawa. *Journal of Oceanography*, 5(4), 452-461. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/16089>.
- Setiawan, R. Y., Iskandar, I., Wirasatriya, A., Dwi, S. R., Siswanto, E., Pranowo, W. S., Setiawati, M. D., & Mardiansyah, W. (2022). Seasonal and inter-annual coastal wind variability of the central Maluku Islands revealed by satellite oceanography. *Global NEST Journal*, 24(1), 37-43. <https://doi.org/10.30955/gnj.004177>.
- Shalin, S., & Sanilkumar, K. V. (2013). Climatic oscillations in aerosol optical depth over tropical oceanic regions pertaining to genesis of the Indian

- Ocean Dipole. *International Journal of Remote Sensing*, 34(1), 86–95.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2012.706721>.
- Sheila, S. (2024). Pengaruh faktor pengendali variabilitas iklim terhadap suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan Pulau Natuna Kepulauan Riau (No Publikasi 154364) [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. Repository Institut Pertanian Bogor.
- Shinoda, T., Harry., Hendon, H., & Alexander, M. A. (2004). Surface and sub-surface dipole variability in the Indian Ocean and its relation with ENSO. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 51(5), 619-635. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2004.01.005>.
- Shinoda, T., Weiqing, H., Joseph, E. M., & Harley, E. H. (2012). Seasonal variation of the Indonesian throughflow in Makassar Strait. *Journal of Physical Oceanography*, 42(1), 1099-2245.
<https://doi.org/10.1175/JPO-D-11-0120.1>.
- Simanjuntak, F., & Tang, H. L. (2022). 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(1), 1-28.
<https://doi.org/10.3390/rs14071682>.
- Sofiati, I., E. Yulihastin., Suaydhi., & M. F. Putranto. (2020). Meridional variations of sea surface temperature and wind over southern sea of Java and its surroundings. *Journal of Physics and Its Applications*, 3(1), 129-135.
<https://doi.org/10.14710/jpa.v3i1.9374>.
- Sprintall, J., Arnold, L. G., Ariane, K., Tong, L., James, T. P., Kandaga, P., & Susan, E. W. (2014). The Indonesian seas and their role in the coupled ocean–climate system. *Nature Geoscience*, 7(7), 487-450.
<https://doi.org/10.1038/ngeo2188>.
- Srisahani, T. (2017). *Dampak El Nino dan La Nina pada cuaca di Indonesia*. Pusat Krisis Kesehatan.
- Sudjono, E. H., Mihardja, D. K., & Ningsih, N. S. (2004). Indikasi flutuasi arus lintas Indonesia di sekitar Selat Makassar berdasarkan model numerik. *Jurnal Geologi Kelautan*, 2(1), 29-35.
<https://doi.org/10.31258/jgk.2.1.29-35>.
- Suhana, M. P., Ferdy, G. U., Andry, P. P., Zan, Z., M. Sumran, P., M. Tral, F. E., & Duaitd, K. (2018). Pola dan karakteristik sebaran medan massa, medan tekanan dan arus geostropik perairan Selatan Jawa. *Dinamika Maritim*, 6(2), 20-25. <https://doi.org/10.31258/dinamikamaritim.6.2.20-25>.

- Sun, A., Jian, L., Yue, F. T., & Xiaoqian, G. (2015). A triggering mechanism for the Indian Ocean Dipoles Independent of ENSO. *Journal of Climate*, 28(13), 5063-5076. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00580.1>.
- Suniada, K. I. (2020). Variability of sea surface temperature in fisheries management area 715, Indonesia and its relation to the monsoon, ENSO and fishery production. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*, 17(2), 99-114. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3370>.
- Sukresno, B. (2010). *Empirical Orthogonal Functions* (EOF) analysis of SPL variability in Indonesian water concerning with ENSO and IOD. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(8), 116-121. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00580.1>.
- Susanto, A., Matthew, H. E., Jules, B. K., & Wenju, C. (2022). Indonesia through-flow variability and linkage to ENSO and IOD in a ensemble of CMIP5 models. *Journal of Climate*, 35(10), 3163-3178. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0485.1>.
- Susanto, D. A. L., Gordon, & Q., Zheng. (2001). *Upwelling* along the coast of Java and Sumatera and its relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1599-1602. <https://doi.org/10.1029/2000GL011844>.
- Susanto, R. D., & Gordon, A. L. (2005). Velocity and transport of the Makassar Strait throughflow. *Journal of Geophysical Research*, 110(C1), 287-294. <https://doi.org/10.1029/2004JC002425>.
- Susanto, R. D., & Richard, D. R. (2022). Seasonal and interannual variability of tidal mixing signatures in Indonesian seas from high-resolution sea surface temperature. *Remote Sensing*, 14(1), 1-14. <https://doi.org/10.3390/rs14081934>.
- Syaifullah, M. D. (2015). Suhu permukaan laut perairan Indonesia dan hubungannya dengan pemanasan global. Analisis suhu permukaan laut perairan Indonesia. *Jurnal Segara*, 11(1), 37-47. <https://ejournalbalitbang.kkp.go.id/index.php/segara/article/view/7356>.
- Tanto, T. A., & Riswanto. (2022). Kajian suhu permukaan laut (SPL) menggunakan analisis deret waktu di perairan Laut Banda. *Jurnal Kelautan*, 15(3), 270-279. <https://doi.org/10.21107/jk.v15i3.14386>.
- Tubalawony, S., Edi, K., & Muhadjirin. (2012). Suhu dan salinitas permukaan merupakan indikator *upwelling* sebagai respon terhadap angin monsun Tenggara di perairan bagian barat Laut Sawu. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 17(4), 226-239. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.17.4.226-239>.

- Umaroh., Sutrisno, A., & Muslim. (2017). The dynamics of sea surface height and geostrophic current in the Arafura Sea. *Earth and Environmental Science*, 55(2), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012046>.
- Vinayachandran, P. N., Lizuka, S., & Yamagata, T. (2001). Indian Ocean Dipole mode events in an ocean general circulation model. *Deep Sea Research II*, 49(7), 1573-1596. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00157-6](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00157-6).
- Vinayachandran, P. N., Francis, P. A., & Rao, S. A. (2010). Indian Ocean Dipole: processes and impacts. *Current Trends in Science*, 46(1), 569-589. <https://www.ias.ac.in/public/Resources/OtherPublications/Overview/CurrentTrends/569-589>.
- Wahidah, R., Sudibyo, M., & Dewi, S. (2021). Analisis variabilitas curah hujan akibat pengaruh ENSO dan IOD di wilayah Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 22(1), 39-38. <https://jmg.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/issue/view/51>.
- Wang, C., & Bin, W. (2019). Tropical cyclone predictability shaped by western Pacific subtropical high: integration of trans-basin sea surface temperature effects. *Climate Dynamics*, 53(5), 2697–2714. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04651-1>.
- Wang, H., Arun, K., & Raghu, M. (2016). Interaction between the *Indian Ocean Dipole* and ENSO associated with ocean subsurface variability. *Science and Technology Infusion Climate Bulletin*, 3(1), 1-5. <https://www.weather.gov/media/sti/climate/STIP/41CDPW>.
- Wang, X., Sun, J., Wei, Y., & Wu, X. (2022). Response of the phytoplankton sinking rate to community structure and environmental factors in the Eastern Indian Ocean. *Journal Plants*, 11(12), 1-13. <https://doi.org/10.3390/plants11121534>.
- Wangdiarta, F. P., Anindya, W., & Gentio, H. (2024). Respon suhu permukaan laut (SPL) terhadap ENSO di perairan Masalembo periode 2010-2019. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(1), 57-71. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i1.17944>.
- Wheeler, M., & Hendon, H.H. (2004). An all-season real-time multivariate MJO index: development and evaluation. *Monthly Weather Review*, 132(8), 1917-1932. <https://doi.org/10.1175/1520-0493>.
- Wijaya, A., Umi, Z., Abu, B. S., & Daduk S. (2021). Variabilitas klorofil-a periode *Indian Ocean Dipole* di Selat Bali berdasarkan analisis *Empirical Orthogonal Function*. *Journal of Fisheries and Marine*, 5(2), 208-216. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.4>.

- Wiryawati, B., Loneragan, N., Mardhiah, U., Kleinertz, S., Wahyuningrum, P. I., Pingkan, J., Wildan., Timur, P. S., Duggan, D., & Yulianto, I. (2020). Catch per unit effort dynamic of *Yellowfin Tuna* related to sea surface temperature and chlorophyll in Southern Indonesia. *Journal Fishes*, 5(3), 1-16. <https://doi.org/10.3390/fishes5030028>.
- Yananto, A., & Rini, M. S. (2016). Analisis kejadian El Nino dan pengaruhnya terhadap intensitas curah hujan di wilayah Jabodetabek. Studi kasus: periode puncak musim hujan tahun 2015/2016. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2), 65-73. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v17i2.541>.
- Yoo, S., Song, Y., & Chang, H. (2006). Variability of the indian ocean sea surface temperature and its impacts on Asian-Australian monsoon climate. *Journal of Geophysical Research*, 111(3), 1-17. <https://doi.org/10.1029/2005JD006001>.
- Yustiana, M., Muhammad, Z., Denny, N. S., Mahardiani, P. N. B., & Anistia, M. H. (2023). Dampak variabilitas iklim inter-annual (El Nino, La Nina) terhadap curah hujan dan anomali tinggi muka laut di pantai barat Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), 109-124. <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i1.48377>.
- Yusuf, M., Maddatuang., Abdul, M., & Irwansyah, S. (2022). Analisis trend dan variabilitas suhu permukaan laut di perairan Indonesia WPPN-RI 713. *Journal Environmental Science*, 5(1), 76-82. <https://doi.org/10.35580/jes.v5i1.38018>.
- Zakir, A., Sulistya, W., & Khotimah, M. K. (2010). *Perspektif operasional cuaca tropis*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Zhang, C. (2005). Madden-Julian Oscillation. *American Geophysical Union*, 43(2), 1-36. <https://doi.org/10.1029/2004RG000158>.
- Zhang, X., & Takashi, M. (2023). Decadal modulation of ENSO and IOD impacts on the Indian Ocean upwelling. *Front Earth Science*, 11(12), 1-11. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1212421>.
- Zulfa, I., N. (2021). Hubungan El Nino, La Nina, dan IOD terhadap variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan Laut Sawu tahun 2003-2019 (No Publikasi 188436) [Skripsi, Universitas Brawijaya]. Repository Universitas Brawijaya.