

**HUBUNGAN *EL NINO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO) DAN
INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM) TERHADAP
VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KLOOROFIL-A
DI PERAIRAN BARAT SUMATERA**

(Skripsi)

Oleh

**MUHAMMAD YUSUF AZHARI
NPM 1814221023**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

HUBUNGAN *EL NINO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO) DAN *INDIAN OCEAN DIPOLE MODE* (IODM) TERHADAP VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KLOOROFIL-A DI PERAIRAN BARAT SUMATERA

Oleh

MUHAMMAD YUSUF AZHARI

Interaksi atmosfer dan lautan di Samudera Pasifik menyebabkan fenomena El Nino South Oscillation, sedangkan di Samudera Hindia menyebabkan fenomena Indian Ocean Dipole Mode. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan antara ENSO dan IODM terhadap variabilitas SPL dan klorofil-a di perairan Sumatera bagian barat. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah indeks ONI, indeks DM, SPL, dan klorofil-a selama periode waktu 2011-2020. Hubungan pola sebaran spasial antara SPL dan klorofil-a dianalisis menggunakan analisis korelasi spasial. Variabilitas pola SPL dan klorofil-a akibat pengaruh osilasi indeks Nino 3.4 dan DMI dianalisis menggunakan metode continuous wavelet transform (CWT), sedangkan fase dan periode kejadian dianalisis menggunakan metode cross wavelet transform (XWT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabilitas temporal SPL tertinggi terjadi pada musim peralihan pertama, sedangkan SPL terendah terjadi pada musim barat. Keanekaragaman klorofil-a secara temporal relatif sama meningkat setiap tahunnya pada musim peralihan pertama ke musim timur. Hubungan SPL dengan klorofil-a menunjukkan korelasi positif yang kuat pada tahun 2011 hingga 2020 kecuali pada tahun 2019 di perairan Aceh hingga Padang, sedangkan korelasi negatif terjadi pada tahun 2019 di perairan Sumatera bagian barat. Hasil CWT menunjukkan adanya variabilitas bulanan dan tahunan. Hasil XWT menunjukkan bahwa fenomena El Nino mendahului fenomena IOD positif pada periode 16 hingga 32 dan berkorelasi dengan variabilitas SPL dan klorofil-a.

Kata kunci: ENSO, IODM, suhu permukaan laut, klorofil-a, wavelet, variabilitas

ABSTRACT

THE RELATIONSHIP OF EL NINO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) AND INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM) TO VARIABILITY OF SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A IN THE WATERS OF WESTERN SUMATRA

By

MUHAMMAD YUSUF AZHARI

The interaction between the atmosphere and ocean in the Pacific Ocean caused the El Nino South Oscillation phenomenon, while in the Indian Ocean, it caused the Indian Ocean Dipole Mode phenomenon. This research aimed to determine the relationship between ENSO and IODM on the variability of SST and chlorophyll-a in the waters of western Sumatera. This research used a quantitative method. The data used in this research were ONI index, DM index, SST, and chlorophyll-a during the 2011-2020 time period. The relation between spatial distribution patterns between SST and chlorophyll-a was analyzed using spatial correlation analysis. Variability patterns in SST and chlorophyll-a due to the influence of oscillation of the Nino 3.4 index and DMI were analyzed using the continuous wavelet transform (CWT) method, while the phases and periods of events were analyzed using the cross wavelet transform (XWT) method. The research result showed that the highest temporal SST occurred in the first transition season, while the lowest SST occurs in the west season. Temporal diversity of chlorophyll-a relatively similar and increased every year in the first transition season to the east monsoon. The relationship between SST and chlorophyll-a showed a strong positive correlation from 2011 to 2020, except in 2019 in the waters of Aceh to Padang, while a negative correlation occurred in 2019 in the waters of western Sumatra. The CWT results showed that there was monthly and annual variability. The XWT results showed that the El Nino phenomenon preceded the positive IOD phenomenon in the periods 16 to 32 and was correlated with SST and chlorophyll-a variability.

Keywords: ENSO, IODM, sea surface temperature, chlorophyll-a, wavelet, variability

**HUBUNGAN *EL NINO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO) DAN
INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM) TERHADAP VARIABILITAS
SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KLOOROFIL-A
DI PERAIRAN BARAT SUMATERA**

Oleh

MUHAMMAD YUSUF AZHARI

(Skripsi)

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

Pada

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



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Penelitian : **HUBUNGAN EL NINO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) DAN INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM) TERHADAP VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KLOROFIL-A DI PERAIRAN BARAT**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Yusuf Azhari**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1814221023**


Jurusan /Program Studi : **Perikanan dan Kelautan / Ilmu Kelautan**

Fakultas : **Pertanian**

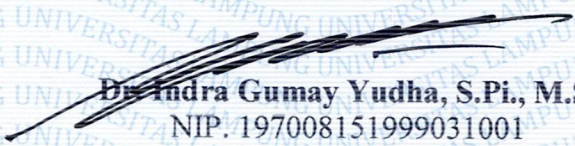
Menyetujui,

1. Komisi Pembimbing


Eko Efendi, S.T., M.Si.
NIP. 197803292003121001


Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP. 199001202019031011

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Ilmu Kelautan


Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si
NIP. 197008151999031001

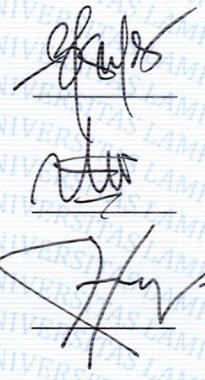
MENGENSAKAN

1. Tim Penguji

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

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

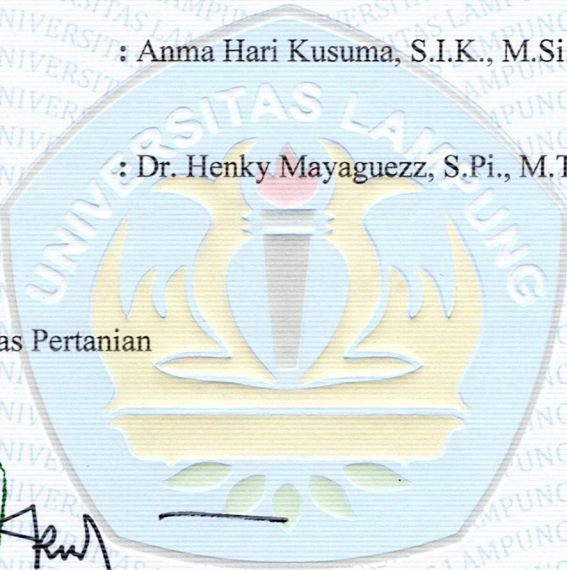
Anggota : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Oktober 2023

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Bandar Lampung, 26 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Yusuf Azhari
NPM. 1814221023

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada 13 Mei 2000 di Kotabumi, Lampung Utara sebagai anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Rahmatullah dan Ibu Epi Suwarni. Penulis memiliki satu orang kakak bernama Rico Aulia Rahmat dan dua orang adik bernama Ericasana dan Muhammad Akbarurrizki.

Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiyah II Cempedak tahun 2006, pendidikan dasar di SD Negeri 01 Kota Gapura tahun 2012, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 10 Kotabumi tahun 2015, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 01 Kotabumi tahun 2018.

Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di tahun 2018 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Semasa menjadi mahasiswa, penulis pernah tergabung dalam Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Pertanian, yaitu menjadi staf Divisi Seni dan Olahraga pada tahun 2019 dan anggota Bidang Pengembangan Minat dan Bakat dalam Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) tahun 2019-2021 serta menjadi Ketua Pelaksana acara *Fisheries and Marine EXPO* Himapik.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Sribasuki, Kecamatan Kotabumi, Kabupaten Lampung Utara tahun 2021. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) dalam jaringan (daring) di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) dengan judul “Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Landsat 7 dan 8 di Kabupaten Pesawaran Lampung” tahun 2021.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat serta karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dengan kerendahan hati dan ketulusan, kupersembahkan skripsi ini sebagai tanda bukti kasih sayangku.

Untuk yang tersayang :

Bapakku Rahmatullah dan Mamaku Epi Suwarni

Yang telah senantiasa melalui banyak perjuangan dan rasa sakit hanya untukku. Terima kasih atas semua kepercayaan dan doa yang diberikan kepada saya selama ini sehingga saya bisa sampai pada tahap Sarjana Sains.

Kakak, adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam semua proses yang saya lewati, sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan sarjana.

Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas, serta teman-teman seperjuanganku yang selalu ada di saat senang maupun sulit kehidupan perkuliahan selama ini.

Dan almamaterku tercinta

Universitas Lampung

MOTO

“Janganlah kamu berduka cita, sesungguhnya Allah selalu bersama kita”

(Q.S At Taubah: 40)

“Jangan takut untuk bermimpi. Karena mimpi adalah tempat menanam benih harapan dan memetakan cita-cita”

(Monkey D. Luffy)

“Selama mentari masih menyapa, maka hari buruk takkan bertahan lama”

(Yotari)

“Jangan pernah meremehkan diri sendiri, karena diri sendiri ada kelebihan tersendiri”

(Portgas D.Ace)

“Jangan pernah lari dari masalah, karena hidup akan menjadi lebih baik dari masalah yang datang di kehidupan”

(MYA)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan segala kenikmatan-Nya sehingga penulis mampu menyusun skripsi yang berjudul “Hubungan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) terhadap variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan barat Sumatera” dapat diselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Eko Efendi, S.T., M.Si selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberi arahan serta bimbingan dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini;
4. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini;
5. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan serta saran dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini;
6. Bapak, Mama, Kak Rico, Mba Anggi, Dek Rica, Dek Akbar, dan keluarga besar yang telah mendoakan dan memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian;
7. Elfira Kurnia Putri, Indah Saskia, dan Mba Sulis yang slalu memberikan semangat kepada penulis pada saat proses mengerjakan skripsi;
8. Teman-teman seperjuanganku, Fathan Al Fadhil, M Rizki Renaldi, Daffa Rizky Syafutra, Agung Mas, M Fadhil Priyambodo, Ismawan Adjie Prasetyo, M Rizky Aditya, R Nata Trisna, Aqilla Fadya R, Ferdina Humairoh, Fenti Dwi Saputri, dan Irene Laurensia serta rekan-rekan Ilmu Kelautan yang telah mem-

berikan waktu, tenaga dan pikiran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Dengan adanya skripsi penelitian ini penulis berharap dapat membantu dan memberikan informasi kepada mahasiswa lain dan juga masyarakat umum mengenai kondisi oseanografi di perairan barat Sumatera terkait penyimpangan iklim yang terjadi.

Bandar Lampung, Maret 2024

Muhammad Yusuf Azhari
NPM. 1814221023

DAFTAR ISI

halaman

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pikir.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>El Nino Southern Oscilation</i> (ENSO)	5
2.2 <i>Indian Ocean Dipole Mode</i> (IODM).....	8
2.3 Suhu Permukaan Laut	10
2.4 Klorofil-a	11
III. METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat.....	14
3.2.2 Data.....	14
3.3 Metode	14
3.4 Tahapan Penelitian.....	15
3.4.1 Pengumpulan Data.....	15
3.4.2 Pemotongan Data.....	16
3.4.3 Ekstraksi Data	16
3.4.4 Interpolasi Data.....	17
3.4.5 Perhitungan Anomali SPL dan Klorofil-a	17
3.4.6 Identifikasi Fenomena ENSO dan IODM.....	18
3.4.7 Korelasi Spasial	18
3.4.8 Analisa Korelasi Wavelet	19
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Sebaran Suhu Permukaan Laut (SPL)	21
4.2 Sebaran Klorofil-a	23

4.3 Korelasi Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a	24
4.4 Hubungan Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a, Nino 3.4 dan DMI	26
V. KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Panduan prediksi El-Nino, La-Nina atau normal terhadap nilai ONI.....	7
2. Kriterion kondisi IODM.....	10
3. Alat – alat penelitian	14
4. Jenis dan sumber data.....	14
5. Nilai kekuatan hubungan hasil koefisien korelasi.....	19
6. Kejadian ENSO dan IODM berdasarkan indeks Nino 3.4 dan DMI.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	4
2. Wilayah pemantauan indeks SOI dan ONI.....	5
3. Pergerakan suhu udara (sirkulasi walker).....	6
4. Wilayah untuk menentukan fenomena IODM berdasarkan perbedaan anomali SPL di WTIO dan SETIO.....	9
5. Perbedaan SPL pada fase IODM positif.....	9
6. Perbedaan SPL pada fase IODM negatif.....	10
7. Domain wilayah penelitian.....	13
8. Tahapan penelitian.....	16
9. Pola suhu permukaan laut bulanan antara tahun 2011 – 2020.....	21
10. Rerata klorofil-a bulanan selama periode tahun 2011 – 2020.....	23
11. Peta korelasi klorofil-a dan suhu permukaan laut.....	25
12. Variabilitas anomali SPL bulanan dari tahun 2011 – 2020.....	27
13. Variabilitas anomali klorofil-a bulanan dari tahun 2011 – 2020.....	30
14. Spektrum energi hasil analisis CWT.....	31
15. Korelasi silang transformasi wavelet XWT.....	32
16. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2011.....	43
17. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2012.....	44
18. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2013.....	45
19. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2014.....	46
20. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2015.....	47
21. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2016.....	48
22. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2017.....	49
23. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2018.....	50
24. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2019.....	51

25. Peta pola sebaran suhu permukaan laut pada tahun 2020.....	52
26. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2011.	53
27. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2012.	54
28. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2013.	55
29. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2014.	56
30. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2015.	57
31. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2016.	58
32. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2017.	59
33. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2018.	60
34. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2019.	61
35. Peta pola sebaran klorofil-a pada tahun 2020.	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Peta pola sebaran suhu permukaan laut	43
2. Peta pola sebaran klorofil-a	53

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Letak geografis Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa memiliki perairan dengan karakteristik berupa adanya pencampuran massa air dari Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Selain itu, interaksi antara atmosfer dan lautan menyebabkan terjadinya dinamika iklim di kedua samudera terdekat. Dinamika iklim yang terjadi memunculkan fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) di Samudera Pasifik dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) di Samudera Hindia. Fenomena ENSO ditandai dengan peristiwa El Nino, yaitu kondisi musim kemarau dan La Nina memiliki kondisi sebaliknya dari El Nino (Fitria dan Pratama, 2013). Fenomena IODM ditandai dengan peristiwa IODM positif, yaitu kondisi musim kemarau yang ditandai dengan menguatnya sirkulasi Hadley dan IODM negatif memiliki kondisi sebaliknya (Krishnan dan Swapna, 2009). Fenomena ENSO dan IODM dapat dilihat dari pola anomali suhu permukaan laut dan kemudian akan diikuti perubahan konsentrasi klorofil-a di lautan (Paulus, 2006).

Menurut Jamili *et al.*, (2018) El Nino memiliki hubungan yang erat terhadap suhu permukaan laut. Selanjutnya, Herucokro (2019) menyatakan bahwa IODM negatif yang berasosiasi dengan fenomena La Nina juga dapat mengakibatkan naiknya SPL di perairan Selat Bali pada tahun 2016. Fenomena ENSO dapat terjadi secara bersamaan dengan IODM. Kondisi ini akan memicu peristiwa *upwelling*. Amri *et al.*, (2013) menemukan bahwa pada saat sedang berlangsung musim timur, maka di perairan selatan Jawa dan barat Sumatera akan terjadi *upwelling*. *Upwelling* yang intensif terjadi pada fase IODM positif kuat berasosiasi dengan El Nino sedang. *Upwelling* juga terjadi ketika IODM positif sedang berlangsung pada tahun 2015 lebih dominan di Samudera Hindia Timur (Mashita dan Gaol, 2019). Hal ini

terpantau dari anomali suhu permukaan laut yang negatif dan peningkatan konsentrasi klorofil-a.

Fenomena yang sama juga terjadi di Laut Arafuru, menurut Wahyuni *et al* (2018) di Laut Arafuru adanya hubungan pengaruh El Nino terhadap SPL memiliki hubungan yang sangat kuat dengan nilai korelasi tertinggi yaitu 0,8 setiap tahunnya. Lebih lanjut Sepriyanto *et al.*, (2016) menyatakan bahwa di perairan Karimun Jawa terjadinya fenomena El Nino yang diikuti pergerakan dari fenomena IODM positif kuat dapat menyebabkan SPL menjadi dingin dan tingginya klorofil-a. Tinggi rendahnya SPL akan memengaruhi intensitas terjadinya *upwelling* (Putra *et al.*, 2017). Pada saat fenomena IODM positif terjadi SPL menjadi lebih dingin di perairan Samudera Hindia Timur, sehingga dapat mengakibatkan intensitas curah hujan di perairan selatan Jawa akan berkurang (Rahayu *et al.*, 2018). Pada saat fenomena IODM negatif terjadi SPL menjadi lebih hangat di perairan Samudera Hindia Timur (Hafizhurrahman *et al.*, 2015). Pasca kejadian La Nina, SPL yang berkisar antara 26-28 °C menandakan akan mulai masuk musim penghujan (Arafah, 2017).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang ada tersebut koreksi antara ENSO dan IODM pada rentang waktu yang sama di perairan barat Sumatera terhadap perubahan SPL serta klorofil-a belum banyak dikaji. Variabilitas perubahan SPL dan klorofil-a dapat diketahui dari data yang dikumpulkan secara spasial dan temporal. Oleh karena itu, rentang waktu antara tahun 2011-2020 dipilih untuk dikaji fenomena tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. menganalisis pola sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan barat Sumatera,
2. menganalisis korelasi suhu permukaan laut dengan klorofil-a di perairan barat Sumatera,

3. menganalisis korelasi ENSO, IOD, suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan barat Sumatera.

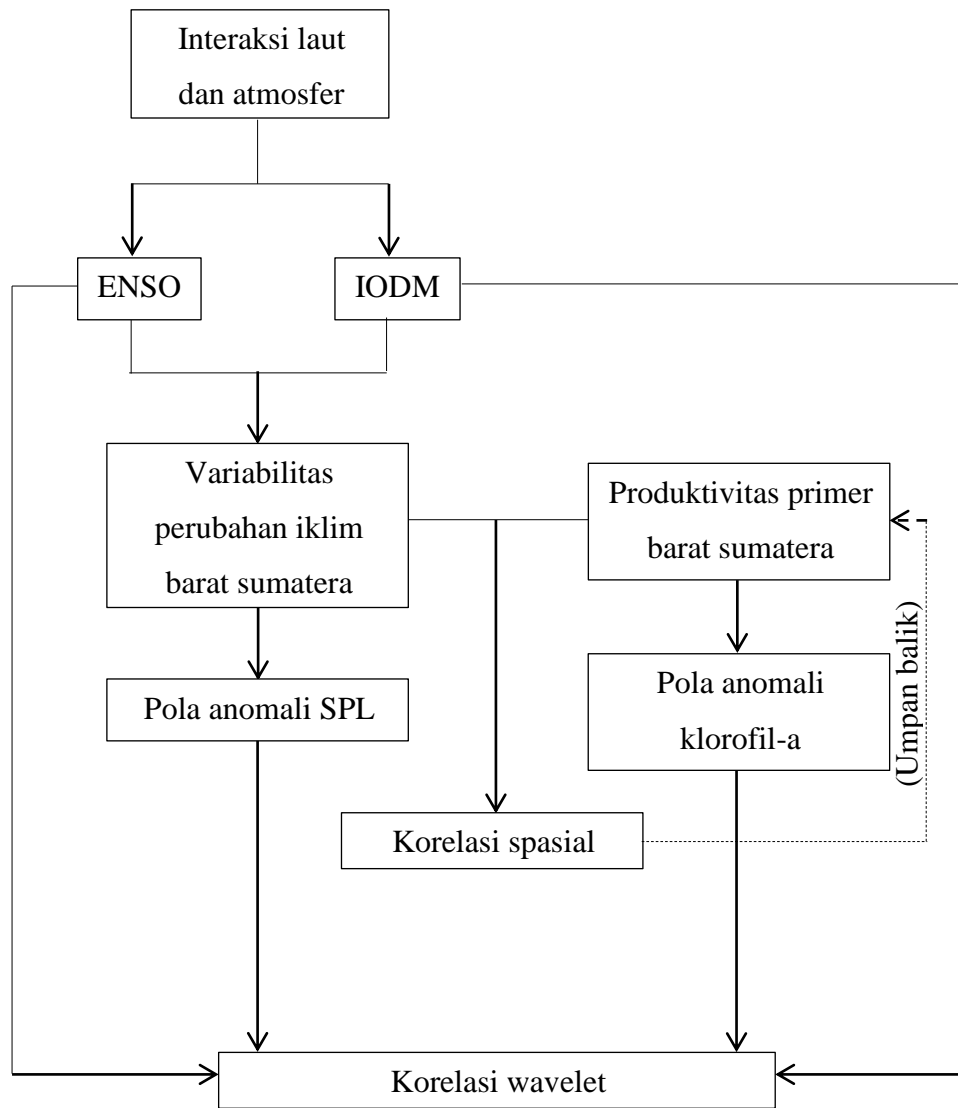
1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk memberikan informasi dampak dari fenomena ENSO dan IODM terhadap SPL dan klorofil-a di perairan barat Sumatera.

1.4 Kerangka Pikir

Perubahan iklim yang terjadi secara tidak biasa dari rata-rata normalnya disebabkan oleh pemanasan global. Perubahan iklim yang terjadi merupakan akibat dari interaksi antara lautan dan atmosfer. Interaksi tersebut menyebabkan terjadinya fenomena ENSO di Samudera Pasifik dan IODM di Samudera Hindia. ENSO diketahui dari adanya penyimpangan SPL di wilayah timur dan tengah Samudera Pasifik. Sementara itu, IODM dicirikan dengan adanya anomali SPL lebih hangat dari normalnya di bagian barat, lebih dingin di bagian timur Samudera Hindia. Salah satu wilayah yang mengalami perubahan SPL dan klorofil-a adalah perairan barat Sumatera.

Perubahan SPL di perairan barat Sumatera diduga berhubungan dengan tingkat produktifitas perairan karena terkait dengan fenomena *upwelling* dan siklus biogeokimia. Produktifitas perairan diindikasikan dengan peningkatan konsentrasi klorofil-a di perairan. Hubungan antara perubahan SPL dan klorofil-a dan kaitannya dengan fenomena ENSO dan IODM dapat diketahui melalui analisis korelasi spasial. Analisis spasial yang digunakan adalah analisis wavelet. Dari hasil analisis tersebut dapat diperoleh gambaran mengenai perubahan SPL lebih berkaitan dengan kejadian ENSO atau IODM. Alur pemikiran untuk menganalisis variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a yang berkaitan dengan kejadian ENSO dan IODM disajikan pada Gambar 1.



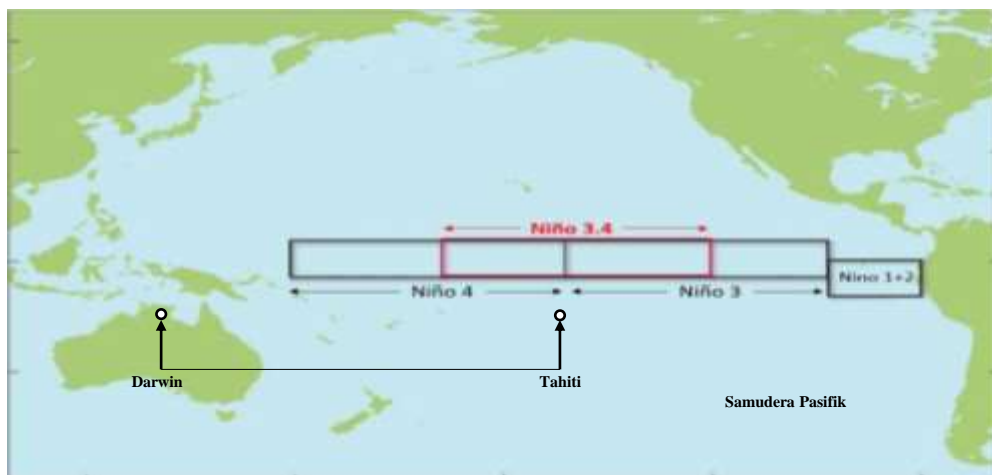
Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *El Nino Southern Oscilation (ENSO)*

El Nino Southern Oscilation (ENSO) adalah salah satu fenomena penyimpangan dari suhu permukaan laut di Samudera Pasifik dekat ekuator bagian timur dan bagian tengah. ENSO merupakan *global climate system* yang terjadi non periodik. El Nino terjadi jika suhu permukaan laut mengalami kenaikan di wilayah perairan Pasifik Timur Ekuator. La Nina terjadi jika suhu permukaan laut mengalami penurunan di wilayah perairan Pasifik Timur Ekuator. El Nino akan menyebabkan turunnya suhu permukaan laut pada perairan Indonesia, sedangkan La Nina dapat menyebabkan hal yang sebaliknya (Fitria dan Pratama, 2013).

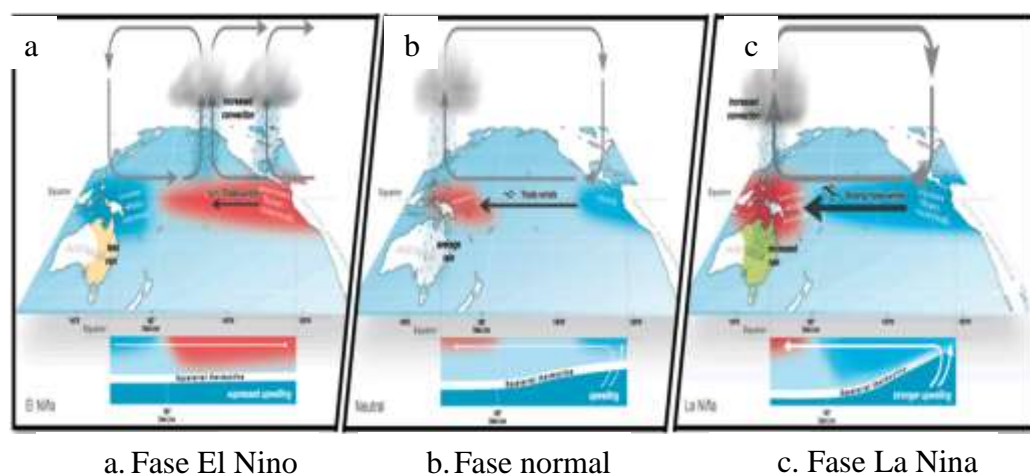
Fenomena ENSO diketahui dari nilai indeks osilasi selatan (*soutchern oscillation index-SOI*) dan indeks osilasi nino (*oceanic nino Index-ONI*). SOI ditentukan dari perbedaan tekanan udara permukaan laut di Tahiti dan Darwin (Hidayat *et al.*, 2018). ONI ditentukan dari anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino 3.4. Daerah penentuan SOI dan ONI dapat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Wilayah pemantauan indeks SOI dan ONI.

Sumber : <http://www.bom.gov>.

SOI merupakan suatu osilasi yang tidak teratur, interannual, dan berskala global yang merupakan pertukaran massa udara antara daerah pusat tekanan Pasifik Barat sekitar ekuator yaitu daerah Indonesia-Australia dengan pusat tekanan tinggi di Pasifik Tengah. Osilasi selatan merupakan sistemimbangan tekanan udara yang ditunjukkan tinggi atau rendah tekanan udara di Indonesia dan Pasifik Ekuator timur serta kuat atau lemahnya sirkulasi Walker. Pergeseran sirkulasi osilasi selatan dapat menyebabkan terjadinya udara subsiden di Indonesia. Perubahan sirkulasi Walker disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pergerakan suhu udara (sirkulasi walker).
Sumber : <http://www.bom.gov>.

Pada saat terjadi fase El Nino (Gambar 3a), sirkulasi Walker akan bergeser yang disebabkan oleh melemahnya angin pasat timuran, sehingga wilayah Indonesia sirkulasi Walker akan berbentuk *subsiden* (turun). El Nino akan mengakibatkan musim kemarau berkepanjangan. Fase La Nina (Gambar 3c) akan mengakibatkan sirkulasi Walker berbanding terbalik dengan keadaan El Nino yang dapat menyebabkan potensi pertumbuhan awan konvektif yang meningkat dan berpengaruh terhadap curah hujan. *Southern oscillation index* (SOI) dapat dihitung dari perbedaan tekanan pada permukaan laut antara daerah Tahiti dan Darwin. Dengan demikian, indeks ini dihitung berdasarkan kecepatan angin pasat di atas ekuator Samudera Pasifik. SOI yang bernilai negatif menandakan lemahnya angin pasat yang terjadi El Nino, sementara SOI positif sebagai indikasi terjadinya La Nina.

Peristiwa terjadinya fenomena El Nino dan La Nina dapat ditentukan dengan banyaknya kemunculan SOI yang nilainya signifikan. Jika nilai SOI lebih dari +5 berlangsung selama kurang dari enam bulan maka tahun yang bersangkutan dinyatakan sebagai fenomena El Nino, sedangkan jika nilai SOI berkisar antara -5 dan +5 maka dinyatakan sebagai tahun normal (Maulidiya *et al.*, 2012).

ONI merupakan nilai indeks yang digunakan untuk menentukan fenomena El Nino dan La Nina. ONI dapat menjadi indikator utama untuk memantau fenomena El Nino dan La Nina. Para peneliti dari NOAA menghitung nilai ONI dengan cara menghitung rata-rata suhu permukaan laut di wilayah Nino 3.4 untuk setiap bulan. Nilai ONI dirata-ratakan dengan nilai ONI dari bulan sebelumnya dan berikutnya. Rata-rata nilai ONI selama tiga bulan berjalan ini dibandingkan dengan rata-rata 30 tahun (Huang *et al.*, 2015).

Nilai ONI didapatkan dari pengukuran suhu permukaan laut pada region Nino 3.4. Fenomena El Nino didefinisikan ketika nilai ONI memiliki nilai sama dengan atau lebih besar dari 0,5 minimal 5 kali secara berturut-turut. Fenomena La Nina didefinisikan ketika nilai ONI memiliki nilai sama dengan atau lebih kecil dari -0,5 minimal 5 kali secara berturut-turut (Hafez, 2016).

Tabel 1. Panduan prediksi El Nino, La Nina atau normal terhadap nilai ONI

Nilai ONI	Fenomena yang akan terjadi
$ONI \geq 0,5$ selama 5 bulan	El Nino
$-5 \leq ONI \leq 5$ selama 5 bulan	Normal
$ONI \leq -5$ selama 5 bulan	La Nina

Sumber : Hafez (2016)

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 utara akan berkurang serta kawasan Pasifik ekuatorial tengah dan barat. Kondisi pada daerah tersebut mengalami cuaca yang cenderung hangat dan lembab.

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

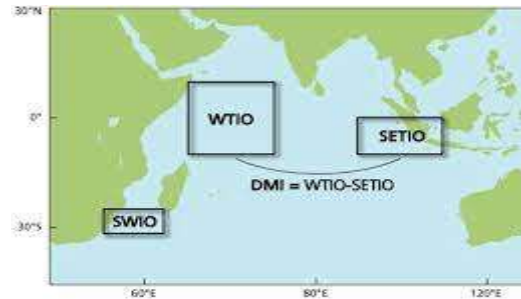
2.2 Indian Ocean Dipole Mode (IODM)

IODM merupakan interaksi antara atmosfer dan lautan yang menyebabkan variabilitas iklim tahunan di perairan Samudera Hindia dan memengaruhi iklim daerah sekitar Samudera Hindia. IODM ditandai dengan munculnya anomali SPL di Samudera Hindia. Wilayah yang menunjukkan anomali SPL yang terletak di *Southeastern Tropical Indian Ocean* (SETIO) atau di sekitar perairan Sumatera dan perairan selatan pulau Jawa serta *Western Tropical Indian Ocean* (WTIO) atau biasa diketahui perairan timur dari Benua Afrika (Iskandar, 2014).

Fenomena IODM terdiri dari fenomena IODM positif dan IODM negatif. IODM positif ditandai dengan anomali SPL dingin pada Samudera Hindia Timur dan anomali SPL hangat di Samudera Hindia Barat. Hal ini menyebabkan perbedaan tekanan yang lebih tinggi di Samudera Hindia Timur dibandingkan dengan Samudera Hindia Barat. Kondisi ini menyebabkan aliran udara mengalir dari Samudera Hindia Timur ke bagian barat dan membentuk awan konvektif di wilayah timur Afrika. Curah hujan yang tinggi terjadi di wilayah Afrika Timur, sedangkan pada bagian barat Indonesia mengalami kekeringan. IODM negatif terjadi pada saat anomali SPL hangat di Samudera Hindia Timur dan anomali SPL dingin di Samudera Hindia Barat yang bisa menyebabkan bagian barat Indonesia mengalami musim hujan (Herucokro, 2019).

DMI (*dipole mode index*) merupakan nilai untuk menentukan fenomena IODM 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.

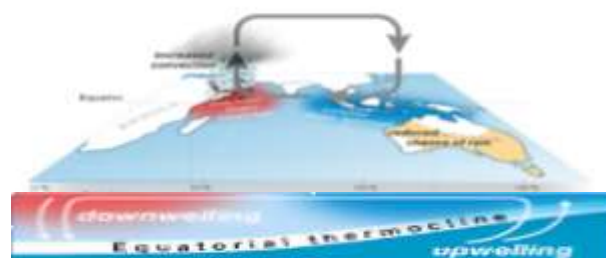
Nilai DMI dapat diketahui dari perbedaan anomali suhu permukaan laut antara WTIO yang terletak di bagian timur Benua Afrika dan SETIO yang terletak di sekitaran Sumatera dan selatan Jawa (Shalin dan Sanilkumar, 2013) Daerah WTIO dan SETIO untuk menentukan DMI disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Wilayah untuk menentukan fenomena IODM berdasarkan perbedaan anomali SPL di WTIO dan SETIO.

Sumber : <http://www.jamstec.go.jp>.

IODM positif terjadi ketika menguatnya sirkulasi Hadley, sehingga angin pasat tenggara di ekuator meningkat. Angin muson barat daya melemah di pantai Sumatera tetapi pada Laut Arab dan Teluk Bengala angin menguat. Oleh karena itu, anomali angin ekuatorial menuju ke arah barat menjauhi Sumatera. Anomali angin ini mendorong transport Ekman sehingga terbentuk gundukan Ekman (*Ekman ridge*) di selatan ekuator sekitar 5° LS. Untuk mencapai kesetimbangan, gelombang Rossby menyebabkan gundukan Ekman berpropagasi ke arah barat yang membuat termoklin menjadi lebih dalam, sehingga anomali angin tersebut mengangkat lapisan termoklin mencapai permukaan di bagian timur samudera dan terjadi *upwelling* di daerah Sumatera. 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 dan Swapna, 2009). Perubahan kondisi ini diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbedaan SPL pada fase IODM positif.

Sumber : <http://www.bom.gov.au>.

IODM negatif merupakan 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. Bersamaan dengan fenomena itu akan terjadi anomali angin sepanjang ekuator yang mengarah ke timur, sehingga termoklin jauh lebih dalam di bagian timur dibandingkan dengan di bagian barat samudera. 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 dan Gaol, 2019). Ilustrasi kondisi IODM negatif disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbedaan SPL pada fase IODM negatif.

Sumber : <http://www.bom.gov.au>.

Kondisi IODM positif atau negatif ditentukan dengan melihat nilai DMI. Kriteria fase positif, netral, dan negatif mengacu pada (Mashita dan Gaol, 2019) yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria kondisi IODM

Nilai DMI	Fenomena yang akan terjadi
$DMI > 0,48^{\circ}\text{C}$	IODM positif
$-0,48^{\circ}\text{C} \leq DMI \leq 0,48^{\circ}\text{C}$	Netral
$DMI < -0,48^{\circ}\text{C}$	IODM negatif

Sumber : Mashita dan Gaol (2019).

2.3 Suhu Permukaan Laut

Suhu merupakan suatu besaran yang dapat menyatakan seberapa banyak panas yang terkandung dalam suatu benda. Suhu air laut terutama pada bagian permukaan sangat bergantung pada panas yang diterima dari pancaran sinar matahari. Daerah yang paling banyak menerima panas sinar matahari terletak pada lintang 10° lintang utara– 10° lintang selatan. SPL adalah salah satu faktor yang sangat penting dalam kehidupan organisme di lautan. Suhu memengaruhi aktivitas

metabolisme ataupun perkembangbiakan dari organisme tersebut. SPL digunakan sebagai salah satu indikasi untuk menentukan kualitas suatu perairan (Ayu *et al.*, 2018). Suhu permukaan laut sangat berpengaruh dalam pertumbuhan fitoplankton secara tidak langsung sehingga dapat memengaruhi sebaran klorofil-a pada suatu perairan (Prista *et al.*, 2021).

SPL dipengaruhi oleh kondisi meteorologis yang memiliki beberapa faktor, seperti curah hujan, penguapan, kelembaban, suhu, kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari. Suhu perairan sangat bervariasi baik secara horizontal maupun vertikal. Secara horizontal suhu bervariasi sesuai dengan garis lintang, sedangkan secara vertikal suhu sesuai dengan kedalaman. Sebaran SPL secara horizontal umumnya sangat bergantung pada letak lintang. Oleh karena itu, SPL pada daerah sekitar khatulistiwa lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitar lintang tinggi. Variasi suhu secara vertikal di perairan Indonesia dapat dibedakan menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan homogen (*mixed layer*) di bagian atas, lapisan termoklin di bagian tengah, dan lapisan dingin di bagian bawah. Suhu pada permukaan perairan banyak mendapatkan perhatian dalam kajian kelautan karena data suhu dapat dimanfaatkan untuk mempelajari gejala fisika di dalam laut, seperti keberadaan *thermal front*, *upwelling*, maupun kehidupan hewan atau tumbuhan di perairan (Paulus, 2006).

2.4 Klorofil-a

Klorofil-a merupakan suatu pigmen yang berperan dalam proses fotosintesis pada fitoplankton. Salah satu unsur terpenting dalam rantai makanan di suatu perairan yaitu fitoplankton. Fitoplankton mampu melakukan reaksi fotosintesis dan dapat ditemukan di permukaan laut sampai kedalaman tertentu dengan intensitas cahaya yang masih memungkinkan untuk melakukan fotosintesis. Fitoplankton sangat berpengaruh untuk melihat tingkat kesuburan suatu perairan. Fitoplankton juga sangat berperan sebagai produsen primer yang dapat mengubah zat-zat anorganik menjadi zat organik dengan bantuan pigmen fotosintetik klorofil-a dan cahaya matahari (Nontji, 2008).

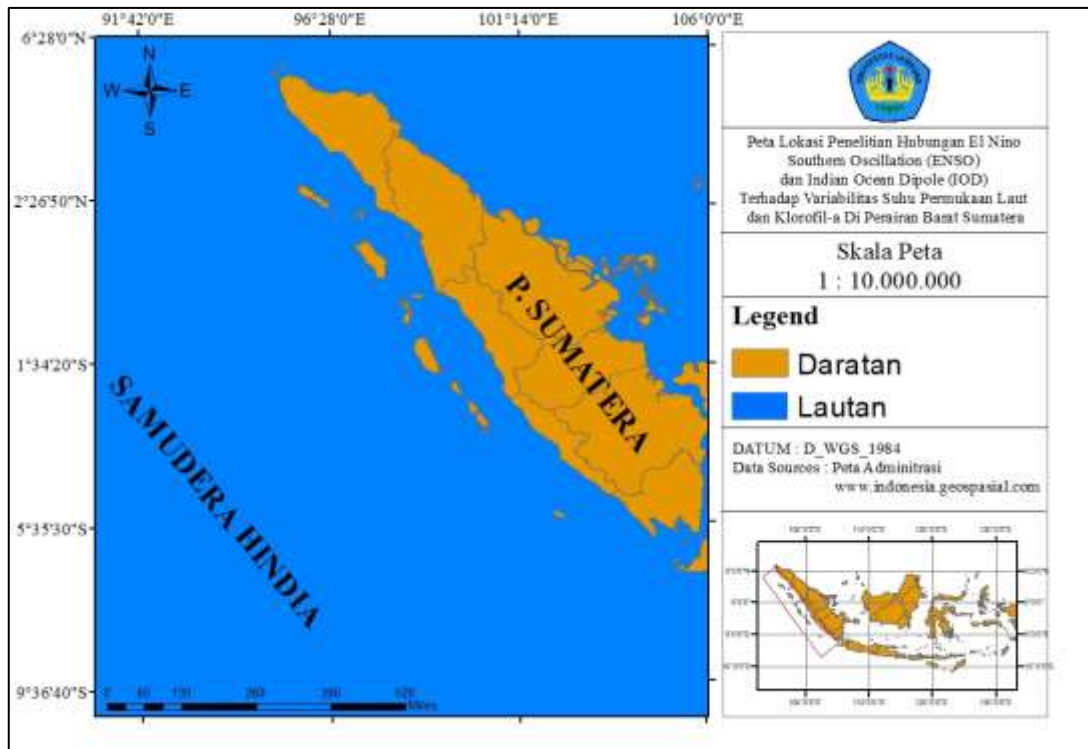
Pada suatu perairan, konsentrasi klorofil-a bergantung pada konsentrasi nutrisi dan intensitas cahaya matahari. Jika nutrisi dan intensitas cahaya matahari cukup, maka kandungan klorofil-a di suatu perairan akan meningkat. Nutrisi dan intensitas cahaya matahari yang kurang akan memengaruhi konsentrasi klorofil-a di suatu perairan. Konsentrasi klorofil-a di suatu perairan juga berhubungan dengan masukan nutrisi dari daratan melalui aliran sungai (Adani *et al.*, 2013).

Konsentrasi klorofil-a dipengaruhi oleh adanya faktor fisika kimia, yaitu suhu, salinitas, intensitas cahaya, derajat keasaman, dan oksigen terlarut. Perairan pesisir memiliki konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan terbuka karena adanya masukan nutrisi dari daratan melalui sungai (Rianingtyas *et al.*, 2015). Konsentrasi klorofil-a 0.2 mg/m^3 mengidentifikasi kondisi perairan yang cukup baik produktivitas primernya. Klorofil-a merupakan salah satu pigmen pada fitoplankton dan fitoplankton sebagai salah satu produsen primer yang sangat penting di suatu perairan (Hutapea *et al.*, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada wilayah pemetaan di perairan barat Sumatera yang terletak pada 89°45' bujur timur - 106°0' bujur timur dan 6°28' lintang utara - 9°50' lintang selatan. Domain wilayah penelitian disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Domain wilayah penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Alat – alat penelitian

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Laptop Lenovo <i>ideapad</i> 310	Mengolah data.
2	Perangkat lunak SeaDAS 8.2.0	Mengekstrak data SPL dan klorofil-a.
3	Perangkat lunak Arc Map 10.5	Menampilkan sebaran SPL dan klorofil-a.
4	<i>Microsoft Office Excel</i> 2010	Menganalisis data.
5	Perangkat lunak RStudio	Menganalisis data.

3.2.2 Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini ialah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh langsung dari subjek atau objek yang ingin diteliti, tetapi data ini milik pihak lain seperti instansi atau lembaga terkait. Data lainnya didapatkan dari buku teks, literatur, laporan statistik, serta hasil riset peneliti sebelumnya yang relevan untuk digunakan. Data yang digunakan dalam penelitian ini di sajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jenis dan sumber data

No	Jenis	Data dan sumber data
1	Suhu permukaan laut tahun 2011-2021 resolusi 4 km	Citra Modis (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/ .)
2	Klorofil-a tahun 2011-2021 resolusi 4 km	Citra Modis (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/ .)
3	Indeks ENSO tahun 2011-2021	Nino 3.4 (http://cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices.)
4	Indeks IODM tahun 2011-2021	<i>Dipole Mode Index (DMI)</i> (http://jamstec.go.jp/research/d1/IODM/DATA/dmi.monthly.txt)

3.3 Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Data yang dipakai berupa angka dan analisis menggunakan statistik. Pengumpulan data secara kuantitatif meliputi data SPL, klorofil-a, indeks ENSO, dan IODM. Data yang dihasilkan berupa angka, lalu diolah sehingga diperoleh gambaran variabilitas klorofil-a dan SPL secara spasial dan temporal yang dikaitkan dengan pengaruh variabilitas iklim ENSO dan IODM yang selanjutnya dikembangkan pada pembahasan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SeaDAS 8.2.0 untuk

mengekstrak data SPL dan klorofil-a, Arc Map 10.5 untuk pembuatan peta sebaran SPL dan klorofil-a, dan perangkat lunak RStudio untuk mengolah data wavelet.

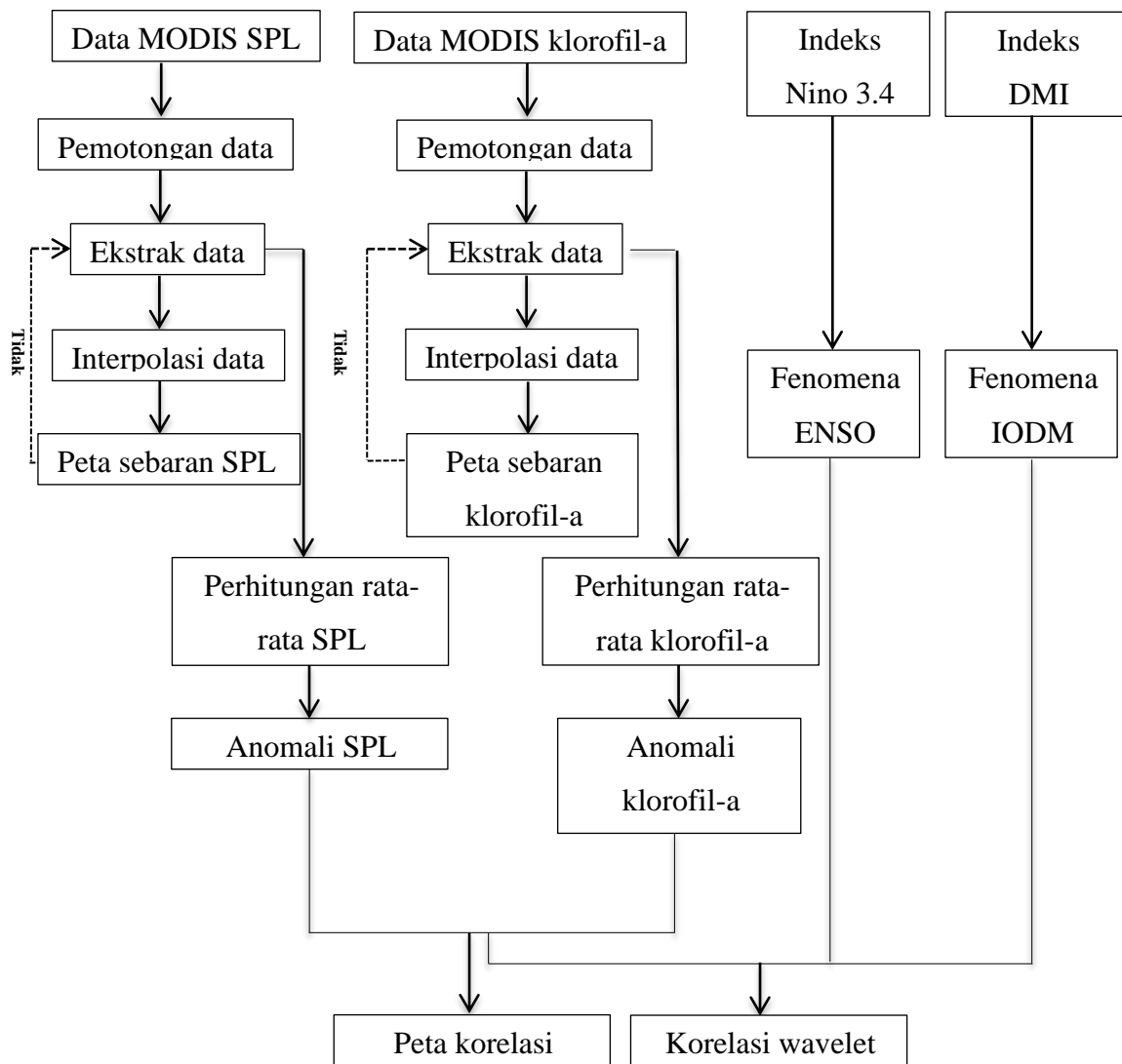
3.4 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap pengolahan, antara lain proses pengumpulan data, pemotongan citra, ekstrak data citra, interpolasi citra, identifikasi fenomena, serta analisis korelasi. Pada tahap ekstrak data dilakukan perhitungan nilai rata-rata serta nilai anomali dari suhu permukaan laut dan klorofil-a. Analisis korelasi dilakukan menggunakan analisis korelasi spasial dan korelasi wavelet. Prosedur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 8.

3.4.1 Pengumpulan Data

Data SPL dan data klorofil-a merupakan data citra satelit MODIS yang memiliki format data *Net Common Data File* (NetCdf). Data SPL diunduh pada situs <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>. Data yang dianalisis berupa data rerata bulanan dan rerata tahunan dengan rentang waktu selama 10 tahun. Data klorofil-a berupa data rerata bulanan (*monthly*) dan rerata tahunan level 3 dengan resolusi spasial 4 km dengan rentang waktu yang sama dengan data SPL. Data klorofil-a diunduh pada situs <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>.

Data variabilitas iklim ENSO dan IODM merupakan nilai indeks anomali SPL di NINO 3.4 dan *dipole mode index* (DMI) selama 10 tahun. Anomali SPL di NINO 3.4 merupakan perbedaan anomali suhu permukaan laut di Samudera Pasifik Tengah dan Samudera Pasifik Timur yang berupa data bulanan yang dapat diunduh pada situs <http://cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>. Data DMI merupakan anomali SPL di Samudera Hindia Barat dan Samudera Hindia Timur. Data indeks yang didapatkan berupa data anomali bulanan. Data indeks DMI dapat diunduh dari situs <http://jamstec.go.jp/research/d1/IODM/DATA/dmi.monthly.txt>.



Gambar 8. Prosedur penelitian.

3.4.2 Pemotongan Data

Data SPL dan klorofil-a yang masih berupa citra satelit. Sebelum diekstrak, terlebih dahulu dilakukan proses pemotongan citra. Pemotongan citra berfungsi untuk menyesuaikan dengan daerah yang diteliti. Pemotongan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak *SeaDAS*. Citra yang telah dipotong sesuai dengan daerah penelitian, selanjutnya diekstraksi untuk mendapatkan data SPL dan klorofil-a.

3.4.3 Ekstraksi Data

Ekstraksi data dilakukan untuk mengambil data SPL dan klorofil-a di setiap titik koordinat sesuai dengan resolusi spasial citra. Ekstraksi data dilakukan menggunakan perangkat lunak *SeaDAS*. Hasil ekstraksi data kemudian diperiksa untuk

diketahui titik koordinat yang tidak memiliki nilai. Titik koordinat yang tidak memiliki nilai atau data yang kosong dihapus supaya tidak memengaruhi data lainnya.

3.4.4 Interpolasi Data

Interpolasi merupakan suatu proses estimasi nilai pada suatu daerah yang tidak diukur atau tidak terdapat data, sehingga dapat menampilkan sebaran nilai yang diinginkan. Interpolasi data dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Interpolasi menggunakan metode *inverse distance weighted* (IDW). Titik atau koordinat yang tidak terdapat nilai atau data, nilainya ditentukan dengan persamaan (1).

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk menghitung nilai titik yang ditaksir digunakan persamaan (2).

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i \dots\dots\dots(2)$$

keterangan :

- \hat{Z}_0 = nilai titik yang ditaksir
- w_i = faktor bobot dari titik-i
- Z_i = nilai dari titik penaksir-i
- d_i = jarak antara titik I dengan titik yang ditaksir
- p = faktor eksponen (*power*) 1, 2, 3, 4, 5

3.4.5 Perhitungan Anomali SPL dan Klorofil-a

Data hasil ekstraksi dihitung nilai rerata bulanan dan anomalnya dengan persamaan (3) dan (4).

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_{ij} / n \dots\dots\dots(3)$$

Nilai anomali dihitung dengan persamaan (4).

$$\text{Anomali} = X_{ij} - \bar{X} \dots\dots\dots(4)$$

keterangan :

- \bar{X} = rerata SPL / klorofil-a
- X_{ij} = nilai SPL / klorofil-a pada titik koordinat ke-i pada waktu ke-j
- N = banyak titik/grid data

3.4.6 Identifikasi Fenomena ENSO dan IODM

Identifikasi fenomena dilakukan melihat dari variabilitas iklim yang sudah dianalisis nilai indeks. Indeks ENSO dan IODM dihitung berdasarkan nilai anomali SPL. Indeks ENSO dihitung dengan persamaan (5) dan indeks IODM dihitung dengan persamaan (6) (Hidayat *et al.*, 2018).

$$\text{Nino 3.4} = \frac{\text{Nino 3} + \text{Nino 4}}{2} \dots\dots\dots(5)$$

keterangan :

Nino 3.4 = indeks yang mengidentifikasi fenomena ENSO
 Nino 4 = nilai anomali suhu di wilayah Samudera Pasifik Timur
 Nino 3 = nilai anomali suhu di wilayah Samudera Pasifik Barat

$$\text{DMI} = \text{WTIO} - \text{SETIO} \dots\dots\dots(6)$$

keterangan :

DMI = indeks yang mengidentifikasi fenomena IODM
 WTIO = nilai anomali suhu di wilayah Samudera Hindia Barat
 SETIO = nilai anomali suhu di wilayah Samudera Hindia Timur

Nilai anomali SPL lebih dari atau sama dengan 0,5 terjadi fenomena El Nino, sedangkan kurang dari atau sama dengan -0,5 terjadi fenomena La Nina. Nilai anomali pada indeks DMI $> 0,48^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa terjadi fenomena IODM positif. Jika nilai indeks $-0,48^{\circ}\text{C} \leq \text{DMI} \leq 0,48^{\circ}\text{C}$ menunjukkan terjadi fenomena IODM netral, sedangkan nilai indeks DMI $< -0,48^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa terjadi fenomena IODM negatif.

3.4.7 Korelasi Spasial

Korelasi spasial merupakan salah satu metode analisis spasial yang dapat melihat arah hubungan di antara dua variabel yang dapat diamati melalui sebuah peta maupun diagram. Analisis korelasi spasial dilakukan pada SPL dan klorofil-a untuk menentukan hubungan sebaran klorofil-a memiliki keterkaitan dengan SPL. Korelasi dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

$$r = \frac{n\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{\{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

- r : Korelasi spasial
 X_i : Suhu permukaan laut pada titik koordinat ke-i
 Y_i : Klorofil-a pada titik koordinat ke-i
i : 1, 2, 3..... n
n : Banyak titik koordinat

Nilai koefisien korelasi yang diperoleh digunakan untuk menentukan kekuatan hubungan dua variabel. Kriteria hubungan antara SPL dan klorofil-a disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai kekuatan hubungan hasil koefisien korelasi

Koefisien korelasi	Interpretasi hubungan
0 – 0,2	Sangat Rendah
0,2 – 0,4	Rendah
0,4 – 0,7	Cukup Tinggi
0,7 -1,0	Tinggi

Sumber : Seprianto *et al*(2012)

3.4.8 Analisa Korelasi Wavelet

Analisis wavelet merupakan metode analisis yang biasa digunakan untuk menyajikan data atau fungsi ke dalam komponen frekuensi yang berlainan, dan mengkaji setiap komponen dengan suatu resolusi yang sesuai dengan skalanya (Sutarno, 2010). Analisis wavelet digunakan untuk menganalisis data deret waktu yang mengandung data *nonstasioner* pada frekuensi yang berbeda. *Continous wavelet transform* (CWT) adalah data deret waktu di transformasi ke dalam data diskrit x_n yang didefinisikan sebagai konvolusi dari nilai x_n dalam bentuk translansi nilai frekuensi per unit waktu seperti pada persamaan (8).

$$\psi_0(\eta) = \pi^{1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-1/2\eta^2} \dots\dots\dots(8)$$

keterangan :

- ω_0 = Frekuensi tanpa unit
 η = Waktu tanpa unit

CWT merupakan salah satu perkembangan dari metode fourier transform. CWT dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dan posisi yang menghasilkan frekuensi tersebut secara bersamaan sehingga metode ini dapat digunakan pada

sinyal yang nonstationer. CWT menggunakan transformasi wavelet sebagai penyaring data deret waktu. Perhitungan CWT dilakukan menurut Torrence dan Compo (1998), pada persamaan (9).

$$|W_n(s)|^2 = \sum_{n=0}^{N-1} x_n' \psi * \left[\frac{(n'-n)\delta t s}{s} \right] \dots \dots \dots (9)$$

keterangan :

$|W_n s|$: Spektrum energi wavelet

s : Skala

ψ : Wavelet morlet

Cross wavelet transform (XWT) merupakan teknik analisis data deret waktu. Analisis XWT memungkinkan untuk mendeteksi korelasi silang, perbedaan fase (jeda waktu), nonstasioner, dan koherensi antara sinyal. XWT digunakan untuk menganalisis kovarian dari dua deret waktu X_n dan Y_n , yang didefinisikan pada persamaan (10) (Torrence dan Compo, 1998).

$$W^{xy}(s,t) = W^x(s,t) W^{y*}(s,t) \dots \dots \dots (10)$$

keterangan :

$W^{xy}(s,t)$ = spektrum daya wavelet silang

$W^x(s,t)$ = fase relatif X_n dalam ruang waktu

$W^y(s,t)$ = fase Y_n dalam ruang waktu

s = skala

t = waktu

* = *complex conjugation*

Hasil CWT dan XWT disajikan dalam bentuk plot spectrum energi. Hubungan fase relatif ditunjukkan dengan arah panah di mana panah ke arah kanan berarti sefase, panah ke arah kiri berarti anti fase, panah 90° ke arah bawah berarti X mendahului Y dan panah 90° ke arah atas berarti Y mendahului X (Kadmaer, 2013).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pola sebaran SPL dan klorofil-a menunjukkan adanya variabilitas yang terjadi secara musiman dan cenderung meningkat kecuali pada tahun 2019.
2. Sebaran SPL menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan klorofil-a, sedangkan korelasi pada tahun 2019 yang menunjukkan korelasi negatif.
3. Kejadian El Nino mendahului kejadian IOD positif pada periode 16 hingga 32 bulanan dan berkorelasi dengan variabilitas SPL dan klorofil-a.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, saran yang diberikan adalah pemanfaatan data SPL dan klorofil-a untuk penentuan zona potensi penangkapan ikan dapat mengikuti variabilitas musiman dan interaksi antara ENSO dan IODM dapat digunakan untuk mengantisipasi dampak perubahan iklim yang mungkin bisa merugikan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adani, N. G., Muskanonfola, M. R., dan Hendrarto, I. B. 2013. Kesuburan perairan ditinjau dari kandungan klorofil-a fitoplankton studi kasus di Sungai Wedug Demak. *Diponogoro Journal of Maquares*, 2(4): 38–45.
- Amri, K., D.Manurung, J.L.Gaol, dan M.S.Baskoro. 2013. Karakteristik suhu dan permukaan laut dan kejadian *upwelling* fase *Indian Ocean Dipole Mode* positif di Barat Sumatera dan Selatan Jawa Barat. *Jurnal Segara*, 9(1): 23–35.
- Arafah, F. 2017. Pengaruh fenomena La Nina terhadap suhu permukaan laut di perairan Kabupaten Malang. *Spectra*, 15(30): 57–68.
- Arta, F. H., Mubarak, dan Nasution, S. 2016. Sebaran klorofil-a di perairan pantai Padang dan Pariaman Provinsi Sumatera Barat menggunakan citra satelit Aqua Modis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(2): 128–137.
- Ayu, D. R. A., Sukojo, B. M., dan Jaelani, L. M. 2018. Studi perubahan suhu permukaan laut menggunakan satelit Aqua Modis. *Jurnal Geoid*, 7(1): 73–78.
- Effendi, E. 2003. *Telaah kuantitas air*. Kanisius. Yogyakarta. 285 hlm.
- Fitriah, N., dan Nahib, I. 2007. Aplikasi data inderaja multi spektral untuk estimasi kondisi perairan dan hasil tangkapan ikan pelagis di Selatan Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah Geomatik*, 15(2).
- Fitria, W., dan Pratama, M. S. 2013. Pengaruh fenomena El Nino 1997 dan La Nina 1999 terhadap curah hujan di Biak. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 14(2): 65–74.
- Hadiman, Ali, M., dan Safril, A. 2016. Analisis pengaruh El Nino 2004-2005 terhadap konsentrasi klorofil-a di perairan Maluku. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 3(3): 21–25.
- Hafez, Y. 2016. Study on the relationship between the oceanic nino index and surface air temperature and precipitation rate over the Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 04(05): 146–162.
- Hafizhurrahman, I., Kunarso, K., dan Suryoputro, A. 2015. Pengaruh IOD (*Indian Ocean Dipole*) terhadap variabilitas nilai serta distribusi suhu permukaan laut

- dan klorofil-a pada periode *upwelling* di perairan sekitar bukit Badung Bali. *Jurnal Oseanografi*, 4(2): 423–433.
- Herucokro, M. A. 2019. *Analisis pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap variabilitas suhu dan salinitas di perairan Selat Bali dan sekitarnya periode 2013-2017*. [Skripsi]. Universitas Brawijaya. 82 hlm.
- Hidayah, G., Wulandari, S. Y., dan Zainuri, M. 2016. Studi sebaran klorofil-a secara horizontal di perairan Muara Sungai Silugonggo Kecamatan Batangan, Pati. *Buletin Oseanografi Marina*, 5(1): 52.
- 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 Sainsdan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2): 75–81.
- Huang, B., Banzon, V. F., Freeman, E., Lawrimore, J., Liu, W., Peterson, T. C., Smith, T. M., Thorne, P. W., Woodruff, S. D., dan Zhang, H. M. 2015. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). Part I: Upgrades and intercomparisons. *Journal of Climate*, 28(3): 911–930.
- Hutapea, O. A. 2018. Kandungan klorofil-a di perairan Selat Bangka menggunakan midas ctd+ valeport limited dan analisis klorofil-a laboratorium. *E-Jurnal Ilmu Kelautan*: 1–7.
- Iskandar, M. R. 2014. Mengenal *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan dampaknya pada perubahan iklim. *Oseana*, 39(2): 13–21.
- Jamili, S., Sudiarta, I. W., dan Angraini, L. M. 2018. Analisis anomali suhu permukaan laut dan pengaruh fenomena El Nino dan La Nina terhadap perubahan nilai anomali suhu permukaan laut di perairan Nusa Tenggara Barat tahun 2008 - 2017. *Indonesian Physical Review*, 1(1): 17–31.
- Juniarti, L., dan Jumarang, M. I. 2017. Analisis kondisi suhu dan salinitas perairan Barat Sumatera menggunakan data Argo Float. *Universitas Semarang*, 1(1): 74.
- Kadmaer, E. M. Y. 2013. *Variabilitas klorofil-a dan beberapa parameter oseanografi hubungannya dengan monsoon, ENSO dan IOD di laut banda*. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. 70 hlm.
- Krishnan, R., dan 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.

- Kunarso., Hadi, S., Ningsih, N. S., dan Baskoro, M. S. 2011. Variabilitas suhu dan klorofil-a di daerah *upwelling* pada variasi kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *Indonesian Journal of Marine Sciences*, 16(3): 171-180.
- Mashita, M., dan Lumban-gaol, 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.
- Maulidiya, H. Ihwan, A., dan Jumarang, M. I. 2012. Penentuan kejadian El Nino dan La Nina berdasarkan nilai *southern oscillation indeks*. *Positron*, 2(2): 6–14.
- Nababan, B., Br. Sihombing, E. G., dan Panjaitan, J. P. 2021. Variability of sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in the Northeast Indian Ocean the West of Sumatra. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 12(2): 143–159.
- Nababan, B., Br. Nirmawan, A., D. dan Panjaitan, J., P. 2022. Variabilitas suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan Pelabuhan Ratu dan sekitarnya. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 13(2): 145-162.
- Nontji, A. 2005. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta. 366 hlm.
- Nontji, A. 2008. *Plankton Laut*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta. 331 hlm.
- Nurafifah, U. O., Zainuri, M., dan Wirasatriya, A. 2022. Pengaruh ENSO dan IOD terhadap distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a pada periode *Upwelling* di Laut Banda. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(3): 74–85.
- Paulus, C. A. 2006. *Analisis Sebaran Suhu Permukaan Laut dan Kandungan Klorofil-a dengan Menggunakan Data Modis di Perairan Nusa Tenggara Timur*. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. 102 hlm.
- Pratama, R. 2019. Efek rumah kaca terhadap bumi. *Buletin Utama Teknik*, 14(2): 120-126.
- Prista, D. M., Apdillah, D., dan Putra, R. D. 2021. Pemetaan pola sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a berdasarkan perbedaan musim di perairan Pulau Bintan bagian timur. *Student Online Journal*, 2(1): 1–8.
- Putra, D. P., Amin, T., dan Asri, D. P. 2017. Analisis pengaruh IOD dan ENSO terhadap distribusi klorofil-a pada periode *upwelling* di perairan Sumbawa Selatan. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 4(2): 7–16.

- Rahayu, N. D., Sasmito, B., dan Bashit, N. 2018. Analisis pengaruh fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap curah hujan di Pulau Jawa. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1): 57–67.
- Ramadlanie, F. Y., Indrayanti, E., dan Handoyo, G. 2022. Identifikasi daerah *upwelling* berdasarkan indikator suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan Selat Sunda tahun 2010 - 2019. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 4(4): 62-73.
- Rianingtyas, C., Yusuf, M., dan Setiyono, H. 2015. Studi sebaran konsentrasi nitrat dan klorofil-a di perairan Teluk Ujungbatu Jepara. *Jurnal Oseanografi*, 5(2): 169-179.
- Safitri, S. 2015. El Nino , La Nina dan dampaknya terhadap kehidupan. *Jurnal Criksetra*, 4(8): 153.
- Seprianto, A., Kunarso, K., dan Wirasatriya, A. 2016. Studi pengaruh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan Karimunjawa. *Jurnal Oseanografi*, 5(4): 452–461.
- Shalin, S., dan 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.
- Subarma, U. N., dan Hutabarat, S. 2014. Evaluasi kualitas air sebelum dan sesudah memasuki Waduk Jatigede Sumedang. *Diponegoro Journal of Maquarres*, 3(1): 132–140.
- Suhadha, A. G., Natalia, D., Ginting, B., dan Asriningrum, W. 2019. Analisis karakteristik arus dan suhu permukaan laut berdasarkan pengaruh monsun , ENSO dan IOD di WPPNRI 573. *Journal Penginderaan Jauh*: 462–467.
- Surya, G., Khoirunnisa, H., Lubis, M. Z., Anurogo, W., Hanafi, A., Rizki, F., Timbang, D., Situmorang, A. D. L., Guspriyanto, D., Ramadhan, W. R., dan Mandala, G. F. T. 2017. Karakteristik suhu permukaan laut dan kecepatan angin di perairan Batam hubungannya dengan *Indian Ocean Dipole* (IOD). *Dinamika Maritim*, 6(1): 1-6.
- Sutarno. 2010. Analisis perbandingan transformasi wavelet pada pengenalan cit wajah. *Jurnal Generic*, 5(2).
- Torrence, C., dan Compo., G. P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bull Amer Meteor Soc.*, 79: 61-78.
- Ulqodry, T. Z., Yulisman, Syahdan, M., dan Santoso. 2010. Karakteristik dan sebaran nitrat, fosfat, dan oksigen terlarut di perairan Karimunjawa Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Sains*, 13(1): 36.

- Wahyuni, Muliadi, dan Apriansyah. 2018. Hubungan ENSO dan El Nino Modoki terhadap suhu permukaan laut di Laut Arafuru. *Prisma Fisika*, 6(3): 195–199.
- Wirasatriya, A., Kunarso, Maslukah, L., Satriadi, A., dan Armanto, R. D. 2018. Different responses of chlorophyll-a concentration and sea surface temperature (SST) on southeasterly wind blowing in the Sunda Strait. *The 2nd International Symposium on Marine and Fisheries Research*. Yogyakarta, 24– 25 july.
- Yananto, A., dan Sibarani, R. M. 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 dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2): 65-73.
- Zulkhasyni. 2015. Pengaruh suhu permukaan laut terhadap hasil tangkapan ikan cakalang di perairan Kota Bengkulu. *Jurnal Agroqua*, 13(2): 68-73.