PENGARUH FENOMENA *EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION* DAN *INDIAN OCEAN DIPOLE* TERHADAP SUHU MUKA LAUT DI LAUT NATUNA

ALEXTANSIUS VEREL RENALDO
NIM H1081211005

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

PENGARUH FENOMENA *EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION* DAN *INDIAN OCEAN DIPOLE* TERHADAP SUHU MUKA LAUT DI LAUT NATUNA

ALEXTANSIUS VEREL RENALDO
NIM H1081211005

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Ilmu Kelautan

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Fenomena *El Niño-Southern Oscillation* dan *Indian Ocean Dipole* terhadap Suhu Muka Laut di Laut Natuna
Nama Mahasiswa	: Alextansius Verel Renaldo
NIM	: H1081211005
Jurusan/Program Studi	: Ilmu Kelautan
Tanggal Lulus	: 30 Januari 2025
SK Pembimbing	: No. 2745/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal 13 September 2024
SK Penguji	: No. 246/UN22.8/TD.06/2025/Tanggal 24 Januari 2025

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Arie A. Kushadiwijayanto, S.Si., M.Si.	Dr. Apriansyah, S.Si., M.Si.
NIP198609072015041001	NIP198604292014041001

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Syarif Irwan Nurdiansyah, S.Si., M.Si.	Yusuf A. Nurrahman, S.Kel, M.Si.
NIP198606272023211014	NIP198903172018031001
Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Arie A. Kushadiwijayanto, S.Si., M.Si.	Dr. Apriansyah, S.Si., M.Si.
NIP198609072015041001	NIP198604292014041001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alextansius Verel Renaldo

NIM : H1081211005

Program studi/Jurusan : Ilmu Kelautan

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 26 Februari 2025

Alextansius Verel Renaldo
H1081211005

Pengaruh Fenomena *El Niño-Southern Oscillation* dan *Indian Ocean Dipole* terhadap Suhu Muka Laut Di Laut Natuna

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak spasial dan temporal dari fenomena *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap Suhu Permukaan Laut (SPL) di Laut Natuna. Dalam penelitian ini, digunakan metode seperti *Cross Wavelet Transform* (XWT) dan Korelasi Parsial yang didukung dengan *Time Series, Power Spectral Density* (PSD), dan *Cross Correlation* untuk mengetahui hubungan temporal antar variabel. Data SPL yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari CMEMS, sedangkan data *Oceanic Niño Index* (ONI) dan *Dipole Mode Index* (DMI) diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Dari hasil penelitian, terlihat bahwa fenomena antar tahunan dalam kurun waktu 2-7 tahun sangat dominan dalam mengendalikan anomali SPL di Laut Natuna, dengan ENSO dan IOD sebagai dua faktor utama yang menyebabkan perubahan tersebut. Analisis XWT menunjukkan bahwa SPL merespon ENSO dan IOD dalam periode 16-64 bulan (antar tahunan atau *interannual*), meskipun dengan kekuatan dan fase jeda yang bervariasi antar lokasi. Sementara itu, analisis Korelasi Parsial menunjukkan adanya hubungan positif antara SPL dan ENSO serta IOD, dengan IOD memberikan pengaruh yang lebih kuat. Studi ini memberikan bukti bahwa dampak ENSO dan IOD terhadap SPL di Laut Natuna bersifat antar-tahunan dan lebih disebabkan oleh mekanisme telekoneksi atmosfer dibandingkan dengan proses adveksi langsung yang biasa terjadi di wilayah yang berbatasan dengan Samudra Pasifik atau Samudra Hindia.

Kata Kunci: *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), Suhu Permukaan Laut (SPL), *Cross Wavelet Transform* (XWT), Korelasi Parsial

The Influences of El-Niño Southern Oscillation and Indian Ocean Dipole Phenomena on Natuna Sea Surface Temperature

Abstract

This study aims to investigate the spatial and temporal impacts of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD) on Sea Surface Temperature (SST) variations in the Natuna Sea. In this research, methodologies were used such as Cross Wavelet Transform (XWT) and Partial Correlation, supported by Time Series, Power Spectral Density (PSD), and Cross Correlation to find out the temporal relationship between variables. The SST data used in this research were secondary data and obtained from the CMEMS website, while the ONI and DMI data were obtained from NOAA. From the analysis result, it can be seen that the interannual phenomenon in a period of 2-7 years is dominant in controlling the SST anomalies in the Natuna Sea, with ENSO and IOD as the two main factors causing the change. The XWT analysis shows that SST responds to ENSO and IOD within the range of 16-64 months, though with varying strength and lag phases between locations. Meanwhile, the Partial Correlation analysis shows a positive relationship between SST and ENSO as well as IOD, with IOD exerting a stronger influence. This study provides evidence that the impact of ENSO and IOD on SST in the Natuna Sea is interannual and is driven more by atmospheric teleconnections than by direct advection processes typically observed in areas bordering the Pacific or Indian Oceans.

Keywords: *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Sea Surface Temperature* (SST), *Cross Wavelet Transform* (XWT), *Partial Correlation.*

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "Pengaruh Fenomena *El Niño-Southern Oscillation* dan *Indian Ocean Dipole* terhadap Suhu Muka Laut di Laut Natuna". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana pada program studi Ilmu Kelautan di Universitas Tanjungpura.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fenomena iklim global, yaitu *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD), terhadap Suhu Permukaan Laut di Laut Natuna

Penulis menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga Bapak Heri, Ibu Susi, Veric, Vincent, Jeslyn, dan Alexander yang selalu memberikan dukungan moral dan material selama penulis berkuliah dan melaksanakan penelitian ini.
2. Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura.
3. Arie Antasari Kushadiwijayanto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi selama proses penyusunan Skripsi ini.
4. Dr. Apriansyah, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi selama proses penyusunan Skripsi ini.
5. Sy. Irwan Nurdiansyah, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan masukan dan saran terkait penelitian ini.
6. Yusuf Arief Nurrahman, S.Kel., M.Si. selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran terkait penelitian ini.

7. Teman seprodi dan seangkatan, serta Elisya dan Icha yang menyempatkan waktu untuk memberikan dukungan dan pendampingan ketika penulis membutuhkan suplai motivasi.
8. *Honorable mention* untuk teman seperjuangan oseanografi, yakni Debora, Eti, Giza, dan Nadia yang selalu saling mendukung dan saling memberi masukan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan guna penyempurnaan penelitian ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan dan menjadi kontribusi positif dalam memahami respon laut di Indonesia terhadap fenomena iklim *interannual*.

Pontianak, 10 Februari 2025

Alextansius Verel Renaldo
NIM H1081211005

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR LAMPIRAN xii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) 4
2.2 *Indian Ocean Dipole* (IOD) 6
2.3 Kondisi Oseanografi di Laut Natuna 7
2.4 Suhu Permukaan Laut 8
2.5 *Time Series* dan *Power Spectral Density* (PSD) 10
2.6 Korelasi 10
2.7 Transformasi Wavelet 11

BAB III METODE PENELITIAN 13
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 13
3.2 Alat dan Bahan 14
3.3 Variabel Penelitian 15
3.4 Metode dan Alat Analisis 17

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 22
4.1 Hasil 22
4.2 Pembahasan 34

DAFTAR PUSTAKA 43

LAMPIRAN 50

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 3.1 Peta Penelitian dengan koordinat 7°8'0"LU - 4°6'0"LS dan 102°0'0"BT - 111°0'0"BT. 2 titik lokasi untuk analisis temporal digunakan dengan titik lokasi 1 (selanjutnya disebut Titik Utara) yang merepresentasikan Laut Natuna dengan koordinat 5°5'0"LU dan 108°30'2,88"BT. Titik lokasi 2 (selanjutnya disebut Titik Selatan) yang merepresentasikan Selatan Laut Natuna atau Selat Karimata dengan koordinat 1°50'0"LS dan 108°35'0"BT. 13

Gambar 3.2 Grafik fluktuasi Indeks ENSO berdasarkan data bulanan dari *Oceanic Niño Index* (ONI) dari tahun 1993-2021 16

Gambar 3.3 Grafik fluktuasi Indeks IOD berdasarkan data bulanan dari *Dipole Mode Index* (DMI) dari tahun 1993-2021 17

Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian 21

Gambar 4.1 Grafik *Time Series* dari SPL (panel atas) dengan garis tren; ONI (panel tengah) dengan garis pada yline 0,5 dan -0,5; dan DMI (panel bawah) dengan garis pada yline 0,4 dan -0,4. 22

Gambar 4.2 PSD dari SPL di Laut Natuna 24

Gambar 4.3 XWT antara SPL dan ONI pada Titik Utara (a) Titik Selatan (b) 28

Gambar 4.4 XWT antara SPL dan DMI pada Titik Utara (a) Titik Selatan (b) 30

Gambar 4.5 Korelasi Parsial antara SPL dan ENSO (IOD sebagai kontrol) di fase *El Niño* 31

Gambar 4.6 Korelasi Parsial antara SPL dan ENSO (IOD sebagai kontrol) di fase *La Niña* 32

Gambar 4.7 Korelasi Parsial antara SPL dan IOD (ENSO sebagai kontrol) di fase IOD+ 33

Gambar 4.8 Korelasi Parsial antara SPL dan IOD (ENSO sebagai kontrol) di fase IOD- 34

Gambar L.1 *Cross Correlation* SPL dan ONI di Titik Utara.....50

Gambar L.2 *Cross Correlation* SPL dan ONI di Titik Selatan.....50

Gambar L.3 *Cross Correlation* SPL dan DMI di Titik Utara.....51

Gambar L.4 *Cross Correlation* SPL dan DMI di Titik Selatan.....51

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Alat Pengolahan Data.....14

Tabel 3.2 Data yang digunakan.....14

Tabel 3.3 Tahun kejadian fase El Nino dan La Nina 16

Tabel 3.4 Tahun kejadian fase IOD+ dan IOD-.....17

Tabel 3.5 Interpretasi Koefisien Korelasi 20

Tabel 4.1 Nilai Tren dari SPL, ONI, dan DMI 23

Tabel 4.2 Kekuatan spektral dari tiap fenomena pada SPL di Laut Natuna 24

Tabel 4.3 Interpretasi arah panah XWT.....26

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. *Cross Correlation* 50

Lampiran 2. *Script* Matlab 52

Lampiran 3. Filter Fase ENSO dan IOD 63

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) adalah 2 faktor signifikan yang mempengaruhi iklim bumi. ENSO berasal dari Samudra Pasifik Tropis dan merupakan mode iklim internal terkuat dalam skala waktu *interannual*. Fenomena ini tidak hanya mempengaruhi anomali iklim di wilayah Pasifik Tropis, tetapi juga memiliki pengaruh penting terhadap anomali iklim di wilayah tropis hingga skala global melalui telekoneksi atmosfer (Cane, 1983; Qadimi *et al*., 2021; Alizadeh, 2023). Fase hangat ENSO dikarakterisasi dengan anomali Suhu Permukaan Laut (SPL) di hangat di Timur Samudra Pasifik dan anomali SPL dingin di Barat Samudra Pasifik. Fase dingin dari ENSO merupakan kondisi sebaliknya (McPhaden *et al*., 2020). Fenomena ENSO dapat dikarakterisasi berdasarkan amplitudo, durasi, frekuensi, diversitas, dan tipe (Alizadeh, 2017; Alizadeh, 2022a, Alizadeh, 2022b). Sementara itu, IOD merupakan suatu fenomena skala waktu *interannual* yang terjadi di Samudra Hindia (Saji *et al*., 1999; Webster *et al*., 1999; An, 2004) dan mempengaruhi beberapa wilayah seperti Afrika Timur, Indonesia Barat, Australia, India, dan beberapa wilayah lainnya (Kim *et al*., 2024). Fase positif IOD dikarakterisasi oleh anomali suhu permukaan laut dingin di Tenggara Samudra Hindia tropis dan anomali suhu permukaan laut hangat di barat Samudra Hindia tropis, dan fase negatif IOD adalah kebalikannya. Fenomena ini cenderung berkembang saat musim panas *boreal*, mencapai puncaknya pada musim gugur, dan meluruh dengan cepat saat musim dingin, menandakan penguncian fase musiman IOD karena perubahan musiman yang kuat pada aliran monsun di atas Samudra Hindia. ENSO juga diketahui dapat memicu IOD, yang pada gilirannya berpengaruh terhadap perkembangan dan peluruhan ENSO (Luo *et al*., 2010; Kug dan Kang, 2006; Kug *et al*., 2006; Izumo *et al*., 2010; Kim dan An, 2018; Le *et al*., 2020).

Anomali SPL di Samudra lain memiliki puncak 2-6 bulan setelah anomali SPL di Pasifik Tropis (Curtis dan Hastenrath, 1995; Lanzante, 1996; Liu, *et al*., 2013). Nilai lag ini mengindikasikan bahwa lautan yang tidak berdekatan dengan Samudra Pasifik menghubungkan pengaruh jembatan atmosferis sebagai energi yang terasosiasi (Lau dan Nath, 1996; Liu *et al*., 2013) setelah beberapa bulan (Alexander *et al*., 2002). Anomali SPL di Laut Cina Selatan memiliki nilai lag terhadap anomali SPL di Pasifik (Klein *et al*., 1999; Wang *et al*., 2002; Xie *et al*., 2003; Zhu *et al*.,2003) dan menunjukkan puncak ganda setelah fenomena *El Niño* (Wang, *et al*., 2006). Dalam penelitian Liu *et al*. (2013), anomali SPL positif terjadi di Laut Cina selama fenomena ENSO dengan nilai puncak anomali SPL di sekitar 10 bulan setelah puncak anomali SPL di Pasifik ekuatorial timur. Selain itu, penelitian Alamsyah *et al*. (2024) menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif yang didominasi oleh klasifikasi lemah antara SPL di Selat Karimata dengan fenomena IOD, tetapi nilai lag tidak diperhitungkan dalam penelitian tersebut.

Di samping penelitian selama beberapa dekade, variasi SPL selama variabilitas iklim belum banyak dimanfaatkan atau dipahami dengan jelas (Isa *et al*., 2020). Letak geografis Laut Natuna yang bersebelahan dengan Laut Cina Selatan (Al-Fiah dan Burhanuddin, 2023) dan berdekatan dengan Selat Karimata menimbulkan suatu pertanyaan baru mengenai respons SPL di Laut Natuna terhadap fenomena ENSO dan IOD. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul "Pengaruh Fenomena *El Nino-Southern Oscillation* dan *Indian Ocean Dipole* terhadap Suhu Permukaan Laut Natuna" untuk menganalisis nilai *lag* dan jenis hubungan yang terjadi antara SPL dan ENSO/IOD.

1.2 Rumusan Masalah

Fenomena ENSO dan IOD mempengaruhi kondisi oseanografi di Indonesia dan pengaruh ini tidak hanya terjadi pada lautan yang secara langsung bertemu dengan Samudra Pasifik atau Hindia, tetapi juga terhadap perairan yang "*remote*". Pengaruh yang diberikan fenomena ini berbeda-beda di tiap wilayah dengan kekuatan dan *delay* yang bervariasi. Perlu adanya penelitian yang mengkaji pengaruh fenomena ini terhadap wilayah Laut Natuna untuk memahami tingkat

kekuatan yang dibawa serta seberapa lama waktu yang dibutuhkan bagi fenomena tersebut untuk mencapai wilayah ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan secara *spatio-temporal* untuk memahami tingkat pengaruh yang diberikan dalam domain waktu-frekuensi serta spasial. Oleh karena itu, penelitian ini merumuskan masalah sebagai berikut, bagaimana respons suhu permukaan laut di Laut Natuna terhadap fenomena ENSO dan IOD?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengkaji interaksi sinyal ENSO/IOD dan SPL di Laut Natuna dalam domain waktu-frekuensi.
2. Mengkaji hubungan fenomena ENSO dan IOD terhadap SPL di Laut Natuna secara spasial
3. Membandingkan antar fenomena *interannual* (ENSO dan IOD) yang paling mempengaruhi Laut Natuna.

1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat bermanfaat dalam memberikan informasi terkait anomali suhu yang terjadi di Laut Natuna selama fenomena ENSO dan IOD. Informasi ini dapat berguna bagi penelitian lebih lanjut yang mengkaji Laut Natuna, terutama di bidang ekologi maupun perikanan yang sensitif terkait perubahan suhu.

1.4.2 Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung upaya konservasi dan pengelolaan perikanan. Dengan memahami dampak perubahan suhu, strategi konservasi dan pengelolaan perikanan dapat lebih efektif dalam menjaga keanekaragaman hayati serta produktivitas perikanan.