

# Dinamika Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Laut Flores Hubungannya dengan Fenomena ENSO dan IOD

Herlambang Aulia Rachman<sup>1\*</sup>, Zainul Hidayah<sup>1</sup>, Amir Yarkhasy Yuliardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura  
Jl. Raya Telang, Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur 69162, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jendral Soedirman  
Jl. Dr. Soeparno No 61, Purwokerto, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia  
Email: herlambang.rachman@trunojoyo.ac.id

## Abstract

### **Dynamic of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Concentration in Flores Sea Related to ENSO and IOD phenomena**

The Flores Sea is a central region of Indonesia that plays a crucial role in the circulation of water masses. This area serves as a key pathway for the Indonesian Throughflow (ITF), which transports water from the Pacific to the Indian Ocean. The region is also known for its high productivity, particularly in fisheries. This study analyzes two important oceanographic parameters: Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-a concentration. The analyses conducted include monthly averages and anomalies and their relationship with interannual phenomena such as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and the Indian Ocean Dipole (IOD). To quantify the relationship between oceanographic parameters and these phenomena, correlation and partial correlation analyses were performed. The results indicate that SST and Chlorophyll-a exhibit seasonal fluctuations, particularly in the northern Flores Sea near Sulawesi Island. These fluctuations are suspected to be caused by seasonal upwelling in the region, driven by the movement of the Southeast Monsoon winds during the East Monsoon season (June–August). Upwelling is concentrated in the northern part of the Flores Sea, along the southern coast of Sulawesi Island. The correlation and partial correlation analyses also show that ENSO and IOD significantly impact the variability of oceanographic parameters in the Flores Sea, with IOD exerting a stronger influence than ENSO.

**Keywords:** Flores Sea; Sea Surface Temperature; Chlorophyll-a; ENSO; IOD

## Abstrak

Perairan Laut Flores merupakan kawasan yang terletak pada bagian sentral wilayah Indonesia yang memiliki peranan penting dalam sirkulasi massa air di Indonesia. Wilayah ini merupakan lokasi aliran Arus Lintas Indonesia (Arlindo) atau Indonesian Throughflow (ITF) yang mengalir dari Samudera Pasific menuju Hindia. Wilayah ini juga dikenal memiliki produktifitas perikanan yang cukup tinggi khususnya dalam sektor perikanan. Dalam penelitian ini menganalisis bagaimana dua parameter oseanografi yang cukup penting yakni Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Konsentrasi Klorofil-a. Analisis yang dilakukan antara lain adalah rata-rata bulanan, anomaly, dan hubungannya dengan fenomena antar tahunan seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Untuk mengkuantifikasi hubungan antara parameter oseanografi dengan kedua fenomena tersebut maka dilakukan analisis korelasi dan parsial korelasi. Hasilnya adalah parameter SPL dan Klorofil-a memiliki fluktuasi secara musiman, khususnya yang berada pada sisi utara dekat Pulau Sulawesi. Fluktuasi ini diduga diakibatkan oleh adanya fenomena Upwelling yang terjadi secara musiman pada wilayah ini akibat pergerakan dari Angin Muson Tenggara pada musim Timur (Juni-Agustus). Upwelling terfokus pada wilayah bagian sisi utara Laut Flores (pesisir selatan Pulau Sulawesi). Hasil analisis korelasi dan parsial korelasi juga menunjukkan fenomena ENSO dan IOD memberikan pengaruh yang cukup tinggi terhadap variabilitas parameter oseanografi di Laut Flores. Dimana fenomena IOD memberikan dampak yang lebih kuat dibanding dengan fenomena ENSO.

**Kata kunci :** Laut Flores; Suhu Permukaan Laut; Klorofil-a; ENSO; IOD

## PENDAHULUAN

Suhu Permukaan Laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a (chl-a) merupakan parameter kunci yang menentukan kondisi suatu perairan, terutama dalam mendukung ekosistem laut dan produktivitas perikanan. SPL sering digunakan untuk mengidentifikasi pola distribusi panas di perairan, yang memengaruhi distribusi organisme laut, sedangkan konsentrasi chl-a menjadi indikator produktivitas

primer karena berkaitan langsung dengan aktivitas fitoplankton. Umumnya parameter ini digunakan adalah untuk analisis kaitannya dengan kondisi perikanan di wilayah tersebut (Setiawati *et al.*, 2015; Syamsuddin *et al.*, 2016). Pola sebaran spasial dan temporal untuk SPL dan konsentrasi Chl-a di wilayah Indonesia sebagian besar sangat dipengaruhi pergerakan angin muson yang berubah secara musiman (Ningsih *et al.*, 2013; Susanto *et al.*, 2006; Syamsudin & Kaneko, 2013). *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), melalui peristiwa El Niño dan La Niña, menyebabkan perubahan pola suhu dan arus di wilayah tropis, sedangkan *Indian Ocean Dipole* (IOD) memengaruhi sirkulasi di Samudra Hindia, yang berdampak langsung pada kondisi perairan di Indonesia. Fenomena iklim global seperti ENSO dan IOD juga memberikan dampak fluktuasi kedua parameter tersebut (Horhoruw *et al.*, 2017; Rachman *et al.*, 2024; Setiawan *et al.*, 2022). Salah satu lokasi yang terletak pada wilayah central Kepulauan Indonesia dan dipengaruhi oleh beberapa faktor diatas adalah Laut Flores.

Perairan Laut Flores terletak pada bagian selatan Pulau Sulawesi dan sebelah utara Pulau Sumbawa (Provinsi Nusa Tenggara Barat) dan Pulau Flores (Provinsi Nusa Tenggara Timur). Wilayah ini terletak pada sebelah timur Laut Banda dan sebelah barat Laut Jawa. Lokasinya yang strategis menyebabkan Laut Flores menjadi sentral lokasi yang menjadi aliran dari Indonesian Throughflow (ITF) yang mengalir dari Samudera Pasific menuju Samudera Hindia (Gordon & Fine, 1996). Aliran ITF ini memainkan peranan penting dalam pengaturan suhu permukaan laut dan distribusi massa air di wilayah tersebut (Lubis *et al.*, 2025). Aliran ITF sebagian besar mengalir ke wilayah Indonesia melalui Selat Makassar yang kemudian mengalir menuju Selat Lombok dan Selat Ombai melalui Laut Flores (Gordon *et al.*, 2010). Proses ini juga membawa air dengan karakteristik yang berbeda, seperti suhu dan salinitas, yang dapat mempengaruhi kondisi ekosistem laut secara keseluruhan. Seperti diketahui bahwa ITF memberikan peranan yang cukup penting dalam sirkulasi massa air di Indonesia serta kondisi fluktuasinya (Feng *et al.*, 2018; Hu & Sprintall, 2016). Dinamika aliran ITF ini juga berinteraksi dengan fenomena iklim global seperti ENSO dan IOD, yang dapat memperkuat atau melemahkan pola sirkulasi ini, serta mempengaruhi distribusi suhu dan nutrien di perairan Laut Flores dan perairan Indonesia pada umumnya (Rachman *et al.*, 2024; Tresnawati *et al.*, 2024). Aliran ITF sebagian besar mengalir ke wilayah Indonesia melalui Selat Makassar yang kemudian mengalir menuju Selat Lombok dan Selat Ombai melalui Laut Flores (Gordon, 2005).

Observasi parameter SPL dan konsentrasi chl-a menggunakan citra satelit telah banyak dilakukan salah satunya untuk analisis variabilitas secara musiman atau kaitannya dengan kondisi perikanan. Pemantauan suhu permukaan laut dan klorofil-a dengan citra satelit memberikan keuntungan dalam memantau kondisi laut secara real-time dan pada skala yang luas. Data satelit saat ini sudah tersedia secara kontinyu dengan resolusi spasial dan periode yang cukup panjang telah mencapai diatas 25 tahun. Hal ini memungkinkan analisis jangka panjang terhadap fluktuasi oseanografi dan hubungannya dengan fenomena iklim global. Kemampuan data satelit dalam menganalisis data-data variabilitas oseanografi telah cukup baik dan banyak diaplikasikan pada penelitian-penelitian sebelumnya, khususnya di Indonesia (Anugrah *et al.*, 2023; Rachman *et al.*, 2019; Susilo, 2015). Meskipun banyak penelitian sebelumnya yang menggunakan data satelit untuk menganalisis variabilitas suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia, masih terdapat keterbatasan dalam memahami hubungan langsung antara dinamika oseanografi di Perairan Laut Flores dengan fenomena ENSO dan IOD secara lebih mendalam. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan analisis bagaimana dinamika kondisi oseanografi di wilayah Perairan Laut Flores serta kaitannya dengan fenomena ENSO dan IOD menggunakan data Satelit Oseanografi. Dinamika kondisi oseanografi dihitung berdasarkan nilai rata-rata bulanan klimatologi beserta kondisi anomalnya serta analisis hubungan dengan kedua fenomena ekstrim menggunakan analisis korelasi dan parsial korelasi.

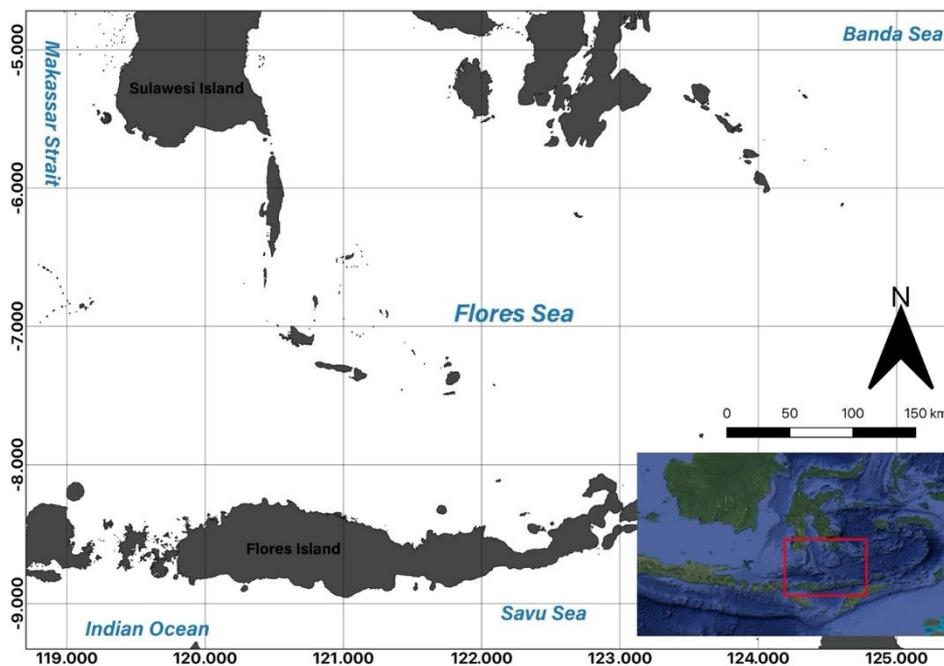
## **MATERI DAN METODE**

Penelitian ini dilaksanakan pada wilayah perairan Laut Flores yang terletak pada 5.5° - 8° S dan 119° - 125° E. Wilayah ini terletak pada sebelah selatan Pulau Sulawesi dan sebelah utara Pulau Flores

di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Berada tepat pada bagian tengah wilayah Perairan Indonesia membuat Laut Flores menjadi cukup penting bagi kondisi lingkungan di Indonesia. Perairan ini merupakan salah satu jalur dari Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang melewati Selat Makassar menuju Selat Ombai sebelum keluar di Samudera Hindia. Aliran Arlindo ini membawa massa air dengan karakteristik yang berbeda, yang mempengaruhi distribusi suhu, salinitas, dan nutrisi di perairan Laut Flores, sehingga berperan penting dalam dinamika oseanografi wilayah tersebut.

Dalam penelitian ini beberapa data yang digunakan antara lain adalah Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Konsentrasi Klorofil-a (Chl-a) dengan periode data yang digunakan mulai periode 1998 – 2022. Data SPL yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari National Atmospheric and Oceanic Administration (NOAA) dalam bentuk data Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) V2. Data ini merupakan hasil reanalysis dari data satelit yang dikombinasikan dengan data hasil survey lapangan untuk menjadi sebuah grid dataset yang komplit. Data SPL yang digunakan memiliki resolusi sebesar 0.25 derajat dengan periode sesuai tahun penelitian. Data ini dapat diakses pada halaman <https://www.ncei.noaa.gov/products/optimum-interpolation-sst>. Berikutnya merupakan data untuk data konsentrasi klorofil-a menggunakan data dari Marine Copernicus yang merupakan data Global Ocean Colour (OCEANCOLOUR\_GLO\_BGC\_L4\_MY\_009\_104). Data ini merupakan hasil kombinasi data satelit Ocean Color dari satelit Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dengan data pemodelan. Hasil asimilasi ini berupa data grid regular dengan resolusi 4 km baik secara bulanan atau harian. Untuk melakukan akses terhadap data ini dapat melalui halaman website <https://data.marine.copernicus.eu/products>.

Analisis data antar tahunan juga dilakukan dalam penelitian ini dimana menghitung hubungan antara SPL dan konsentrasi klorofil-a dengan indeks ENSO dan IOD. Untuk data ENSO yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Ocean Nino Index (ONI) yang dapat diakses pada [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Data tersebut merupakan nilai dari anomaly SPL yang terletak pada equatorial pacific yang menjadi indikator dalam penentuan terjadinya fenomena El Nino dan La Nina. Sementara fenomena IOD menggunakan data dari Dipole Mode Index (DMI) yang dapat diakses melalui <https://www.jamstec.go.jp/virtualearth/general/en/index.html>. DMI merupakan nilai indeks yang digunakan untuk menentukan tahun kejadian fenomena IOD.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian di wilayah Perairan Laut Flores

Proses analisis data dalam penelitian ini menggunakan beberapa perhitungan seperti rata-rata bulanan, analisis anomaly, dan perhitungan korelasi. Perhitungan nilai rata-rata bulanan secara klimatologi dilakukan pada data SPL dan Konsentrasi Klorofil-a dengan tujuan untuk melihat adanya variasi data pada setiap bulan. Persamaan yang digunakan dalam analisis data bulanan adalah sebagai berikut (Wirasatriya *et al.*, 2017) :

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(x, y, t)}{n}$$

Dimana nilai X merupakan rata-rata dari SPL dan klorofil-a, sedangkan n adalah total periode data yang dihitung nilai rata-ratanya. Untuk memahami adanya fenomena ENSO dan IOD, maka dilakukan analisis anomaly. Pada dasarnya analisis anomaly adalah menghitung simpangan dari data pada periode tertentu dengan nilai rata-rata klimatologinya. Nilai anomaly dapat memberikan gambaran yang lebih jelas bagaimana fluktuasi data SPL dan Konsentrasi Klorofil-a pada tahun-tahun terjadinya fenomena ekstrem tersebut (Rachman *et al.*, 2024). Persamaan dalam analisis anomaly adalah sebagai berikut:

$$At = Xt - X$$

Untuk melihat seberapa besar pengaruh dari fenomena ENSO dan IOD, maka dilakukan analisis korelasi. Analisis ini bertujuan untuk menghitung bagaimana hubungan antara ENSO dan IOD terhadap kondisi Oseanografi di Laut Flores. Analisis korelasi dilakukan dalam dua jenis yakni korelasi Pearson dan parsial korelasi. Parsial korelasi bertujuan untuk melihat pengaruh dari fenomena ekstrem ketika salah satu variable bebasanya dihilangkan (As-syakur *et al.*, 2014). Persamaan korelasi yang digunakan adalah sebagai berikut (Glowienka-Hense *et al.*, 2020) :

$$R_{par} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}}$$

Dimana nilai Rpar merupakan korelasi parsial antara setiap parameter oseanografi dengan fenomena ENSO dan IOD. Nilai  $r_{12}$  dan  $r_{13}$  merupakan korelasi dari setiap parameter terhadap fenomena ENSO dan IOD. Sementara untuk  $r_{23}$  merupakan korelasi antara nilai ONI dengan DMI.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini terdapat tiga data utama yang dilakukan pengolahan yakni pada SPL dan Konsentrasi Klorofil-a. Kedua parameter ini dianalisis untuk memberikan gambaran bagaimana kondisi oseanografi pada perairan wilayah Laut Flores. Selain itu dalam analisis ini juga dilihat bagaimana dampak dari fenomena ekstrem seperti kaitannya dengan fenomena ENSO dan IOD pada wilayah tersebut dan dampaknya terhadap kondisi oseanografi pada wilayah Laut Flores.

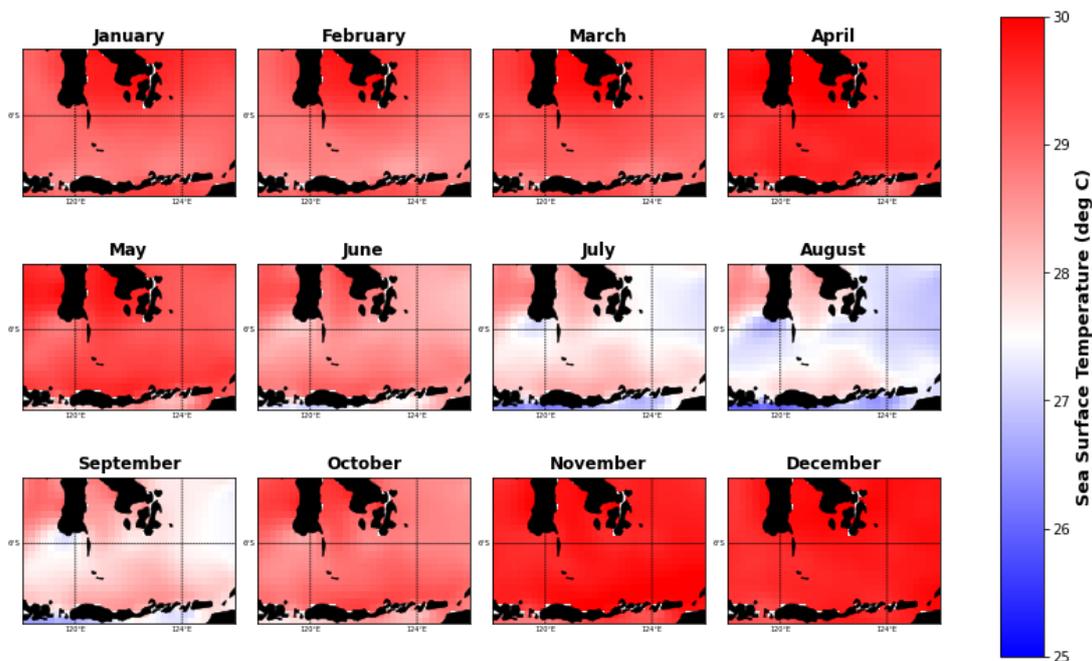
Distribusi bulanan SST pada wilayah Laut Flores berdasarkan data OISST dari tahun 1998 hingga 2022 (Gambar 2). Hasil analisis ini memberikan gambaran adanya variasi atau fluktuasi secara bulanan di wilayah Laut Flores. Pada periode musim barat sekitar Bulan Desember hingga Februari (Musim Barat), rata-rata nilai SST pada wilayah ini relatif cukup tinggi yakni berkisar antara 29 – 30 derajat Celcius. Kemudian pada periode April hingga May (Peralihan 1), nilai SPL cenderung mengalami penurunan pada kisaran 27.5 – 29 derajat Celcius. Penurunan nilai SPL secara umum terjadi pada wilayah bagian selatan wilayah Pulau Sulawesi dan pada bagian timur Laut Flores yang berbatasan dengan Laut Banda. Pada lokasi ini, kisaran nilai SPL paling rendah didapatkan pada periode Juli – September yang merupakan puncak musim timur dengan rata-rata 25 - 27 derajat Celcius.

Untuk konsentrasi klorofil-a memiliki pola yang sama dengan SPL dimana mengalami fluktuasi secara bulanan. Pada periode-periode tertentu konsentrasi klorofil-a cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pada bulan yang lain. Kenaikan dari konsentrasi klorofil-a mulai terjadi pada

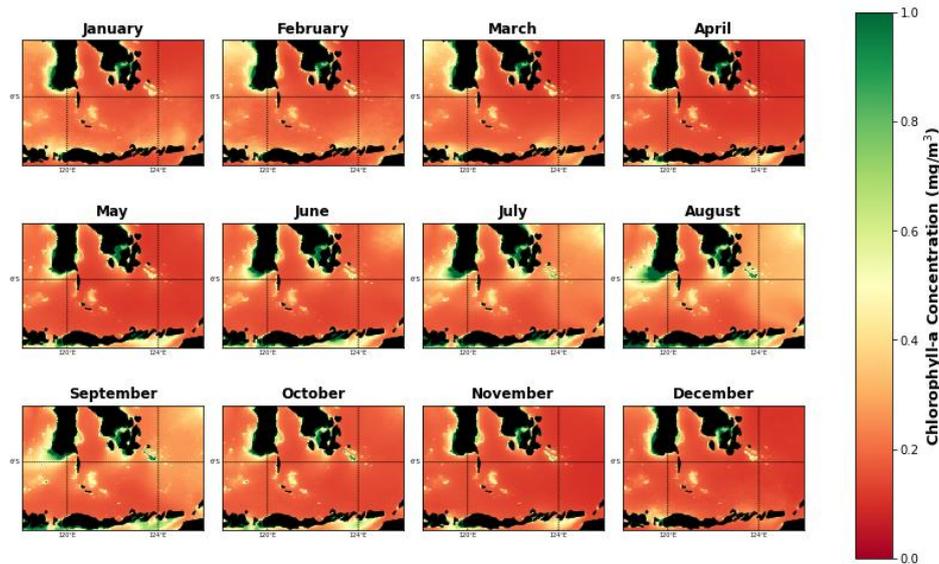
periode bulan Mei dan mencapai puncak pada periode Agustus-September. Wilayah dengan konsentrasi klorofil-a tertinggi pada periode tersebut terjadi pada wilayah selatan Pulau Sulawesi dengan kisaran mencapai 0.7 – 1.0 mg/m<sup>3</sup>. Pada saat yang sama, wilayah ini juga berbarengan dengan penurunan SST pada periode tersebut. Dalam konteks fenomena oseanografi, kejadian ini disebut dengan fenomena Upwelling (Sumber). Beberapa lokasi yang terdampak fenomena upwelling tersebut antara lain Perairan Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Kepulauan Wakatobi.

Analisis data juga dilakukan dengan melihat nilai rata-rata secara spasial nilai SPL dan konsentrasi klorofil-a pada wilayah Laut Flores. Dimana pada periode tersebut terlihat rata-rata nilai SPL cenderung mengalami fluktuasi secara bulanan. Dimana pada pada musim timur (Juni-September) cenderung akan lebih rendah dibandingkan dengan musim barat (Oktober-Februari). Hal ini terkonfirmasi pada Gambar 2 dimana secara rata-rata klimatologi, pada periode musim timur (musim barat) nilai SPL pada beberapa lokasi cenderung lebih rendah (tinggi). Pola yang sama juga ditunjukkan oleh konsentrasi klorofil-a yang cenderung lebih tinggi pada periode musim timur dan rendah pada musim barat. Fenomena rendahnya nilai SPL dan tingginya klorofil-a tersebut erat kaitannya dengan fenomena upwelling pesisir.

Hasil studi ini didapatkan hasil bahwa kondisi oseanografi di wilayah perairan Laut Flores berfluktuasi secara musiman berdasarkan data SPL dan konsentrasi klorofil-a. Pengaruh terbesar dari adanya fluktuasi tersebut disebabkan karena adanya perubahan arah angin yang menyebabkan fenomena upwelling (Wyrtki, 1962). Fenomena ini disebabkan oleh adanya pergerakan angin yang sejajar dengan garis pantai sehingga mengakibatkan arus Ekman. Arus ini yang menyebabkan adanya naiknya massa air dari perairan dalam ke permukaan atau terjadi fenomena upwelling (Wirasatriya *et al.*, 2020). Massa air ini memiliki nilai suhu yang lebih rendah dan memiliki konsentrasi nutrient yang cukup tinggi. Sehingga pada saat terjadi fenomena tersebut, nilai SPL akan cenderung lebih rendah dan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi (Kokkinakis & Wheeler, 1987; Rosdiana *et al.*, 2017). Fenomena upwelling ini banyak dikaitkan dengan kondisi produktivitas perikanan yang terdapat di suatu wilayah. Beberapa wilayah di Indonesia yang memiliki tingkat produktivitas perikanan cukup tinggi sebagian besar dipengaruhi oleh fenomena upwelling seperti Selatan Jawa, Laut Banda, atau Selatan Bali-Nusa Tenggara, dan termasuk juga bagian selatan Pulau Sulawesi (Setiawati *et al.*, 2024; Yati *et al.*, 2024; Zainuddin *et al.*, 2017).



Gambar 2. Variasi bulanan SST di wilayah Perairan Laut Flores



**Gambar 3.** Variasi bulanan SST di wilayah Perairan Laut Flores

Dari Gambar 4 juga dapat dianalisis bahwa pola perubahan tersebut tidak hanya terjadi secara musiman, melainkan juga antar tahunan (interannual). Dimana pada periode tertentu (2016, 2020, 2008) nilai SPL cenderung lebih rendah dibandingkan tahun-tahun lainnya. Hal yang sama juga terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a juga cenderung lebih tinggi pada periode tersebut dibandingkan dengan tahun-tahun lainnya. Fenomena antar tahunan tersebut dapat dikaitkan dengan adanya fenomena ENSO dan IOD yang dampaknya cukup besar terhadap wilayah Indonesia. Untuk memahami fenomena tersebut maka dilakukan analisis anomaly untuk melihat perubahan yang lebih jelas secara antar tahunan. Analisis ini dilakukan dengan mengurangi data pada bulan yang sama dengan rata-rata klimatologinya.

Analisis anomaly dilakukan untuk melihat lebih jelas bagaimana fluktuasi data SPL secara bulanan pada periode penelitian. Pada anomaly data SPL menunjukkan bahwa pada periode tahun 2008, 2011, 2015, dan 2019 mengalami anomaly yang lebih rendah dibandingkan kondisi normal atau rata-ratanya. Sedangkan pada periode 2010, 2016, dan 2022 menunjukkan bahwa nilai anomaly SPL bernilai positif cukup tinggi. Anomali SPL positif menunjukkan bahwa kondisi SPL semakin hangat dibandingkan kondisi normal, berikut sebaliknya ketika nilai negatif. Hal tersebut artinya pada saat Anomali SPL positif pengaruh La Nina dan IOD Negatif cenderung lebih kuat, sedangkan saat anomaly negative merupakan kejadian El Nino dan IOD Positif

Grafik anomaly konsentrasi klorofil-a juga menunjukkan pola yang sama dimana pada periode El Nino dan IOD Positif, anomaly konsentrasi klorofil-a cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi normal. Nilai anomaly pada periode tersebut mencapai diatas 0.15, bahkan pada periode kejadian El Nino/IOD Positif tahun 2015 mencapai 0.20. Sebaliknya pada kondisi La Nina/IOD Negatif nilai anomaly klorofil-a cenderung akan bernilai negative dimana minimum pada 2010 mencapai -0.10 mg/m<sup>3</sup>.

Selain adanya fluktuasi secara bulanan, dalam penelitian ini juga dianalisis dampak fenomena antar tahunan terhadap fluktuasi dari SPL dan konsentrasi klorofil-a. Kami melakukan analisis anomaly untuk mengkaji hal tersebut, dimana anomaly negative (positif) menunjukkan selisih data dari kondisi rata-ratanya pada periode tersebut. Hasil analisis anomaly menunjukkan bahwa terdapat beberapa tahun tertentu nilai dari anomaly SPL dan Klorofil-a cenderung lebih tinggi/rendah dibandingkan kondisi normalnya. Seperti contoh pada tahun kejadian El Nino dan IOD Positif, nilai SPL cenderung mengalami anomaly positif dan konsentrasi klorofil-a negative. Kondisi sebaliknya pada saat kondisi La Nina dan IOD Negatif. Dalam beberapa kasus, intensitas upwelling cukup dipengaruhi oleh kedua fenomena tersebut seperti di Perairan Selatan Jawa (Hori et al., 2022; Susanto et al., 2001), Nusa Tenggara (Ningsih et al., 2013), dan Laut Banda (Rachmayani et al., 2019).

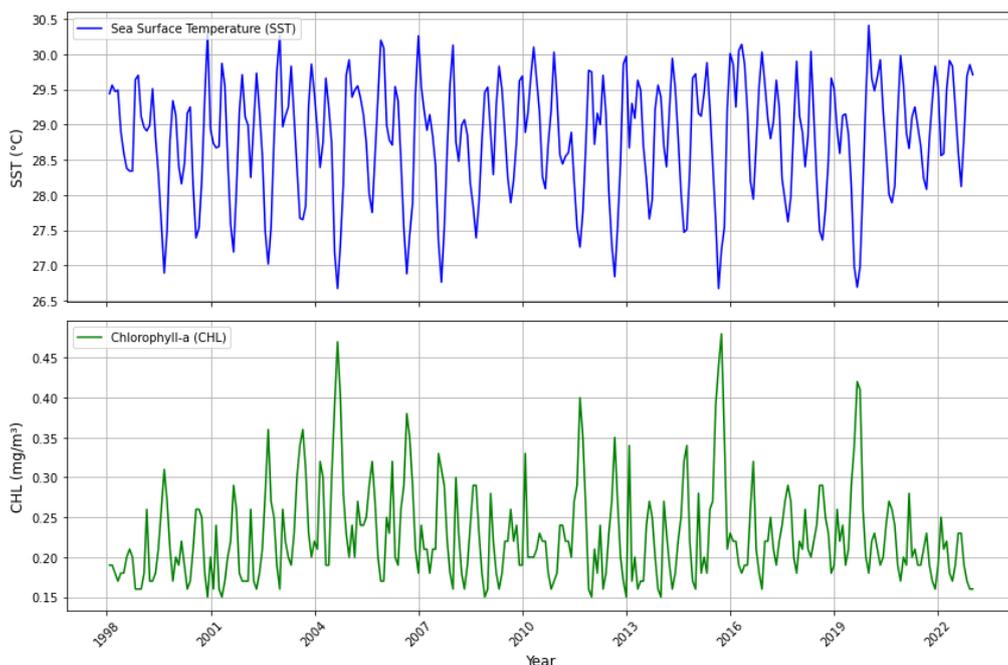
Untuk memahami seberapa kuat pengaruh dari ENSO dan IOD terhadap parameter oseanografi maka dilakukan analisis korelasi dan parsial korelasi. Secara umum hasil korelasi memberikan gambaran bahwa parameter IOD cenderung memiliki pengaruh lebih kuat terhadap ENSO. Korelasi antara IOD dengan SPL memiliki pengaruh yang lebih kuat dibandingkan dengan konsentrasi klorofil-a. Sedangkan untuk nilai hasil parsial korelasi didapatkan hasil bahwa korelasi SPL dengan IOD cenderung lebih kuat ketika faktor fenomena ENSO dihilangkan. Sebaliknya untuk parameter CHL memiliki korelasi yang lebih lemah dengan IOD ketika parameter ENSO dihilangkan.

Fenomena ITF juga memiliki peranan yang cukup penting dalam sirkulasi massa air yang ada di wilayah Laut Flores. Seperti diketahui bahwa dinamika perubahan massa air aliran ITF pada saat terjadi Fenomena ENSO juga berperan terhadap sirkulasi massa air di Indonesia (Susanto *et al.*, 2001). Aliran arus saat terjadi fenomena El Nino akan cenderung lebih lemah dibandingkan dengan kondisi normalnya. Hal ini juga menyebabkan suhu air laut yang mengalir akan lebih rendah. Kondisi ini salah satunya yang menyebabkan adanya peningkatan intensitas upwelling sehingga mempengaruhi peningkatan konsentrasi klorofil-a saat terjadi El Nino (Rachman *et al.*, 2024). Berbeda pada kondisi La Nina, dimana periode ini massa air yang mengalir lebih tinggi dari kondisi normal dan kondisi suhu yang lebih hangat. Kondisi ini mengakibatkan kedalaman lapisan thermocline akan lebih dalam dan menekan upwelling lebih lemah dari kondisi normalnya.

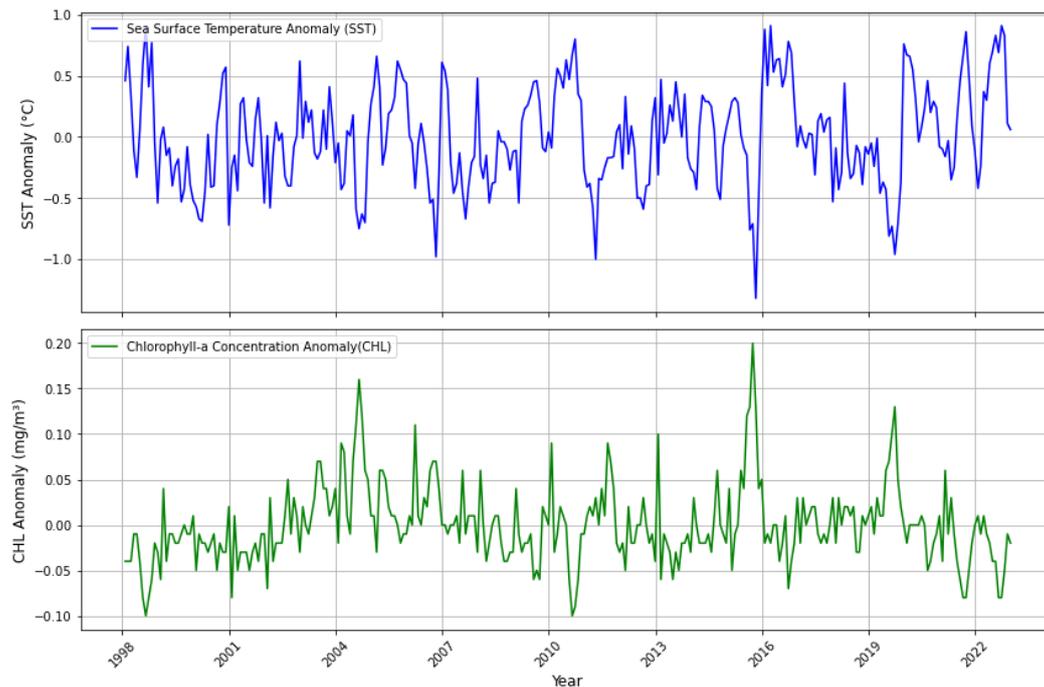
**Table 2.** Korelasi antara nilai anomaly SPL dan Konsentrasi klorofil-a

Parameter	Korelasi		Parsial Korelasi	
	ENSO	IOD	ENSO tanpa IOD	IOD tanpa ENSO
Suhu Permukaan Laut	0.012	-0.457*	0.169*	-0.481*
Konsentrasi Klorofil-a	0.342*	0.406*	0.258*	0.342*

\*Nilai p-value < 0.05 (Signifikansi diatas 95%)



**Gambar 4.** Nilai rata-rata SPL dan konsentrasi klorofil-a pada wilayah Laut Flores



**Gambar 5.** Anomali SPL dan Konsentrasi klorofil-a di Perairan Laut Flores

## KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan gambaran hasil bahwa SPL dan Konsentrasi Klorofil-a berfluktuasi secara musiman. Untuk SPL mencapai nilai minimum pada periode bulan Agustus yang mencapai 25 derajat Celcius dengan konsentrasi klorofil-a mencapai 1.2 mg/m<sup>3</sup>. Fenomena upwelling memiliki peranan yang cukup penting dalam menyebabkan fluktuasi tersebut. Kedua parameter ini juga dipengaruhi secara langsung oleh fenomena ENSO dan IOD berdasarkan dari nilai korelasi yang cukup signifikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a cenderung memiliki nilai korelasi lebih besar dari pada SPL baik terhadap ENSO dan IOD yakni masing-masing sebesar 0.342 dan 0.406. Sedangkan untuk nilai partial korelasi antara kedua parameter dengan IOD (menghilangkan ENSO) cenderung mendapatkan hasil yang lebih kuat yang mencapai -0.481 (SPL) dan 0.342 (Klorofil-a). Saran terhadap penelitian berikutnya adalah menambahkan parameter yang menjadi penggerak utama fenomena upwelling seperti arus dan angin untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi oseanografi yang ada di Laut Flores.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Trunojoyo Madura yang telah mendanai riset ini melalui skema Pendanaan Penelitian Mandiri tahun anggaran 2024 dengan no kontrak 087/UN46.4.1/PT.01.03/RISMAN/2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, A.P., Hidayah, Z., As-Syakur, A., & Rachman, H.A. (2023). Pemanfaatan Citra Satelit Aqua-MODIS untuk Pemantauan Dinamika Spasio-Temporal Produktivitas Primer Bersih di Perairan Laut Jawa. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 473–484. doi: 10.14710/jkt.v26i3.18222.
- As-syakur, Abd. R., Adnyana, I.W.S., Mahendra, M.S., Arthana, I.W., Merit, I.N., Kasa, I.W., Ekayanti, N.W., Nuarsa, I.W., & Sunarta, I.N. (2014). Observation of spatial patterns on the rainfall response to ENSO and IOD over Indonesia using TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Rainfall

- Response To Enso And Iod Over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 34(15), 3825–3839. doi: 10.1002/joc.3939.
- Feng, M., Zhang, N., Liu, Q., & Wijffels, S. (2018). The Indonesian throughflow, its variability and centennial change. *Geoscience Letters*, 5(1), 1–10. doi: 10.1186/s40562-018-0102-2.
- Glowienka-Hense, R., Hense, A., Brune, S., & Baehr, J. (2020). Comparing forecast systems with multiple correlation decomposition based on partial correlation. *Advances in Statistical Climatology, Meteorology and Oceanography*, 6(2), 103–113. doi: 10.5194/ascmo-6-103-2020
- Gordon, A.L., & Fine, R.A. (1996). Pathways of water between the Pacific and Indian oceans in the Indonesian seas. *Nature*, 379(6561), 146–149.
- Gordon, A.L., Sprintall, J., Van Aken, H.M., Susanto, D., Wijffels, S., Molcard, R., Field, A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian throughflow during 2004–2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50(2), 115–128. doi: 10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002.
- Horhoruw, S.M., Atmadipoera, A.S., Nanlohy, P., & Nurjaya, I.W. (2017). Anomaly of surface circulation and Ekman transport in Banda Sea during 'Normal' and ENSO episode (2008-2011). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54, p.012041. doi: 10.1088/1755-1315/54/1/012041. doi: 10.1088/1755-1315/54/1/012041.
- Horii, T., Siswanto, E., Iskandar, I., Ueki, I., & Ando, K. (2022). Can Coastal Upwelling Trigger a Climate Mode? A Study on Intraseasonal-Scale Coastal Upwelling Off Java and the Indian Ocean Dipole. *Geophysical Research Letters*, 49(15), e2022GL098733. doi: 10.1029/2022GL098733.
- Hu, S., & Sprintall, J. (2016). Interannual variability of the Indonesian Throughflow: The salinity effect. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(4), 2596–2615. doi: 10.1002/2015JC011495.
- Kokkinakis, S.A., & Wheeler, P.A. (1987). Nitrogen uptake and phytoplankton growth in coastal upwelling regions 1. *Limnology and Oceanography*, 32(5), 1112–1123.
- Lubis, M.Z., Situmorang, E., Simanjuntak, A.V., Riama, N.F., Pasma, G.R., Dwinovantyo, A., Kausarian, H., Natih, N.M.N., Ansari, K., & Jamjareegulgarn, P. (2025). Indonesian Throughflow, spatial-temporal variability, and its relationship to ENSO events in the Lombok Strait. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 51(1), 7-8. doi: 10.1016/j.ejar.2025.01.004. doi: 10.1016/j.ejar.2025.01.004.
- Ningsih, N.S., Rakhmaputeri, N., & Harto, A.B. (2013). Upwelling variability along the southern coast of Bali and in Nusa Tenggara waters. *Ocean Science Journal*, 48(1), 49–57. doi: 10.1007/s12601-013-0004-3.
- Rachman, H.A., Gaol, J.L., & Syamsudin, F. (2019). Variasi data suhu permukaan laut, tinggi paras laut, klorofil-a, dan upwelling di Perairan Selatan Jawa serta korelasinya dengan data lapangan. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2), 289–296. doi: 10.24843/jmas.2019.v05.i02.p17
- Rachman, H.A., Setiawati, M.D., Hidayah, Z., Syah, A.F., Nandika, M.R., Lumban-Gaol, J., As-syakur, A.R., & Syamsudin, F. (2024). Dynamic of upwelling variability in southern Indonesia region revealed from satellite data: Role of ENSO and IOD. *Journal of Sea Research*, 202, p.102543. doi: 10.1016/j.seares.2024.102543.
- Rachmayani, R., Ningsih, N., Februario, M., & Abdullah, F. (2019). Response of upwelling variability to the local and remote forcing in the Banda Sea. 339(1), 012024. doi: 10.1088/1755-1315/339/1/012024.
- Rosdiana, A., Prartono, T., Atmadipoera, A., & Zuraida, R. (2017). Nutrient and chlorophyll-A distribution in Makassar upwelling region: From Majaflox Cruise 2015. 54(1), p.012087. doi: 10.1088/1755-1315/54/1/012087.
- Setiawan, R.Y., Iskandar, I., Wirasatriya, A., Susanto, R.D., Siswanto, E., Pranowo, W.S., Setiawati, M.D., & Mardiansyah, W. (2022). Seasonal and interannual coastal wind variability off the central Maluku Islands revealed by satellite oceanography. *Global Nest Journal*, 27(1), 37-43. doi: 10.30955/gnj.004177.
- Setiawati, M.D., Rachman, H.A., Setiawan, R.Y., Syahailatua, A., & Wouthuyzen, S. (2024). The habitat preference of commercial tuna species based on a daily environmental database approach in the tropical region of the Eastern Indian Ocean off Java-Bali waters. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 216, p.105400. doi: 10.1016/j.dsr2.2024.105400.
- Setiawati, M.D., Sambah, A.B., Miura, F., Tanaka, T., & As-syakur, Abd. R. (2015). Characterization of bigeye tuna habitat in the Southern Waters off Java-Bali using remote sensing data. *Advances in Space Research*, 55(2), 732–746. doi: 10.1016/j.asr.2014.10.007.

- Susanto, R.D., Gordon, A.L., & Zheng, Q. (2001). Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1599–1602. doi: 10.1029/2000GL011844
- Susanto, R.D., Moore, T.S., & Marra, J. (2006). Ocean color variability in the Indonesian Seas during the SeaWiFS era. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(5), 1-16. doi: 10.1029/2005GC001009.
- Susilo, E. (2015). Variabilitas faktor lingkungan pada habitat ikan lemuru di Selat Bali menggunakan data satelit oseanografi dan pengukuran insitu. *Omni-Akuatika*, 14(20), 13–22. doi: 10.1029/2005GC001009.
- Syamsuddin, M., Saitoh, S.I., Hirawake, T., Syamsudin, F., & Zainuddin, M. (2016). Interannual variation of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) hotspots in the eastern Indian Ocean off Java. *International Journal of Remote Sensing*, 37(9), 2087–2100. doi: 10.1080/01431161.2015.1136451.
- Syamsudin, F., & Kaneko, A. (2013). Ocean variability along the southern coast of Java and Lesser Sunda Islands. *Journal of Oceanography*, 69, 557–570. doi: 10.1007/s10872-013-0192-6.
- Tresnawati, R., Wirasatriya, A., Wibowo, A., Susanto, R.D., Widiaratih, R., Setiawan, J.D., Maro, J.F., Dollu, E.A., Fitria, S., & Kurang, R.Y. (2024). Long term of sea surface temperature prediction for Indonesia seas using multi time-series satellite data for upwelling dynamics projection. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, 101117. doi: 10.1016/j.rsase.2023.101117.
- Wirasatriya, A., Setiawan, J.D., Sugianto, D.N., Rosyadi, I.A., Haryadi, H., Winarso, G., Setiawan, R.Y., & Susanto, R.D. (2020). Ekman dynamics variability along the southern coast of Java revealed by satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 41(21), 8475–8496. doi: 10.1080/01431161.2020.1797215.
- Wirasatriya, A., Setiawan, R.Y., & Subardjo, P. (2017). The effect of ENSO on the variability of chlorophyll-a and sea surface temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12), 5513–5518. doi: 10.1109/JSTARS.2017.2745207.
- Wyrski, K. (1962). The upwelling in the region between Java and Australia during the south-east monsoon. *Marine and Freshwater Research*, 13(3), 217–225. doi: 10.1071/MF9620217.
- Yati, E., Sadiyah, L., Satria, F., Alabia, I.D., Sulma, S., Prayogo, T., Marpaung, S., Harsa, H., Kushardono, D., & Lumban-Gaol, J. (2024). Spatial distribution models for the four commercial tuna in the sea of maritime continent using multi-sensor remote sensing and maximum entropy. *Marine Environmental Research*, 198, 106540. doi: 10.1016/j.marenvres.2024.106540.
- Zainuddin, M., Farhum, A., Safruddin, S., Selamat, M.B., Sudirman, S., Nurdin, N., Syamsuddin, M., Ridwan, M., & Saitoh, S.I. (2017). Detection of pelagic habitat hotspots for skipjack tuna in the Gulf of Bone-Flores Sea, southwestern Coral Triangle tuna, Indonesia. *PLoS One*, 12(10), e0185601. doi: 10.1371/journal.pone.0185601.