Indonesian Journal of Oceanography
November 2026, Vol 8 No 4: 384 - 396
ISSN: 2714-8726

Variabilitas Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut Perairan Selatan Jawa pada Fase Indian Ocean Dipole 2005 - 2024

Naufal Hanif Daffa' Adityawan[1], Amir Yarkhasy Yuliardi[1*], Hendrayana[1], Isnaini Prihatiningsih[1], Ani Haryati[1], Diah Ayu Rahmalia[1], Firda Haifa Fadhilah[1], Mukti Trenggono[1], Tri Nur Cahyo[1], Bayu Munandar[2,3], Syarief Hidayat[4]

[1]Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr Soeparno, Karang Bawang, Grendeng, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah 53122
Indonesia
[2]Program Studi Teknologi dan Bisnis Perikanan dan Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
[3]Laboratorium Interaksi Atmosfer-Laut (Blue), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
[4]College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University
Huchenghuan Road No. 999, Pudong New Area, Shanghai 201306, China
Email: *amiryarkhasy@gmail.com

Abstrak

Perairan selatan Jawa merupakan perairan yang dipengaruhi oleh dinamika laut dan atmosfer, salah satunya adalah fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD). Fenomena ini memengaruhi variabilitas suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a melalui perubahan pola angin dan intensitas *upwelling*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabilitas SPL dan klorofil-a dan menganalisis hubungan IOD terhadap kedua parameter tersebut di perairan selatan Jawa tahun 2005-2024. Penelitian ini menggunakan data bulanan SPL, klorofil-a, dan arus permukaan laut dari Copernicus Marine serta data DMI dari NOAA. Analisis dilakukan melalui perhitungan klimatologi bulanan, penyusunan komposit berdasarkan fase IOD, dan analisis korelasi Pearson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPL perairan selatan Jawa memiliki rentang nilai 24,5 – 30,5 °C dan klorofil-a 0,1 – 3 mg/m^3. Musim timur ditandai dengan penurunan SPL dan peningkatan klorofil-a akibat penguatan angin muson timur yang memicu fenomena *upwelling*. Sebaliknya, musim barat menunjukkan SPL yang lebih tinggi dengan konsentrasi klorofil-a yang rendah. Fase IOD positif menyebabkan penurunan SPL dan peningkatan klorofil-a, sedangkan fase IOD negatif menyebabkan peningkatan SPL dan penurunan klorofil-a. Hasil korelasi Pearson menunjukkan bahwa IOD memiliki hubungan negatif dengan SPL dengan nilai korelasi tertinggi sebesar -0,393 dan hubungan positif dengan klorofil-a dengan nilai korelasi sebesar 0,442. Nilai korelasi menunjukkan bahwa IOD memiliki pengaruh lemah hingga sedang terhadap variabilitas SPL dan klorofil-a di perairan selatan Jawa.

Kata kunci: Perairan Selatan Jawa; Suhu Permukaan Laut; Klorofil-a; *Indian Ocean Dipole*

Abstract

Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Southern Waters of Java during the Indian Ocean Dipole Phases, 2005–2024

The southern waters of Java are influenced by oceanic and atmospheric dynamics, one of which is the Indian Ocean Dipole (IOD). This phenomenon affects the variability of sea surface temperature (SST) and chlorophyll-a concentration through changes in wind patterns and upwelling intensity. This study aims to determine the variability of SST and chlorophyll-a and to analyze the relationship between IOD and these parameters in the southern waters of Java during 2005–2024. Monthly SST, chlorophyll-a, and surface current data were obtained from Copernicus Marine, while the DMI data were obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The analysis consisted of calculating monthly climatologies, constructing composites based on IOD phases, and performing Pearson correlation analysis. The results showed that SST in the southern waters of Java ranged from 24.5–30.5 ℃, while chlorophyll-a concentrations ranged from 0.1–3 mg/m3. The east monsoon season was characterized by decreasing SST and increasing chlorophyll-a concentrations due to the strengthening of east monsoon winds that triggered upwelling phenomena. In

https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce
DOI: 10.14710/ijoce.v8i4.34602
Diterima/Received: 16-09-2026
Disetujui/Accepted: 19-10-2026

 ISSN: 2714-8726

contrast, the west monsoon season showed higher SST with lower chlorophyll-a concentrations. Positive IOD phases caused a decrease in SST and an increase in chlorophyll-a concentration, whereas negative IOD phases caused an increase in SST and a decrease in chlorophyll-a concentration. Pearson correlation analysis showed that IOD had a negative relationship with SST, with the highest correlation value of -0.393, and a positive relationship with chlorophyll-a, with the highest correlation value of 0.442. These correlation values indicate that IOD has a weak to moderate influence on the variability of SST and chlorophyll-a in the southern waters of Java.

Keywords: *Southern Java waters; Sea Surface Temperature; Chlorophyll-a; Indian Ocean Dipole*

PENDAHULUAN

Secara geografis Indonesia terletak di antara dua samudra yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Perairan selatan Jawa merupakan bagian dari Samudra Hindia bagian timur yang dipengaruhi oleh dinamika oseanografi dan variabilitas iklim regional maupun global. Perairan selatan Jawa dikenal memiliki produktivitas primer yang tinggi karena hasil perikanan yang melimpah khususnya ikan pelagis (Mandal *et al.*, 2022). Perairan selatan Jawa rentan terhadap fluktuasi iklim global yang dapat mempengaruhi kestabilan ekosistem perairan. Selain itu, penelitian karakteristik oseanografi di selatan Jawa sangat penting dalam menjaga keberlanjutan pemanfaatan sumber daya laut di perairan tersebut (Atmadipoera *et al.*, 2020).

Perairan selatan Jawa memiliki karakteristik upwelling yang dipengaruhi oleh dinamika angin muson. Angin muson timur yang dominan pada periode Juni–September dapat memicu penguatan proses upwelling, sehingga konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa umumnya meningkat selama musim timur. Proses upwelling ditandai oleh naiknya massa air dari lapisan bawah yang relatif kaya nutrien ke lapisan permukaan, yang dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi klorofil-a dan penurunan suhu permukaan laut (SPL) (Natalia *et al.*, 2015). Peningkatan konsentrasi klorofil-a dapat mengindikasikan meningkatnya biomassa fitoplankton, sedangkan variasi SPL dapat memengaruhi distribusi dan habitat ikan (Yuliardi et al., 2026). Suhu dan klorofil-a menjadi indikator yang penting karena berkaitan langsung dengan produktivitas perairan dan ketersediaan makanan bagi biota dan fitoplankton. Produktivitas primer perairan merupakan proses pembentukan bahan organik oleh fitoplankton melalui proses fotosintesis yang menjadi dasar rantai makanan di laut (Shafira *et al.*, 2024).

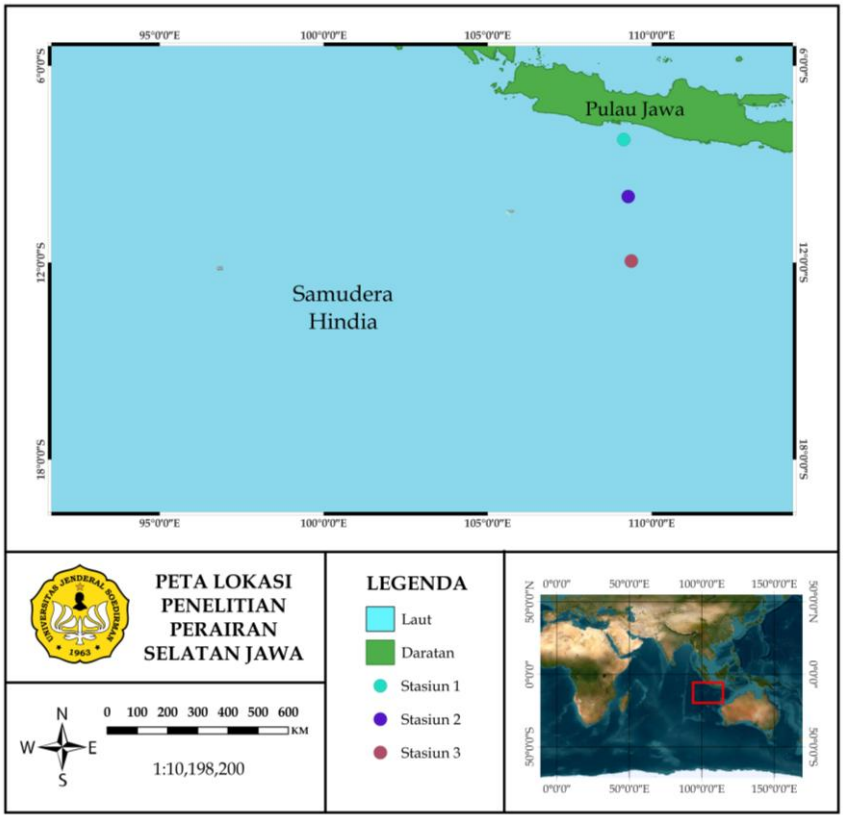
Samudra Hindia merupakan perairan yang meliputi wilayah tropis membentang dari bagian timur Afrika dan bagian barat Indonesia. Interaksi atmosfer dengan perairan Samudra Hindia mempengaruhi variasi suhu permukaan laut. Secara umum, variabilitas parameter oseanografi di perairan ini dikontrol oleh sistem angin muson yang menyebabkan perubahan kondisi suhu permukaan laut secara musiman (Widagdo *et al.*, 2025). Selain pola perubahan musiman, terdapat interaksi laut-atmosfer berskala antar tahunan yang menyebabkan penyimpangan iklim di Samudra Hindia, yaitu *Indian Ocean Dipole* (IOD). IOD merupakan fenomena dimana suhu permukaan laut Samudra Hindia bagian barat (*Western Tropical Indian Ocean*) dan Samudra Hindia bagian timur (*southeastern tropical Indian Ocean*) memiliki perbedaan yang signifikan. IOD terbagi menjadi dua fase yaitu fase positif dan fase negatif. Fase IOD positif terjadi ketika SPL perairan Hindia bagian barat mengalami peningkatan dan bagian timur mengalami penurunan sedangkan fase IOD negatif terjadi ketika SPL perairan Hindia timur mengalami peningkatan dan bagian barat mengalami penurunan (Safril, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabilitas klorofil-a dan suhu permukaan laut perairan selatan Jawa dan hubungannya dengan *Indian Ocean Dipole* pada tahun 2005-2024.

MATERI DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian mencakup perairan di sebelah selatan Jawa, yang membentang pada koordinat 5,4° LS – 19,6° LS dan 91,7° BT – 114,3° BT, selama periode tahun 2005–2024 dengan tiga stasiun pengamatan dipilih untuk penelitian ini (Gambar 1). Stasiun 1 (109°8'46,16" BT dan 8°15'0,75" LS) terletak di perairan selatan Cilacap, mewakili wilayah pesisir dengan karakteristik yang sangat dipengaruhi oleh daratan di sekitarnya. Stasiun 2 (109°16'56,40" BT dan 9°59'13,08" LS) berada di lepas pantai dari Stasiun 1, mewakili wilayah transisi antara lingkungan pesisir dan laut lepas. Stasiun 3 (109°22'41,15" BT dan 11°57'7,41" LS) terletak di laut lepas, berbatasan langsung dengan Samudra Hindia.

 ISSN: 2714-8726



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Perolehan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang mencakup SPL, konsentrasi klorofil-a, kecepatan arus permukaan, dan *Dipole Mode Index* (DMI) bulanan. Data suhu permukaan laut, klorofil-a, dan komponen uo dan vo arus permukaan laut diunduh dengan resolusi spasial 0,083° x 0,083° dan resolusi temporal bulanan untuk periode 2005-2024, yang mencakup rentang kedalaman 0-10 m. Ketiga variabel ini diperoleh dari *Copernicus Marine Data Store* (https://data.marine.copernicus.eu/products), data SPL serta kecepatan dan arah arus permukaan diambil dari produk *Global Ocean Physics Reanalysis*, sedangkan data klorofil-a diperoleh dari produk *Global Ocean Biogeochemistry Hindcast*. Seluruh data diunduh dalam format NetCDF. Data *Dipole Mode Index* diperoleh dari NOAA (https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DMI/). Dataset DMI diunduh dengan resolusi temporal bulanan.

Pengolahan Data

Data yang diperoleh diolah menggunakan bahasa pemrograman Python melalui perangkat lunak Visual Studio Code, dengan tahapan meliputi *pre-processing*, *averaging*, dan ekstraksi data. Tahap *pre-processing* mencakup seleksi data SPL, klorofil-a, serta arus permukaan laut pada kedalaman 0–10 m, penyesuaian dimensi waktu antar dataset, dan *masking* berdasarkan fase IOD. Tahap ekstraksi dilakukan dengan mengambil variabel yang diperlukan dari dataset utama serta mengekstraksi nilai pada tiga titik stasiun penelitian berdasarkan koordinat yang telah ditentukan, sedangkan *averaging* digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata kedalaman 0-10 m, klimatologi bulanan, dan komposit berdasarkan fase IOD. Penentuan fase IOD didasarkan pada nilai DMI dengan menggunakan ambang batas yang disajikan pada Tabel 1. Data SPL, klorofil-a, serta arah dan kecepatan arus permukaan laut kemudian divisualisasikan secara spasial dalam bentuk klimatologi bulanan, dengan arus permukaan laut ditampilkan melalui metode *overlay* terhadap distribusi SPL untuk mengidentifikasi keterkaitan pola spasial antarvariabel. Selain klimatologi bulanan, SPL, klorofil-a, dan arus permukaan laut dikompositkan berdasarkan fase IOD dengan mengelompokkan dan merata-ratakan data pada kondisi IOD positif, negatif, dan netral sehingga diperoleh pola spasial yang merepresentasikan karakteristik masing-masing fase. Perhitungan klimatologi bulanan dilakukan

 ISSN: 2714-8726

menggunakan persamaan klimatologi menurut Kurniawan et al. (2025) sebagai berikut:

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

Dalam persamaan klimatologi bulanan tersebut, $X(x,y)$ merupakan nilai rata-rata data bulanan pada posisi koordinat (x,y), $x_i(x,y,t)$ merupakan nilai data pada posisi koordinat (x,y) dan waktu (t), sedangkan (n) adalah jumlah data yang digunakan dalam perhitungan.

Data DMI periode 2005–2024 divisualisasikan dalam grafik *time-series* menggunakan bahasa pemrograman python. Grafik *time-series* lebih mudah dianalisis untuk mengetahui pola secara temporal dan mengklasifikasikan fase IOD yang terjadi. Berdasarkan 3 stasiun yang dipilih, SPL dan klorofil-a dari ketiga stasiun divisualisasikan dengan *line chart* untuk mengetahui variabilitas SPL dan klorofil-a dari tahun 2005 – 2024. Visualisasi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pola fluktuasi temporal dari masing-masing parameter di setiap stasiun.

Analisis Data

Analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui arah dan kekuatan hubungan linier antara DMI sebagai indikator fenomena IOD dan parameter oseanografi, yaitu SPL dan klorofil-a, pada masing-masing stasiun penelitian. Korelasi pearson dipilih karena data yang digunakan adalah data numerik kontinu dengan bentuk *time-series* dengan interval waktu yang seragam sehingga sesuai untuk menganalisis hubungan linier antar variabel. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian oseanografi dan klimatologi untuk menganalisis hubungan indeks iklim dengan parameter oseanografi (Seprianto *et al.*, 2016). Analisis korelasi yang digunakan adalah korelasi pearson yang bertujuan untuk mengetahui hubungan fenomena IOD terhadap suhu permukaan laut dan klorofil-a dari setiap titik stasiun yang berbeda. Koefisien korelasi Pearson (r) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{n\sum X^2 - (\sum X^2)\}\{n\sum Y^2 - (\sum Y^2)\}}}$$

Dalam persamaan tersebut, r merupakan koefisien korelasi Pearson, X dan Y masing-masing menyatakan variabel pertama dan variabel kedua yang dianalisis, sedangkan n menunjukkan jumlah sampel yang digunakan.

Nilai koefisien korelasi Pearson berkisar antara −1 hingga +1. Nilai (r) positif menunjukkan hubungan linier searah, sedangkan nilai (r) negatif menunjukkan hubungan linier berlawanan arah. Nilai (r) yang mendekati nol menunjukkan bahwa hubungan linier antara kedua variabel relatif lemah, sedangkan nilai absolut koefisien yang mendekati satu menunjukkan hubungan linier yang semakin kuat. Kategori kekuatan korelasi ditentukan berdasarkan nilai absolut koefisien korelasi ((|r|)) sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

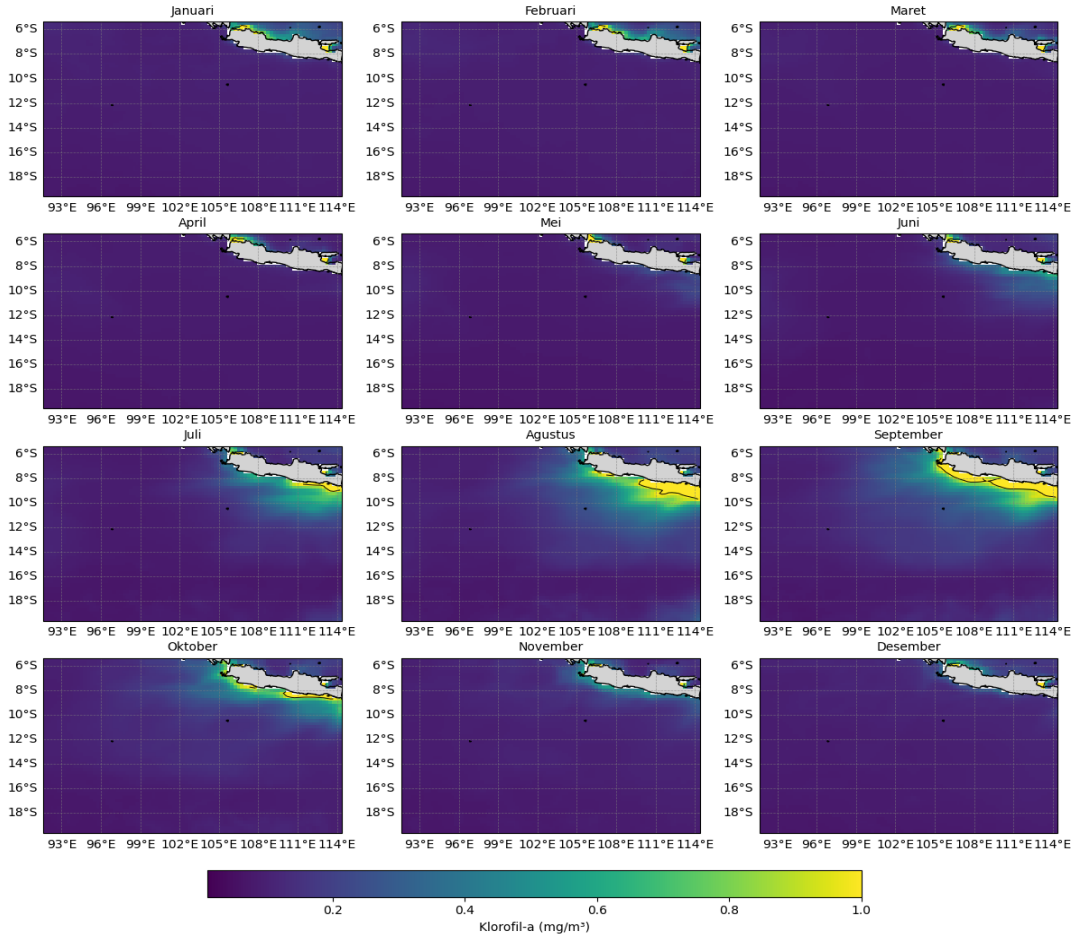
Tabel 1. Klasifikasi fase IOD berdasarkan nilai DMI (Saji et al., 1999)

Nilai DMI	Keterangan
> -0,4	IOD negatif
0,4 – (-04)	IOD netral
< 0,4	IOD positif

Tabel 2. Kategori kekuatan korelasi berdasarkan koefisien korelasi Pearson (Kusmardiyanti *et al.,* 2022)

Nilai	Kategori
0	Tidak ada korelasi
0 < r < 0,25	Korelasi lemah
0,25 < r < 0,50	Korelasi sedang
0,50 < r < 0,75	Korelasi kuat
0,75 < r < 0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

 ISSN: 2714-8726



Gambar 2. Klimatologi Bulanan Konsentrasi Klorofil-a Perairan Selatan Jawa Tahun 2005–2024

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Klimatologi Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut Perairan Selatan Jawa Tahun 2005-2024

Pola distribusi klimatologi bulanan klorofil-a di perairan Selatan Jawa ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Desember–Februari, yang termasuk musim barat berdasarkan pembagian musim yang digunakan dalam penelitian ini, konsentrasi klorofil-a perairan Selatan Jawa cenderung rendah berkisar 0–0,2 mg/m^3. Kondisi ini diduga berkaitan dengan karakteristik stratifikasi kolom perairan yang dapat membatasi pasokan nutrien dari lapisan bawah ke permukaan. Suhu permukaan laut yang tinggi dapat memperkuat stratifikasi termal, sehingga mengurangi pencampuran vertikal dan ketersediaan nutrien di lapisan permukaan, kondisi ini didukung dengan rendahnya kecepatan angin (Yoga *et al.*, 2014; Yuliardi et al., 2025). Pada Maret–Mei, yang dikategorikan sebagai musim peralihan I dalam penelitian ini, konsentrasi mulai mengalami peningkatan terlihat pada wilayah timur pesisir Jawa Timur dengan nilai 0,2-0,4 mg/m^3 dan konsentrasi tertinggi terjadi pada bulan Mei. Pola tersebut mengindikasikan adanya perubahan kondisi lingkungan yang berpotensi mendukung peningkatan biomassa fitoplankton (Pambudi et al., 2024). Curah hujan yang mulai berkurang pada musim ini memberikan pencahayaan lebih banyak dibandingkan dengan musim barat. Kondisi ini mendukung proses fotosintesis fitoplankton yang berkontribusi terhadap peningkatan klorofil-a di perairan (Octavianna *et al.*, 2025).

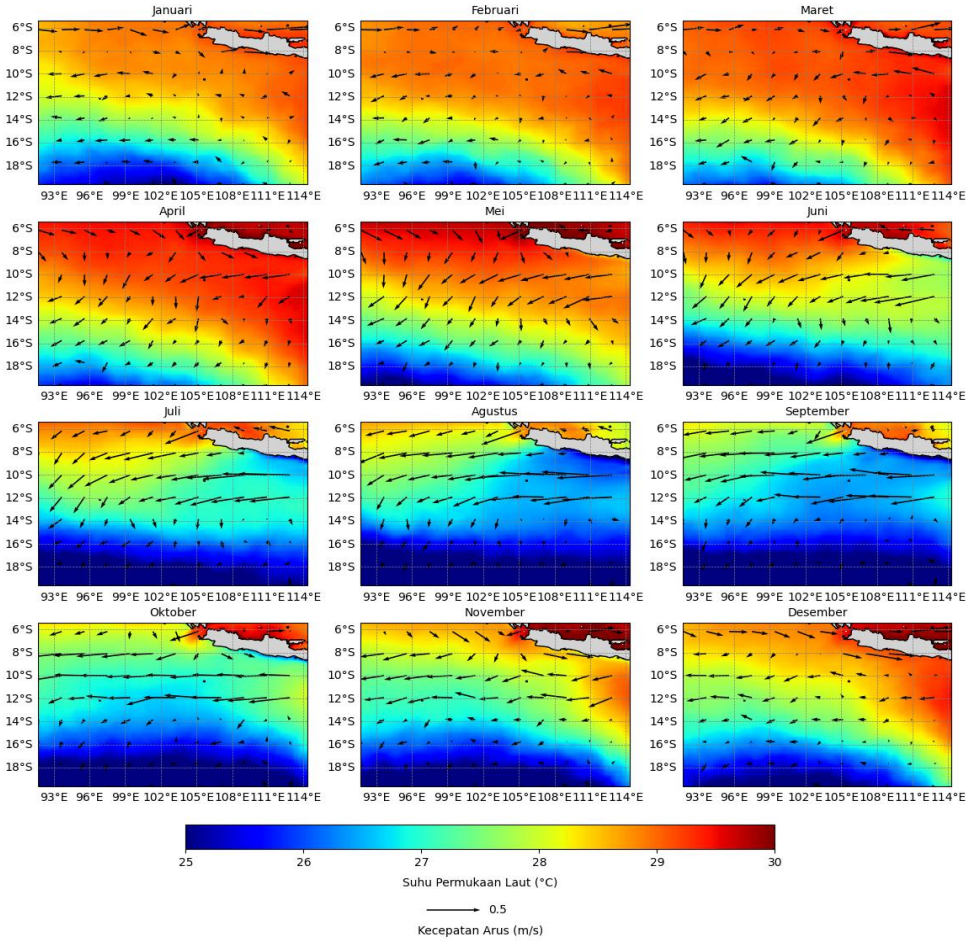
Pada bulan Juni – Agustus (musim timur), konsentrasi klorofil-a meningkat hingga mencapai 0,5–1 mg/m^3 dan mulai tampak pada wilayah selatan Jawa Barat. Peningkatan klorofil-a pada musim timur diakibatkan oleh hembusan kuat angin muson timur. Hembusan angin yang kuat mendorong massa air mengakibatkan naiknya massa air dari bawah yang kaya nutrien, hal ini berkaitan dengan adanya fenomena upwelling (Fikra *et al.*, 2025). Pada musim peralihan II, konsentrasi klorofil-a meningkat pada bulan September hingga mencapai 1 mg/m^3 disertai dengan penambahan luas wilayah konsentrasi klorofil-a. Musim peralihan II memiliki nilai konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan musim barat dan peralihan I.

 ISSN: 2714-8726

Hal ini disebabkan oleh angin tenggara yang masih kuat sehingga proses *upwelling* masih berlangsung (Kamasan *et al.*, 2026).

Pola sebaran SPL dan arus permukaan laut secara klimatologi bulanan perairan Selatan Jawa ditunjukkan pada Gambar 3. Pada musim barat (Desember – Februari) SPL cenderung hangat dengan rentang nilai 28 – 29 ℃ disertai dengan kecepatan arus permukaan laut yang rendah berkisar 0,1 – 0,2 m/s. Memasuki musim peralihan I (Maret - April), SPL meningkat hingga mencapai nilai 30 ℃ dengan wilayah perairan hangat yang meluas disertai dengan peningkatan kecepatan arus permukaan laut > 0,2 m/s pada wilayah dekat dengan daratan. SPL pada musim timur (Juni – Agustus) cenderung rendah dengan rentang nilai 25,5 – 28 ℃ disertai dengan peningkatan arus permukaan laut hingga > 0,5 m/s. Pada Musim peralihan II (September–November), SPL mengalami sedikit peningkatan khususnya pada bulan November di timur perairan selatan Jawa.

Pada musim barat, angin muson bergerak dari Benua Asia menuju Australia cenderung membawa uap air yang banyak disertai dengan curah hujan yang tinggi menyebabkan pengurangan proses evaporasi dari laut ke atmosfer, sehingga SPL cenderung lebih tinggi pada musim barat (Asyam *et al.*, 2024). Pola angin pada musim peralihan I cenderung berubah-ubah dengan kecepatan yang rendah. Hal tersebut akan menyebabkan kurangnya pengadukan massa air secara vertikal sehingga massa air permukaan laut akan cenderung menetap dan menyimpan energi panas dari cahaya matahari (Ramadlanie *et al.*, 2023). SPL pada musim timur cenderung rendah diakibatkan oleh pergerakan angin muson yang kencang dan sejajar dengan garis pantai. Hal ini memicu pergerakan massa air yang sejajar dengan pantai dan dapat menyebabkan fenomena *upwelling* (Zulfa *et al.,* 2024). Pola ini selaras dengan penelitian Rachman *et al.* (2019), peningkatan SPL pada Musim Peralihan II mencapai puncak tertinggi pada bulan November, yang merupakan periode mendekati musim barat.

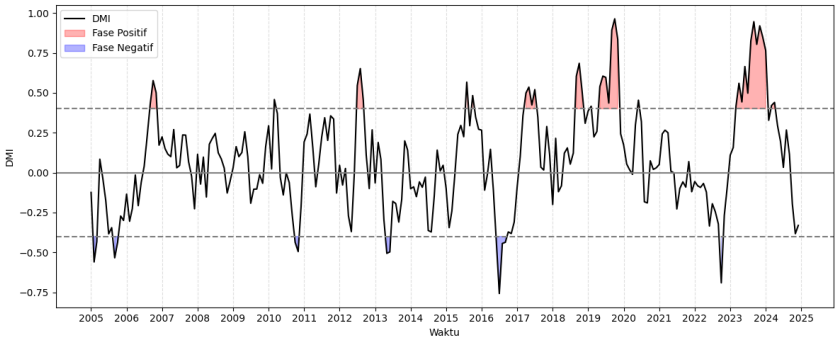


Gambar 3. Klimatologi Bulanan Suhu dan Arus Permukaan Laut Perairan Selatan Jawa Tahun 2005 – 2024

 ISSN: 2714-8726

Tabel 3. Klasifikasi Fase IOD Tahun 2005 – 2024 berdasarkan *Dipole Mode Index*

Fase	Tahun	Periode Bulan
Positif	2006	September – November
	2010	Maret
	2012	Juli – September
	2015	Agustus & Oktober
	2017	April – Juli
	2018	September – November
	2019	Februari
		Mei – November
	2020	Juni
	2023 – 2024	Maret – Januari
	2024	Maret – April
Negatif	2005	Februari – Maret
		September – Oktober
	2010	Oktober – November
	2013	Mei – Juni
	2016	Juni – September
	2022	Oktober



Gambar 4. Variabilitas *Indian Ocean Dipole* Tahun 2005-2024

Nilai Indeks *Indian Ocean Dipole*

Variabilitas *Indian Ocean Dipole* yang dihasilkan berdasarkan nilai *dipole mode index* periode 2005–2024 menunjukkan fluktuasi yang kompleks dan didominasi oleh fase IOD netral dan beberapa fase ekstrem (Gambar 4). Fase IOD negatif terkuat terjadi pada tahun 2016 – 2017 hingga mencapai nilai DMI sebesar -0,75. Fase positif terkuat terjadi pada tahun 2019 dan 2023 dengan nilai DMI hampir mencapai angka 1. Berdasarkan klasifikasi nilai DMI, fase IOD selama periode 2005–2024 dikelompokkan menjadi IOD negatif, netral, dan positif, sebagaimana disajikan pada Tabel 3. *Indian Ocean Dipole* merupakan variabilitas iklim yang memang terjadi secara periodik pada waktu tertentu. Fenomena ini umumnya mulai berkembang pada musim timur dan mencapai nilai tertinggi secara tahunan pada periode September hingga November (Renitasari *et al.*, 2023).

Fase IOD positif pada 2019 tidak hanya kuat secara intensitas tetapi juga memiliki durasi yang cukup panjang. Hal ini akan memberikan dampak yang signifikan terhadap dinamika iklim selama beberapa bulan berturut-turut (Shi dan Wang, 2022). Pernyataan ini juga didukung oleh penelitian Rachman *et al.* (2024), bahwa IOD positif dengan durasi yang panjang menyebabkan penyimpangan SPL secara negatif akibat kuatnya proses *upwelling*. Perubahan suhu permukaan laut dari kondisi normalnya dapat memengaruhi stabilitas dan dinamika massa air di perairan.

Distribusi Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut pada Fase IOD 2005-2024

Pola yang ditunjukkan pada Gambar 5, menunjukkan Fase IOD negatif menyebabkan konsentrasi klorofil-a wilayah perairan selatan Jawa mengalami penurunan hingga < 0,12 mg/m^3. Pada fase IOD positif konsentrasi klorofil-a perairan selatan Jawa meningkat hingga sekitar 0,5–1 mg/m^3. Konsentrasi klorofil-a

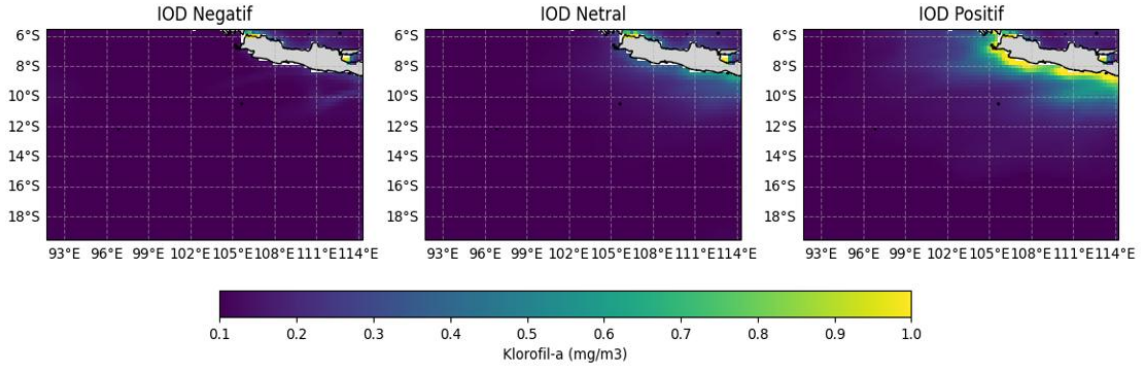
 ISSN: 2714-8726

perairan selatan Jawa pada fase IOD netral berkisar 0,1-0,6 mg/m^3. Kondisi ini menunjukkan bahwa fase IOD berpengaruh pada konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa. Perbedaan konsentrasi klorofil-a ini berkaitan dengan distribusi massa air laut pada masing-masing fase IOD.

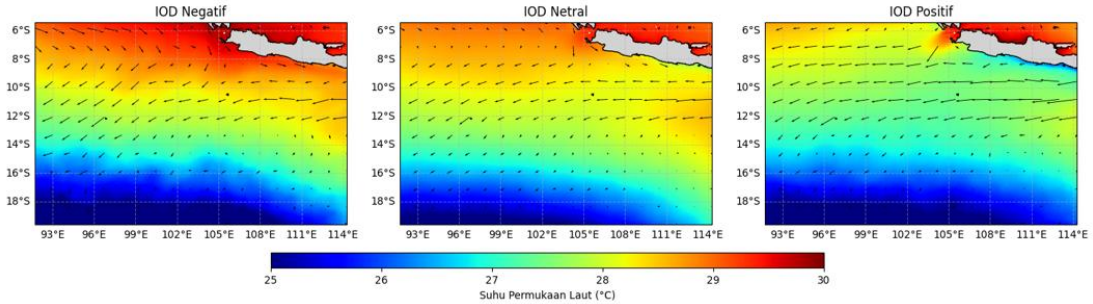
Ketika fase IOD negatif, penguatan angin barat dan pelemahan angin timur dapat mengurangi kondisi yang mendukung terjadinya upwelling di perairan selatan Jawa. Hal ini menyebabkan melemahnya fenomena *upwelling* karena transport massa air permukaan menjauhi pantai menjadi berkurang. Lapisan perairan dalam mengandung nutrien yang dibutuhkan fitoplankton akan sulit untuk naik ke permukaan (Kunarso *et al.,* 2023; Munandar *et al.,* 2026). Sebaliknya, pada fase IOD positif, penguatan angin timur dapat meningkatkan transport massa air permukaan menjauhi pantai dan mendukung intensifikasi upwelling di perairan selatan Jawa. Pengangkatan massa air dari lapisan bawah yang relatif kaya nutrien dapat meningkatkan ketersediaan nutrien di lapisan permukaan dan berpotensi mendukung peningkatan konsentrasi klorofil-a (Horii *et al.*, 2018).

Suhu permukaan laut perairan selatan Jawa pada fase IOD positif memiliki rerata nilai berkisar 26–28 ℃ (Gambar 6). Fase IOD negatif, suhu permukaan laut wilayah selatan Jawa mengalami peningkatan hingga 30 ℃ terlihat pada wilayah barat pulau Jawa. Pada fase IOD positif SPL perairan selatan Jawa menurun hingga sekitar < 28 ℃ ditunjukkan pada wilayah tengah hingga timur Pulau Jawa. Kondisi ini menunjukkan bahwa fase IOD berpengaruh pada distribusi suhu permukaan laut di perairan selatan Jawa. Perbedaan suhu ini berkaitan dengan distribusi massa air laut pada masing-masing fase IOD.

Fase IOD positif menyebabkan penurunan suhu permukaan laut di wilayah Samudra Hindia bagian timur. Simanjuntak *et al.* (2021) menjelaskan bahwa fase IOD positif berkaitan dengan penguatan angin timur di wilayah Samudra Hindia bagian timur. Kondisi ini akan mendorong massa air permukaan yang sejajar dengan garis pantai dan memicu kejadian *upwelling*. Sebaliknya, fase IOD negatif menyebabkan peningkatan suhu permukaan laut di Samudra Hindia bagian timur. Sejalan dengan penelitian Widagdo *et al.* (2025), SPL perairan selatan Jawa pada fase IOD negatif berkisar 28–30 ℃. Peningkatan SPL pada fase ini disebabkan oleh melemahnya angin timur dan lebih didominasi oleh angin barat, sehingga proses *upwelling* melemah dan massa air dingin dari lapisan dalam sulit untuk naik ke lapisan permukaan.



Gambar 5. Komposit konsentrasi Klorofil-a pada Fase IOD Negatif, Netral, dan Positif di Perairan Selatan Jawa tahun 2005–2024.



Gambar 6. Komposit pola Suhu dan Arus Permukaan Laut pada Fase IOD Negatif, Netral, dan Positif di Perairan Selatan Jawa tahun 2005–2024.

 ISSN: 2714-8726

Secara keseluruhan, *indian ocean dipole* mempengaruhi variabilitas SPL dan klorofil-a melalui interaksi atmosfer dan laut. Perubahan pola angin yang terjadi selama fase IOD menyebabkan perubahan dinamika massa air wilayah Samudra Hindia bagian timur, termasuk wilayah perairan selatan Jawa. Fase IOD positif memperkuat angin timur yang meningkatkan proses *upwelling* sehingga massa air lapisan dalam yang bersuhu dingin dan kaya nutrien akan naik ke lapisan permukaan. Suhu permukaan laut akan mengalami penurunan dan konsentrasi klorofil-a meningkat karena bertambahnya produktivitas fitoplankton. Sebaliknya, pada fase IOD negatif *upwelling* melemah sehingga suhu permukaan laut meningkat dan konsentrasi klorofil-a cenderung menurun (Oktaviani *et al.*, 2021).

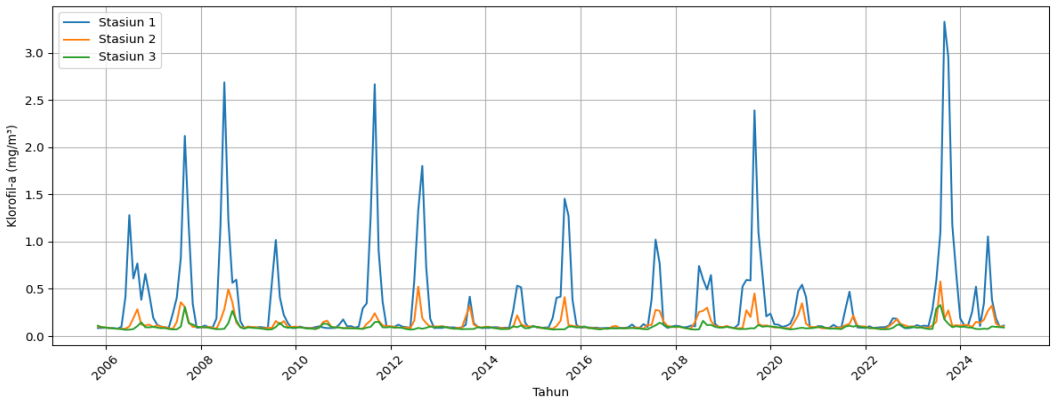
Variabilitas Klorofil-a dan SPL Perairan Selatan Jawa 2005 – 2024

Grafik menunjukkan perbedaan nilai konsentrasi klorofil-a yang signifikan antar stasiun (Gambar 7). Stasiun 1 dengan nilai klorofil-a berkisar 0,1–3 mg/m^3 dengan konsentrasi tertinggi terjadi pada tahun 2023 akhir. Nilai ini terlihat berbeda jauh dibandingkan dengan stasiun 2 dan 3 yang hanya memiliki kisaran klorofil-a 0,1–0,5 mg/m^3. Perbedaan ini disebabkan stasiun 1 yang berlokasi lebih dekat dengan wilayah daratan. Kondisi tersebut membuat perairan di Stasiun 1 diduga dipengaruhi oleh masukan daratan, seperti aktivitas antropogenik. Pencampuran massa air yang lebih mudah pada perairan dangkal menyebabkan nutrien dasar perairan akan terangkat menuju permukaan (Latifah *et al.*, 2024).

Fluktuasi konsentrasi klorofil-a dari ketiga stasiun menunjukkan kecenderungan yang sejalan. Peningkatan dan penurunan konsentrasi pada stasiun 1, 2, dan 3 terjadi pada periode waktu yang relatif sama. Hal ini mengindikasikan bahwa dinamika klorofil-a pada perairan selatan Jawa dipengaruhi oleh sistem monsun. Ketika musim barat (Desember – Februari) dengan intensitas curah hujan yang tinggi klorofil-a akan cenderung lebih rendah akibat pencampuran massa air tawar yang tinggi dari daratan (Sudradjat *et al.*, 2024). Sebaliknya pada musim timur, angin muson timur yang menguat akan mengakibatkan transpor massa air dan menyebabkan nutrien dari dasar perairan akan naik ke permukaan (Kunarso *et al.*, 2011).

Ketiga stasiun menunjukkan pola fluktuasi suhu permukaan laut yang relatif sama selama periode 2005–2024 (Gambar 8). Stasiun 1 dengan karakteristik perairan yang dekat dengan wilayah pesisir memiliki rentang nilai suhu permukaan laut berkisar 24,5–30,5 ℃ dengan nilai tertinggi terjadi pada awal tahun 2016 dan nilai terendah pada akhir 2019. Wilayah pesisir sangat dipengaruhi oleh kondisi daratan, angin di permukaan, dan fluktuasi pasang surut sehingga menyebabkan suhu permukaan laut lebih mengalami perubahan dan memiliki rentang nilai yang tinggi. Selain itu stasiun 1 berada pada perairan dangkal sehingga pencampuran massa air dapat terjadi secara cepat. Hal ini mengakibatkan respons suhu permukaan laut lebih sensitif terhadap perubahan kondisi atmosfer (Sutono *et al.*, 2020).

Stasiun 2 memiliki rentang nilai SPL berkisar 25–30 ℃ dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2016 dan terendah pada tahun 2019. Stasiun 3 memiliki rentang nilai SPL berkisar 24,5–29 ℃ dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2020 dan terendah pada akhir tahun 2018. Kedua stasiun ini memiliki karakteristik yang mirip yaitu berada pada wilayah perairan dalam. Bernades *et al.* (2021) menjelaskan bahwa perairan dalam memiliki volume kolom air yang besar, sehingga fluktuasi suhu permukaan laut lebih stabil dibandingkan dengan perairan dangkal. Hal ini dikarenakan perairan dengan volume air yang besar memerlukan energi transpor massa air yang besar, sehingga mekanisme *Ekman pumping* atau pergerakan massa air secara vertikal lebih dominan pada stasiun ini.

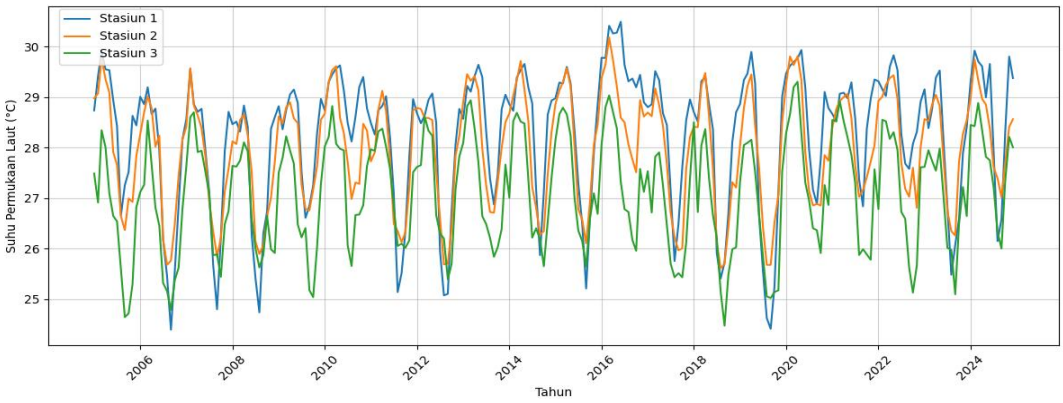


Gambar 7. Variabilitas Klorofil-a Perairan Selatan Jawa Tahun 2005–2024

 ISSN: 2714-8726

Tabel 4. Nilai Koefisien Korelasi SPL dan Klorofil-a Terhadap *Dipole Mode Index*

Stasiun	Suhu Permukaan Laut	Klorofil-a
1	-0,393	0,442
2	-0,187	0,287
3	-0,112	0,193



Gambar 8. Variabilitas Suhu Permukaan Laut Perairan Selatan Jawa Tahun 2005 – 2024.

Korelasi suhu permukaan laut pada setiap stasiun bernilai negatif yaitu memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan IOD. Korelasi suhu permukaan laut pada stasiun 1 sebesar -0,393, stasiun 2 sebesar -0,187 dan stasiun 3 sebesar -0,112. Nilai ini menunjukkan bahwa IOD memiliki korelasi yang sedang terhadap SPL stasiun 1 dan korelasi yang lemah terhadap stasiun 2 dan 3. Hasil ini sesuai dengan teori bahwa nilai IOD akan selalu berbanding terbalik dengan SPL. Ketika IOD dalam fase positif nilai SPL akan cenderung menurun, sebaliknya ketika IOD dalam fase negatif nilai SPL cenderung mengalami peningkatan. Nilai korelasi yang lemah menunjukkan bahwa hubungan antara IOD dengan SPL di perairan Selatan Jawa tidak terlalu kuat, namun tetap menunjukkan pengaruh karena nilai korelasi masih bernilai positif/negatif dan pola perubahan SPL cenderung mengikuti perubahan fase IOD pada periode tertentu. Kondisi SPL di perairan selatan Jawa dipengaruhi oleh banyak faktor oseanografi lain seperti arus laut, angin monsun, upwelling musiman. Oleh karena itu, meskipun hubungan statistik tergolong lemah, IOD tetap dianggap memiliki kontribusi terhadap variasi SPL di wilayah penelitian (Millenia *et al.*, 2023).

Klorofil-a pada setiap stasiun memiliki nilai korelasi positif yang menunjukkan klorofil-a berbanding lurus dengan IOD (Tabel 4). Stasiun 1 memiliki nilai korelasi tertinggi dibanding stasiun 2 dan 3 yaitu sebesar 0,442 termasuk dalam kategori sedang. Stasiun 2 memiliki nilai korelasi 0,287 masuk dalam kategori sedang dan stasiun 3 memiliki nilai korelasi 0,193 masuk dalam kategori lemah. Konsentrasi klorofil-a meningkat pada fase IOD positif dan menurun pada fase IOD negatif. Klorofil-a perairan selatan Jawa secara umum lebih dipengaruhi oleh dinamika musiman yang dikontrol oleh sistem monsun dan proses *upwelling*. IOD lebih bersifat sebagai faktor penguat terhadap dinamika musiman pada perairan selatan Jawa yang sudah dominan (Kunarso *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variabilitas klorofil-a dan suhu permukaan laut (SPL) di perairan selatan Jawa selama periode 2005–2024 menunjukkan pola musiman yang berkaitan dengan sistem monsun dan fenomena upwelling. Musim timur umumnya ditandai oleh penurunan SPL dan peningkatan konsentrasi klorofil-a, sedangkan musim barat menunjukkan pola sebaliknya. Analisis komposit berdasarkan fase IOD menunjukkan bahwa fase positif cenderung berkaitan dengan kondisi perairan yang lebih dingin dan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi, sedangkan fase negatif menunjukkan kecenderungan sebaliknya. Analisis korelasi Pearson juga menunjukkan bahwa keterkaitan IOD dengan SPL dan klorofil-a berbeda antarstasiun, dengan hubungan yang secara umum lemah hingga sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa variabilitas SPL dan klorofil-a di perairan selatan Jawa tidak hanya berkaitan dengan IOD, tetapi juga dengan

 ISSN: 2714-8726

dinamika monsun dan proses oseanografi musiman, terutama upwelling. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengkarakterisasi variabilitas kedua parameter dan mengevaluasi keterkaitannya dengan IOD telah tercapai, sekaligus menunjukkan perlunya mempertimbangkan pengaruh berbagai proses oseanografi dan iklim dalam memahami perubahan kondisi perairan selatan Jawa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman atas dukungan pendanaan melalui Program Riset Institusi Tahun Anggaran 2026 berdasarkan Kontrak Nomor 13.756/UN23.34/PT.01.00/IV/2026. Dukungan tersebut telah memungkinkan pelaksanaan penelitian ini mulai dari pengumpulan data, pengolahan, analisis, hingga penyusunan naskah. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Copernicus Marine Data Store yang telah menyediakan data Global Ocean Physics Reanalysis dan Global Ocean Biogeochemistry Hindcast yang digunakan dalam penelitian ini, serta kepada NOAA Physical Sciences Laboratory (PSL) atas penyediaan data DMI. Ketersediaan data terbuka dari berbagai lembaga tersebut sangat mendukung terlaksananya penelitian mengenai dinamika oseanografi di perairan selatan Jawa.

DAFTAR PUSTAKA

Asyam, A. M. D., Rochaddi, B., & Widiaratih, R. 2024. Hubungan ENSO dan IOD terhadap Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan di Selatan Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(2): 165–172. https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i2.17274

Atmadipoera, A. S., Almatin, A. A., Zuraida, R., & Permanawati, Y. 2020. Seasonal Upwelling in the Northern Arafura Sea from Multidatasets in 2017. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 28(4): 1487–1515. https://doi.org/10.47836/pjst.28.4.19

Bernades, H., Suryoputro, A. A. D., Wirasatriya, A., Handoyo, G., Rifai, A., Maslukah, L., & Sugianto, D. N. 2021. The Effect of Ekman Mass Transport and Ekman Pumping Velocity on the Variability of Sea Surface Temperature in the Arafura Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 919(1): 1–10. https://doi.org/10.1088/1755-1315/919/1/012026

Fikra, H., Wijaya, Y. J., Kunarso, K., & Wisha, U. J. 2025. Studi Variabilitas Upwelling Berdasarkan Data Angin, Suhu Permukaan Laut, dan Klorofil-a di Laut Flores. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(3): 265–274. https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i3.27907

Horii, T., Ueki, I., & Ando, K. 2018. Coastal Upwelling Events along the Southern Coast of Java during the 2008 Positive Indian Ocean Dipole. *Journal of Oceanography*, 74(5): 499–508. https://doi.org/10.1007/s10872-018-0475-z

Kamasan, M. W., Osawa, T., Imaoka, K., Karang, I. W. G. A., & Dharma Raharja, I. M. 2026. Cross-Shelf Variability of Eddy Polarity, Ekman Forcing, and Upwelling South of Java (2010–2022). Part I: Seasonal and Interannual Patterns of Eddies, Ekman Transport, and Chlorophyll-a Anomalies. *International Journal of Remote Sensing*, 1–32. https://doi.org/10.1080/01431161.2026.2661830

Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., & 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. https://doi.org/10.14710/ik.ijms.16.3.171-180

Kunarso, Ismunarti, D. H., Rifa'i, A., Munandar, B., Wirasatriya, A., & Susanto, R. D. 2023. Effect of Extreme ENSO and IOD on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the North and South of Central Java Province. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 28(1): 1–11. https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.1.1-11

Kurniawan, M. W., Rifai, A., & Haryo, D. 2025. Variabilitas Suhu Permukaan Laut Dipengaruhi oleh ENSO dan IOD di Laut Jawa, Tahun 2007–2021. *Journal of Marine Research*, 14(4): 706–715. https://doi.org/10.14710/jmr.v14i4.46498

Kusmardiyanti, R., Yusuf, M., Djayus, & Rahmiati. 2022. Studi Pengaruh Suhu Permukaan Laut di Selat Makassar terhadap Intensitas Curah Hujan Kota Balikpapan. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 5(2): 48–54. https://doi.org/10.30872/geofisunmul.v5i2.794

Latifah, A. L., Wulandari, S. Y., & Kunarso, K. 2024. Hubungan Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a terhadap Hasil Tangkapan Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) yang Didaratkan di Pelabuhan

 ISSN: 2714-8726

Tamperan, Pacitan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(3): 197–208. https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i3.20575

Mandal, S., Susanto, R. D., & Ramakrishnan, B. 2022. On Investigating the Dynamical Factors Modulating Surface Chlorophyll-a Variability along the South Java Coast. *Remote Sensing*, 14: 1745. https://doi.org/10.3390/rs14071745 (nama penulis ketiga pada sumber tertulis "Ramakhrisnan", kemungkinan typo dari "Ramakrishnan" — cek ulang)

Millenia, Y. W., Helmi, M., & Maslukah, L. 2023. Analisis Mekanisme Pengaruh IOD, ENSO dan Monsun terhadap Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan di Perairan Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4): 87–98. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i4.14414

Munandar, B., Arifa, A. N., Lukman, A. A., Wirasatriya, A., & Wijaya, Y. J. 2026. Drivers of Elevated Chlorophyll-a in Lumajang Waters: A Comparative Analysis of Upwelling and Terrestrial Runoff Mechanisms. *Geographia Technica*, 21(1): 205–217. https://doi.org/10.21163/GT_2026.211.14

Natalia, H. E., Kunarso, & Aziz, R. 2015. Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a Kaitannya dengan El Niño Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) pada Periode Upwelling 2010–2014 di Lautan Hindia (Perairan Cilacap). *Jurnal Oseanografi*, 4(4): 661–669.

Octavianna, P. D., Helmi, M., Maslukah, L., Atmodjo, W., & Handoyo, G. 2025. Analisis Hubungan antara Intensitas Curah Hujan dan Kandungan Klorofil-a serta Suhu Permukaan Laut di Perairan Utara Jawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(4): 389–402. https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i4.29043

Oktaviani, D., Handoyo, G., Helmi, M., Kunarso, K., & Wirasatriya, A. 2021. Karakteristik Upwelling pada Periode Indian Ocean Dipole (IOD) Positif di Perairan Selatan Jawa Barat. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4): 354–361. https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.12081

Pambudi, A. Y., Putra, M. G. A., Yogaswara, D., & Yuliardi, A. Y. 2024. Characteristics and Distribution of Chemical-Biological Parameters in the Seawaters of Eastern Java Sea. *Omni-Akuatika*, 20(1): 11–22. https://doi.org/10.20884/1.oa.2024.20.1.1100

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. https://doi.org/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: 102543. https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102543

Ramadlanie, F. Y., Indrayanti, E., & Handoyo, G. 2023. Penentuan Daerah Upwelling Berdasarkan Indikator Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a di Perairan Selat Sunda Tahun 2010–2019. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4): 62–73. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i4.15341

Renitasari, S. A., Widagdo, S., & Bintoro, R. S. 2023. Karakteristik Curah Hujan Monsunal pada Periode ENSO dan IOD (Studi Kasus: Lampung, Surabaya dan Jayapura). *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal of Tropical Marine Research)*, 5(1): 21–33. https://doi.org/10.30649/jrkt.v5i1.69

Safril, A. 2018. Pengaruh Intensitas El Niño Southern Oscillation Disertai Indian Ocean Dipole terhadap Sifat Hujan di Jawa Barat Bagian Tenggara. *Seminar Nasional Fisika*, 7: 57–67.

Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. 1999. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751): 360–363. https://doi.org/10.1038/43854

Seprianto, A., Kunarso, & Wirasatriya, A. 2016. Studi Pengaruh El Niño 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. (nama penulis ketiga pada sumber tertulis "Wirasatya", disamakan dengan ejaan "Wirasatriya" yang konsisten di entri lain — cek ulang)

Shafira, A. W., Kunarso, K., & Maslukah, L. 2024. Pengaruh Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut terhadap Hasil Tangkapan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Selatan Yogyakarta. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(1): 16–22. https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i1.18965

Shi, W., & Wang, M. 2022. Biological Dipole Mode Indices: New Parameters to Characterize the Physical and Biological Processes of the Indian Ocean Dipole Event. *Progress in Oceanography*, 206: 102847. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102847

 ISSN: 2714-8726

Simanjuntak, P. P., Rosyia, D., Kendita, N., Qalbi, D., & Safril, A. 2021. Kajian Komponen Angin Zonal dan Meridional sebagai Prekursor Penentu Awal Musim di Palembang serta Pengaruh ENSO dan IOD terhadap Variasinya. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*, 5(1): 23. https://doi.org/10.30595/jrst.v5i1.6635

Sudradjat, A., Muntalif, B. S., Marasabessy, N., Mulyadi, F., & Firdaus, M. I. 2024. Relationship between Chlorophyll-a, Rainfall, and Climate Phenomena in Tropical Archipelagic Estuarine Waters. *Heliyon*, 10(4): e25812. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25812

Sutono, D., Suharyanto, Perangin, R., Wera, A. F., & Mustasim. 2020. Pengaruh Suhu dan Kedalaman terhadap Hasil Tangkapan Yellowfin Tuna di Perairan Samudra Indonesia Selatan Pulau Jawa. *Jurnal Airaha*, 10(2): 161–163.

Widagdo, S., Prasita, V. D., & Hafiz, M. 2025. Upwelling Intensity during Indian Ocean Dipole Period in Southern Waters of Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1473(1): 1–15. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1473/1/012015

Yoga, R. B., Setyono, H., & Harsono, G. 2014. Dinamika Upwelling dan Downwelling Berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a. *Jurnal Oseanografi*, 3(1): 57–66.

Yuliardi, A. Y., Napitupulu, G., Heltria, S., Khaldun, M. H. I., Putra, M. G. A., & Suhanda, D. 2025. Hydrographic Responses to Indian Ocean Dipole Events in a Semi-Enclosed Tropical Bay: A Case Study from Lampung Bay, Indonesia. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 41(4): 228. https://doi.org/10.1007/s41208-025-00985-2

Yuliardi, A. Y., Afiyah, N. N., Napitupulu, G., Munandar, B., Haryati, A., Husni, I. A., & Koropitan, A. F. 2026. Oceanographic Variability and Its Association with Fisheries Productivity in Lamongan, Indonesia. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 42(2): 57. https://doi.org/10.1007/s41208-026-01088-2

Zulfa, I. N., Wirasatriya, A., & Ismanto, A. 2024. Kajian Spasial dan Temporal Klorofil-a di Selat Makassar: Variasi Musiman dan Antar Tahunan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3): 311–326. https://doi.org/10.14710/buloma.v13i3.63067