



Karakteristik Variabilitas Spasial dan Temporal Sebaran Klorofil-A Menggunakan Data Citra Satelit *Aqua* Modis di Perairan Selat Lombok dan Sekitarnya

I Dewa Ayu Wiyadnyani Widi Lestari^a, I Wayan Gede Astawa Karang^{a*}
I Gusti Ngurah Putra Dirgayusa^a

^aProgram Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

*Corresponding author, email: gedekarang@unud.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 13 Juni 2024

Received in revised form: 22 Juni 2024

Accepted: 19 Agustus 2024

Available online: 31 Oktober 2024

Keywords: Lombok Strait, Chlorophyll-a, Upwelling, ENSO, IOD

Kata kunci: Selat Lombok, Klorofil-a, Upwelling, ENSO, IOD

ABSTRACT

The movement of the Indonesian Throughflow (Arlindo) through Indonesian waters affects the waters in the Lombok Strait. Mixing air masses between the air masses of the Pacific Ocean and the Indian Ocean will bring several nutrients that can influence the characteristics of the air masses of the waters of the Lombok Strait. The volume of air mass transport fluctuates seasonally and annually due to changes in wind patterns and the influence of ENSO and IOD phenomena. This research aimed to determine the characteristics of chlorophyll-a distribution and corrosiveness to the ENSO and IOD climate anomaly phenomena in the waters of the Lombok Strait. The data used is *Aqua* Modis level 2 satellite imagery with a resolution of 1 km for the period 2003-2022. This research uses spatial and temporal analysis methods on a monthly, seasonal, and annual basis. The research results showed that the monthly chlorophyll-a concentration (January-December) ranged from 0.18-0.36 mg/m³ while the annual chlorophyll-a concentration ranged from 0.18-0.33 mg/m³. The highest concentration in the east season was obtained on average at 0.35 mg/m³; in period II, it was obtained at 0.35 mg/m³. The lowest chlorophyll-a concentration in the west season was 0.18 mg/m³, and in the middle of the first season, with an average of 0.26 mg/m³. This shows that the average concentration in the Lombok Strait is in the low category (oligotrophic). A neutral phase dominates the chlorophyll-a anomaly condition with ENSO, while IOD dominates the chlorophyll-a anomaly condition during negative IOD events. The results also show that the upwelling intensity is influenced by ENSO, which found a strong correlation of 0.66, while with IOD, it has a strong correlation of -0.16.

ABSTRAK

Adanya pergerakan Arus Lintas Indonesia (Arlindo) melewati perairan Indonesia berpengaruh terhadap perairan di Selat Lombok. Terjadinya pencampuran massa air antara massa air Samudera Pasifik dan Samudera Hindia akan membawa sejumlah nutrisi yang dapat mempengaruhi karakteristik massa air perairan Selat Lombok. Volume transport massa air berfluktuasi secara musiman dan tahunan sebagai akibat perubahan pola angin dan pengaruh dari fenomena ENSO dan IOD. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sebaran klorofil-a dan hubungannya terhadap fenomena anomali iklim ENSO dan IOD di perairan Selat Lombok. Data yang digunakan adalah citra satelit *Aqua* Modis level 2 dengan resolusi 1 km untuk periode 2003-2022. Penelitian ini menggunakan metode analisis spasial dan temporal secara bulanan, musiman, dan tahunan. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi klorofil-a bulanan (Januari-Desember) kisaran 0.18-0.36 mg/m³ sementara klorofil-a tahunan kisaran 0.18-0.33 mg/m³. Konsentrasi tertinggi pada musim timur diperoleh rata-rata 0.35 mg/m³ dan peralihan II diperoleh 0.35 mg/m³. Konsentrasi klorofil-a terendah pada musim barat diperoleh 0.18 mg/m³ dan peralihan I dengan rata-rata 0.26 mg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi di Selat Lombok termasuk kategori rendah (oligotrofik). Kondisi anomali klorofil-a dengan ENSO didominasi oleh fase netral sedangkan kondisi anomali klorofil-a dengan IOD di dominasi pada kejadian IOD negatif. Hasil juga menunjukkan bahwa intensitas *upwelling* dipengaruhi oleh ENSO yang ditemukan korelasi kuat sebesar 0.66 sementara dengan IOD memiliki korelasi kuat sebesar -0,16.

2024 JMRT. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Sistem pergerakan massa air dari Samudera Pasifik menuju ke Samudera Hindia melintasi beberapa jalur perairan di Indonesia (Martono 2015). Perpindahan massa air dari Samudera Pasifik bagian barat melewati daerah tropis menuju Samudera Hindia

bagian timur dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo) (Giu *et al.*, 2020). Salah satu kawasan perairan yang teridentifikasi adanya Arlindo yaitu perairan Selat Lombok (Fadlan *et al.*, 2015; Susanto *et al.*, 2007). Perairan Selat Lombok sebagai jalur keluarnya massa air dari Samudera Pasifik barat melalui Selat Makassar menuju ke Samudera Hindia timur dimana akan membawa massa air yang dapat

mempengaruhi karakteristik perairan di Selat Lombok (Wyrтки 1961 & Susanto *et al.*, 2012). Sistem perairan yang terjadi pada Arlindo dapat mengalami pelemahan atau penguatan kecepatan arus atau transport Arlindo yang dipengaruhi oleh fenomena ENSO dan IOD (Oktaviani *et al.*, 2008).

Adanya perubahan sistem perairan karena iklim angin muson yang diakibatkan oleh fenomena ENSO dan IOD sehingga terjadi perubahan suhu air laut yang mempengaruhi intensitas *upwelling* (Kunarso *et al.*, 2011). *Upwelling* ditandai dengan naiknya massa air dingin yang bergerak dari lapisan bawah menuju ke atas permukaan laut (Mustikasari *et al.*, 2015). Selain itu, disebabkan oleh faktor pencampuran vertikal dan pola pergerakan massa air yang membawa massa air yang kaya akan nutrisi ke permukaan perairan dan sekitarnya (Effendi *et al.*, 2012). Ketersediaan nutrisi di perairan tergantung dari proses peningkatan atau penurunan konsentrasi klorofil-a. Klorofil-a sebagai pigmen aktif yang memiliki peran penting dalam berlangsungnya proses fotosintesis di perairan (Zhang & Han 2015). Kandungan klorofil-a di perairan sebagai indikator tinggi rendahnya kelimpahan fitoplankton untuk mengetahui tingkat kesuburan suatu perairan (Effendi *et al.*, 2012). Pengukuran konsentrasi klorofil-a secara spasial maupun temporal dengan menggunakan sistem penginderaan jauh (Hamuna *et al.*, 2015). Salah satu data citra satelit yang digunakan untuk mengetahui nilai konsentrasi klorofil-a yaitu *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (Sipayung *et al.*, 2016).

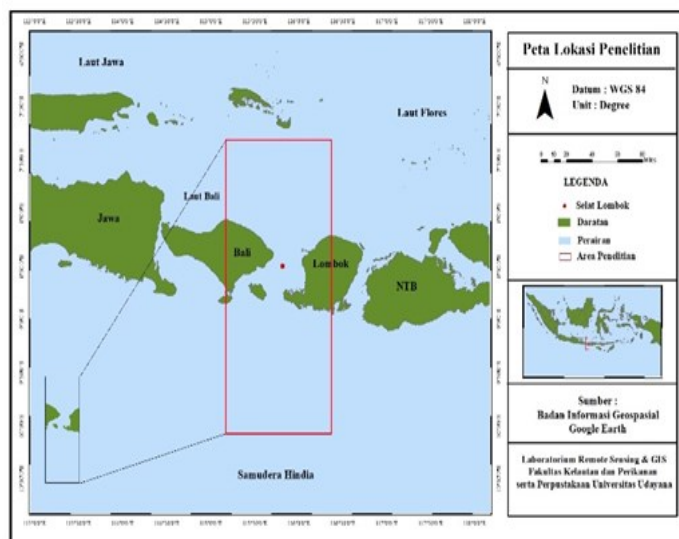
Penelitian klorofil-a di perairan Selat Lombok sudah dilakukan sebelumnya oleh Yuhendrasniko *et al.* (2016) menyatakan bahwa analisis klorofil-a sebagai indikator pendugaan terjadi *upwelling* di perairan selat Lombok mengalami peningkatan luas di Selatan Pulau Nusa Penida dan Selatan Pulau Lombok pada bulan Juni sampai bulan November tahun 2015. Pengamatan sebaran klorofil-a di Selat Lombok lainnya dilakukan oleh Anggreni *et al.* (2011) menyebutkan bahwa sebaran klorofil-a yang rendah di permukaan laut di Selat Lombok pada bulan Januari adalah sekitar $0,2 \text{ mg/m}^3$. Pada bulan tersebut angin barat laut mendorong arus permukaan ke timur dan selatan sehingga mengakumulasi air hangat di bagian tenggara Selat Lombok ke Samudera Hindia. Selain itu, penelitian oleh Setiawan *et al.* (2013) menyatakan bahwa diperoleh hasil maksimum klorofil-a di Selat Lombok berada pada bulan Januari dengan rata-rata konsentrasi $0,31 \text{ mg/m}^3$, sedangkan konsentrasi klorofil-a terendah pada bulan Maret yaitu $0,20 \text{ mg/m}^3$. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Setiawan *et al.* (2013) ini menunjukkan kandungan konsentrasi klorofil-a di Selat Lombok adanya pengaruh kuat Arlindo yang terjadi pada bulan Juni-Agustus dengan suhu rendah dan klorofil-a yang tinggi.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, belum banyak mengkaji mengenai karakteristik variabilitas klorofil-a terhadap pengaruh dari peristiwa ENSO dan IOD di Selat Lombok. Mengingat terjadinya peningkatan peristiwa ENSO dan IOD yang muncul tidak menentu maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan skala waktu lebih dari 10 tahun. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variabilitas klorofil-a dengan analisis spasial dan temporal secara bulanan, musiman, dan tahunan serta hubungan dengan fenomena anomali iklim ENSO dan IOD di Perairan Selat Lombok dan sekitarnya dalam periode waktu 20 tahun.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Periode waktu penelitian adalah Januari 2003 sampai Desember 2022. Penelitian berlokasi di Selat Lombok (Gambar 1) pada koordinat $-7^{\circ}25' \text{ LS}$ - $-10^{\circ}06' \text{ LS}$, $115^{\circ}15' \text{ BT}$ - $116^{\circ}43' \text{ BT}$.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Pengolahan Data Klorofil-a

Data klorofil diunduh pada website *Ocean Color* <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> dengan memilih satelit *Aqua* MODIS level 2 resolusi 1 km data harian. Data klorofila dioah menggunakan *software* Seadas untuk melakukan koreksi geometri, koreksi awan, *reproject*. *Reproject* dilakukan, karena data harian yang belum terkoreksi secara geometric dan masih mengandung nilai Nan (data kosong). Selanjutnya data harian dilakukan rata-rata dan diolah pada *software* *ArcGis* 10.8. Hasil pengolahan akan disajikan secara spasial dan temporal untuk mengamati data bulanan, musiman dan tahunan.

2.2.2 Pengolahan Data Spasial dan Temporal

Pengolahan secara spasial pada penelitian ini menggunakan metode interpolasi yang digunakan yaitu metode kriging. Pengolahan temporal pada penelitian ini dengan menggunakan *software* Microsoft Excel. Data klorofil-a harian yang dijadikan data rata-rata bulanan, musiman, dan tahunan. kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik.

2.2.3 Pengolahan Data Angin

Data angin diperoleh pada website <https://www.ecmwf.int/> data bulanan dari tahun 2003 - 2022. Data angin yang sudah di unduh selanjutnya diolah menggunakan *Software Ocean Data View* (ODV) untuk mengubah format data. Kemudian dilanjutkan dengan mengolah data angin pada *software* *microsoft excel* dengan mengambil informasi data yang dibutuhkan meliputi *longitude*, *latitude*, nilai U, dan nilai V sehingga dapat dilakukan proses perhitungan nilai arah dan kecepatan. Data perhitungan berdasarkan rata-rata bulanan diolah dengan *software* *ArcGis* 10.8 sehingga diperoleh peta angin

2.2.4 Pengolahan Data ENSO dan IOD

Data ENSO diperoleh dari Indeks Nino 3.4 (Climate Data Guide, 2024) sedangkan data IOD diperoleh dari *Dipole Mode Indeks* (DMI) (Saji *et al.*, 1999). Data ENSO dan IOD ditampilkan pada Microsoft excel dalam bentuk grafik berdasarkan waktu dan periode *El Niño* dan *La Niña*. Anomali klorofil-a pada ENSO dan DMI ditampilkan grafik berdasarkan waktu dan periode yang sudah ditentukan. Selanjutnya perhitungan korelasi dengan menggunakan persamaan *korelasi pearson*.

2.3 Analisis Data

2.3.1 Analisis Anomali Klorofil-a

Dalam menghitung anomali klorofil-a dihitung berdasarkan hasil pengurangan antara nilai klorofil-a perpixel dengan nilai klorofil-a rata-rata selama 20 tahun dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Anomali Klorofil-a} = \text{Klorofil-a}_{\text{aktual}} - \text{Klorofil-a}_m \quad (1)$$

Keterangan :

- Anomali Klorofil-a : nilai anomali klorofil-a lokasi penelitian
- Klorofil-a_{aktual} : nilai klorofil-a actual (mg/m³)
- Klorofil-a_m : nilai klorofil-a rata-rata bulanan selama 20 tahun periode 2003-2022.

2.3.2 Analisis Data Angin

Dalam menganalisis data angin, data kecepatan angin searah sumbu x (barat-timur), searah sumbu y (utara-selatan) diekstrak kemudian diolah menggunakan software ODV. Data angin berupa nilai kecepatan dan arah angin kemudian dilakukan pengolahan selanjutnya untuk mengekstrak data ke dalam bentuk *microsoft excel* dan dapat diketahui komponen u dan v kemudian dihitung kecepatan angin menggunakan persamaan menurut Muhammad *et al.* (2021):

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

Keterangan:

- V = Kecepatan Angin Total (m/s)
- u = Komponen angin dalam arah bujur (Timur-Barat) (m/s)
- v = Komponen angin dalam arah lintang (Utara-Selatan) (m/s)

Selanjutnya, untuk menghitung arah angin menggunakan persamaan menurut ERA5 (2023), sebagai berikut:

$$\phi = \text{mod} \left(180 + \frac{180}{\pi} \text{atan2}(v, u) 360 \right) \quad (3)$$

2.3.3 Analisis Spasial dan Temporal

Analisis spasial dan temporal dilakukan untuk mengetahui variabilitas klorofil-a secara spasial dan temporal. Pada analisis spasial bertujuan untuk mengetahui sebaran klorofil-a pada area lokasi perairan Selat Lombok. Sedangkan analisis temporal data periode musim diproses berdasarkan empat rerata triwulan yaitu Musim Barat (Desember-Januari-Februari), Peralihan I (Maret-April-Mei), Musim Timur (Juni-Juli-Agustus) dan Peralihan II (September-Oktober-November).

2.3.4 Analisis Klorofil-a dengan ENSO dan IOD

Dalam mengetahui hubungan antar konsentrasi klorofil-a dengan ENSO dan IOD maka dilakukan analisis menggunakan persamaan *Pearson Correlation*. Bentuk umum persamaan *Pearson Correlation* dapat dilihat pada persamaan 4 (Sugiyono, 2011).

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (4)$$

Keterangan :

- r : *Pearson correlation coefficient*
- x : Variabel x (Nilai Anomali klorofil-a)
- y : Variabel y (Nilai variabel Indeks ENSO dan IOD)
- n : Jumlah data

Tabel 1. Hubungan hasil koefisien korelasi

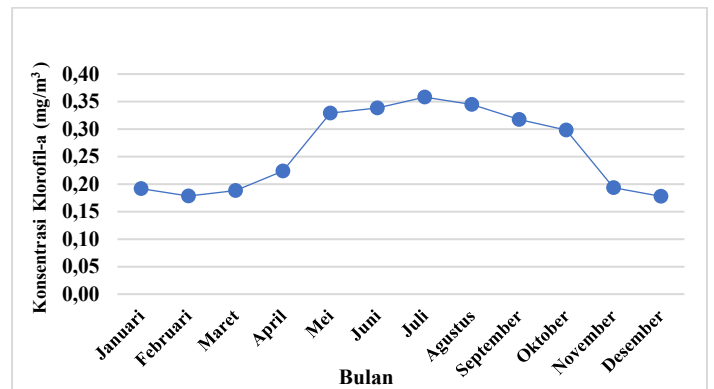
Koefisien Korelasi	Interpretasi Hubungan
0-0,2	Sangat rendah
0,2-0,4	Rendah
0,4-0,7	Cukup tinggi
0,7-1,0	Tinggi

(Sugiyono, 2003)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sebaran Klorofil-a Secara Spasial dan Temporal Rata-rata Bulanan

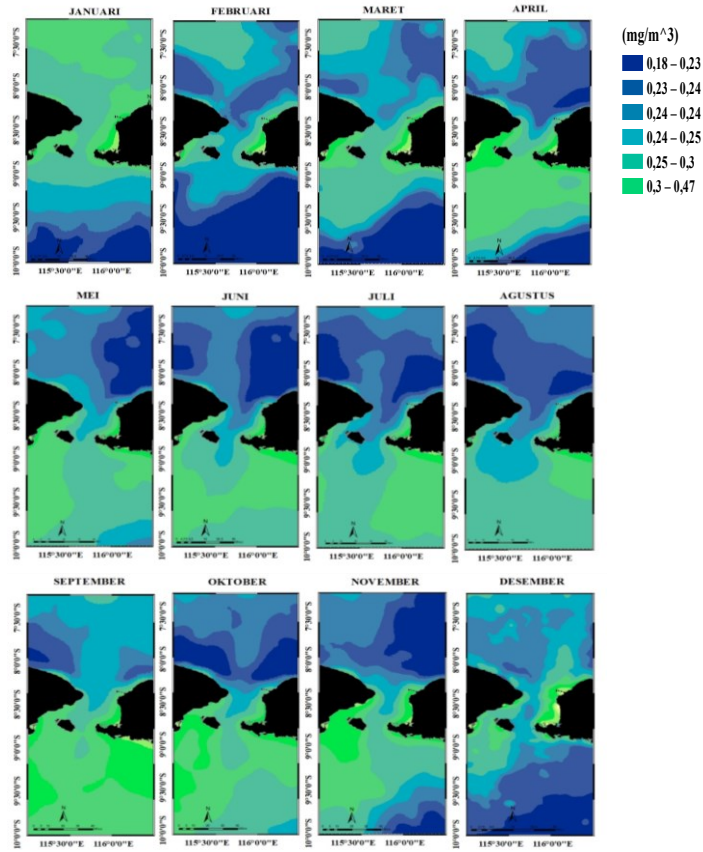
Karakteristik variabilitas sebaran klorofil-a secara temporal di perairan Selat Lombok memperoleh nilai klorofil-a rata-rata bulanan kisaran 0,18 mg/m³ – 0,36 mg/m³ dimana klorofil-a tergolong rendah (oligotrofik). Terlihat pada Gambar 2 sebaran konsentrasi klorofil-a secara temporal pada bulan Januari, Februari dan Maret masing-masing menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,19 mg/m³, 0,18 mg/m³ dan 0,19 mg/m³. Hal ini sesuai dengan pernyataan oleh Putra *et al.* (2014) menyebutkan bahwa hal ini diduga karena adanya pengaruh masukan nutrisi dari daratan yang disebabkan oleh tingkat curah hujan yang relatif tinggi pada bulan Januari-Mei sehingga konsentrasi klorofil-a meningkat di wilayah pesisir. Sementara itu, terjadinya peningkatan klorofil-a pada bulan April, Mei, Juni, Juli dan Agustus dengan nilai rata-rata yaitu 0,22 mg/m³, 0,33 mg/m³, 0,34 mg/m³, 0,36 mg/m³ dan 0,34 mg/m³. Tingginya konsentrasi bulan Juni, Juli, dan Agustus ini diduga karena adanya angin muson tenggara bertiup secara konstan dengan kecepatan tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Susanto *et al.* (2001) menjelaskan bahwa angin muson tenggara terjadi pada bulan Juni-Juli dan mencapai puncaknya pada bulan Agustus. Hal ini juga ditemukan pada penelitian Rahman dan Kunarso (2022) menjelaskan bahwa perkembangan luasan *upwelling* di perairan selatan Pulau Jawa-Bali diduga terjadi karena adanya peningkatan intensitas angin muson tenggara yang bertiup di perairan selatan Pulau Jawa Bali. Sementara itu, terjadinya penurunan konsentrasi klorofil-a di perairan Selat Lombok pada bulan September, Oktober, November hingga Desember dengan masing-masing menunjukkan nilai rata-rata yaitu 0,32 mg/m³, 0,30 mg/m³, 0,19 mg/m³, dan 0,18 mg/m³. Sepanjang bulan Januari-Desember rata-rata konsentrasi klorofil-a di perairan Selat Lombok memperlihatkan ketidakstabilan yang sesuai juga dengan pernyataan menurut Yuhendasmiko *et al.* (2016) bahwa fenomena yang terjadi terhadap sebaran klorofil-a di Selat Lombok tidak menentu.



Gambar 2. Rata-rata Klorofil-a Bulanan

Karakteristik variabilitas klorofil-a secara spasial dilihat pada Gambar 3 menunjukkan rata-rata sebaran konsentrasi klorofil-a cenderung tinggi dibagian selatan Selat Lombok dibandingkan bagian utara Selat Lombok. Terlihat sebaran klorofil-a pada bulan januari cenderung tinggi berada pada bagian utara Selat Lombok

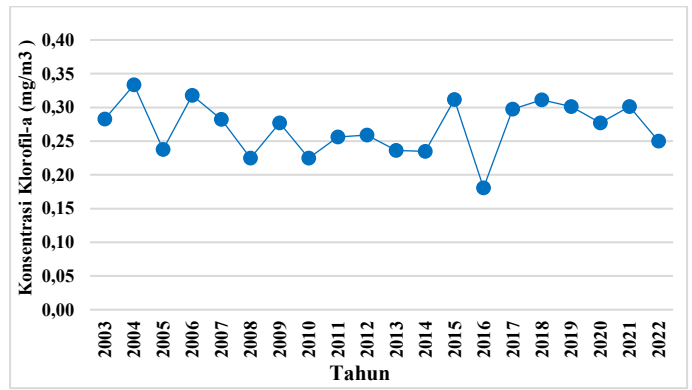
sedangkan pada bulan Februari sebaran klorofil-a lebih tinggi di pesisir pulau Bali dan pulau Lombok. Sementara pola sebaran klorofil-a bulan Maret hingga November terus mengalami peningkatan di bagian selatan Selat Lombok. Namun pada bulan Desember sebaran klorofil-a di selatan Selat Lombok cenderung berkurang dan menuju ke daerah pesisir pantai. sebaran klorofil-a cenderung lebih tinggi pada lapisan permukaan yang berada di pesisir hingga bagian selatan Selat Lombok. Rendahnya nilai konsentrasi klorofil-a pada perairan laut lepas disebabkan karena tidak adanya masukan nutrisi dari daratan secara langsung (Rasyid, 2011).



Gambar 3. Rata-rata Spasial Klorofil-a Bulanan

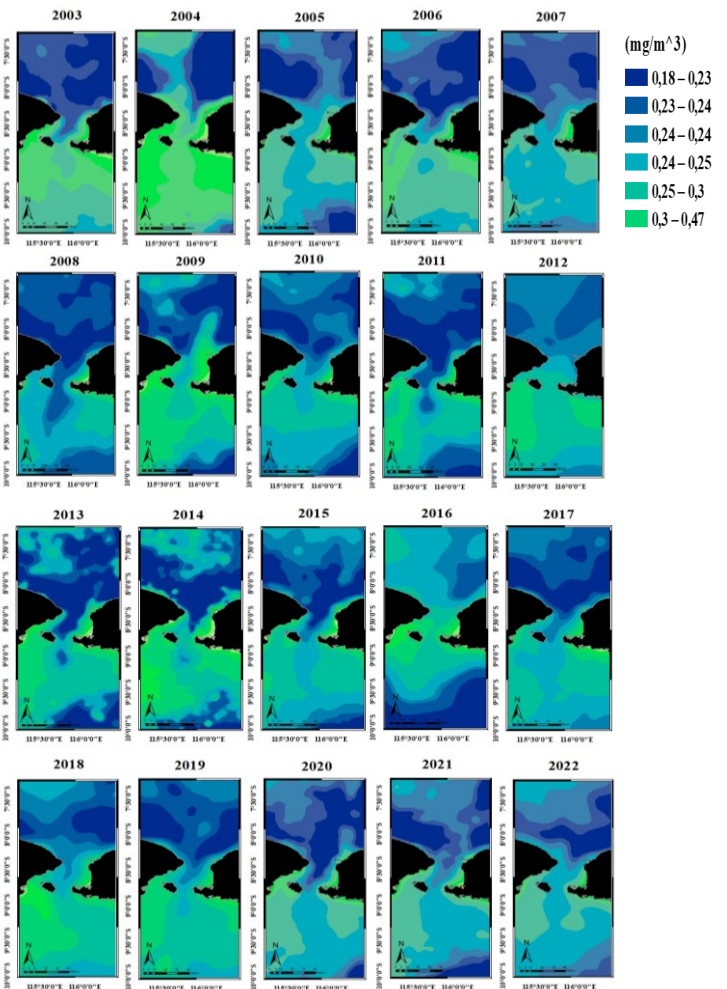
3.2 Sebaran Klorofil-a Secara Spasial dan Temporal Rata-rata Tahunan

Karakteristik sebaran klorofil-a rata-rata tahunan memiliki kisaran sebesar $0,18 \text{ mg/m}^3 - 0,33 \text{ mg/m}^3$. Rata-rata konsentrasi klorofil-a tertinggi diperoleh pada tahun 2004 sebesar $0,33 \text{ mg/m}^3$ sedangkan rata-rata konsentrasi klorofil-a terendah diperoleh pada tahun 2016 dengan nilai $0,18 \text{ mg/m}^3$. Terlihat pada Gambar 4 sebaran rata-rata konsentrasi klorofil-a secara temporal pada tahun 2003, 2004, 2005, 2006, dan 2007 masing-masing menunjukkan kisaran nilai yaitu $0,28 \text{ mg/m}^3$, $0,33 \text{ mg/m}^3$, $0,24 \text{ mg/m}^3$, $0,32 \text{ mg/m}^3$ dan $0,28 \text{ mg/m}^3$. Sementara itu, rata-rata konsentrasi klorofil-a pada tahun 2008, 2009, 2010, 2011, dan 2012 masing-masing menunjukkan kisaran nilai yaitu $0,25 \text{ mg/m}^3$, $0,28 \text{ mg/m}^3$, $0,22 \text{ mg/m}^3$, $0,26 \text{ mg/m}^3$, dan $0,26 \text{ mg/m}^3$. Penurunan konsentrasi klorofil-a terjadi pada tahun 2013, 2014, 2015, 2016 dan 2017 masing-masing menunjukkan kisaran nilai yaitu $0,24 \text{ mg/m}^3$, $0,23 \text{ mg/m}^3$, $0,31 \text{ mg/m}^3$, $0,18 \text{ mg/m}^3$, dan $0,30 \text{ mg/m}^3$. Selanjutnya rata-rata konsentrasi klorofil-a pada tahun 2018, 2019, 2020, 2021, dan 2022 menunjukkan nilai masing-masing sebesar $0,31 \text{ mg/m}^3$, $0,30 \text{ mg/m}^3$, $0,28 \text{ mg/m}^3$, $0,30 \text{ mg/m}^3$ dan $0,25 \text{ mg/m}^3$.



Gambar 4. Rata-rata Klorofil-a Tahunan

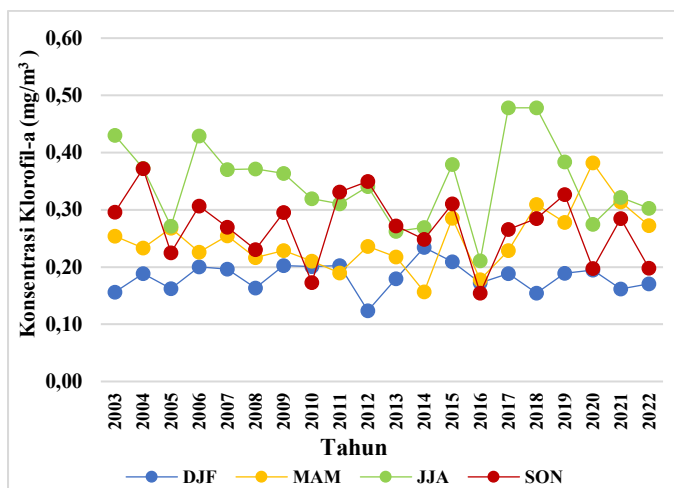
Karakteristik variabilitas spasial sebaran klorofil-a rata-rata tahunan dilihat pada gambar 5 menunjukkan bahwa zona persebaran klorofil-a cukup bervariasi setiap tahunnya. Sebaran konsentrasi klorofil-a terendah pada tahun 2016. Pada tahun 2003-2006 cenderung tinggi di bagian selatan Selat Lombok tetapi konsentrasi klorofil-a mulai berkurang pada tahun 2007-2008. Sementara pada tahun 2009-2017 terlihat sebaran konsentrasi klorofil-a kembali lebih tinggi dibagian selatan Selat Lombok hingga meluas menuju pesisir pantai sedangkan pada bagian utara Selat Lombok konsentrasi klorofilnya lebih rendah. Selanjutnya pola sebaran klorofil-a tahun 2018-2021 mengalami peningkatan di bagian selatan Selat Lombok sedangkan tahun 2022 konsentrasi klorofil-a mulai berkurang di bagian selatan dan utara Selat Lombok tetapi cenderung tinggi di pesisir pantai.



Gambar 5 Rata-rata Spasial Klorofil-a Tahunan

3.3 Sebaran Klorofil-a Secara Spasial dan Temporal Rata-rata Musiman

Karakteristik rata-rata klorofil-a musiman pada musim barat berkisar $0.15 - 0.23 \text{ mg/m}^3$, peralihan 1 berkisar $0.18 - 0.38 \text{ mg/m}^3$. Sedangkan musim timur berkisar $0.21 - 0.48 \text{ mg/m}^3$ dan peralihan 2 memiliki kisaran $0.15 \text{ mg/m}^3 - 0.33 \text{ mg/m}^3$. Berdasarkan hasil analisis secara temporal diperoleh nilai rata-rata musiman dengan kisaran nilai $0.18-0.33 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 6) yang tergolong rendah (oligotrofik). Menurut Kurniawati *et al.* (2015) mengungkapkan bahwa nilai konsentrasi klorofil-a dibawah $0,2 \text{ mg/m}^3$ termasuk kedalam kategori rendah.



Gambar 6. Rata-rata Klorofil-a Musiman

Karakteristik rata-rata klorofil-a pada musim barat yaitu bulan Desember-Januari-Februari (DJF) memiliki rata-rata konsentrasi klorofil-a 0.18 mg/m^3 dengan nilai tertinggi pada tahun 2014 yaitu sebesar 0.23 mg/m^3 , sedangkan konsentrasi terendah pada tahun 2012 dengan nilai 0.12 mg/m^3 . Variabilitas sebaran klorofil-a secara spasial (Gambar 7) ditemukan pada bagian utara Selat Lombok relatif rendah. Meski demikian, klorofil-a masih banyak terkonsentrasi di wilayah pesisir dekat pantai. Rendah konsentrasi klorofil-a pada musim barat diakibatkan oleh pengaruh suhu permukaan laut yang meningkat pada musim ini. Hal ini sesuai dengan pernyataan Silubun *et al.* (2015) menyatakan bahwa pada musim barat tidak terindikasi adanya *upwelling* dikarenakan SPL meningkat dan klorofil-a rendah.

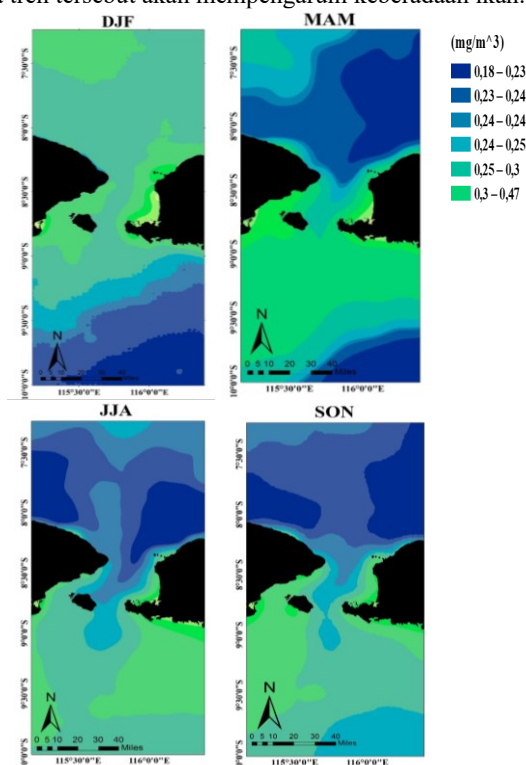
Pada musim peralihan I yang terjadi pada bulan Maret-April-Mei (MAM), nilai klorofil-a mulai meningkat dengan sebaran klorofil-a kisaran 0.26 mg/m^3 . Dimana klorofil-a tertinggi pada tahun 2020 yaitu dengan nilai 0.38 mg/m^3 , sedangkan terendah 0.16 mg/m^3 di tahun 2014. Sebaran klorofil-a secara spasial (Gambar 7) adanya kenaikan klorofil-a di selatan Selat Lombok. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor suhu permukaan laut menurun dengan diikuti kenaikan sebaran klorofil-a. Hal ini sesuai dengan pernyataan menurut Hendriati *et al.* (2004) bahwa transport dari perairan selatan Jawa dicirikan dengan temperatur yang lebih hangat, tinggi nutrisi dan salinitas rendah pada permukaan laut. Sementara rata-rata konsentrasi klorofil-a pada musim timur terjadi pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) berkisar 0.35 mg/m^3 . Dimana klorofil-a tertinggi pada tahun 2017 dan 2018 dengan nilai sebesar 0.48 mg/m^3 dan klorofil-a terendah pada tahun 2016 dengan nilai 0.21 mg/m^3 sedangkan variabilitas sebaran klorofil-a secara spasial (Gambar 7) terdistribusi meluas dari tepi pantai hingga mengarah ke selatan selatan Selat Lombok.

Konsentrasi tinggi pada musim timur dikarenakan adanya fenomena *upwelling* yang ditimbulkan oleh angin muson tenggara. Hal ini sesuai dengan pernyataan Susanto *et al.* (2006)

mengemukakan bahwa intensitas angin muson akan mengakibatkan meningkatnya intensitas *upwelling* dari bulan Juni-Agustus yang meningkatkan aliran air dingin dari lapisan bawah ke permukaan seiring dengan bertambahnya bulan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rahman dan Kurnaso (2022) bahwa semakin kuatnya angin muson tenggara yang bertiup di perairan selatan Pulau Jawa-Bali, maka akan semakin banyak massa air yang terdorong ke laut lepas. Kekosongan massa air yang semakin luas di dekat perairan pantai tersebut akan memicu terjadinya penyebaran fenomena *upwelling*.

Pada peralihan II yang terjadi pada bulan September-Oktober-November (SON) berkisar 0.29 mg/m^3 dengan peningkatan klorofil-a tertinggi pada tahun 2012 yaitu 0.35 mg/m^3 sedangkan tahun 2010 merupakan konsentrasi klorofil-a terendah yaitu 0.17 mg/m^3 . Variabilitas sebaran klorofil-a secara spasial (Gambar 4.6) memperlihatkan pola sebaran yang sama pada musim timur dimana terdistribusi meluas di bagian pesisir pantai hingga mengarah ke selatan selatan Selat Lombok. Konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi ini disebabkan oleh peningkatan unsur hara di bagian permukaan yang terbawa oleh fenomena *upwelling* dari lapisan bawah. Peningkatan klorofil-a juga disebabkan karena meningkatnya curah hujan yang membawa nutrisi dari darat ke laut. Menurut Lalli dan Parson (1994), penyebab peningkatan klorofil-a terjadi karena konsentrasi nutrisi terlarut yang meningkat dan intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan.

Secara umum, peristiwa *upwelling* akan mengalami kejadian berulang secara periodik pada musim timur, Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Susanto *et al.* (2001) yang menjelaskan bahwa kejadian *upwelling* di selatan Jawa-NTT terjadi pada musim timur. Jika dilihat dari Gambar 6, *upwelling* sangat rendah pada musim barat dan Peralihan I. Rendahnya sebaran konsentrasi klorofil-a dimungkinkan karena kurangnya pasokan nutrisi di perairan. Sedangkan *upwelling* tertinggi diperoleh pada musim timur dan Peralihan II. Peristiwa *upwelling* mempengaruhi distribusi klorofil-a yang cukup untuk menghasilkan produktivitas primer dan makanan bagi biota laut (Gaol & Sadhatomo, 2007) sehingga tren tersebut akan mempengaruhi keberadaan ikan.



Gambar 7. Rata-rata Spasial Klorofil-a Musiman

3.4 Sebaran Angin di Perairan Selat Lombok dan Sekitarnya

Angin merupakan data pendukung pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh angin terhadap sebaran klorofil-a di perairan Selat Lombok dan sekitarnya. Kecepatan dan arah angin di perairan Selat Lombok di analisis dari data rata-rata bulanan selama 20 tahun mulai tahun 2003-2022 disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rata-rata Kecepatan Angin Bulanan

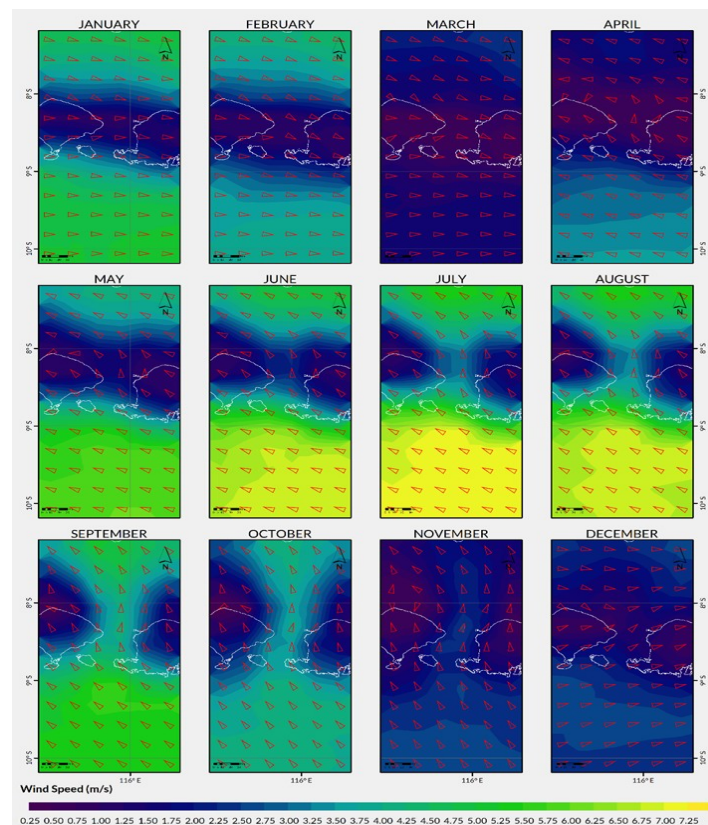
Bulan	Kecepatan (m/s)
Januari	4.80
Februari	4.03
Maret	1.87
April	2.55
Mei	4.78
Juni	5.51
Juli	5.75
Agustus	5.55
September	4.45
Oktober	3.35
November	1.88
Desember	2.37

Angin sebagai parameter penting untuk menganalisis pola sebaran dan gerakan klorofil-a di perairan Selat Lombok. Berdasarkan hasil analisis kecepatan dan arah angin diperoleh nilai rata-rata 1.88-5.75 m/s menunjukkan pola sebaran yang bervariasi. Sebaran angin bulan Januari, Februari dan Maret menunjukkan nilai kecepatan masing-masing yaitu 4.80 m/s, 4.03 m/s dan 1.87 m/s dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a bulan Januari-Maret kisaran 0.18-0.19 mg/m³ dan diikuti oleh arah angin dari barat menuju timur. Hal ini sesuai dengan pernyataan Fadika *et al.*, (2014) bahwa pada musim barat (DJF) angin berhembus dari barat karena tekanan udara di Australia lebih rendah dari Asia. Hal ini ditambahkan juga dengan pernyataan Wyrski (1961) dalam Saraswata (2013) bahwa pergerakan angin dari barat (musim barat) dikarenakan perbedaan tekanan udara di perairan selatan Bali. Tingginya tekanan udara di Benua Asia mengalir menuju tekanan udara yang rendah di Benua Australia.

Adanya peningkatan kecepatan angin berturut-turut yaitu bulan April, Mei, Juni, Juli, hingga Agustus menunjukkan nilai kecepatan masing-masing yaitu 2.55 m/s, 4.78 m/s, 5.51 m/s, 5.75 m/s dan 5.55 m/s dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a bulan April, Mei, Juni, Juli, hingga Agustus sebesar 0.22 mg/m³ – 0.34 mg/m³ diikuti oleh angin yang berhembus dari timur menuju arah barat laut. Pernyataan Wyrski (1961) dalam Saraswata (2013) menyatakan pergerakan angin dari timur (musim timur) terjadi pembalikan dominasi arah dan kecepatan angin yang berasal dari arah timur. Hal ini sesuai dengan pernyataan oleh Yuhendrasmi *et al.* (2016) menjelaskan bahwa angin yang berhembus menuju arah barat laut menimbulkan transport massa dengan arah tegak lurus angin ke arah kiri (barat daya). Peristiwa tersebut akan terjadi kekosongan massa air di lapisan permukaan akibat transport massa yang bergerak menjauhi pantai, kekosongan massa air tersebut akan diisi oleh massa air yang berasal dari lapisan dalam yang bergerak menuju permukaan sehingga menimbulkan dinamika *upwelling*.

Pada bulan September, Oktober, November, dan Desember dengan nilai kecepatan angin masing-masing berkisar pola pergerakan arah angin dari tenggara menuju barat laut hingga arah utara dengan kecepatan angin 4.45 m/s, dan menurun 1.88 m/s. Pada pola angin ini rata-rata sebaran klorofil-a sebesar 0.32 mg/m³ hingga rendah yaitu 0,19 mg/m³. Namun arah angin pada bulan Desember sudah mulai berhembus dari arah barat menuju arah

timur dengan konsentrasi klorofil-a 0,18 mg/m³. Secara spasial menunjukkan sebaran klorofil-a cenderung tinggi dibagian di daerah pesisir pantai hingga bagian selatan Selat Lombok. Menurut Mahagnyana *et al.* (2017) mengemukakan bahwa pergerakan angin musim peralihan II (SON) dipengaruhi oleh muson timur yang berhembus dari Australia menuju Asia. Pernyataan ini pun didukung penelitian Gilang *et al.* (2013) dimana kondisi arah dan kecepatan angin di perairan selatan Bali didominasi arah dan kecepatan angin pada musim peralihan II berasal dari Tenggara. Hal tersebut disebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang terjadi di atas perairan selatan Bali.



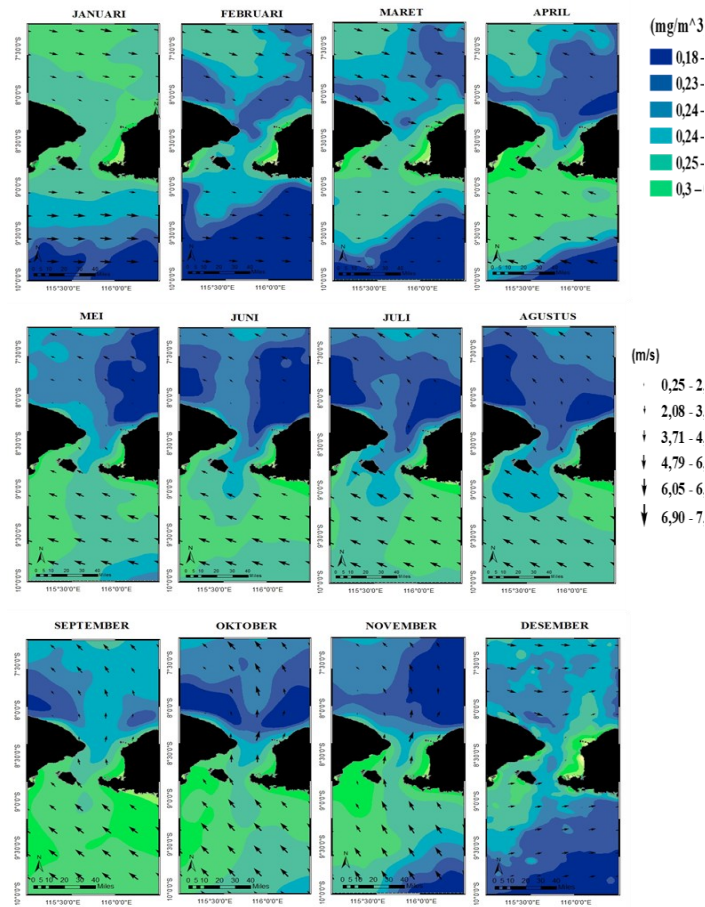
Gambar 8. Rata-rata Kecepatan dan Arah Angin Bulanan

3.5 Anomali Klorofil-a di Perairan Selat Lombok

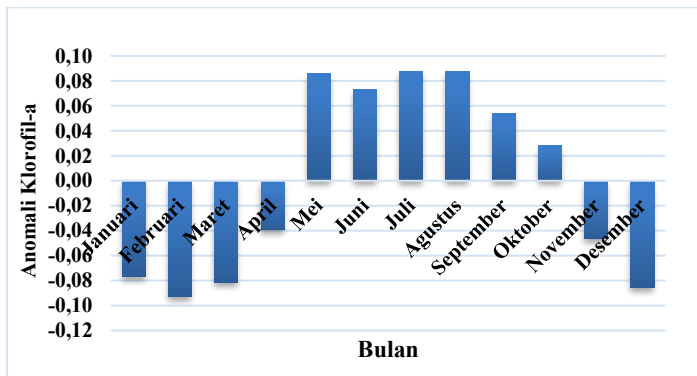
Hasil analisis anomali klorofil-a rata-rata bulanan ditunjukkan pada Gambar 10 memperlihatkan anomali negatif pada bulan Januari-Maret yaitu -0.08 sampai -0.09. Terjadinya perubahan nilai anomali pada bulan April sebesar -0.04. Namun saat memasuki bulan Mei, Juni, Juli, Agustus mengalami perubahan anomali positif 0.07 – 0.09. Penurunan kembali terjadi secara berturut-turut dari anomali positif hingga anomali negatif yaitu pada bulan September 0.05, Oktober 0.03, November -0.05 hingga Desember sebesar -0.09.

Pada penelitian ini anomali klorofil- dianalisis secara bulanan dan musiman. Anomali klorofil-a secara bulanan ditunjukkan pada Gambar 10. yang memperlihatkan anomali negatif pada bulan Januari-Maret yaitu -0.08 sampai -0.09. Terjadinya perubahan nilai anomali negatif pada bulan April sebesar -0.04. Namun saat memasuki bulan Mei, Juni, Juli, Agustus mengalami perubahan anomali positif sebesar 0.07 – 0.09. Penurunan pun kembali terjadi secara berturut-turut dari anomali positif hingga anomali negatif yaitu pada bulan September 0.05, Oktober 0.03, November -0.05 hingga Desember sebesar -0.09. Menurut Seprianto *et al.*, (2016) mengemukakan anomali klorofil-a yang tinggi tersebut diduga karena suhu perairan yang rendah dapat mempengaruhi proses fotosintesis fitoplankton. Peristiwa ini juga terjadi di perairan Selat Lombok dimana Anomali di bulan Mei-Agustus menunjukkan

klorofil-a yang tinggi. Penurunan anomali klorofil-a berturut-turut pada bulan September 0.05, Oktober 0.03, November -0.05 hingga Desember sebesar -0.09.



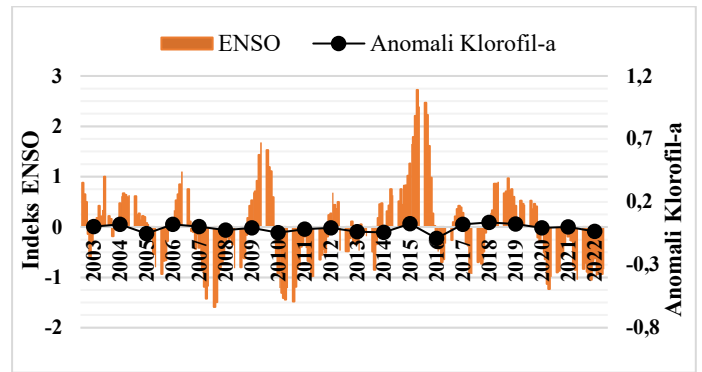
Gambar 9. Rata-rata Spasial Kecepatan dan Arah Angin serta Klorofil-a Bulanan



Gambar 10. Rata-rata Anomali Klorofil-a Bulanan

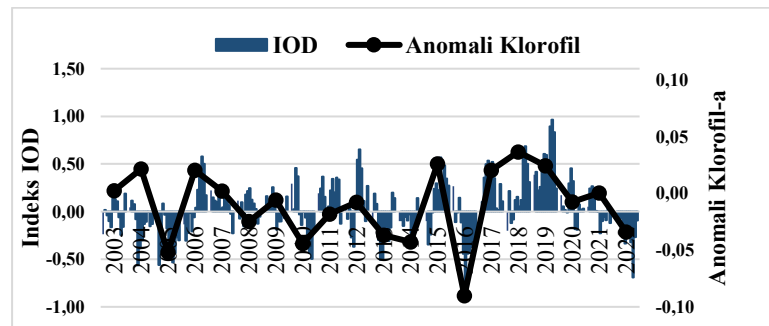
3.6 Kondisi Klorofil-a dengan ENSO dan IOD di Perairan Selat Lombok dan Sekitarnya

Berdasarkan hasil analisis klorofil-a dengan indeks ENSO pada region nino 3.4 diperoleh nilai dalam kurun waktu 2003-2022 dapat diamati pada Gambar 11. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai ketersinggungan antara parameter ENSO dan klorofil-a, dimana tahun 2003-2015 klorofil-a dengan didominasi anomali positif yang disertai oleh fase netral sedangkan anomali negatif klorofil-a akan diikuti oleh *La nina* lemah pada tahun 2016.



Gambar 11. Anomali Klorofil-a dan ENSO Tahun 2003-2022

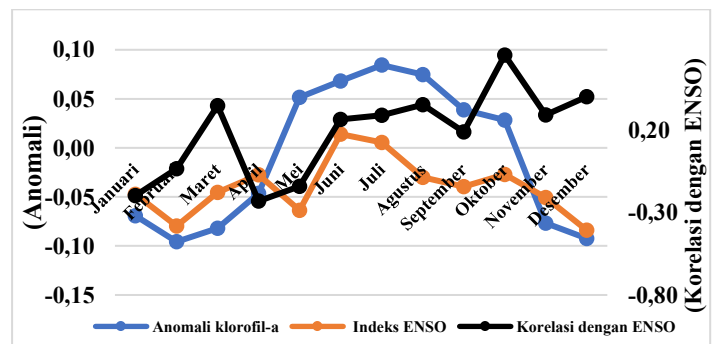
Berdasarkan hasil analisis klorofil-a dengan indeks IOD dalam kurun waktu 2003-2022 di perairan Selat Lombok dan sekitarnya dapat diamati pada Gambar 12. Hasil analisis menunjukkan bahwa grafik ketersinggungan antara parameter ENSO dan klorofil-a pada tahun 2005-2016 didominasi adanya penurunan klorofil-a yang disertai oleh IOD negatif sedangkan peningkatan klorofil-a akan diikuti oleh IOD positif pada tahun 2006, 2007, 2015, 2017 hingga 2021.



Gambar 12. Grafik Anomali Klorofil-a dan IOD Tahun 2003-2022

3.7 Hubungan Klorofil-a dengan ENSO di Perairan Selat Lombok dan Sekitarnya

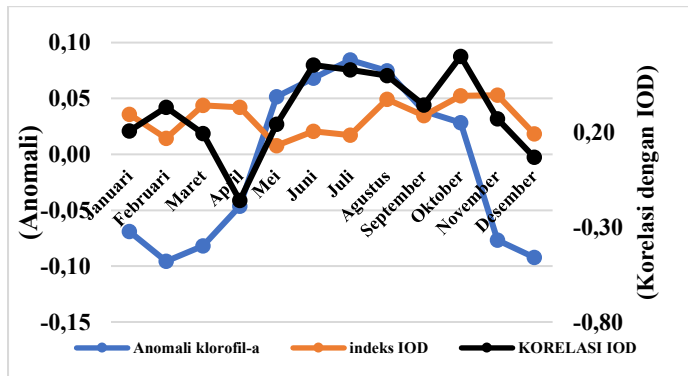
Berdasarkan hasil analisis hubungan anomali klorofil-a dengan indeks ENSO secara bulanan dapat diamati pada Gambar 13. menunjukkan nilai korelasi kuat sebesar 0.66 pada bulan Oktober, korelasi sedang bulan Desember sebesar 0.41 dan korelasi rendah bulan Maret, Juni, Juli, Agustus, dan November dengan kisaran yaitu 0.29-0.36 sedangkan korelasi sangat rendah pada bulan Januari, Februari, April, Mei, September dengan kisaran nilai -0.14 hingga -0.23.



Gambar 13. Korelasi Anomali Klorofil-a dengan Indeks ENSO

Sementara itu, anomali klorofil-a dengan IOD pada Gambar 14 terlihat hasil analisis menunjukkan nilai korelasi kuat April dengan kisaran nilai -0.16 dan korelasi rendah pada bulan Oktober sebesar 0.61, korelasi IOD bulan Juni, Juli dan Agustus yaitu 0.50-0.55 sedangkan korelasi bulan Januari, Februari, Mei, September,

November dan Desember dengan kisaran yaitu 0.21-0.34 sedangkan korelasi sangat rendah pada bulan Oktober sebesar 0.61. Peristiwa IOD mempengaruhi variabilitas klorofil-a diperaian Selat Lombok dengan korelasi kuat korelasi kuat April dengan kisaran nilai -0.16 dan korelasi rendah pada bulan Oktober sebesar 0.61.



Gambar 14. Korelasi Anomali Klorofil-a dengan Indeks IOD

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik variabilitas klorofil-a secara temporal diperoleh rata-rata bulanan (Januari-Desember) kisaran 0.18-0.36 mg/m³, klorofil-a rata-rata tahunan kisaran 0.18-0.33 mg/m³ dan klorofil-a rata-rata pada musim barat kisaran 0.18 mg/m³, peralihan I kisaran 0.26 mg/m³, musim timur kisaran 0.35 mg/m³ dan peralihan II kisaran 0.35 mg/m³. Hal ini menunjukkan konsentrasi klorofil-a diperaian Selat Lombok tergolong rendah (oligotrofik). Variabilitas klorofil-a secara spasial memperlihatkan distribusi klorofil-a relatif tinggi di dekat pesisir pantai hingga meluas ke arah selatan Selat Lombok.
2. Kondisi anomali klorofil-a dengan ENSO didominasi oleh fase netral sedangkan kondisi anomali klorofil-a dengan IOD didominasi pada kejadian IOD negatif. Rata-rata sebaran klorofil-a pada tahun 2016 periode 2003-2022 mengalami fenomena *La-Niña* diikuti dengan IOD negatif. Hubungan klorofil-a dengan ENSO ditemukan korelasi kuat sebesar 0.66 sementara dengan IOD memiliki korelasi kuat sebesar -0.16. Dalam hal ini, ENSO dan IOD mempengaruhi tingkat konsentrasi klorofil-a di perairan Selat Lombok dan sekitarnya.

Daftar Pustaka

- Anggreni, K.A., Takahiro O., Arthana I. W. (2011). Study of chlorophyll-a distributions in lombok strait using biogeochemical model based on regional ocean modelling system (ROMS). *Ecotrophic*, 6 (11): 31-36.
- Effendi, R., Pariabti, P., Nasrul I. (2012). Analisis konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar kota makassar menggunakan data satelit *topex/poseidon*. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 8(3): 279-285.
- ERA5. (2023). Bagaimana cara menghitung kecepatan angin dan arah angin dari komponen u dan v angin?. https://confluence-ecmwfint.translate.google.com/plugins/servlet/mobile?contentId=133262398&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc#content/view/133262398. [Diakses Tanggal 20 September 2023].
- Kunarso, N.S, S. Hadi, N.S. Ningsih dan M.S. Baskoro. (2011). Variabilitas suhu dan klorofil-a di daerah *upwelling* pada

variasi kejadian ENSO dan IOD di Perairan Jawa Sampai Timor. *Ilmu Kelautan*, 16(3): 171-180.

- Kurniawati F., Sanjoto T. B., Juhadi. (2015). Pendugaan zona potensi penangkapan ikan pelagis kecil di perairan laut jawa pada musim barat dan musim timur dengan menggunakan citra Aqua Modis. *Jurnal Geo Image*, 4(2): 11.
- Lalli, C.M., & T.R. Parson. (1994). *Biological oceanography: an introduction*. pergamon, BPC Wheatons Ltd, British. 301p.
- Martono. 2015. Pengaruh angin musim terhadap transport arus lintas Indonesia. *Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional*. Hal: 149
- Mustikasari, E., L.C.Dewi., A.Heriaty., dan W.S. Pranowo. (2015). Pemodelan pola arus barotropik musiman 3 dimensi (sd) untuk mensimulasikan fenomena *upwelling* di Perairan Indonesia. *Jurnal Segara*. 11 (1):25-35
- Mahagnyana, M., Limaran, G. D., & Fadlan, A. (2017). Pengaruh monsun terhadap kesuburan perairan utara jawa dengan menggunakan satelit Aqua Modis. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 37-40.
- Muhammad, A., J Marwoto, Kunarso, L Maslukah, Sri, Y. W. (2021). Sebaran spasial dan temporal klorofil-a di Perairan Teluk Semarang. *Indonesia Journal of Oceanography*, 3(3): 39-47.
- Oktaviani, A, P, P., Nining, S, Ningsih., Irsan S, Brodjonegoro., Anastasia, R, T, D, Tisnani. (2008). Analisis sinyal el nino southern oscillation (ENSO) dan hubungannya dengan variabilitas arus lintas Indonesia di Selat Lifamatola, *Ilmu Kelautan*, 13(4): 209-218.
- Putra, E., Gaol, JL. & Siregar, VP. (2014). Relationship chlorophyll-a concentration and sea surface temperature with primary pelagic fish catches in Java Sea from MODIS satellite images. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 3(1):1-10.
- Rasyid, A. (2011). Distribusi klorofil-a pada Musim Timur di Perairan Spermonde Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Fish Scientiae*. 1(2):105 – 116.
- Rahman I., Kunarso. (2022). Keterkaitan antara fenomena *upwelling* dan jumlah tangkapan (hook rate) tuna di Perairan Selatan Pulau Jawa-Bali. *Jurnal Ilmu Kelautan Lesser Sunda.*, 2(1):20-28
- Saji, N.H., B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, T. Yamagata. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401: 361-363.
- Susanto, R. D., A.L. Gordon and Q. Zheng. (2001). *Upwelling along the Coasts of Java and Sumatra and Its Relations to ENSO*. *Journal of Geophysical Research Letters*, 28(8): 1599 1602.
- Sugiyono. (2003). *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung: Alfabeta
- Susanto D, Moore TS, Marra J. 2006. Ocean color variability in Indonesian seas during the SeaWIFS era. *J Geochemistry Geophysics Geosystem*. 7:1525-2027.
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Susanto, R.D., A. Ffield, A.L. Gordon, and T.R. Adi. (2012). Variability of Indonesian throughflow within Makassar Strait, 2004-2009. *J. Geophys. Res.*, 117(C09013):1-16.
- Saraswata, A, G., P, Subardjo., Muslim. (2013.) Pengaruh monsoon terhadap distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan selatan Bali. *Jurnal Oseanografi*, 2(1):79-87.
- Setiawan, A.N., Dahiyat Y, Purba, N.P. (2013) Variasi sebaran suhu dan klorofil-a akibat pengaruh Arlindo terhadap distribusi ikan cakalang di Selat Lombok. *Depik*, 2(2): 58-69.

- Silubun, D. T., Gaol, J.L., Naulita, Y. (2015). "Estimasi intensitas upwelling pantai dari satelit aquamodis di Perairan Selatan Jawa Dan Barat Sumatera." *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(1): 21-29.
- Sipayung, S. B., Krismianto, & Risyanto. (2016). Analisis temperatur dan uap air berbasis satelit *terra/aqua* (MODIS, level-2). *Jurnal Penginderaan Jauh*, 13(1): 23-34.
- Wyrtki, K. (1961). Physical oceanography of the southeast asian waters. Naga Report Volume 2. *Scripps Institution of Oceanography*, La Jolla, California.
- Yuhendasmiko, R., Kunarso., Anindya W. (2016). Identifikasi variabilitas upwelling berdasarkan indikator suhu dan klorofil-a di Selat Lombok. *Jurnal Oseanografi*. 5 (4), 530 – 537.
- Zhang C, Han M. (2015). Mapping chlorophyll-a concentration in Laizhou Bay using Landsat 8 OLI data. Proceedings of the 36th IAHR World Congress. Netherland.