

VARIABILITAS KONSENTRASI KLOOROFIL-A DARI SATELIT AQUA MODIS SELAMA FASE *EL NINO SOUTHERN OSCILLATION* 2015-2020 DI SELAT MAKASSAR

VARIABILITY IN AQUA MODIS SATELLITE-DERIVED CHLOROPHYLL-A CONCENTRATIONS DURING THE EL NINO SOUTHERN OSCILLATION 2015-2020 IN THE MAKASSAR STRAIT

Mega Laksmini Syamsuddin^{1,*}, Ajeng Riska Puspita², Fadli Syamsudin^{1,3}, Sheila Zallesa¹, Qurnia Wulan Sari¹, dan Fitriie Meyllianawaty Pratiwy⁴

¹Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jalan Ir. Soekarno KM. 21 Jatinangor, Jawa Barat, 45363 Indonesia

²Program Studi Magister Konservasi Laut, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jalan Ir. Soekarno KM. 21 Jatinangor, Jawa Barat, 45363 Indonesia

³Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Jalan MH. Thamrin No 8, Jakarta Pusat, 10340, Indonesia

⁴Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jalan Ir. Soekarno KM. 21 Jatinangor, Jawa Barat, 45363 Indonesia

Teregistrasi I tanggal: 26 Desember 2022; Diterima setelah perbaikan tanggal: 17 Agustus 2024;

Disetujui terbit tanggal: 18 Agustus 2024

ABSTRAK

Selat Makassar adalah jalur utama yang dilewati oleh Arus Lintas Indonesia (Arlindo) sehingga kondisi oseanografinya sangat dipengaruhi oleh karakteristik massa air Samudera Pasifik. Konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar dipengaruhi oleh massa air yang terbawa oleh Arlindo dan masuknya nutrien dari daratan karena letaknya yang diapit oleh Pulau Kalimantan dan Pulau Sulawesi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis variabilitas konsentrasi klorofil-a dalam skala antar musiman maupun antar tahunan (*inter-annual*) yaitu fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) di Selat Makassar. Penelitian ini menggunakan data bulanan konsentrasi klorofil-a dari satelit Aqua-Modis dan indeks *Niño* 3.4 selama enam tahun (2015 – 2020). Penelitian ini menerapkan analisis spektrum wavelet untuk mendapatkan struktur variabilitas yang rinci dalam domain waktu dan frekuensi. Konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar memiliki nilai lebih tinggi pada musim barat ($0.61-0.65 \text{ mg/m}^3$) dan lebih rendah pada saat musim timur ($0.5-0.59 \text{ mg/m}^3$). Pada saat kejadian ENSO, konsentrasi klorofil-a tertinggi 0.75 mg/m^3 terjadi pada fase *La Niña* pada Januari 2017, sedangkan konsentrasi klorofil-a terendah 0.3 mg/m^3 terjadi pada fase *El Niño* kuat pada Oktober 2016. Hasil analisis *wavelet spectrum* menunjukkan variabilitas konsentrasi klorofil-a menunjukkan pola antar musiman dan antar tahunan di Selat Makassar.

Kata kunci: ENSO; Selat Makassar; variabilitas klorofil-a; wavelet spektrum

ABSTRACT

The Makassar Strait is the primary path of the Indonesian throughflow (ITF); thus, the oceanographic condition is strongly influenced by the water mass of the Pacific Ocean. The chlorophyll-a concentration in the Makassar Strait is affected by the water mass transported by the ITF and the influx of nutrients from the mainland, as a result of its positioning between the islands of Kalimantan and Sulawesi. This study aims to determine the variability of chlorophyll-a concentration in both inter-seasonal and inter-annual patterns, as well as the effect of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on chlorophyll-a concentration in the Makassar Strait. Data on chlorophyll-a concentration and the Niño 3.4 index from 2015 to 2020 were analyzed using wavelet spectrum analysis for detailed variability in time and frequency domains. Chlorophyll-a concentrations in the Makassar Strait were elevated during the northwest season ($0.61-0.65 \text{ mg/m}^3$) and diminished in the southeast season ($0.50-0.59 \text{ mg/m}^3$). During the ENSO event, the highest concentration of Chlorophyll-a occurred in the La Niña phase in January 2017, whereas the lowest concentrations corresponded with the strong El Niño phase in October 2016. Wavelet spectrum analysis indicated that chlorophyll-a concentration variability follows inter-seasonal and inter-annual patterns in the Makassar Strait.

Keywords: ENSO; Makassar Strait; chlorophyll-a variability; wavelet spectrum

Korespondensi penulis:

e-mail: mega.syamsuddin@unpad.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/bawal.16.2.2024.64-76>

Copyright © 2024, BAWAL WIDYA RISET PERIKANAN TANGKAP (BAWAL)

PENDAHULUAN

Perairan Selat Makassar berbatasan dan berhubungan dengan Samudera Pasifik di bagian utara serta Laut Jawa dan Laut Flores di bagian Selatan (Inaku, 2015; Syahdan, 2014). Hal itu menyebabkan perairan Selat Makassar dipengaruhi oleh karakteristik Samudera Pasifik dan juga merupakan bagian dari Sistem Pasifik Ekuator bagian barat. Beberapa proses fisik dan variabilitas iklim seperti curah hujan dan fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) merupakan faktor yang terkait erat dengan pola spasial dan temporal kondisi perairan Selat Makassar (Syahdan et al., 2021). Variabilitas iklim yang mengakibatkan pergeseran massa udara mempengaruhi interaksi dan dinamika antara atmosfer dan lautan (Dewi et al., 2020), seperti angin dan gelombang (Joseph & Kumar, 2021) serta suhu permukaan laut yang secara langsung mempengaruhi parameter oseanografi lainnya seperti konsentrasi klorofil-a (Gaol & Sadhotomo, 2017).

Selat Makassar juga dikenal sebagai salah satu jalur dari Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang membawa massa air hangat dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia (Atmadipoera & Widyastuti, 2014; Horhoruw et al., 2015; Koeshendrajana et al., 2019). Hal tersebut menjadikan perairan ini sebagai wilayah perairan yang dinamis dan subur sebagai daerah penangkapan ikan. Kesuburan perairan Selat Makassar terjadi sepanjang tahun baik di Musim Barat maupun Musim Timur (Zainuddin et al., 2023). Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Indonesia (WPPN-RI 713) yang termasuk didalamnya perairan Selat Makassar menyumbang produksi ikan terbesar kedua di Indonesia.

Kelimpahan fitoplankton biasanya diasosiasikan dengan tingginya konsentrasi klorofil-a yang menjadi indikasi produktivitas perairan yang tinggi (Yogaswara, 2020). Kondisi oseanografi suatu perairan sangat berhubungan dengan tinggi rendahnya konsentrasi serta sebaran klorofil-a (Syetiawan, 2015). Konsentrasi klorofil-a merupakan pigmen fotosintetik dari fitoplankton (Nufus et al., 2017). Penelitian sebelumnya oleh Syamsuddin, et al., (2016) menyebutkan bahwa sebagian besar jenis fitoplankton yang hidup di dalam laut mengandung klorofil-a. Klorofil-a adalah salah satu pigmen yang terkandung dalam fitoplankton dan merupakan bagian yang terpenting dalam proses fotosintesis. Keberadaan fitoplankton dapat dideteksi berdasarkan kemampuan klorofil-a dalam menyerap cahaya biru dan hijau (Prianto et al., 2013).

Dalam rantai makanan di perairan, fitoplankton berperan sebagai produsen primer yang dapat mempengaruhi kesuburan perairan dan keberadaan ikan (Syafriani & Apriadi, 2017). Dengan demikian, adanya sebaran konsentrasi klorofil-a menjadi indikasi banyaknya ikan pada perairan tersebut (Unepetty et al., 2022). Penelitian lain menyatakan bahwa pada wilayah perairan laut, produksi ikan atau produktivitas daerah penangkapan ikan dapat diidentifikasi dengan indeks klorofil-a (EY et al., 2018),

Letak geografis dan kedalaman suatu perairan menjadikan sebaran konsentrasi klorofil-a di laut bervariasi. Hal tersebut disebabkan oleh adanya perbedaan intensitas cahaya matahari dan konsentrasi nutrien yang terkandung di dalam perairan. Pada perairan pantai dan pesisir, sebaran konsentrasi klorofil-a lebih tinggi dibandingkan dengan perairan lepas pantai yang konsentrasi klorofil-a nya lebih rendah (Kurniawati, 2015). Di laut, konsentrasi klorofil-a bervariasi secara vertikal karena dipengaruhi oleh faktor-faktor oseanografi seperti suhu permukaan laut, angin, arus dan lain lain (Parsons et al., 2013). Distribusi klorofil-a pada kolom perairan sangat tergantung pada konsentrasi nutrien. Pada permukaan laut, nutrien memiliki konsentrasi rendah dan berubah – ubah. Konsentrasi nutrien tersebut akan meningkat berbanding lurus dengan bertambahnya kedalaman serta mencapai nilai maksimum di sekitar dasar perairan (Iskandar et al., 2022; Lavigne et al., 2015; Safruddin et al., 2014).

Suatu wilayah perairan dapat diindikasikan sebagai perairan kaya akan keberadaan ikan jika kandungan klorofil-a perairan tersebut tinggi. Hal itu dapat terjadi karena perairan tersebut kaya akan makanan (Linus et al., 2016; Agung et al., 2018; Garini et al., 2021). Tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a di suatu perairan diklasifikasikan dalam tiga kategori, yaitu rendah, dimana konsentrasi klorofil-a $> 0,2 \text{ mg/m}^3$ cukup, dengan konsentrasi klorofil-a berkisar antara $0,2-0,4 \text{ mg/m}^3$, 3) subur, ketika konsentrasi klorofil-a berkisar antara $0,4-2 \text{ mg/m}^3$ (Kurniawati, 2015). Penelitian mengenai variabilitas klorofil-a dilakukan (Xu et al., 2021) di wilayah Selatan Pulau Jawa-Sumatra dan (Setiawan et al., 2019) di bagian barat Kepulauan Sunda Kecil.

Dengan karakteristik dan dinamika oseanografi yang dimiliki, menjadikan Selat Makassar sebagai salah satu perairan yang cenderung lebih subur dibanding perairan Indonesia lainnya (Zainuddin et al., 2023). Adanya *run off* dalam jumlah besar dari daratan Kalimantan dan Sulawesi akibat tingginya curah hujan membuat perairan Selat Makassar subur pada MB. Sedangkan pada MT pertemuan massa air dari Samudera Pasifik dengan massa air Laut Jawa dan Laut Flores menyebabkan terjadinya *upwelling* di beberapa lokasi di bagian selatan Selat Makassar, hal tersebut membuat perairan Selat Makassar menjadi subur (Inaku, 2015). Penelitian ini akan menganalisis pola variabilitas konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar selama periode 2015-2020.

BAHENDAN METODE

Daerah penelitian berada di Selat Makassar dengan batas koordinat $5^{\circ}\text{LS}- 1^{\circ}\text{LU}$ dan $115^{\circ}\text{BT} - 121^{\circ}\text{BT}$ (Gambar 1). Selat Makassar pada sebelah barat berbatasan dengan Pulau Kalimantan dan sebelah timur berbatasan dengan Pulau Sulawesi. Selain itu, Selat Makassar juga menjadi penghubung antara perairan Laut Sulawesi dan Laut Jawa di bagian utara dan selatan.

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data bulanan konsentrasi klorofil-a dari satelit Aqua/Modis dan indeks anomali suhu permukaan laut berupa index Niño 3.4 selama kurun waktu Januari 2015 – Desember 2020 (periode 6 tahun). Keterangan mengenai data yang digunakan terdapat pada Tabel 1 berikut.

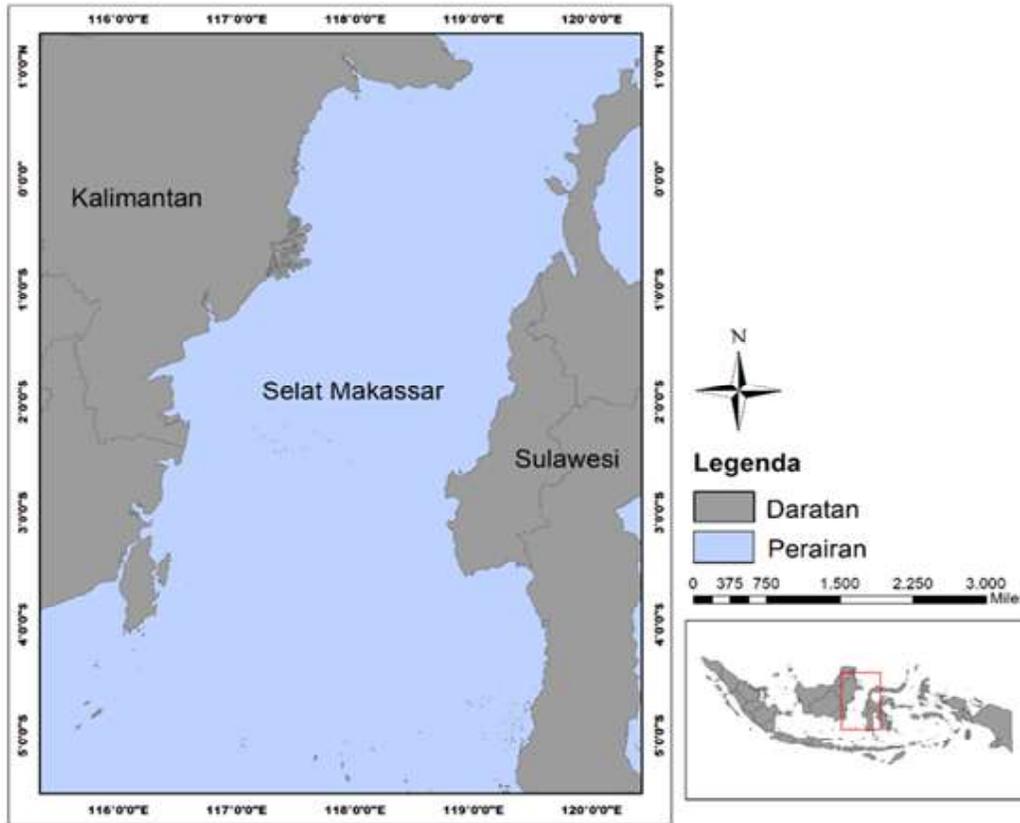
Metode

Tahap persiapan dan pengolahan data

Tahap persiapan meliputi studi literatur, perumusan

masalah serta pengumpulan data. Data citra berupa data konsentrasi klorofil-a yang diunduh melalui website Ocean Color dan indeks Niño 3.4 diperoleh melalui website NOAA Climate Prediction Center. Data citra klorofil-a yang digunakan adalah level 3. Data klorofil-a diolah secara spasial menghasilkan profil horizontal konsentrasi klorofil-a dan secara temporal dalam bentuk grafik time series dan rata-rata bulanan.

Standar deviasi merupakan ukuran jumlah variasi variabel acak terhadap nilai rata - rata yang dihasilkan sampel. Nilai standar deviasi digunakan dalam



Gambar 1 Peta wilayah riset di Selat Makassar
 Figure 1 Map of study area in the Makassar Strait

Tabel 1 Data yang digunakan dalam penelitian
 Table 1 Data used in the research

Parameter	Sensor	Satuan	Resolusi		Sumber
			Temporal	Spasial	
Klorofil - a	Aqua MODIS	mg/m ³	Bulanan	4 km	https://podaac.jpl.nasa.gov
Indeks Niño 3.4	-	°C	Bulanan		https://www.cpc.ncep.noaa.gov/

menentukan persebaran data pada suatu sampel data dan menilai seberapa dekat data-data tersebut dengan nilai rata-rata (Mikhail & Gracie, 1981; Wahyuni, 2020). Perhitungan standar deviasi dilakukan menggunakan persamaan:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

$$S = \sqrt{S^2} \quad (2)$$

Dimana:

S^2 = Varian

N = Banyak data

\bar{x} = Rata – rata nilai x

x_i = Nilai data x ke- i

s = Standar deviasi

Perhitungan nilai standar deviasi secara temporal dan spasial untuk mengetahui dinamika klorofil-a di Selat Makassar. Secara spasial, perhitungan standar deviasi dilakukan dengan tools “point to raster” dan menghitung nilai “standard_deviation” pada kolom cell assignment type. Pada skala waktu musiman maupun antar tahunan, secara temporal perhitungan standar deviasi dilakukan dengan menggunakan function STDEV di Ms. Excel setelah melakukan perhitungan rata - rata.

Analisis spektrum wavelet (Continuous Wavelet Transform/CWT) diterapkan untuk mengetahui lebih detail spektrum densitas energi yang memiliki variabilitas wavelet di mana efek tepi menjadi penting (Torrence & Compo, 1998).

HASIL DAN PEMBAHASAN

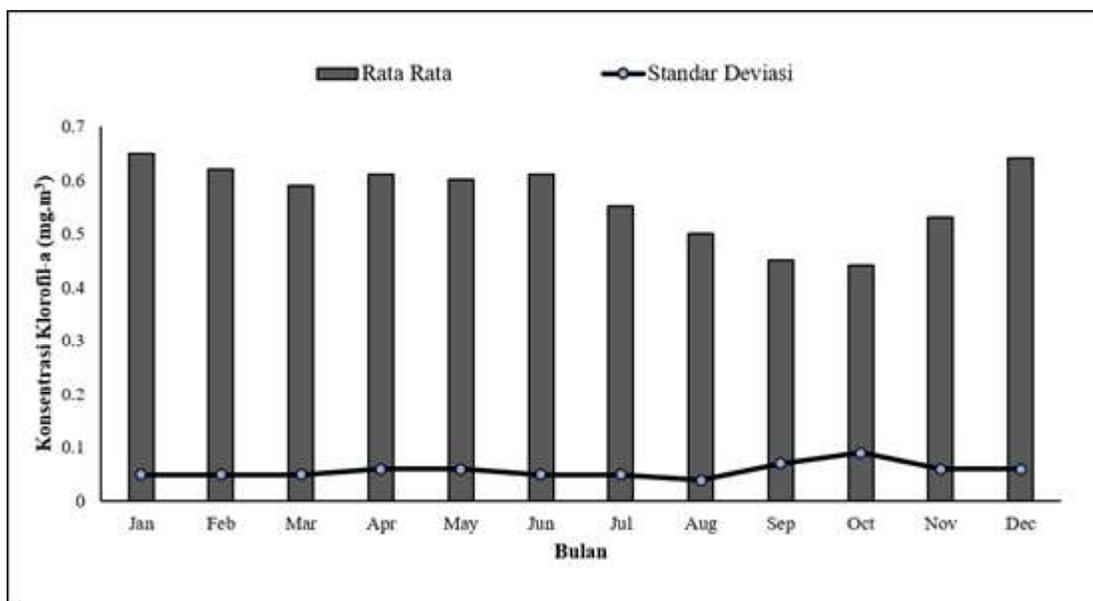
HASIL

a. Distribusi temporal dan spasial konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar

Nilai rata-rata bulanan konsentrasi klorofil-a di Perairan Selat Makassar pada periode tahun 2015 - 2020 berkisar antara 0,44 mg/m³ - 0,65 mg/m³. Untuk selanjutnya rata - rata bulanan konsentrasi klorofil-a dan nilai standar deviasinya dapat dilihat pada Gambar 2.

Selama periode tahun 2015 - 2020, rata - rata distribusi konsentrasi klorofil-a di perairan Selat Makassar mengalami nilai tertinggi pada bulan Januari dengan nilai konsentrasi 0,65 mg/m³ dan nilai terendah pada bulan Oktober 0,44 mg/m³. Pada periode Musim Barat (MB/ Desember-Februari), rata - rata konsentrasi klorofil-a memiliki nilai yang tinggi yaitu berkisar antara 0,53 mg/m³ - 0,65 mg/m³. Selanjutnya, konsentrasi klorofil-a pada periode muson peralihan I (Maret-Mei) berada di kisaran angka 0,59 mg/m³ - 0,61 mg/m³. Pada periode Musim Timur (MT/Juni-Agustus) mengalami penurunan yakni dengan kisaran angka 0,50 mg/m³ - 0,61 mg/m³. Selama periode muson peralihan II (SON) merupakan periode dengan nilai rata - rata konsentrasi klorofil-a terendah dengan nilai berkisar antara 0,44 mg/m³ - 0,53 mg/m³.

Nilai rata - rata konsentrasi klorofil-a yang rendah pada bulan Oktober (Allen, 2015; Damar et al., 2014; Mahlil et al., 2018; Rosdiana et al., 2017; Silva et al., 2015) sebanding dengan tingginya nilai standar deviasi pada bulan tersebut. Standar deviasi yang tinggi merepresentasikan tingginya dinamika klorofil-a di perairan Selat Makassar



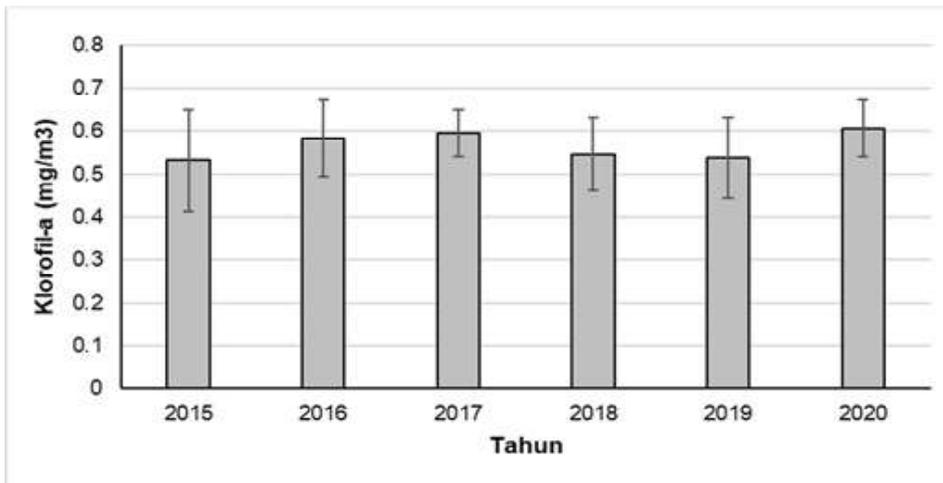
Gambar 2. Distribusi temporal rata – rata bulanan konsentrasi klorofil-a (batang) dan standar deviasi (garis) tahun 2015 – 2020

Figure 2. Temporal distribution of the monthly mean of chlorophyll-a concentration (depicted by bars) and the standard deviation (indicated by a line) from 2015 to 2020.

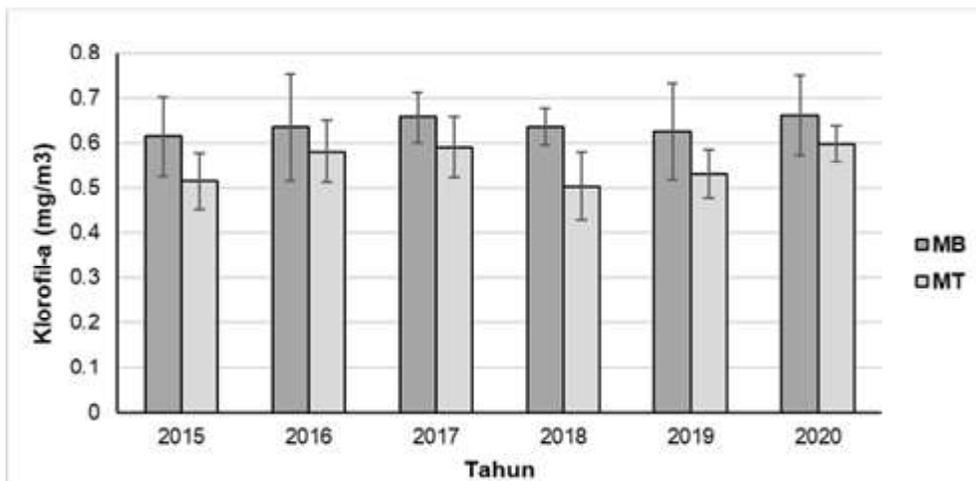
pada bulan Oktober. Sementara pada periode MB dengan nilai rata - rata bulanan klorofil-a terbesar, nilai standar deviasi yang diperoleh lebih rendah. Variasi rata-rata tahunan konsentrasi klorofil-a terdapat pada Gambar 3.

Berdasarkan pola antar tahunan selama rentang waktu enam tahun (2015 - 2020), nilai rata - rata konsentrasi tahunan klorofil-a di Selat Makassar cenderung berfluktuasi setiap tahunnya yakni berkisar antara 0,53 - 0,60 mg/m³ dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2020 dan terendah pada tahun 2015. Standar deviasi menunjukkan bahwa dinamika konsentrasi klorofil-a tertinggi terjadi pada tahun 2015 dengan nilai 0,11 mg/m³ dan terendah terjadi pada tahun 2017 dengan nilai 0,05 mg/m³. Untuk melihat pengaruh musim terhadap klorofil-a selama tahun 2015-2020, maka Gambar berikut menunjukkan nilai konsentrasi klorofil-a selama musim barat dan timur (Gambar 4).

Secara umum rata – rata klorofil-a di Selat Makassar pada periode musim barat relatif lebih tinggi dibanding musim timur. Nilai rata – rata klorofil-a pada musim barat cenderung stagnan setiap tahunnya yakni berkisar antara 0.61 – 0.65 mg/m³. Sementara nilai rata – rata konsentrasi klorofil-a berfluktuasi di setiap tahunnya. Nilai rata – rata konsentrasi klorofil-a selama musim timur berkisar antara 0,50 – 0,59 mg/m³, dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2020 dan terendah pada tahun 2018. Standar deviasi menunjukkan bahwa dinamika konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar pada periode musim barat tertinggi terjadi pada tahun 2016 dengan nilai 0,11 mg/m³ dan terendah terjadi pada tahun 2018 dengan nilai 0,04 mg/m³. Selanjutnya nilai standar deviasi tertinggi 0,07 mg/m³ terjadi pada tahun 2018 dan nilai terendah 0,04 mg/m³ terjadi pada tahun 2020 untuk dinamika konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar pada periode musim timur.



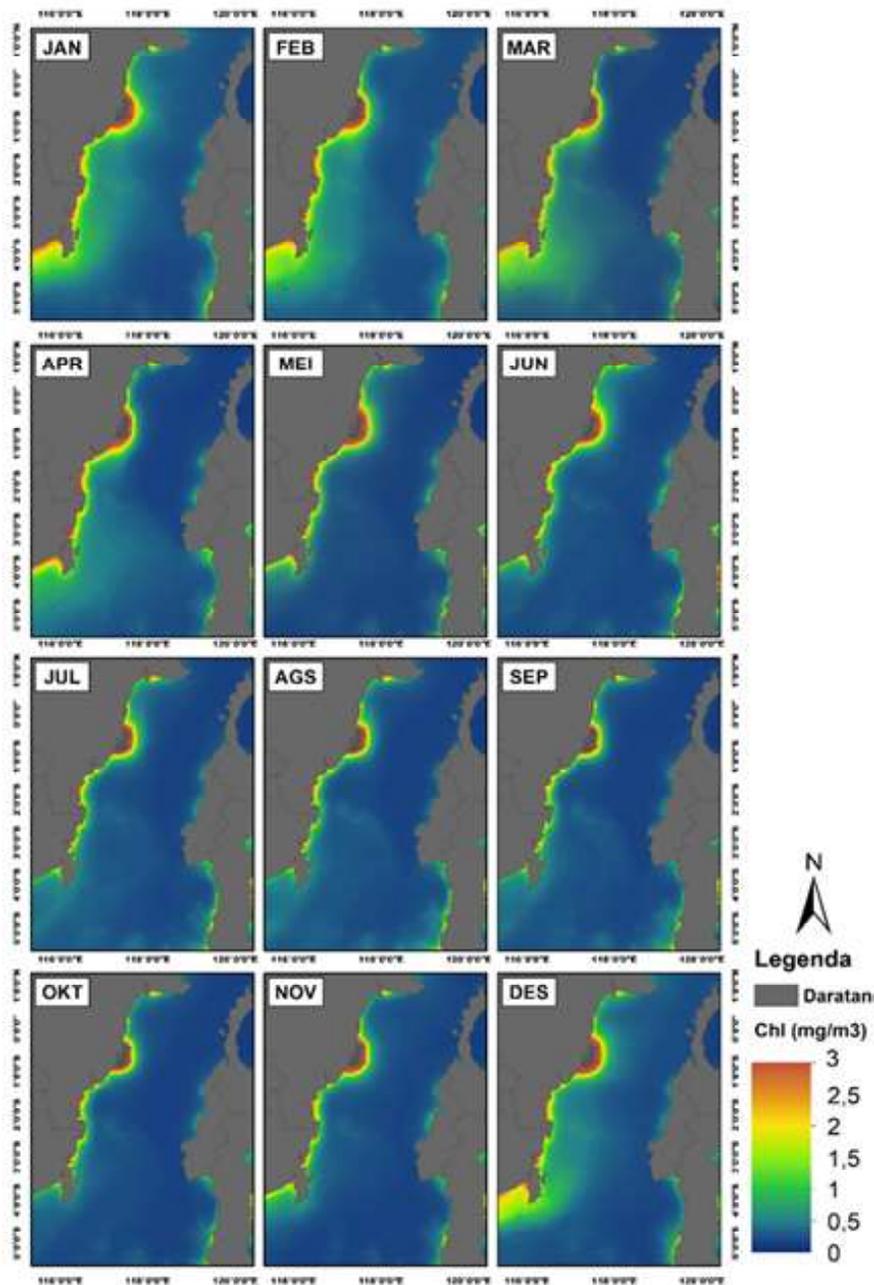
Gambar 3. Rata – rata tahunan konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar tahun 2015 – 2020
 Figure 3. The average annual concentration of chlorophyll-A in the Makassar Strait from 2015 to 2020.



Gambar 4. Rata - rata klorofil-a musim barat dan musim timur tahun 2015 - 2020 (batang), standar deviasi direpresentasikan oleh garis vertikal.
 Figure 4. The average chlorophyll-a levels for the northwest and southeast seasons from 2015 to 2020 are depicted by the bars, with the standard deviation indicated by the vertical lines.

Berdasarkan peta distribusi spasial rata – rata bulanan (Gambar 5), konsentrasi klorofil-a memiliki nilai yang relatif lebih tinggi (1-3 mg/m³) di bagian barat Selat Makassar, sebelah timur pesisir Kalimantan. Rata – rata konsentrasi dan distribusi klorofil-a tertinggi terjadi pada periode musim barat dengan 1.5 – 3 mg/m³ di bagian pesisir timur Pulau Kalimantan dan 0.5 – 1 mg/m³ di perairan lepas pantai. Adanya run off dalam jumlah besar dari daratan Kalimantan dan Sulawesi akibat tingginya curah hujan membuat perairan Selat Makassar lebih subur pada musim barat. Klorofil-a yang cenderung meningkat pada musim barat disebabkan oleh tingginya curah hujan pada saat itu yang diperkirakan membawa banyak nutrisi yang

berasal dari daratan atau pulau yang berada di sekitarnya (Putra et al., 2020). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Effendi et al. (2012) yang mengatakan bahwa konsentrasi klorofil-a yang tinggi di daerah pesisir pada saat musim penghujan (DJF) diakibatkan oleh banyaknya padatan yang tersuspensi ketika air sungai masuk ke dalam perairan. Tingginya nilai konsentrasi klorofil-a berlangsung hingga musim peralihan I. Kemudian distribusi klorofil-a terlihat berkurang dan sebarannya menyempit pada periode musim timur dan mencapai nilai terendah pada periode musim peralihan II dengan 0.1 – 0.5 mg/m³ di perairan lepas pantai dan 1 – 2.5 mg/m³ di wilayah pesisir timur Pulau Kalimantan.



Gambar 5. Distribusi spasial rata – rata bulanan klimatologi konsentrasi klorofil-a tahun 2015 – 2020
 Figure 5. Spatial Distribution of Mean Climatological Chlorophyll-a Concentrations from 2015 to 2020

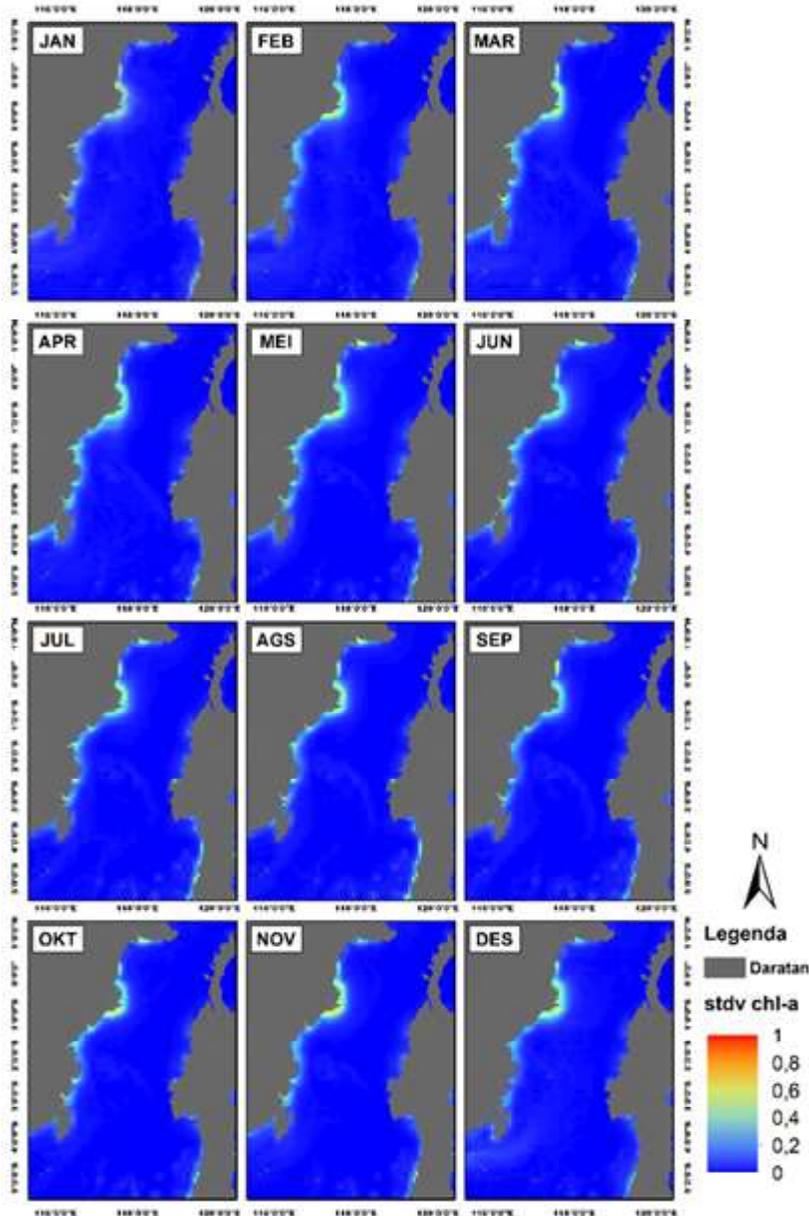
Standar deviasi menunjukkan bahwa dinamika konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar selama rentang waktu enam tahun (2015 - 2020) memiliki pola yang cenderung sama, namun nilai distribusi standar deviasi yang berbeda terlihat pada bulan November (Gambar 6). Pada bulan November nilai standar deviasi cenderung lebih tinggi dibanding bulan lainnya yakni dengan nilai 0,6 mg/m³ di bagian pesisir Pulau Kalimantan. Standar deviasi yang tinggi cenderung terjadi di sebelah barat perairan Selat Makassar khususnya pesisir timur Pulau Kalimantan.

b.Variabilitas ENSO dan kaitannya dengan konsentrasi klorofil-a

Selama kurun waktu tahun 2015 – 2020, peristiwa *El*

Niño sangat kuat pada tahun 2015 – 2016 dan peristiwa *La Niña* kuat pada tahun 2020. Gambar 7 menunjukkan time series kejadian ENSO berdasarkan Nino 3.4 index.

Fenomena *El Niño* ditandai dengan kenaikan suhu yang berada di atas 0.5°C sementara fenomena *La Niña* terjadi jika grafik berada kurang dari -0.5°C yang terjadi minimal selama 3 bulan berturut-turut. Selama periode tahun 2015 hingga tahun 2020, nilai indeks *Niño* menunjukkan anomali kenaikan suhu tertinggi terjadi pada periode 2015 - 2016. Pada tahun 2015 - 2016 nilai indeks *Niño* pada angka 1 hingga 2.5°C merepresentasikan terjadinya fenomena *El Niño* moderat menuju kuat pada bulan Juni 2015 hingga Maret 2016. Fase *La Niña* lemah terjadi pada periode Juni 2016 - Januari 2017 serta pada



Gambar 6. Peta standar deviasi konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar tahun 2015 – 2020.

Figure 6. Map of the standard deviation of chlorophyll-a concentration in the Makassar Strait in 2015–2020.

periode Agustus 2017 - Maret 2018. Pada periode bulan Oktober 2018 hingga Januari 2020 grafik anomali kenaikan suhu berada pada angka 0.5°C hingga 1°C yang merepresentasikan terjadinya El Niño lemah pada tahun tersebut. Fase La Niña moderat terjadi pada Agustus - Desember 2020 dengan grafik berada pada angka -0.5°C hingga -1.5°C. Selanjutnya hubungan antara konsentrasi klorofil-a per bulan dengan indeks Niño 3.4 selama 2015 - 2020 dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada grafik overlay konsentrasi klorofil-a dengan indeks Niño 3.4, tahun 2016 merupakan periode dengan nilai indeks Niño tertinggi yang merepresentasikan terjadinya fase El Niño pada periode tersebut. Fase El Niño moderat menuju kuat ditandai dengan grafik pada angka 1 - 2.5°C terjadi pada bulan Juni 2015 hingga Januari 2016 dengan fase terkuat terjadi pada bulan September 2015 - Januari 2016. Pada fase El Niño terkuat tersebut, klorofil-a berada pada konsentrasi 0.3 - 0.4 mg/m³. La Niña lemah terjadi pada periode Juni 2016 - Januari 2017 dengan konsentrasi klorofil-a 0.45 - 0.75 mg/m³. Pada Agustus 2017 - Maret 2018 terjadi fase La Niña lemah dengan konsentrasi klorofil-a 0.5 - 0.7 mg/m³. Kemudian fase La Niña moderat terjadi pada Agustus - Desember 2020 dengan konsentrasi klorofil-a 0.5 - 0.7 mg/m³. Konsentrasi klorofil tertinggi yaitu 0.75 mg/m³ terjadi ketika fase La Niña lemah pada bulan Januari 2017, sedangkan konsentrasi klorofil-a terendah yaitu 0.3 mg/m³ terjadi ketika fase El Niño kuat pada bulan Oktober 2016.

Periode dominan yang terkait dengan amplitudo dan rangkaian fase waktu dihitung dengan analisis wavelet spectrum. Analisis wavelet mengkonfirmasi indikasi dominan terkait amplitudo dan fase indeks Niño 3.4 serta klorofil-a. Analisis Continous Wavelet Transform (CWT)

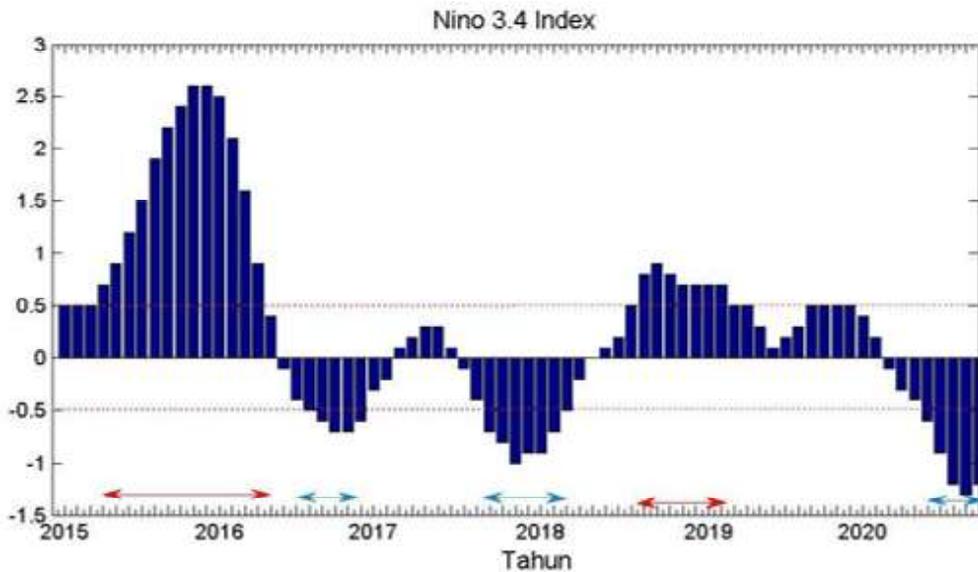
dapat digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh antar musiman atau antar tahunan dengan menginterpretasikan periodisitas data yang dominan (Syamsuddin et al., 2018). Pola spektrum densitas energi menggunakan interval kepercayaan 95% untuk parameter oseanografi yang dikaji (Gambar 9). Sumbu x merepresentasikan waktu (tahun) dan sumbu y merepresentasikan frekuensi periode (bulan). Skala warna mewakili amplitudo wavelet yang berbeda, garis hitam menunjukkan tingkat kepercayaan 95% dan garis hitam tipis menunjukkan kerucut pengaruh (cone of influence).

Hasil analisis wavelet spektrum menunjukkan pola antar tahunan yang kuat pada indeks Niño 3.4 dengan periode berkisar dari 12-20 bulan di sepanjang tahun pengamatan. Sedangkan pola musiman dengan periode 4-7 bulan ditunjukkan oleh klorofil-a pada bulan Juli 2016- Juni 2017 dan Juni 2018-Juni 2019. Konsentrasi klorofil-a juga menunjukkan pola antar tahunan yang kuat dengan periode 10-16 bulan terjadi selama tahun 2015-2020.

PEMBAHASAN

a. Distribusi temporal dan spasial konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar

Distribusi temporal rata - rata konsentrasi klorofil-a dalam rentang enam tahun di Selat Makassar memiliki nilai tertinggi pada tahun 2020, bersamaan dengan kejadian La Niña. Berdasarkan variabilitas musiman, musim barat memiliki nilai konsentrasi dan standar deviasi lebih tinggi dibanding musim timur. Standar deviasi yang tinggi merepresentasikan tingginya dinamika klorofil-a di Selat Makassar pada periode musim barat. Syahdan et al. (2014) menyatakan bahwa dinamika konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar dipengaruhi oleh sistem muson. Angin muson



Gambar 7. Nilai indeks Niño 3.4 selama tahun 2015 - 2020. Garis horizontal dengan panah di bawah grafik menunjukkan periode El Niño (garis merah) dan La Niña (garis biru)

Figure 7. Niño 3.4 Index value during the years 2015-2020. The horizontal lines with arrows at the bottom of this graph showed the periods of El Niño (red line) and La Niña (blue line).

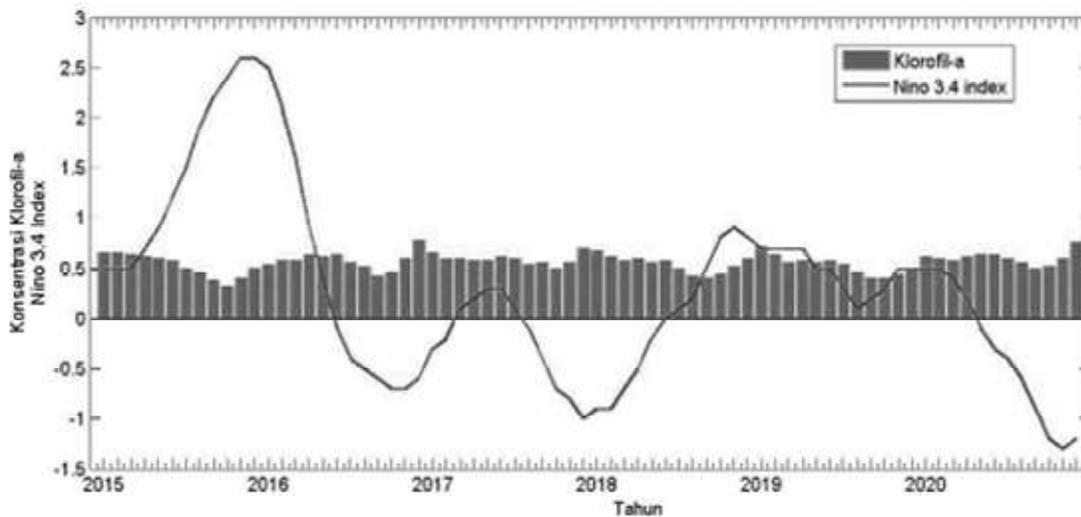
tenggara yang berhembus selama musim timur memainkan peran utama dalam pembentukan upwelling, yang berdampak pada konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar (Setiawan & Kawamura, 2011). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Atmadipoera & Widyastuti (2014) yang menyatakan bahwa angin muson merupakan faktor utama yang mempengaruhi variabilitas klorofil-a di Selat Makassar.

Pola spasial variabilitas konsentrasi klorofil-a diketahui dengan memetakan rata-rata bulanan klorofil-a selama tahun 2015-2020 (Gambar 5). Secara spasial, distribusi konsentrasi klorofil-a menunjukkan konsistensi tingginya konsentrasi klorofil-a di perairan timur Pulau Kalimantan (sebelah barat Selat Makassar) yang terjadi sepanjang tahun. Sedangkan di Perairan Selat Makassar sebelah timur, dekat daratan Pulau Sulawesi, nilai konsentrasi klorofil-a cenderung berfluktuasi sesuai perubahan musim. Tingginya konsentrasi klorofil-a di pesisir Pulau Kalimantan dibandingkan dengan Pulau Sulawesi dikarenakan lebih banyaknya sungai di pulau Kalimantan tersebut. Limpasan air sungai berakibat pada tingginya suplai nutrisi dari daratan ke muara dan terus berkurang hingga lepas pantai (Aryawati & Thoha, 2011; Intansari et al., 2018). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Aryawati & Thoha (2011) yang menemukan bahwa pasokan nutrisi dari darat mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a di perairan Kalimantan Timur.

Rata-rata konsentrasi klorofil-a pada periode MB relatif lebih tinggi disetiap bulannya. Pada bulan Desember rata-rata konsentrasi klorofil-a berada pada nilai $2 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3$ di dekat perairan Kalimantan Timur. Pada bulan

Januari dan Februari, sebaran konsentrasi klorofil-a bergerak dari perairan Kalimantan menuju perairan Sulawesi. Pada musim peralihan I, konsentrasi klorofil-a lebih tinggi ($2 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3$) terdapat di sepanjang garis perairan Kalimantan. Hal ini menjadikan terlihatnya perbedaan yang signifikan antara bagian barat dan timur Selat Makassar. Nilai konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi pada musim barat dipengaruhi oleh adanya run off dari Pulau Kalimantan akibat tingginya curah hujan. Klorofil-a yang cenderung lebih tinggi ketika MB karena banyak nutrisi yang berasal dari daratan atau pulau yang berada di sekitarnya yang dibawa oleh tingginya curah hujan pada saat itu yang (Allen, 2015; Damar et al., 2014; Mahlil et al., 2018; Rosdiana et al., 2017; Silva et al., 2015).

Sebaran klorofil-a bergerak ke bagian timur Selat Makassar yakni Pulau Sulawesi pada MT dengan konsentrasi yang lebih rendah dengan nilai $0,2 \text{ mg/m}^3 - 1,5 \text{ mg/m}^3$. Hal ini sesuai dengan penelitian Kunarso et al. (2022) mengenai variabilitas klorofil-a di Selat Makassar. Kemudian pada musim peralihan II, konsentrasi klorofil-a kembali menurun dalam kisaran $0,2 \text{ mg/m}^3 - 0,8 \text{ mg/m}^3$ dengan sebaran yang lebih merata diseluruh perairan. Hal itu menjadikan musim peralihan II sebagai periode dengan konsentrasi klorofil-a terendah. Sementara distribusi konsentrasi klorofil-a tertinggi terjadi pada MB khususnya bulan Desember. Dari penjelasan ini terlihat bahwa fluktuasi konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar dipengaruhi oleh faktor musiman. Hal ini sejalan dengan Nababan (2016) yang menganalisis konsentrasi klorofil-a di Laut Jawa.



Gambar 8. Variabilitas konsentrasi klorofil-a (batang) dan anomali SPL dari indeks Niño 3.4 (garis) selama periode 2015-2020

Figure 8. Variability in chlorophyll-a concentration (represented by bars) and sea surface temperature (SST) anomalies from the Niño 3.4 index (depicted as a line) during the period 2015-2020.

b. Variabilitas ENSO dan kaitannya dengan konsentrasi klorofil-a

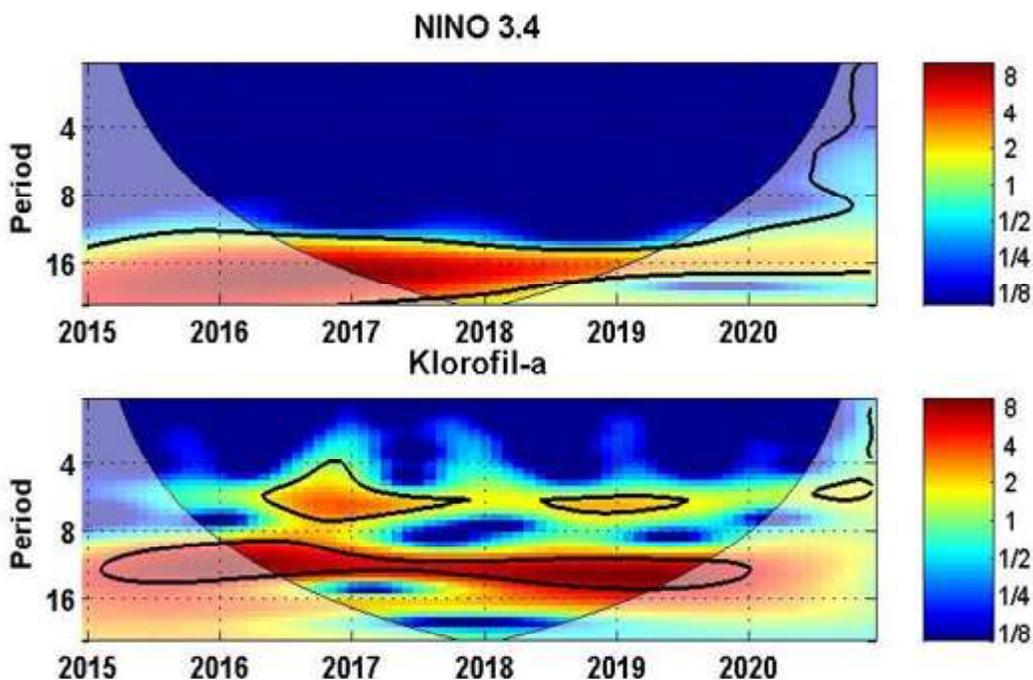
Spektrum energi yang signifikan memiliki variabilitas musiman, antar musim, tahunan dan antar tahunan. Hasil analisis wavelet CWT pada indeks Niño 3.4 menunjukkan indikasi antar tahunan yang kuat dengan periode 12 - 20 bulan yang terjadi hampir sepanjang tahun. Konsentrasi klorofil-a menunjukkan indikasi musiman yang kuat (4 - 7 bulan) terjadi pada Juli 2016 - Juni 2017 dan Juni 2018 - Juni 2019. Indikasi antar tahunan yang kuat dengan periode 10 - 16 bulan terjadi selama 2015 - 2020. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia oleh Arlindo berdampak besar terhadap konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar (Unepetty et al., 2022).

Selama periode enam tahun (2015 - 2020), analisis wavelet menunjukkan anomali SPL (indeks Niño) dan klorofil-a memiliki pola antar tahunan yang kuat. McPhaden et al. (2006) mengatakan bahwa ENSO mendominasi variabilitas iklim antar tahunan di wilayah tropis Pasifik. ENSO tidak hanya berpengaruh terhadap variabilitas iklim dan cuaca tetapi juga berpengaruh terhadap variabilitas produktivitas laut (Dewi et al., 2018). Variabilitas klorofil-a di Selat Makassar lebih terpengaruh oleh ENSO dibanding wilayah lain di sekitarnya (Wirasatriya et al., 2017). Terjadinya ENSO mengakibatkan anomali pada suhu permukaan laut (SPL) yang kemudian mempengaruhi konsentrasi klorofil-a di perairan. Hal tersebut berdasar

pada pola sebaran klorofil-a yang dipengaruhi oleh SPL (Sartimbul et al., 2010). ENSO juga mempengaruhi jumlah curah hujan akibat perubahan SPL.

Diketahui bahwa fenomena ENSO turut mempengaruhi aliran Arlindo dan SPL di Selat Makassar. Menurut Sprintall et al., (2014), fase El Niño berdampak dalam mengurangi kontribusi Arlindo Makassar, sebaliknya pada saat fase La Niña, aliran Arlindo Makassar mengalami penguatan. SPL dingin selama fase El Niño berdampak kepada menurunnya curah hujan di wilayah pesisir Kalimantan dan Sulawesi sehingga berkontribusi pada menurunnya konsentrasi Klorofil-a. Fase El Niño dapat memperlambat datangnya musim hujan serta mengurangi total curah hujan. Sebaliknya, La Niña menyebabkan musim hujan terjadi lebih cepat disertai curah hujan yang lebih tinggi (Anugrah et al., 2020).

Konsentrasi klorofil-a pada periode La Niña cenderung lebih tinggi dibanding periode El Niño, hal ini diakibatkan oleh tingginya curah hujan yang membawa nutrient dari darat ke laut (Nababan, 2016) di pesisir timur Kalimantan. Nababan (2016) juga menyebutkan bahwa variabilitas konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar secara umum dipengaruhi oleh masuknya air tawar dari sungai yang berada di Pulau Kalimantan dan Sulawesi Selatan.



Gambar 9. Spektrum Continuous Wavelet Transform (CWT) untuk indeks Niño 3.4 dan konsentrasi klorofil-a berdasarkan data rata – rata bulanan selama tahun 2015 – 2020.

Figure 9. Wavelet power spectrum analysis of the Niño 3.4 index and chlorophyll-a concentration, utilizing raw data (monthly mean) from the period 2015–2020.

KESIMPULAN

Variabilitas konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar menunjukkan pola musiman dan antar tahunan yang kuat. Selama periode tahun 2015 – 2020, konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar memiliki nilai lebih tinggi pada musim barat (0.61-0.65 mg/m³) dan lebih rendah pada saat musim timur (0.5-0.59 mg/m³). Pada saat kejadian ENSO, konsentrasi klorofil-a tertinggi 0.75 mg/m³ terjadi pada fase *La Niña* pada Januari 2017, sedangkan konsentrasi klorofil-a terendah 0.3 mg/m³ terjadi pada fase *El Niño* kuat pada Oktober 2016. Tingginya konsentrasi klorofil-a pada musim barat dan fase *La Niña* di pesisir timur Kalimantan menunjukkan bahwa klorofil-a lebih dipengaruhi oleh curah hujan yang meningkatkan run-off sungai yang membawa nutrisi ke laut. Analisis spektrum *wavelet* membuktikan adanya pengaruh musim dan ENSO terhadap konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar.

PERSANTUNAN

Peneliti berterima kasih kepada *NASA Ocean Color* (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) untuk data klorofil-a dari satelit Aqua Modis serta *Climate Prediction Center NOAA* untuk data indeks *Niño* 3.4. Peneliti juga berterima kasih kepada Universitas Padjadjaran, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas hibah Riset Keilmuan LPDP Indonesia tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A., Zainuri, M., Wirasatriya, A., Maslukah, L., Subardjo, P., Suryosaputro, A. A. D., & Handoyo, G. (2018). Analisis Sebaran Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut sebagai Fishing Ground Potensial (Ikan Pelagis Kecil) di Perairan Kendal, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2), 67-74.
- Allen, K., Corre M.D., Tjoa A., & Veldkam A. (2015). Soil Nitrogen-Cycling Responses to Conversion of Lowland Forests to Oil Palm and Rubber Plantations in Sumatra, Indonesia. *Plos One*, 10(7), 0133325.
- Anugrah, N. N., Samad, W., & Berlianty, D. (2020). The Changes in Oceanographic Condition of Makassar Strait Related with El Nino Southern Oscillation (ENSO) Events of 2009 - 2019. *IOP Conference Series.: Earth Environmental Science*, 618 012017
- Aryawati, R., & Thoha, H. (2011). Hubungan Kandungan Klorofil-a dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Berau Kalimantan Timur. *Maspari Journal*, 02, 89 - 94.
- Atmadipoera, A. S. & Widyastuti, P. (2014). A Numerical Modeling Study on Upwelling Mechanism in Southern Makassar Strait. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2), 355-371.
- Damar, A., Colijn, F., & Hesse, K. (2014). Effects of different nutrient loadings on planktonic primary production in embayments of Indonesia. *Journal of Tropical Biology and Conservation*, 11(1), 63-85.
- Dewi, D. M. P. R., Fatmasari, D., Kurniawan, A., & Munandar, M. A. (2018). The impact of ENSO on regional chlorophyll-a anomaly in the Arafura Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 139(1), 1-7.
- Dewi, Y. W., Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Helmi, M., Marwoto, J., & Maslukah, L. (2020). Effect of ENSO on the Variability Sea Surface Temperature (SST) in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530(1), p.012007
- Effendi, R., Palloan, P., & Ihsan, N. (2012). Analisis konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar Kota Makassar menggunakan data Satelit Topex/Poseidon. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 8(3).
- EY. M. Habib, Nofrizal, & Mubarak. (2018). Pengaruh Sebaran Klorofil-a Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Pada Pengoperasian Purse Seine Di Perairan Aceh. *Berkala Perikanan Terubuk*, 46(1), 56-63.
- Gaol, J. L., & Sadhatomo, B. (2017). Karakteristik dan variabilitas parameter - parameter oseanografi Laut Jawa hubungannya dengan distribusi hasil tangkapan ikan. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 13(3), 201 - 211.
- Garini, B. N., Suprijanto, J., & Pratikto, I. (2021). Kandungan Klorofil-a dan Kelimpahan di Perairan Kendal, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 10(1), 102-108.
- Horhoruw, S. M., Atmadipoera, A. S., Purba, M., & Purwadana, A. (2015). Struktur Arus dan Variasi Spasial Arlindo di Selat Makassar dari EWIN 2013. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 20(2), 87-100.
- Inaku, D. F. (2015). Analisis Pola Sebaran dan Perkembangan Area Upwelling di Bagian Selatan Selat Makassar. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 25(2), 67-74.
- Intansari, G., Jumarang, M. I., & Apriyansyah. (2018). Variabilitas Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut di Perairan Selat Karimata. *PRISMA*, 6(1), 76 - 79.
- Iskandar, I., Wulan Sari, Q., Johan Wahyudi, A., & Mardiansyah, W. (2022). Vertical Chlorophyll-a Concentration Profiles Observed on The Western Coast of Northern Sumatera During the 2017 Northeast Monsoon. *Science and Technology Indonesia*, 7(1), 36-44.
- Joseph, D., & Kumar, V. S. (2021). Response of Ocean Surface Waves to the Co-Occurrence of Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation and El Nino Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 57(3-4), 1155 - 1171.
- Koeshendrajana, S., Rusastra, I. W., & Martosubroto, P. (2019). Potensi Sumber Daya Kelautan dan Perikanan (p.172). Jakarta: Amafrad Press
- Kunarso, Graharto, S. R., & Wulandari, S. Y. (2022). Identifikasi Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a serta Intensitas Upwelling di Selat Makassar. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 206-214.
- Kurniawati, F. (2015). Pendugaan Zona Potensi Penangkapan Ikan Pelagis Kecil Di Perairan Laut Jawa Pada Musim Barat Dan Musim Timur Dengan Menggunakan Citra Aqua Modis. *Geo-Image*, 4(2), 9-

- 19.
- Lavigne, H., D'Ortenzio, F., Ribera D'Alcalà, M., Claustre, H., Sauzède, R., & Gacic, M. (2015). On the vertical distribution of the chlorophyll a concentration in the Mediterranean Sea: A basin-scale and seasonal approach. *Biogeosciences*, 12(16), 5021-5039.
- Linus, Y., Salwiyah & Irawati, N. (2016). Status Kesuburan Perairan Berdasarkan Kandungan Klorofil-a di Perairan Bungkutoko Kota Kendari. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 2(1), 101-111.
- Mahlil, T., Inoue, T., Matsumoto, Y., Aoki, S., Kato, S., Yokota, K., Rasul, E., & Saga, M. (2018). Effect of nutrient inputs on water quality change and phytoplankton growth in atsumi bay. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 50(4), 548-565.
- McPhaden, M. J., Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. (2006). ENSO as an integrating concept in Earth Science. *Science*, 314(5806), 1740 - 1745.
- Mikhail & Gracie. (1981). *Analysis and Adjustment of Survey Measurement*, Van. Nostrand Reinhold Company Inc.
- Nababan, B. (2016). Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Teluk Jakarta dan Sekitarnya. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(1), 385-402.
- Nufus, H., Karina, S., & Agustina, S. (2017). Analisis Sebaran Klorofil-a dan Kualitas Air Di Krueng Raba Lhoknga, Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(1), 58-65.
- Parson RT, Takeshi M & Hargrave B. (2013). *Biological Oceanography Processes* (p. 317). Elsevier.
- Prianto, Ulqodry, T. M., & Aryawati, R. (2013). Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a di Selat Bangka dengan Menggunakan Citra Aqua-Modis. *Maspuri Journal*, 5(1), 22-33.
- Putra, T. W. L., & Kunarso, K. (2020). Distribusi Suhu, Salinitas dan Densitas di Lapisan Homogen dan Termoklin Perairan Selat Makassar. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2), 84-94.
- Rosdiana, A., Prartono, T., Atmadipoera, A. S., & Zuraida, R. (2017). Nutrient and chlorophyll - A distribution in Makassar Upwelling Region: From MAJAFLOX CRUISE 2015. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54(1), 1755-1315.
- Safuruddin, Zainuddin, M., & Rani, C. (2014). Predicting potential fishing zones of large pelagic fish in Mamuju Regency Waters. *Jurnal IPTEKS PSP*, 1(2), 185-195.
- Sartimbul, A., Nakata, H., Rohadi, E., Yusuf, B., & Kadarsima, H. P. (2010). Variation in Chlorophyll-a Concentration and The Impact on *Sardinella Lemuru*. *Progress in Oceanography*, 87, 168 - 174.
- Setawan, R. Y., & Kawamura, H. (2011). Summertime Phytoplankton Bloom in the South Sulawesi Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, 4(1), 241 - 244.
- Setiawan, R. Y., Setyobudi, E., Wirasatriya, A., Muttaqin, A. S., & Maslukah, L. (2019). The Influence of Seasonal and Interannual Variability on Surface Chlorophyll-a off the Western Lesser Sunda Islands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(11), 4191-4197.
- Silva, M. A. M., Souza, M. F. L., & Abreu, P. C. (2015). Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll-a in a tropical estuary in northeastern Brazil: Dynamics of nutrient removal. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63(1), 1-15.
- Sprintall, J., A.L. Gordon, A. Koch-Larrouy, T. Lee, J.T. Potemra, K. Pujiana, & S.E. Wijffels. (2014). The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience*, 7, 487-492, doi:10.1038/NGEO2188.
- Syafriani, R. & Apriadi, T. (2017). Keanekaragaman Fitoplankton di Perairan Estuari Sei Terusan Kota Tanjungpinang. *Limnotek: perairan darat tropis di Indonesia*, 24(2), 74-82.
- Syahdan, M., Atmadipoera, A. S., Susilo, S. B., & Gaol, J. L. (2014). Variability of Surface Chlorophyll-a in The Makassar Strait-Java Sea, Indonesia. *International Journal of Science*, 14(2), 103-116.
- Syahdan, M., Atmadipoera, A. S., Susilo, S. B., & Gaol, J. L. (2021). Spatial and temporal variability of satellite sea surface temperature in the Makassar Strait and the Java Sea. *IOP Conference Series Earth and Environment*, 944012049.
- Syamsuddin, M., Sunarto, S., & Yuliadi, L. (2016). Environmental variability associated with Eastern Little Tuna [*Eutynnus affinis* (Cantor, 1849)] catches: a case for the north Indramayu waters, Java Sea. *Jurnal Teknologi*, 78(4-2), 1-5.
- Syamsuddin, M., Sunarto, & Yuliadi, L., (2018). Seasonal variations of oceanographic variables and Eastern Little Tuna (*Eutynnus affinis*) catches in The North Indramayu Waters Java Sea. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 116(1), 1755-1315.
- Syatiawan, A. (2015). Penentuan Zona Potensi Penangkapan Ikan Berdasarkan Sebaran Klorofil-a. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 21(2), 131-136.
- Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61 - 78.
- Unepetty, B. A. S., Tubalawony, S., & Noya, Y. A. (2022). Klorofil-a dan kaitannya terhadap Produktifitas Primer Perairan Laut Banda pada Fenomena La Nina. *Nekton*, 2(1), 57-65.
- Wahyuni, M. (2020). *Statistik Deskriptif Untuk Penelitian Oleh Data Manual dan SPSS Versi 25*. Yogyakarta: Bintang Pustaka Madani.
- 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.

- Xu, T., Wei, Z., Li, S., Susanto, R. D., Radiarta, N., Yuan, C., Setiawan, A., Kuswardani, A., Agustiadi, T., & Trenggono, M. (2021). Satellite-Observed Multi-Scale Variability of Sea Surface Chlorophyll-a Concentration along the South Coast of the Sumatra-Java Island. *Remote Sensing*, 13, 2817.
- Yogaswara, D. (2020). Distribusi dan Siklus Nutrien di Perairan Estuari serta Pengendaliannya. *Oseana*, 45(1), 28-39.
- Zainuddin, M., Safruddin, S., Farhum, A., Budimawan, B., Hidayat, R., Selamat, M.B., Wiyono, E.S., Ridwan, M., Syamsuddin, M., & Ihsan, Y.N. (2023). Satellite-Based Ocean Color and Thermal Signatures Defining Habitat Hotspots and the Movement Pattern for Commercial Skipjack Tuna in Indonesia Fisheries Management Area 713, Western Tropical Pacific. *Remote Sensing*, 15, 1268.