

IDENTIFIKASI VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DAN KLOROFIL-A LOMBOK STRAIT PADA TRIPLE-DIP LA NIÑA 2020-2022

Daniar Ihza Carundyatama*, Bima Arzhida, Putu Widya Novitarini,
Imma Redha Nugraheni

Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika,
Kota Tangerang, 15119, Indonesia

*Korespondensi: imma.redha@stmkg.ac.id

(Diterima 15-08-2024; Direvisi 25-10-2024; Disetujui 07-12-2024)

ABSTRAK

Fenomena La Niña sering menimbulkan perubahan signifikan pada suhu permukaan laut dan dinamika ekosistem laut dalam konteks perubahan iklim global. Studi ini fokus pada pengaruh *Triple-Dip* La Niña 2020-2022 di Selat Lombok yang berpotensi mempengaruhi keseimbangan biologis maritim. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memahami variabilitas suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a selama periode *Triple-Dip* La Niña. Penelitian menggunakan data *Sea Surface Temperature* (SST) dan *chlorophyll* (*chlor_a*) dari satelit Aqua-MODIS dan juga data arah dan kecepatan angin dalam bentuk *Windrose* di Mataram, Nusa Tenggara Barat selama periode 2020 hingga 2022 dengan periode 3 bulanan untuk meninjau variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a yang terjadi. Pendekatan statistik, termasuk kalkulasi koefisien korelasi, diaplikasikan untuk menentukan hubungan antarvariabel. Ditemukan bahwa suhu tertinggi terjadi pada tahun 2020, sementara konsentrasi klorofil-a tertinggi tercatat pada tahun yang sama, khususnya di wilayah pesisir dengan suhu permukaan laut yang relatif lebih rendah dari sekitarnya. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh lemah antara klorofil-a dan SST pada wilayah Selat Lombok.

Kata kunci: klorofil-a, suhu permukaan laut, *Triple-Dip* La Niña

*Identification of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Variability
in the Lombok Strait During the Triple-Dip La Niña Event (2020–2022)*

ABSTRACT

The *La Niña* phenomenon often causes significant changes in sea surface temperature and deep-sea ecosystem dynamics in the context of global climate change. This study focuses on the impact of the 2020–2022 *Triple-Dip* *La Niña* in the Lombok Strait, which potentially affects maritime biological equilibrium. The research aims to identify and understand the variability of *Sea Surface Temperature* (SST) and *chlorophyll-a* concentrations during the *Triple-Dip* *La Niña* period. The study utilizes *Sea Surface Temperature* (SST) and *chlorophyll* (*chlor_a*) data from the *Aqua-MODIS* satellite, as well as wind direction and speed data in the form of *Windrose* diagrams in Mataram, West Nusa Tenggara, from 2020 to 2022, with a three-month interval to examine the variability in SST and chlorophyll-a concentrations. Statistical approaches, including correlation coefficient calculations, were applied to determine the relationships between variables. It was found that the highest temperature occurred in 2020, while the highest chlorophyll-a concentration was also recorded in the same year, particularly in coastal areas where the sea surface temperature was relatively lower than the surrounding areas. The results indicate a weak correlation between chlorophyll-A and SST in the Lombok Strait region.

Keywords: chlorophyll-A, sea surface temperature, *Triple-Dip* *La Niña*

PENDAHULUAN

Selama musim dingin di belahan bumi utara dari tahun 2020 hingga 2023, Pasifik tropis mengalami peristiwa *Triple-Dip* *La Niña*, yang merupakan fenomena pertama dalam abad ke-

21. Menurut data dari NOAA, berdasarkan indeks *Triple-Dip in seasonal trends of the Oceanic Nino Index* (ONI) fenomena ini pernah terjadi sebelum abad ke-21, yaitu pada tahun 1954-1956, 1974-1976, dan 1998-2000 (NOAA, 2023). Fenomena *Triple-Dip* *La Niña*

yang dibahas pada penelitian ini, dimulai pada pertengahan tahun 2020 dan berlangsung selama tiga musim dingin berturut-turut di belahan bumi utara. Persistensi yang berkepanjangan dari La Niña ini telah memperburuk kondisi iklim global, termasuk di Tiongkok, Amerika Utara, dan Eurasia, suhu dingin ekstrem teramat terjadi selama beberapa musim dingin tersebut (Mingting *et al.*, 2023). La Niña dengan kecenderungan berulang tiga kali pada tahun 2020–2023 ditandai dengan masih adanya anomali angin tenggara di wilayah tropis Pasifik tengah dan timur. Jurnal terdahulu menunjukkan bahwa anomali angin berhubungan dengan fase anomali negatif dari dua mode utama pertama dari siklus tahunan (mode antisimetris dan simetris di sekitar khatulistiwa) suhu permukaan laut di Pasifik tropis. Kedua mode tersebut menyumbang 82,2% dan 13,5% dari total varian, yang terkait dengan perubahan musiman SST antara belahan bumi utara dan selatan serta evolusi temporal *El Niño-Southern Oscillation* (Jiang *et al.*, 2023).

El Niño dan La Niña adalah suatu fenomena anomali iklim yang terjadi di bumi. Pada daerah tropis, kedua anomali iklim tersebut biasanya menimbulkan pergeseran pola curah hujan, perubahan besaran curah hujan dan perubahan temperatur udara (Irawan, 2006). Di Indonesia, khususnya di Provinsi NTB, adanya peningkatan curah hujan dalam periode waktu yang cukup lama juga dapat disebabkan aktifnya fenomena ENSO pada kategori La Niña terlebih pada periode Juni hingga November, peningkatan curah hujan setiap bulannya mencapai >40% dibandingkan saat kondisi normal (Supari *et al.*, 2017; Agustiarini *et al.*, 2022). Data historis periode tahun 1950-2020 yang bersumber dari NOAA menunjukkan bahwa La Niña pernah terjadi sebanyak 23 kali di setiap kategori La Niña yang berbeda, pada tahun 2010 lalu fenomena La Niña yang berlangsung sepanjang tahun menyebabkan tahun 2010 dikenal dengan tahun Kemarau Basah yaitu meski di musim kemarau masih

banyak terjadi hujan di wilayah Indonesia (Agustiarini *et al.*, 2022).

Fenomena ENSO dapat memengaruhi kondisi oseanografi suatu perairan (Seprianto *et al.*, 2016). Suhu permukaan laut dan klorofil-a merupakan dua parameter oseanografi yang penting. Suhu permukaan laut dapat digunakan sebagai indikator pendugaan lokasi *upwelling*, *downwelling*, dan *front* (Lehodey *et al.*, 2006). Sedangkan klorofil-a di permukaan merupakan indikator tingkat kesuburan dan produktivitas perairan (Kunarso, 2023). Ketiga unsur tersebut berkaitan, yang mana pada saat terjadi peristiwa La Niña suhu permukaan laut di wilayah Ekuator Timur wilayah Pasifik mengalami pendinginan jika dibandingkan dengan kondisi normalnya (Irwindi *et al.*, 2017). Pada saat kondisi La Niña, perairan di Indonesia menjadi lebih hangat sehingga terjadi penurunan jumlah klorofil-a (Bell *et al.*, 2000). Namun demikian, angin yang berhembus secara terus-menerus dengan kecepatan tinggi dan dalam waktu yang lama dengan arah sejajar garis pantai akan mendorong massa air (menjauh atau mendekat) dari pantai sebagai akibat dari gaya *Coriolis* yang dipengaruhi oleh rotasi bumi (Silubun *et al.*, 2015). Air permukaan yang bergerak menjauhi daerah pantai akan diisi air yang dingin dari dasar, kemudian air tersebut akan bergerak naik untuk mengisi kekosongan pada daerah permukaan. Daerah *upwelling* biasanya ditandai dengan adanya kandungan nutrien yang tinggi dan temperatur permukaan yang lebih rendah dari sekitarnya (Kemili *et al.*, 2012).

Penelitian tentang pengaruh *Triple-Dip* La Niña pada kandungan klorofil-a dan suhu di Selat Lombok sangat penting untuk memahami dampak variasi iklim yang signifikan pada ekosistem laut. Selat Lombok merupakan bagian kritis dari sistem laut global, yaitu sebagai pintu keluar dari Arus Lintas Indonesia (Arlindo), yaitu arus yang menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia (Giu *et al.*, 2020). Studi ini

bertujuan untuk mengevaluasi dampak *Triple-Dip* La Niña terhadap suhu muka laut dan kandungan klorofil di Selat Lombok. Dengan memahami bagaimana fenomena ENSO dan perubahan iklim memengaruhi suhu laut dan nutrisi seperti klorofil, penelitian ini akan memberikan wawasan penting tentang dampak perubahan iklim terhadap ekosistem laut.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Data Penelitian

Lokasi penelitian berada di *Lombok Strait* (Selat Lombok) dengan koordinat -7° - 10° LS dan 114° - 118° BT (Gambar 1). Penelitian ini berdurasi selama 3 tahun sesuai dengan periode *Triple-Dip* La Niña yaitu dari bulan Desember 2019-November 2022. Waktu yang diambil disesuaikan dengan periode musiman bulan DJF, MMA, JJA, dan SON untuk dapat diketahui perubahan atau perbedaan selama periode tersebut.

Data *Sea Surface Temperature* (SST) dan *chlorophyll* (*chlor_a*) diunduh dari website https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/order/order_results/ dengan resolusi spasial 4 km dan pada

periode bulanan menggunakan satelit Aqua-Modis untuk kedua data. Data ini kemudian digunakan untuk melihat variabilitas *Sea Surface Temperature* (SST) dan *chlorophyll* (*chlor_a*) setiap triwulan. Kedua data tersebut dirata-ratakan dan kemudian dikorelasikan dengan data angin. Data indeks Niño 3.4 dan *Southern Oscillation Index* (SOI) didapatkan dari website *National Oceanic and Atmosphere Administration* <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso> pada skala waktu bulanan tahun 2020-2022. Data angin diunduh dari situs Data Online BMKG www.dataonline.bmkg.go.id berupa data arah dan kecepatan angin yang diambil dari Stasiun Meteorologi Zainuddin Abdul Madjid yang mengambil titik pengamatan di wilayah Ampenan, Mataram. Data ini diunduh perbulan dan digunakan untuk melihat perbedaan arah datangnya angin. Periode waktu dari ketiga parameter ini diambil dari bulan Desember 2019 sampai bulan November 2022, selanjutnya dirata-ratakan selama 3 bulan dengan periode Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON).

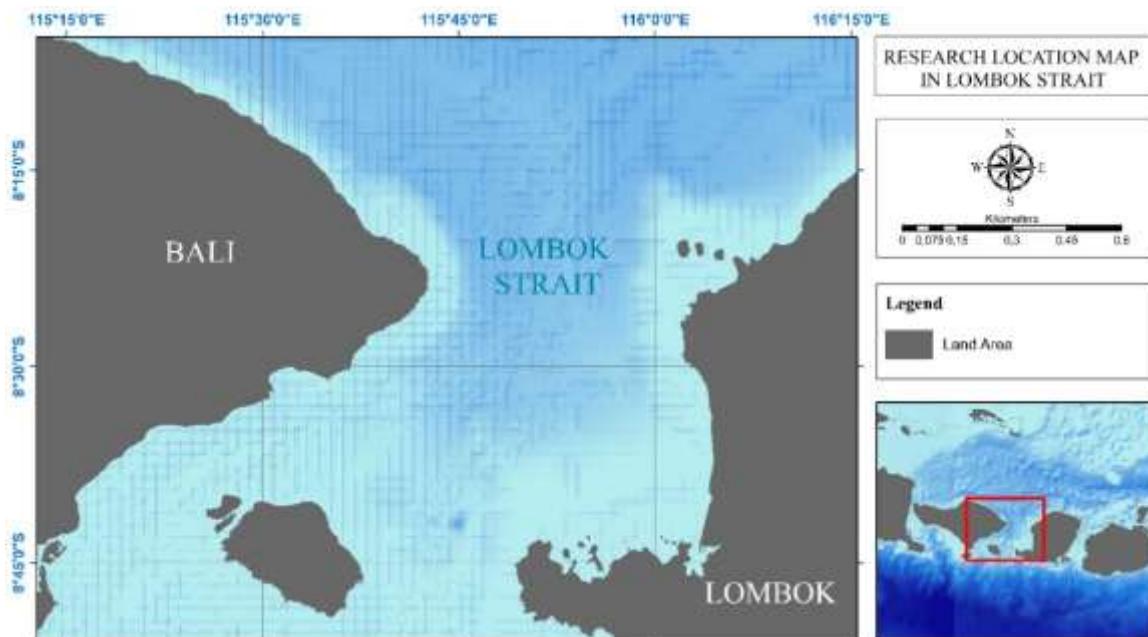


Figure 1. The research location is in the Lombok Strait, Indonesia
Gambar 1. Lokasi penelitian berada di Selat Lombok, Indonesia

Analisis Data

Data *Chlorophyll-a* dan SST diunduh dalam bentuk netCDF yang kemudian diolah menggunakan *software* Seadas untuk dijadikan data dalam format csv. Data angin didapatkan dari situs Data Online BMKG diolah dengan *software* Windrose.

Pengolahan Data

Proses pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan dua interpretasi yaitu pemetaan spasial SST dan *chlor_a* serta pemetaan rata-rata angin.

*Sea Surface Temperature (SST) dan Chlorophyll (*chlor_a*)*

Data *Sea Surface Temperature (SST)* dan *chlorophyll (chlor_a)* yang sudah diunduh selanjutnya diolah menggunakan tiga *software* yaitu *Microsoft Excel*, *ArcMap*, dan *SeaDAS*. Kedua data ini diproyeksikan terlebih dahulu pada *software* *SeaDAS* yang kemudian diambil nilai atau data numeriknya dalam bentuk csv dan selanjutnya diolah ke dalam *Microsoft Excel* untuk proses perataan selama 3 bulan. Data yang sudah mengalami proses perataan selanjutnya divisualisasikan ke dalam *software* *ArcMap* dengan interpolasi berupa *Inverse Distance Weighting (IDW)*.

Angin

Data yang sudah diunduh per bulannya pada bagian kecepatan angin dikonversi terlebih dahulu ke satuan Knots. Data-data tersebut kemudian digabungkan dalam file *Excel* per 3 bulan, data-data tersebut harus dibuat dalam format 24 jam. Data disimpan dengan tipe file *Excel 97-2003 Workbook* yang diolah lebih lanjut menggunakan *software* Windrose.

Uji Korelasi

Analisis korelasi merupakan pengolahan data untuk menyatakan hubungan antara suatu

variabel dengan variabel yang lain dengan tanpa memperhatikan pengaruh variabel yang ditentukan dengan variabel lain. Korelasi Pearson menyatakan hubungan antara variabel terikat tunggal dan variabel bebas tunggal. Nilai korelasi Pearson disimbolkan dengan ‘*p*’ pada data populasi dan ‘*r*’ pada data sampel (Safitri, 2016). Sebelum diolah dengan metode korelasi Pearson data harus memenuhi persyaratan uji asumsi klasik. Uji asumsi klasik meliputi uji normalitas, multikolinearitas, uji heteroskedasitas. Setelah lolos uji asumsi klasik kemudian data ditentukan koefisien korelasi berdasarkan korelasi Pearson (Hidayat, 2019).

Tabel 1. Klasifikasi koefisien korelasi (Windarto, 2020)

Table 1. Classification of correlation coefficients (Windarto, 2020)

Coefficient Interval	Correlation Level
0.00-0.19	Very Low
0.20-0.39	Low
0.40-0.59	Moderate
0.60-0.79	Strong
0.80-1.00	Very Strong

Koefisien korelasi merupakan derajat yang menyatakan seberapa kuat hubungan antar satu variabel dengan variabel yang lain. Koefisien korelasi bernilai $-1 < r < 1$. Nilai koefisien korelasi -1 menyatakan hubungan berkebalikan sempurna atau kuat. Nilai 1 menyatakan hubungan sebanding yang kuat antara variabel yang diuji. Sedangkan, pada nilai koefisien korelasi mendekati 0 yang menyatakan hubungan lemah antara variabel yang diuji. Data suhu permukaan laut, angin dan klorofil-a akan dikorelasikan satu sama lain untuk mengetahui hubungannya masing-masing. Uji korelasi dilakukan pada nilai rata-rata bulanan di setiap titik grid selama periode *Triple-Dip La Niña* (periode 2020–2023) pada variabel SST dan klorofil-a.

Tabel 2. Susunan data pra-pengolahan korelasi Pearson

Table 2. The structure of pre-processed data for Pearson correlation analysis

<i>Month</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Chlor-a</i>	<i>SST</i>
Jan-20	115.02083	-8.020833	0.2742	30.2862
	115.06249	-8.020833	0.2752	30.3825

Feb-20	115.02083	-8.020833	0.21029	29.7249
	115.06249	-8.020833	0.21334	29.6250

Dec-20	115.27083	-8.104167	0.2403	29.712

Pemetaan SST dan Klorofil-a

Suhu permukaan laut dan klorofil-a mengalami fluktuasi setiap bulan secara periodik. Terdapat banyak faktor yang dapat memengaruhi kondisi suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di suatu wilayah perairan, diantaranya adalah dinamika atmosfer, kondisi periodik angin (pola angin monsun), dan ENSO. Pada penulisan ini, peta suhu permukaan laut, angin dan klorofil-a dianalisis secara deskriptif untuk melihat pola hubungan ketiga parameter tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabilitas SST dan Klorofil-a

Interpretasi Indeks Niño 3.4 dan SOI

Peristiwa La Niña dan El Niño dapat diidentifikasi dengan parameter uji yang didasarkan pada kondisi atmosfer serta dinamika lautan. Beberapa parameter tersebut yaitu indeks Niño 3.4 dan *Southern Oscillation Index* (SOI). Gambar 2 menunjukkan grafik indeks anomali suhu permukaan laut di lokasi Niño 3.4. Menurut *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) signifikansi kondisi El Niño atau La Niña yaitu ketika rata-rata anomali suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Niño 3.4 berada di atas

atau di bawah nilai +0,5°C atau -0,5°C. Nilai indeks Niño 3.4 menunjukkan adanya La Niña pada Bulan Agustus-April 2020. Pada bulan April 2021-Juni 2021 menunjukkan adanya pelemahan La Niña. Namun, pada bulan Juli 2021 mengalami peningkatan hingga mencapai batas signifikan La Niña pada September 2021. La Niña signifikan yang dimulai pada September 2021 terus fluktuatif signifikan hingga akhir Desember 2022. Secara akumulatif dapat dikatakan pada tahun 2020-2022 mengalami fase La Niña 3 tahun berturut-turut.

Periode Desember, Januari, dan Februari (DJF)

Hasil pemetaan rata-rata tiga bulan pada periode Desember, Januari, dan Februari (DJF) 2020-2022 (Gambar 3) menunjukkan perbandingan nilai SST, klorofil-a, dan angin (Gambar 3). Pemetaan SST menunjukkan suhu yang hampir merata di seluruh Selat Lombok di atas 30°C pada tahun 2020, mengalami perubahan menjadi lebih bervariasi pada tahun 2021 dan 2022 serta menunjukkan penurunan suhu dibandingkan pada tahun 2020. Variabilitas suhu terendah di bulan DJF terjadi pada tahun 2021. Angin rata-rata bertiup dari arah Barat Laut-Barat Daya ketika periode DJF. Namun, setiap tahun juga terlihat adanya angin dari arah tenggara yang cukup menonjol.

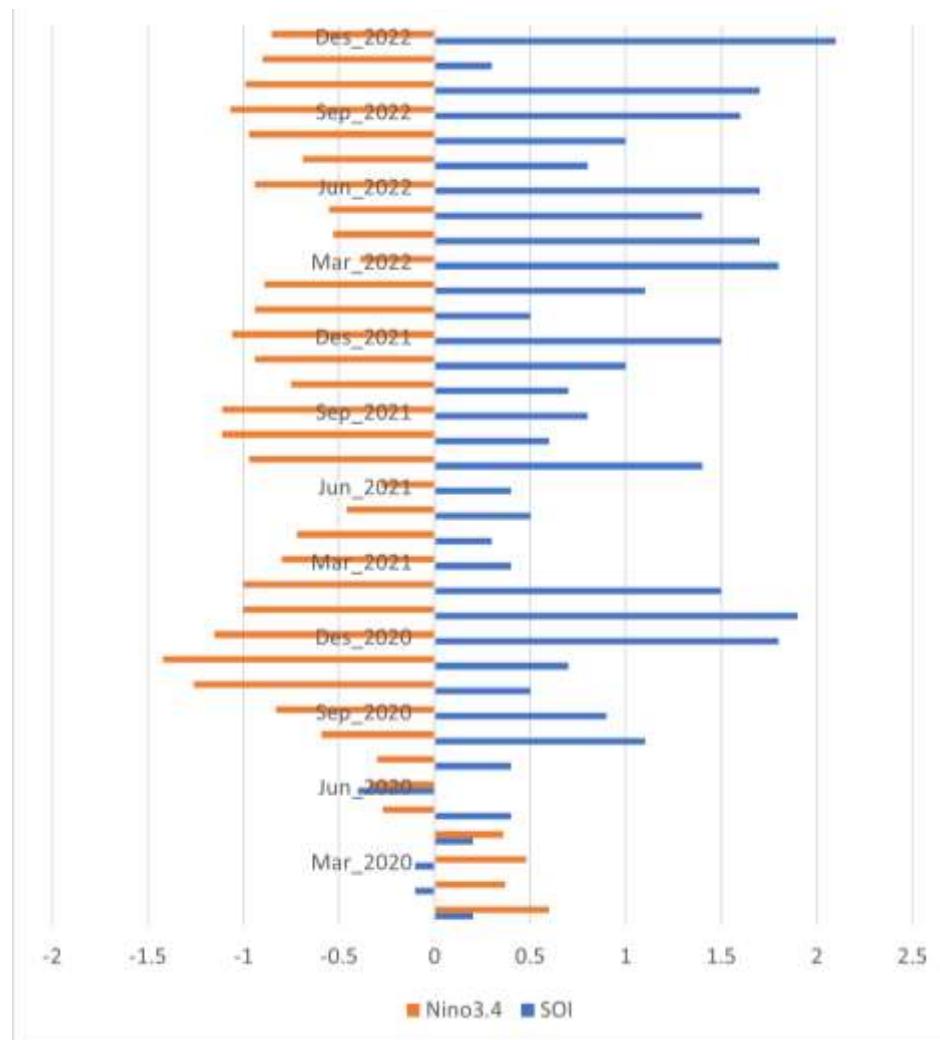


Figure 2. Niño 3.4 Index and SOI for the 2020-2022 years (Data Source: NOAA)

Gambar 2. Indeks Niño 3.4 dan SOI tahun 2020-2022 (Sumber data: NOAA)

Pada tahun 2022 terlihat adanya peningkatan konsentrasi klorofil-a hingga $1,5 \text{ mg/m}^3$. Meskipun secara spasial terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a berada pada tempat-tempat yang berbeda, akan tetapi, secara kumulatif pada periode DJF dari tahun 2020-2022 terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a utamanya pada daerah dekat pantai dan teluk dengan suhu permukaan laut yang cenderung lebih rendah. Secara umum, pada periode DJF tidak nampak dengan jelas hubungan antara klorofil-a dengan SST dan arah angin.

Periode Maret, April, dan Mei (MAM)

Pada periode bulan Maret, April, dan Mei 2020-2022 memiliki karakteristik yang hampir

sama dengan periode DJF, yaitu sebaran SST tertinggi pada MAM 2020 serta paling rendah pada periode MAM 2021 (Gambar 4). Pada lokasi perairan antara Pulau Bali dan Nusa Penida secara konsisten menjadi lokasi dengan SST terendah. Selanjutnya, kondisi klorofil memiliki konsentrasi paling tinggi pada tahun 2020. Namun, sebaran tersebut berbeda dengan kondisi DJF yang didominasi pada daerah barat Pulau Nusa Tenggara, sedangkan pada periode MAM sebaran klorofil-a didominasi pada daerah tenggara Pulau Bali, diantara Pulau Bali dan Pulau Nusa Penida. Pola angin yang bergerak konsisten dari tenggara dengan kecepatan yang tinggi di tahun 2020 dapat menyebabkan fenomena *upwelling* di pesisir yang terletak di sebelah

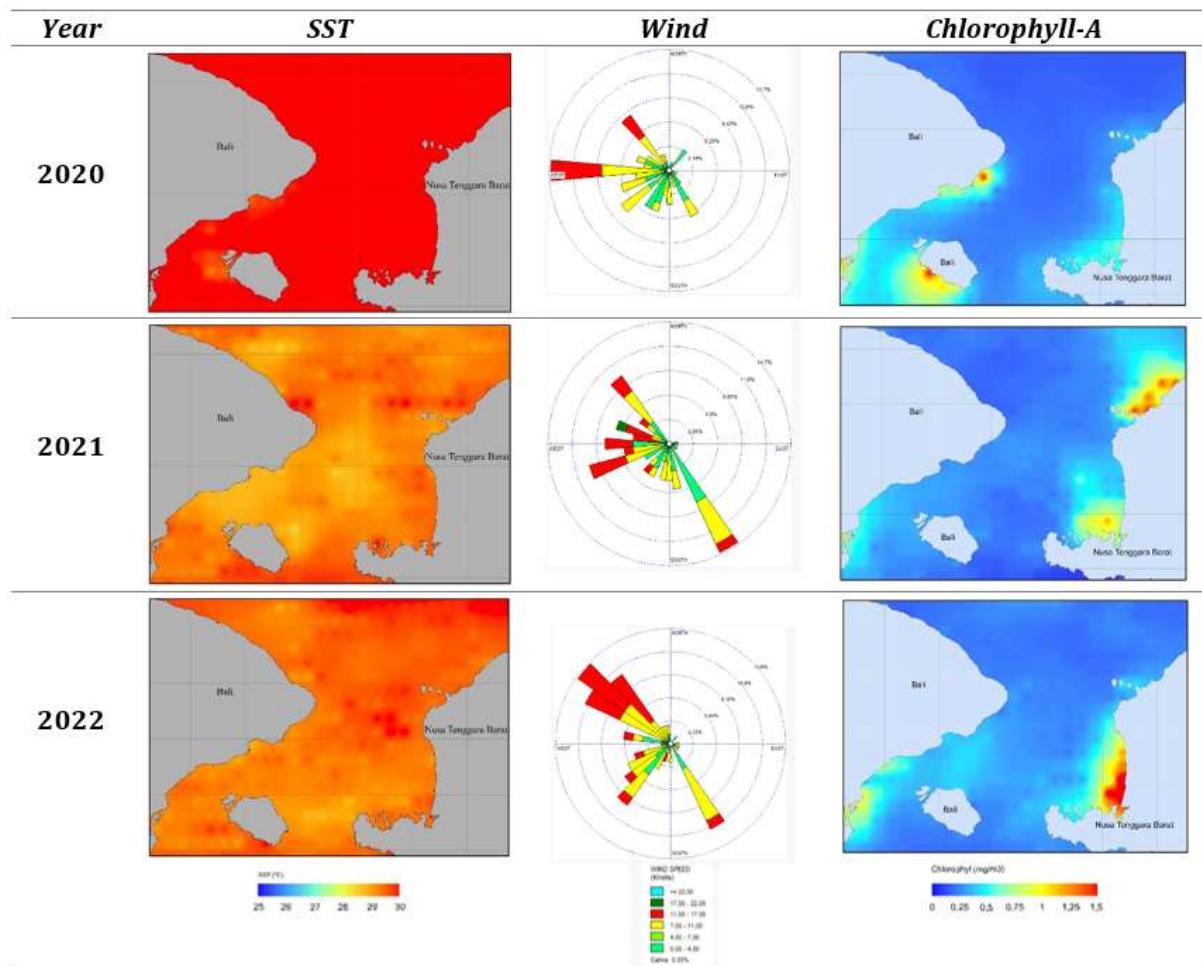


Figure 3. Variability in the average SST and Chlorophyll-A concentration, as well as wind patterns during the DJF months of the Triple-Dip La Niña period (2020–2022)

Gambar 3. Variabilitas rata-rata SST dan konsentrasi Klorofil-a, serta pola angin pada bulan DJF selama periode Triple-Dip La Niña (2020–2022)

kanan dari arah angin tersebut. Ini terjadi karena di belahan bumi selatan, gaya coriolis menyebabkan arus laut dibelokkan ke kiri dari arah angin sehingga air permukaan di pesisir yang sejajar dengan arah angin dominan pada bulan MAM, yaitu tenggara, akan ter dorong menjauhi pesisir. Hal ini menyebabkan air dari lapisan bawah yang lebih dingin dan kaya nutrisi naik menggantikan air permukaan, sebuah proses yang kita kenal sebagai *upwelling*. Fenomena ini menjelaskan mengapa suhu tetap rendah dan konsentrasi klorofil-a tinggi di perairan Selat Lombok, yang terletak antara Pulau Bali dan Nusa Penida.

Periode Juni, Juli, dan Agustus (JJA)

Hasil variabilitas SST pada periode JJA ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pemetaan SST menunjukkan bahwa suhu di tahun 2022 memiliki kecenderungan lebih tinggi dibandingkan dengan tahun yang lain yaitu dengan suhu maksimum mencapai 31,26°C. Konsentrasi klorofil-a pada ketiga periode tahun berada pada lokasi yang sama, yaitu pada perairan di barat Pulau Lombok dan pesisir tenggara antara Pulau Bali dan Pulau Nusa Penida. Lokasi konsentrasi klorofil-a yang tinggi memiliki kecenderungan yang bersesuaian dengan nilai SST yang rendah.

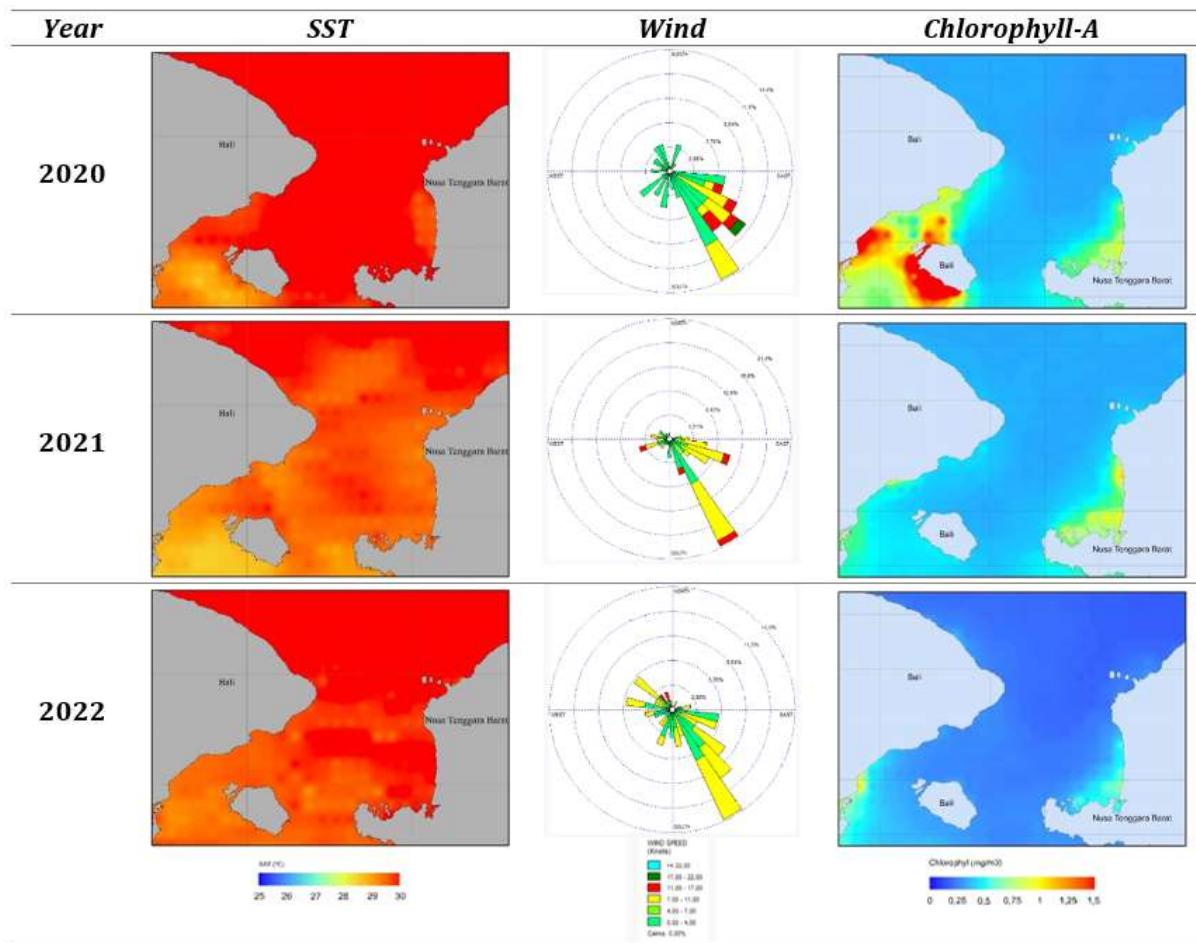


Figure 4. Variability in the average SST and Chlorophyll-A concentration, as well as wind patterns during the MAM months of the Triple-Dip La Niña period (2020–2022)

Gambar 4. Variabilitas rata-rata SST, pola angin, dan konsentrasi Klorofil-a pada bulan MAM selama periode Triple-Dip La Niña (2020–2022)

Hal tersebut dapat menunjukkan adanya indikasi terjadinya *upwelling* pada daerah-daerah dekat pantai. Hal tersebut juga didukung oleh pola angin yang secara persisten bertiup dari arah tenggara pada periode JJA. Angin ini dapat menyebabkan terjadinya *upwelling* di sepanjang pantai selatan Selat Lombok akibat dari efek Coriolis yang mendorong massa air di permukaan bergerak menjauhi pantai sehingga terjadi kekosongan massa air di dekat pantai yang mengakibatkan naiknya massa air dalam yang membawa suhu yang lebih dingin dan kaya nutrisi ke permukaan yang teramat pada konsentrasi klorofil-a yang tinggi serta suhu permukaan yang relatif lebih rendah.

Periode September, Oktober, dan November (SON)

Pemetaan spasial pada bulan SON memiliki karakteristik variabilitas yang berbeda dibandingkan dengan periode-periode sebelumnya (Gambar 6). Pada periode SON terlihat adanya peningkatan suhu yang cukup signifikan dari tahun 2020 hingga tahun 2022 khususnya di daerah utara Selat Lombok. Tampak adanya perubahan konsentrasi klorofil-a, dengan konsentrasi tertinggi pada tahun 2022 pada bagian barat Pulau Nusa Tenggara. Hal ini dapat disebabkan karena adanya pengkayaan nutrisi akibat dari *upwelling*. Hal tersebut juga diperkuat dengan

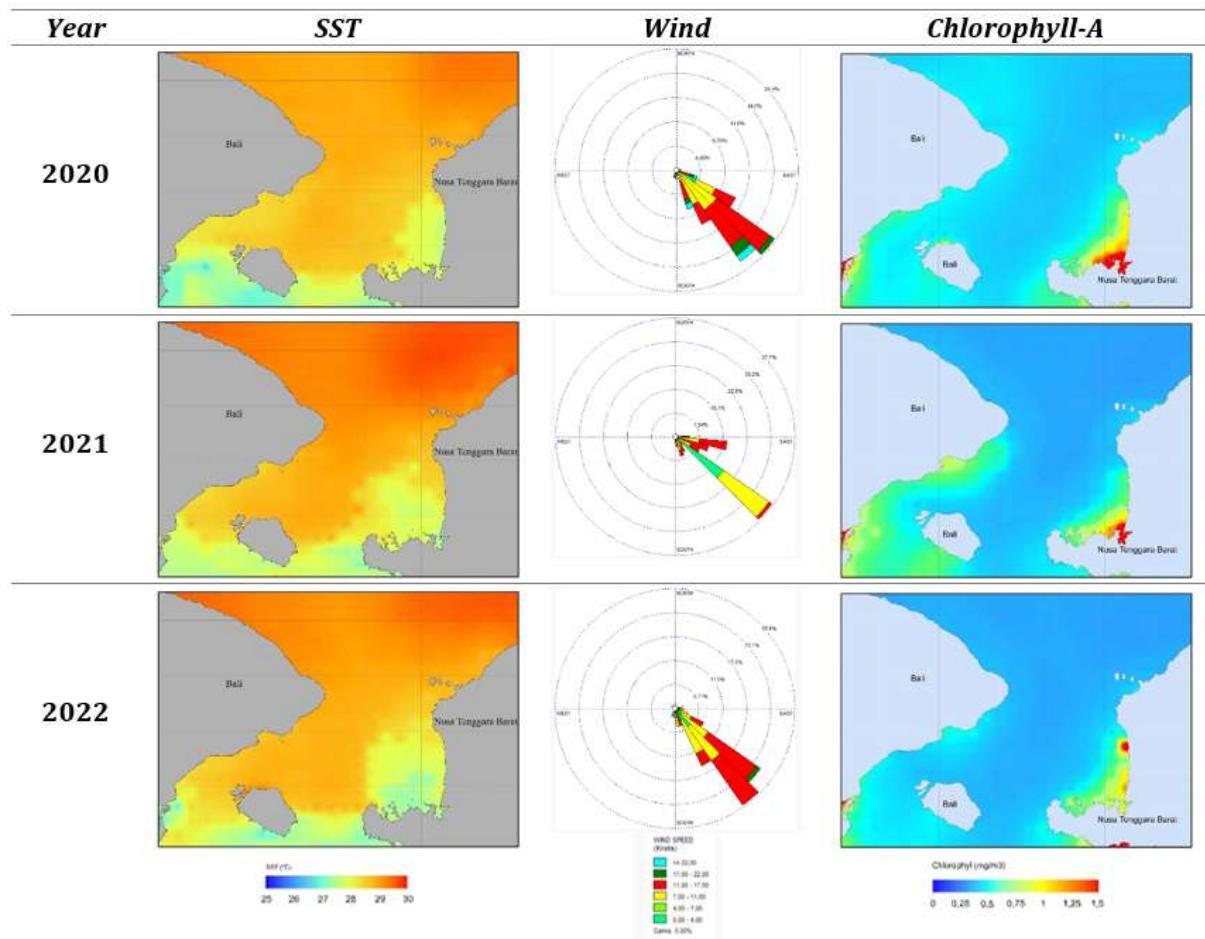


Figure 5. Variability in the average SST and Chlorophyll-A concentration, as well as wind patterns during the JJA months of the Triple-Dip La Niña period (2020–2022)

Gambar 5. Variabilitas rata-rata SST, pola angin, dan konsentrasi Klorofil-a pada bulan JJA selama periode Triple-Dip La Niña (2020–2022)

pola pergerakan angin yang tergambar pada diagram Windrose yang menunjukkan angin dominan bergerak dari arah tenggara atau Monsun Timur. Pergerakan angin yang persisten dari arah Tenggara dapat menggeser air permukaan ke arah Barat-Barat Daya di belahan bumi selatan karena efek Coriolis. Hal tersebut dapat menyebabkan adanya *upwelling* di daerah dekat pantai yang berada di barat Pulau Nusa Tenggara karena air yang berada di permukaan didorong menjauhi pantai. Hal ini juga dapat terkonfirmasi dengan adanya suhu permukaan laut yang relatif lebih dingin yang merupakan ciri dari adanya *upwelling*. Pemetaan spasial rata-rata suhu permukaan laut periode 2020-2022 menunjukkan sebaran yang beragam berdasarkan periode bulan. Pada

periode DJF dan MAM sebaran suhu lebih hangat paling banyak pada tahun 2020. Pada periode JJA dan SON, tampak suhu yang lebih hangat terjadi pada periode 2022. Hal ini menjadi indikator penguatan La Niña pada periode 2022 dibandingkan 2020 yang dapat dipastikan melalui grafik Niño 3.4 dan SOI (Gambar 2). Perbedaan hasil pola interpretasi pada periode DJF dan MAM dengan JJA dan SON ini berkaitan dengan pergerakan angin musiman atau monsun yang melalui Selat Lombok. Musim Barat terjadi pada bulan Oktober hingga April atau pada periode DJF dan MAM. Sedangkan, pada Musim Timur terjadi pada bulan April-Oktober atau periode JJA dan SON.

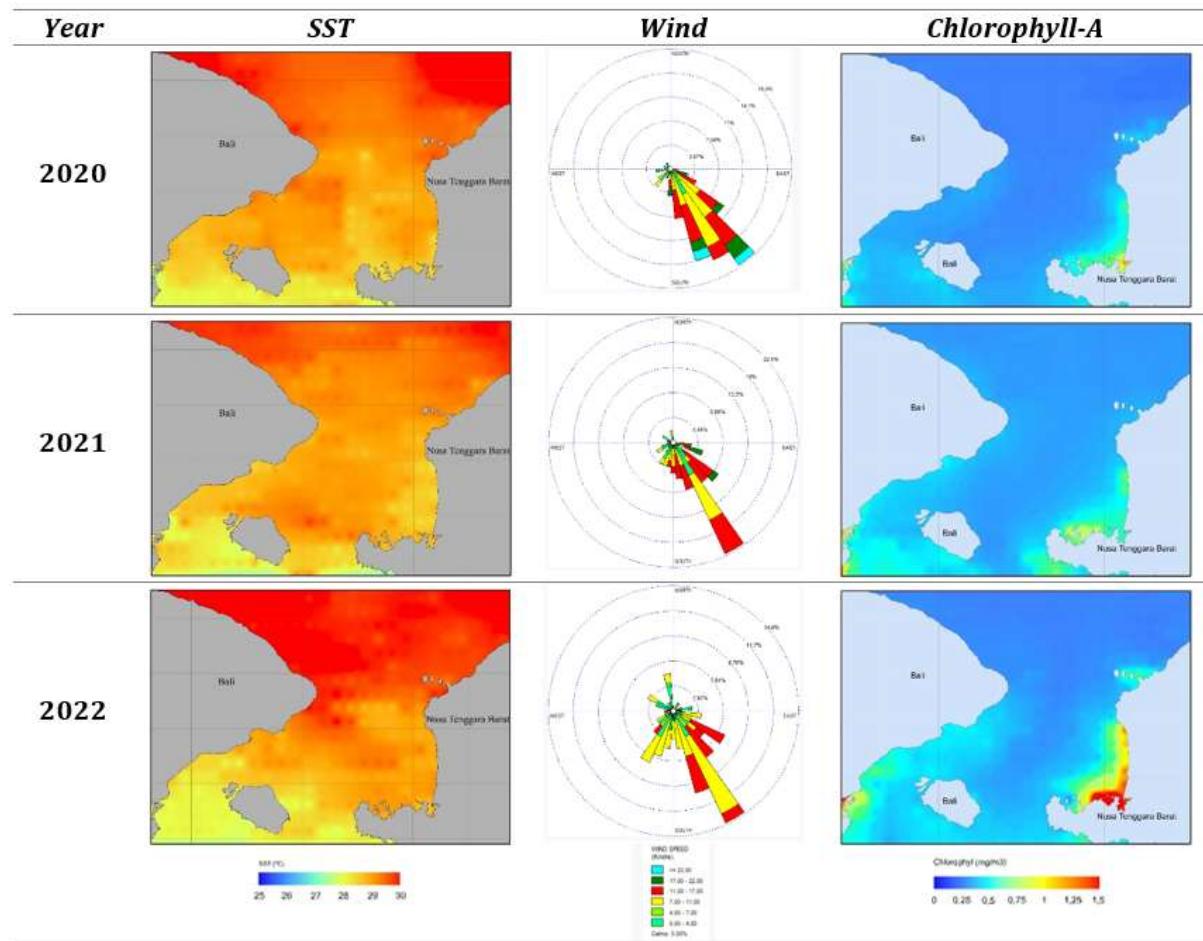


Figure 6. Variability in the average SST and Chlorophyll-A concentration, as well as wind patterns during the SON months of the Triple-Dip La Niña period (2020–2022)

Gambar 6. Variabilitas rata-rata SST, pola angin, dan konsentrasi Klorofil-a pada bulan SON selama periode Triple-Dip La Niña (2020–2022)

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan pengaruh El Niño dan La Niña pada kepulauan Nusa Tenggara dan Bali dibatasi oleh periode musim yaitu hanya pada musim timur atau periode JJA dan SON (Savitri, 2018). Hal tersebut disebabkan karena ketika musim barat terjadi, pengaruh dari La Niña akan terhambat oleh pola arus laut yang bergerak keluar wilayah Indonesia. Sedangkan, ketika periode musim timur La Niña dapat berpotensi berpengaruh karena mengalirnya arus laut permukaan dari pasifik menuju wilayah Indonesia.

Pada analisis spasial klorofil-a hasil luasan klorofil-a paling banyak pada periode MAM dan JJA yaitu pada tahun 2020. Sedangkan, pada periode SON dan DJF klorofil-a paling

banyak ditunjukkan pada tahun 2022. Konsentrasi klorofil-a terjadi pada wilayah dekat pantai barat Pulau Nusa Tenggara dan dekat pantai di timur Pulau Bali, terutama diantara Pulau Bali dan Pulau Nusa Penida. Secara umum tingginya konsentrasi klorofil-a bersesuaian dengan suhu yang relatif lebih rendah pada daerah yang memiliki konsentrasi klorofil-a yang tinggi. Hal ini sangat berkaitan dengan peristiwa *upwelling* yang mengakibatkan naiknya massa air dalam yang kaya akan nutrisi ke permukaan karena kekosongan massa air di permukaan akibat pengaruh angin. Sehingga, akan terjadi pengkayaan nutrisi pada daerah kenaikan massa air dingin.

Secara keseluruhan pada periode MAM, JJA, dan SON pergerakan angin didominasi dari arah tenggara. Sedangkan pada periode DJF pergerakan angin berhembus dari barat hingga barat laut dan sedikit variasi pada arah tenggara. Hal tersebut berkaitan dengan pola angin monsun yaitu Monsun Timur dan Mansun Barat. Monsun Timur membawa massa udara dari Australia masuk ke Indonesia hingga ke Asia. Sedangkan, Monsun Barat membawa massa udara dari Benua Asia melewati Indonesia hingga sampai ke Benua Australia.

Analisis Korelasi SST, Klorofil-a, dan Angin

Data klorofil-a dan SST bulanan diolah untuk menentukan korelasi antara variabel-variabel yang digunakan. Sebelum dilakukan pengolahan data dilakukan uji normalitas. Pada uji normalitas variabel klorofil-a dan SST, didapatkan nilai *p-value* yaitu 0,141 dan 0,081. Pada uji normalitas menunjukkan nilai semua variabel di atas 0,05 yang menunjukkan semua data terdistribusi secara normal. Sehingga, data dapat diolah lebih lanjut pada analisis korelasi Pearson. Pada analisis korelasi Pearson didapatkan hasil nilai koefisien korelasi (*r*) dan *p-value* yaitu -0,280. Korelasi negatif moderat (-0,280) antara klorofil-a dan SPL menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan laut cenderung berkorelasi dengan penurunan konsentrasi klorofil-a. Ini sesuai dengan pemahaman biologi laut bahwa suhu yang lebih tinggi sering kali mengurangi ketersediaan nutrisi di permukaan, yang mana diperlukan untuk pertumbuhan fitoplankton, yang klorofil-a-nya menjadi indikator utama. Sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa konsentrasi klorofil-a berkorelasi terbalik dengan suhu muka laut. Fitoplankton resisten pada suhu 16-36°C dan mati (dalam jenis tertentu) pada suhu lebih dari 36°C (Effendi *et al.*, 2012).

KESIMPULAN

Hasil interpretasi spasial SST dan klorofil-a menunjukkan bahwa terdapat keberagaman pola spasial suhu permukaan laut dan klorofil-a pada *Triple-Dip La Niña* 2020-2022. Variabel SST menunjukkan pada bulan DJF-MAM sebaran suhu paling hangat pada tahun 2020. Hasil SST pada periode JJA dan SON menunjukkan suhu lebih hangat pada tahun 2022. Variabel Klorofil-a menunjukkan hubungan berkebalikan pada hangatnya suhu permukaan laut yaitu pada MAM-JJA, di mana klorofil-a paling banyak ditemui pada tahun 2020, sedangkan pada SON-DJF ditunjukkan pada tahun 2022. Hasil korelasi Pearson ditunjukkan hubungan korelasi yang rendah antara klorofil-a dan SST.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujuhan kepada Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiarini, S., Made Adi, N. P., Patria, R. M., Kirana, N., Ulfah, A., Widi, I. H. G., Setiawan, M. B., Maurits, Y., Mahasurya, C., Sulitio Adi, D. W., Permana, A., & Maulidita, U. (2022). Analisis anomali curah hujan periode musim hujan saat terjadi La Niña di NTB. *JANUARI*, 2(2), 11–17. https://balai2bmkg.id/index.php/buletin_mkg/article/view/17
- Bell, G. D., Halpert, M. S., Schnell, R. C., Higgins, R. W., Lawrimore, J., Kousky, V. E., Tinker, R., Thiaw, W., Chelliah, M., & Artusa, A. (2000). Climate assessment for 1999. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(6), S1–S50. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)81\[s1:CAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)81[s1:CAF]2.0.CO;2)

- 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), 319150. <https://ojs.unm.ac.id/JSpDF/index>
- Gi, L. O. M. G., Atmadipoera, A. S., Naulita, Y., & Nugroho, D. (2020). Struktur vertikal dan variabilitas arlindo yang masuk ke tepi barat Laut Banda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 457–472. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1>
- Hidayat, L., Muktiadji, N., & Supriadi, Y. (2019). Pengaruh pengetahuan investasi terhadap minat mahasiswa berinvestasi di galeri investasi perguruan tinggi. *JAS-PT (Jurnal Analisis Sistem Pendidikan Tinggi Indonesia)*, 3(2), 63–70. <https://doi.org/10.36339/jaspt.v3i2.215>
- Irawan, B. (2006). Fenomena anomali iklim El Niño dan La Niña: Kecenderungan jangka panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan. *FAE*, 24(1). <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/fae/article/view/1414>
- Irwandi, H., Nasution, M. I., Kurniawan, E., & Megalina, Y. (2017). Pengaruh El Niño terhadap variabilitas curah hujan di Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, 1(2), 7–15. <http://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/fisitek>
- Jiang, S., Zhu, C., Hu, Z. Z., Jiang, N., & Zheng, F. (2023). Triple-dip La Niña in 2020–23: Understanding the role of the annual cycle in tropical Pacific SST. *Environmental Research Letters*, 18(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ace274>
- Kemili, P., Mutiara, D., & Putri, R. (2012). Pengaruh durasi dan intensitas upwelling berdasarkan anomali suhu permukaan laut terhadap variabilitas produktivitas primer di Perairan Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(1).
- <https://doi.org/10.29244/JITKT.V4I1.7807>
- 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). <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.1.1-11>
- Lehodey, P., Alheit, J., Barange, M., Baumgartner, T., Beaugrand, G., Drinkwater, K., Fromentin, J. M., Hare, S. R., Ottersen, G., Perry, R. I., Roy, C., Van Der Lingen, C. D., & Werner, A. F. (2006). Climate variability, fish, and fisheries. *Journal of Climate*, 19(20), 5009–5030. <https://doi.org/10.1175/JCLI3898.1>
- Mingting, L., Cao, Z., Gordon, A. L., Zheng, F., & Wang, D. (2023). Roles of the Indo-Pacific subsurface Kelvin waves and volume transport in prolonging the triple-dip 2020–2023 La Niña. *Environmental Research Letters*, 18(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acfcce>
- NOAA. (2023, November 7). Recent “Triple-Dip” La Niña upends current understanding ENSO. *NOAA Research*. research.noaa.gov
- Riupassa, Y., & Wattimury, J. J. (2022). Variabilitas musiman suhu permukaan laut dan angin di Laut Arafura. *Jurnal Laut Pulau: Hasil Penelitian Kelautan*, 1(2), 71–84. <https://doi.org/10.30598/jlpvol1iss2pp71-84>
- Safitri, W. R. (2016). Analisis korelasi Pearson dalam menentukan hubungan antara kejadian demam berdarah dengue dengan kepadatan penduduk di Kota Surabaya pada tahun 2012–2014: Pearson correlation analysis to determine the relationship between city population

- density with incident dengue fever of Surabaya in the year 2012–2014. *Jurnal Ilmiah Keperawatan (Scientific Journal of Nursing)*, 2(2), 21–29. <https://journal.stikespemkabjombang.ac.id/index.php/jikep/article/view/23>
- Savitri, N. A. M. (2018). *Hubungan El Niño, La Niña, dan IOD terhadap variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan Selat Bali* (Skripsi, Universitas Brawijaya). <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/13014>
- 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. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/16089>
- Siadari, E. L., Dewi, D. M. P. R., & Putra, I. D. G. A. (2017). Pengaruh suhu permukaan laut dan angin terhadap distribusi Klorofil-a di perairan Papua tahun 2002–2016. In *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer (SNSA) 2017: Penguatan Sains dan Teknologi Atmosfer dalam Mewujudkan Keunggulan dan Kemandirian IPTEK Nasional* (pp. 100–105).
- Silubun, D. T., Lumban Gaol, J., & Naulita, Y. (2015). Estimasi intensitas upwelling pantai dari satelit Aqua-MODIS. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 21–29. <https://doi.org/10.24319/jtpk.6.21-29>
- Windarto, Y. E. (2020). Analisis penyakit kardiovaskular menggunakan metode korelasi Pearson, Spearman, dan Kendall. *Jurnal Saintekom: Sains, Teknologi, Komputer dan Manajemen*, 10(2), 119–127.