



## **PENGARUH ENSO TERHADAP VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN KLOOROFIL-A DI PERAIRAN PULAU LAUT**

### ***THE EFFECT OF ENSO ON RAINFALL AND CHLOROPHYLL-A VARIABILITY IN THE WATERS OF PULAU LAUT***

**Istna Nabila Zulfa<sup>1\*</sup>, Anindya Wirasatriya<sup>2\*</sup>, Al Izzha Kusumaningtyas<sup>1</sup>, Ichsan Suryo Wibowo<sup>1</sup>, Teguh Prasetyo<sup>1</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup>Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim, Universitas Sunan Gresik, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

\*E-mail : In.zulfa@lecturer.usg.ac.id

Received : 13 December 2025; Accepted : 26 December 2025

Published: 26 December 2025 © Author(s) 2025. This article is open access

#### **Abstract**

*The waters of Pulau Laut have considerable marine and marine resource potential. The waters of the Pulau Laut cluster have been studied for the feasibility of mariculture (cage farming, floating nets) based on oceanographic and water chemistry parameters. Coastal areas and small islands such as Pulau Laut are also seen as potential locations for marine ecotourism development. This study aims to analyze the influence of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on rainfall variability and chlorophyll-a concentration in the Pulau Laut waters. This study is relatively new, considering that there are not many previous studies that specifically discuss the relationship between ENSO, rainfall, and chlorophyll-a in this area. This study uses satellite-based observation data. The rainfall and chlorophyll analyzed cover a 16-year period, from 2007 to 2022. The rainfall data was taken from the Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMaP) available through JAXA Global Rainfall Watch with a spatial resolution of 0.10°. Chlorophyll-a concentration data were obtained from the Ocean Color CCI (OC-CCI) Level 3 Standard (L3S) product provided by Marine Copernicus. The research method refers to a quantitative approach as described by, where numerical data are statistically analyzed and displayed through graphs and maps as a form of visualization. All temperature, wind, chlorophyll, and rainfall data are processed spatially using IDL (Interactive Data Language) software. Analysis of the relationship between ENSO and rainfall and chlorophyll-a in the waters of Pulau Laut shows that in the west season there is no significant relationship between ENSO and rainfall, indicated by a p-value of 0.595 ( $>0.05$ ) with a correlation of -0.079, reflecting a very weak negative relationship. In the east season, the relationship becomes significant, with a p-value of 0.008 and a correlation of -0.378, indicating that the stronger El-Niño, the rainfall tends to decrease. In the west season, there is a significant relationship with a p-value of 0.000 ( $<0.05$ ) and a correlation of -0.525. This indicates that during the west monsoon, an increase in ENSO (leading to El Niño) is associated with a decrease in chlorophyll-a concentration with a moderate relationship strength. ENSO does not significantly affect rainfall on Laut Island during the west monsoon, but it does significantly affect rainfall during the east monsoon because rainfall decreases when El Niño strengthens. Chlorophyll-a during ENSO actually shows a significant effect during the west monsoon, where its concentration decreases when El Niño increases, while in other seasons the effect is inconsistent.*

**Keywords:** Chlorophyll-a; Rainfall; Pulau Laut

#### **Abstrak**

Perairan Pulau Laut memiliki potensi sumber daya laut dan kelautan yang cukup besar. Perairan di gugusan Pulau Laut telah dikaji untuk kelayakan budidaya laut (karamba, jaring apung) berdasarkan parameter oseanografi dan kimia perairan. Kawasan pesisir dan pulau kecil seperti Pulau Laut juga dilihat sebagai calon lokasi pengembangan ekowisata bahari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh

fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) terhadap variabilitas curah hujan dan konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan Pulau Laut. Kajian ini tergolong baru, mengingat belum banyak studi sebelumnya yang secara spesifik membahas hubungan antara ENSO, curah hujan, dan klorofil-a di kawasan ini. Penelitian ini menggunakan data observasi berbasis satelit. Curah hujan dan klorofil yang dianalisis mencakup rentang waktu 16 tahun, yaitu dari 2007 hingga 2022, Data curah hujan tersebut diambil dari *Global Satellite Measurement of Precipitation* (GSMaP) yang tersedia melalui JAXA *Global Rainfall Watch* dengan resolusi spasial  $0,10^\circ$ . Data konsentrasi klorofil-a diperoleh dari produk *Ocean Color CCI* (OC-CCI) Level 3 Standard (L3S) yang disediakan oleh *Marine Copernicus*. Metode penelitian mengacu pada pendekatan kuantitatif sebagaimana dijelaskan oleh, di mana data numerik dianalisis secara statistik dan ditampilkan melalui grafik serta peta sebagai bentuk visualisasi. Seluruh data suhu, angin, klorofil, dan curah hujan diolah secara spasial menggunakan perangkat lunak IDL (*Interactive Data Language*). Analisis hubungan ENSO terhadap curah hujan dan klorofil-a di perairan Pulau Laut menunjukkan bahwa pada musim barat tidak terdapat hubungan signifikan antara ENSO dan curah hujan, ditunjukkan oleh nilai  $p$  sebesar 0,595 ( $>0,05$ ) dengan korelasi -0,079 yang mencerminkan hubungan negatif sangat lemah. Pada musim timur hubungan tersebut menjadi signifikan, dengan  $p$ -value 0,008 dan korelasi -0,378, yang mengindikasikan bahwa semakin kuat El-Nino, curah hujan cenderung menurun. Pada musim barat terdapat hubungan signifikan dengan  $p$ -value 0,000 ( $<0,05$ ) dan korelasi -0,525. Hal ini menandakan bahwa pada musim barat, peningkatan ENSO (mengarah ke El-Nino) berasosiasi dengan penurunan konsentrasi klorofil-a dengan kekuatan hubungan sedang. ENSO tidak berpengaruh signifikan terhadap curah hujan di Pulau Laut pada musim barat, tetapi memiliki pengaruh signifikan pada musim timur karena curah hujan menurun saat El-Nino menguat. Untuk klorofil-a pada saat ENSO justru menunjukkan pengaruh signifikan pada musim barat, di mana konsentrasinya menurun saat El-Nino meningkat, sementara pada musim lain pengaruhnya tidak konsisten.

**Kata kunci :** Klorofil-a; Curah Hujan; Pulau Laut

## 1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan sangat bergantung pada laut dan pulau-pulau kecil baik dari aspek ekologi, ekonomi, maupun sosial. Di antara berbagai pulau di Indonesia, Pulau Laut (Kotabaru, Kalimantan Selatan) menunjukkan karakteristik khas berupa ekosistem laut, perairan, dan pesisir yang menjadikannya objek penting untuk penelitian ilmiah, pengelolaan sumber daya, dan pembangunan berkelanjutan. Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa perairan dan kawasan pesisir di Pulau Laut memiliki potensi sumber daya laut dan kelautan yang cukup besar. Perairan di gugusan Pulau Laut telah dikaji untuk kelayakan budidaya laut (karamba, jaring apung) berdasarkan parameter oseanografi dan kimia perairan (Hidayatullah, et.al., 2021). Kawasan pesisir dan pulau kecil seperti Pulau Laut juga dilihat sebagai calon lokasi pengembangan ekowisata bahari. Di studi tentang potensi ekowisata di Pulau Laut (termasuk Teluk Tamiang, Pulau Samber Gelap, dll.), peneliti memetakan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi untuk menilai peluang dan tantangan pengembangan ekowisata (Leila dan Baharuddin, 2019). Pulau

Laut menawarkan kombinasi aspek ekologis (ekosistem laut, terumbu karang, potensi budidaya laut), sosial-ekonomi (ketergantungan masyarakat lokal terhadap laut dan potensi pariwisata), serta lingkungan (tantangan pengelolaan ruang laut/pesisir, kondisi perairan). Hal ini membuat Pulau Laut sangat relevan untuk dikaji secara komprehensif terutama dalam konteks konservasi, pembangunan berkelanjutan, dan pemanfaatan sumber daya laut.

Klorofil-a adalah pigmen utama yang dibutuhkan oleh organisme tumbuhan, terutama fitoplankton, untuk melakukan fotosintesis. Nilai klorofil-a, suhu permukaan laut (SPL), dan karbon organik partikulat (POC) dapat digunakan sebagai indikator produktivitas perairan serta memberikan informasi mengenai potensi keberadaan ikan di suatu wilayah perairan (Sayad, 2023). Kadar klorofil merupakan indikator penting untuk memahami sifat optik, biologis, dan biokimia air laut, serta memiliki keterkaitan kuat dengan isu lingkungan dan perubahan iklim global (Wang et al., 2021). Pemantauan tingkat klorofil-a dapat dilakukan melalui analisis citra satelit, yang menyediakan informasi prediktif berharga dalam mendeteksi fenomena

eutrofikasi (Lavigne et al., 2021). Penelitian Wirasatriya et al. (2021) menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a relatif tinggi di pesisir barat daya Sulawesi selama musim hujan berdasarkan analisis citra satelit. Berdasarkan temuan sebelumnya, penelitian ini diarahkan untuk mengevaluasi pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO) terhadap sebaran klorofil-a di perairan Samarinda secara ruang dan waktu. ENSO merupakan fenomena iklim berskala global yang berperan penting dalam membentuk pola iklim di wilayah Pasifik (Smith & Barnard, 2021), sekaligus memengaruhi distribusi klorofil-a di perairan Indonesia. Fenomena ini dipicu oleh interaksi skala besar antara atmosfer dan laut di Samudra Pasifik tropis (Wang & Liu, 2021), dan terdiri atas dua fase utama, yakni El Nino sebagai fase pemanasan serta La Nina sebagai fase pendinginan (Reis Santos et al., 2021). Kondisi ENSO ditentukan melalui keberadaan anomali suhu permukaan laut di area Nino 3.4 atau melalui nilai indeks ENSO yang berada dalam ambang tertentu selama setidaknya tiga bulan berturut-turut (Petrova et al., 2019).

Variabilitas curah hujan di kawasan tropis sangat dipengaruhi oleh fenomena iklim global, salah satunya El Nino Southern Oscillation (ENSO). ENSO merupakan interaksi atmosfer dan laut berskala besar di Pasifik tropis yang memicu perubahan sirkulasi global, dan berdampak nyata terhadap distribusi hujan di wilayah Indonesia (Wang & Liu, 2021). Selama fase El Nino, suhu permukaan laut di Pasifik tengah meningkat sehingga pola konveksi bergeser dan mengurangi pembentukan awan di Indonesia, yang kemudian menghasilkan kondisi kering dan menurunnya curah hujan di sebagian besar wilayah (Aldrian & Susanto, 2003). Sebaliknya, fase La Nina pendinginan laut cenderung memperkuat konveksi tropis dan menghasilkan curah hujan lebih tinggi di Indonesia, sering kali menyebabkan banjir dan hujan ekstrem (Zuleta et al., 2020). Penelitian iklim di Indonesia telah menunjukkan korelasi kuat antara anomali ENSO dengan pola hujan regional. (Aldrian dan Susanto, 2003) menemukan bahwa curah hujan di wilayah monsun Indonesia menurun tajam pada kejadian El Nino kuat, khususnya di Sumatera dan Kalimantan bagian selatan. Sementara itu, studi oleh (Hendon, 2003) memberikan bukti

bahwa La Nina mampu meningkatkan hujan musiman di wilayah Indonesia bagian timur. Selain itu, analisis spasial oleh (Sari, et al., 2021) menunjukkan bahwa variasi ENSO tidak hanya memengaruhi besarnya curah hujan, tetapi juga waktu terjadinya musim hujan, sehingga implikasinya berdampak pada sektor pertanian, sumber daya air, dan mitigasi bencana. Dengan mempertimbangkan temuan tersebut, pemahaman hubungan ENSO dan curah hujan menjadi penting untuk perencanaan kebijakan, prediksi iklim, serta manajemen risiko banjir dan kekeringan di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fenomena El Nino Southern Oscillation (ENSO) terhadap variabilitas curah hujan dan konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan Pulau Laut. Kajian ini tergolong baru, mengingat belum banyak studi sebelumnya yang secara spesifik membahas hubungan antara ENSO, curah hujan, dan klorofil-a di kawasan ini. Dalam penelitian ini, analisis akan dilakukan baik dari sisi spasial maupun temporal untuk mendapatkan gambaran pengaruh ENSO terhadap curah hujan dan klorofil-a di perairan Pulau Laut. Penelitian ini dirumuskan untuk menjawab pertanyaan mengenai sejauh mana pengaruh fenomena ENSO terhadap variabilitas curah hujan dan perubahan konsentrasi klorofil-a di Perairan Pulau Laut, baik secara spasial maupun temporal.

## 2. Metode

### 2.1. Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan data observasi berbasis satelit. Informasi curah hujan yang dianalisis mencakup rentang waktu 16 tahun, yaitu dari 2007 hingga 2022, dengan resolusi spasial 0,10°. Data tersebut diambil dari Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMaP) yang tersedia melalui JAXA Global Rainfall Watch, dan juga dapat diperoleh melalui layanan Marine Copernicus atau diunduh menggunakan protokol FTP melalui platform my.cmems-du.eu. Sementara itu, data konsentrasi klorofil-a diperoleh dari produk Ocean Color CCI (OC-CCI) Level 3 Standard (L3S) yang disediakan oleh Marine Copernicus. Dataset ini tersedia dalam resolusi spasial 4 km dengan cakupan waktu harian dari Januari 2007 hingga Desember 2022. Informasi

tersebut merupakan hasil integrasi beberapa sensor satelit, seperti SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS-SNPP & JPSS-1, serta OLCI-S3A dan S3B, dan disediakan dalam format NetCDF. Variabilitas iklim El Nino-Southern Oscillation (ENSO) diperoleh melalui data resmi NOAA, yang menyediakan nilai anomali suhu permukaan laut untuk area Nino 3.4 sebagai indikator dinamika iklim selama periode 2007–2022. Metode penelitian mengacu pada pendekatan kuantitatif sebagaimana dijelaskan oleh (Sugiyono, 2011), di mana data numerik dianalisis secara statistik dan ditampilkan melalui grafik serta peta sebagai bentuk visualisasi.

Dataset harian curah hujan dan klorofil-a selama periode 2007–2022 diproses dari file NetCDF (.nc) menggunakan perangkat lunak IDL. Prosedur pengolahan meliputi ekstraksi nilai klorofil-a dan curah hujan, beserta koordinat spasialnya. Data hasil ekstraksi kemudian disimpan dalam format biner (.bin) untuk tahap analisis berikutnya. Setelah itu, data harian diubah menjadi seri data bulanan dan klimatologi bulanan dengan mengadaptasi metode yang diterapkan oleh (Wirasatriya, et al., 2017).

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

Nilai rata-rata bulanan dan klimatologi bulanan suatu variabel  $X(x,y)$  dihitung menggunakan data observasi pada setiap titik koordinat spasial  $(x,y)$ . Jumlah total waktu pengamatan dinyatakan sebagai  $n$ , baik dalam satuan jam, hari, maupun bulan, sedangkan  $i$  merepresentasikan urutan waktu, seperti hari atau bulan ke- $i$ . Jika pada waktu tertentu nilai  $x_i$  tercatat sebagai NaN (Not a Number), maka nilai tersebut dianggap tidak tersedia sehingga tidak disertakan dalam proses perhitungan rata-rata.

Variabilitas iklim yang dipengaruhi fenomena El-Nino–Southern Oscillation

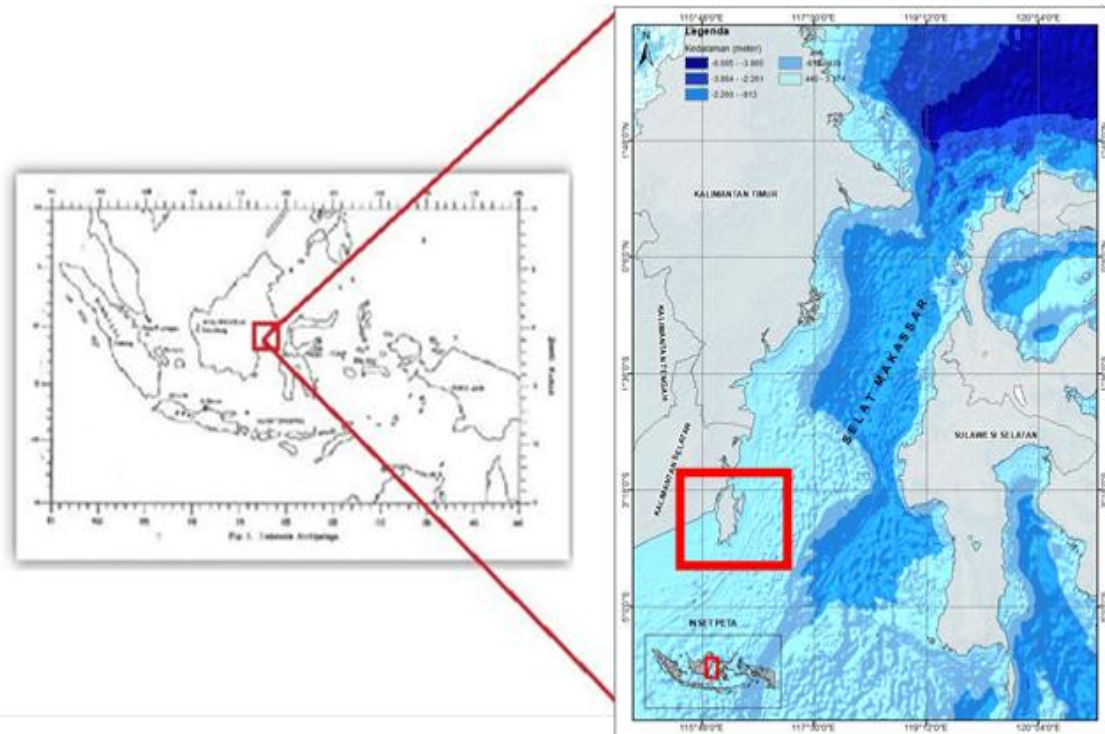
(ENSO) ditentukan berdasarkan anomali suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Nino 3.4. Anomali SPL yang lebih besar dari  $+0,5^{\circ}\text{C}$  menunjukkan kondisi El-Nino, sedangkan nilai yang lebih rendah dari  $-0,5^{\circ}\text{C}$  menunjukkan kondisi La-Nina. Untuk menilai hubungan antara curah hujan dan konsentrasi klorofil-a digunakan analisis korelasi. Hubungan tersebut dianalisis menggunakan rumus Korelasi Pearson sebagaimana dijelaskan oleh (Sugiyono, 2011), yang dipakai untuk menilai kekuatan hubungan linear antara dua variabel numerik.

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

Koefisien korelasi ( $r$ ) digunakan untuk mengukur tingkat keterkaitan antara dua variabel, yaitu variabel bebas ( $X$ ) dan variabel terikat ( $Y$ ), berdasarkan jumlah data pengamatan  $n$ . Nilai korelasi Pearson ( $r$ ) berada pada kisaran  $-1$  hingga  $+1$ . Korelasi positif ( $0$  sampai  $+1$ ) menunjukkan bahwa kedua variabel bergerak dalam arah yang sama, sedangkan korelasi negatif ( $-1$  sampai  $0$ ) mengindikasikan bahwa perubahan kedua variabel tersebut berlawanan arah.

## 2.2. Peta Penelitian

Penelitian ini berlokasi di perairan Pulau Laut, wilayah pesisir strategis di Kalimantan Selatan yang dipisahkan dari daratan utama Kalimantan dan berbatasan administratif dengan Kabupaten Kotabaru. Pulau ini memiliki akses transportasi laut sebagai jalur utama mobilitas barang dan manusia menuju wilayah sekitarnya. Kajian dilakukan selama 16 tahun, mulai tahun 2007 hingga 2022, dengan tujuan mengevaluasi dampak fenomena ENSO terhadap perubahan curah hujan dan konsentrasi klorofil-a pada perairan Pulau Laut.



Gambar 1. Peta Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

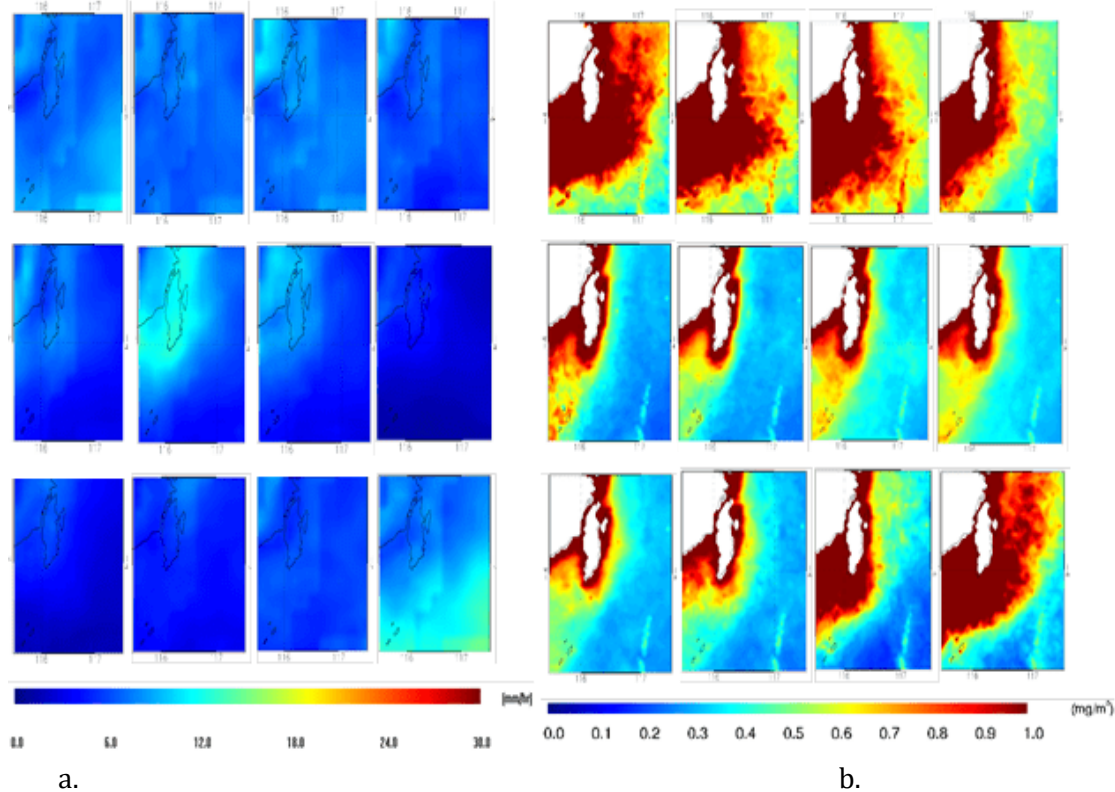
Peta klimatologi yang disajikan diperoleh dari perhitungan rata-rata bulanan, yaitu dengan menggabungkan nilai bulan yang sama pada seluruh periode pengamatan untuk menghasilkan rata-rata klimatologis tahunan. Hasilnya kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta tematik sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan peta sebaran curah hujan di perairan Pulau Laut untuk periode 2007–2022 (Gambar 2a), terlihat bahwa wilayah pesisir menerima curah hujan tertinggi. Pola serupa juga tampak pada distribusi klorofil-a (Gambar 2b), di mana nilai tertinggi juga terpusat di daerah pesisir. Kondisi ini berkaitan dengan tingginya suplai nutrisi dari daratan menuju laut, sehingga memicu kenaikan konsentrasi klorofil-a di zona pesisir. Pada Musim Barat yaitu Des-Feb klorofil di Pulau Laut ini bernilai 0,46-1,26 mg/m<sup>3</sup> dan curah hujan bernilai 4-7 mm/hr. Pada Musim peralihan I yaitu Mar-Mei klorofil di Pulau Laut bernilai 0,47-1,13 mg/m<sup>3</sup> dan curah hujan bernilai 5-7 mm/hr. Pada Timur yaitu Jun-Ags klorofil di Pulau Laut bernilai 0,46-0,97 mg/m<sup>3</sup> dan curah hujan bernilai 3-6 mm/hr. Pada Musim peralihan II yaitu Sep-Nov klorofil di Pulau Laut bernilai 0,56-0,52

mg/m<sup>3</sup> dan curah hujan bernilai 5-9 mm/hr. Hal ini dapat disimpulkan bahwa curah hujan sangat mempengaruhi tingginya klorofil di Pulau Laut, karena saat curah hujan tinggi maka nilai klorofil juga meningkat. Tingginya klorofil di Pulau Laut ini disebabkan upwelling. Konsentrasi klorofil-a cenderung meningkat mendekati pesisir perairan, hal ini karena keberadaan nutrisi yang tinggi yang berasal dari perairan daratan. Tinggi-rendahnya kandungan klorofil fitoplankton sangat dipengaruhi oleh lingkungan daratan, yakni masuknya zat-zat hara melalui aliran sungai yang bermuara di sepanjang pantai (Prianto, et al., 2013).

Pada penelitian ini, peta spasial anomali juga dibuat untuk mengidentifikasi kondisi ekstrem berdasarkan fase ENSO. Tahun 2007 dipilih sebagai perwakilan fase La Nina kuat dengan anomali SPL sebesar -1,5, sedangkan tahun 2015 menggambarkan fase El-Nino kuat dengan anomali SPL +2,46. Nilai anomali diperoleh dari selisih antara data bulanan suatu tahun dengan rata-rata klimatologi tahunan sebelumnya, lalu divisualisasikan dalam bentuk peta. Pada tahun 2007, curah hujan di perairan Pulau Laut menunjukkan anomali positif sebesar 2 mm/hari, sementara

pada tahun 2015 nilai anomali negatif mencapai  $-5$  mm/hari. El-Nino kuat diketahui menurunkan curah hujan tahunan secara signifikan di berbagai wilayah Indonesia

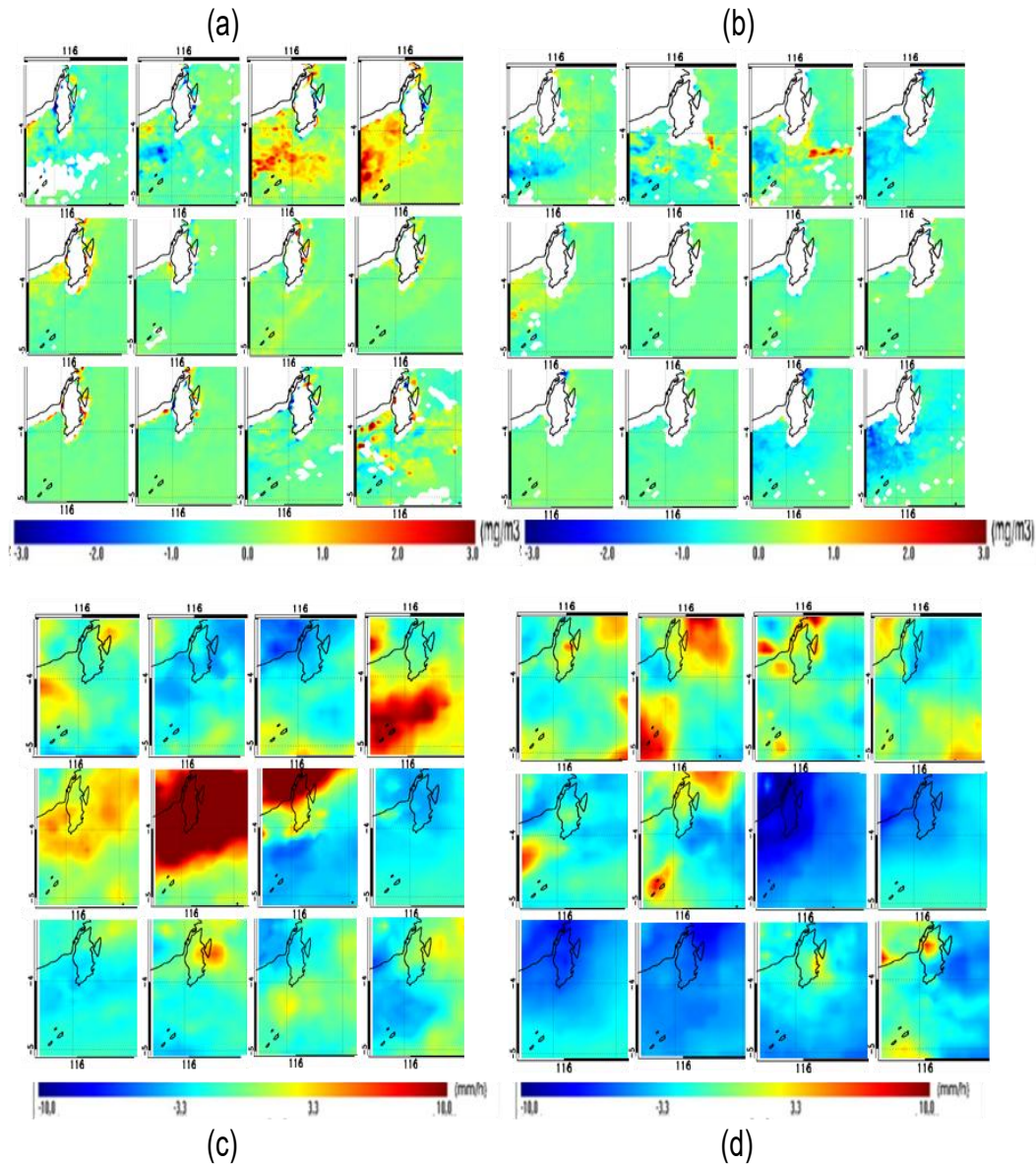
seperti Kalimantan, Jawa bagian utara, Nusa Tenggara, dan sebagian Papua (Vitri, 2014).



**Gambar 2.** Peta klimatologi curah hujan di perairan Pulau Laut (a) dan Peta klimatologi klorofil-a di perairan Pulau Laut

Pada tahun 2007 ketika terjadi La-Nina kuat, konsentrasi klorofil-a di perairan pesisir Pulau Laut meningkat, sebagaimana terlihat pada Gambar 3(a). Kenaikan ini erat kaitannya dengan tingginya limpasan daratan yang membawa nutrisi menuju wilayah pesisir. Analisis anomali bulanan klorofil-a tahun tersebut menunjukkan nilai sebagai berikut: Januari  $-0,06$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Februari  $-0,18$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Maret  $0,58$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , April  $0,70$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Mei  $0,01$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Juni  $-0,02$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Juli  $0,23$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Agustus  $0,01$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , September  $0,05$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Oktober  $0,03$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , November  $-0,05$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , dan Desember  $0,14$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Secara keseluruhan, peningkatan kadar klorofil-a pada fase La-Nina mencerminkan kontribusi curah hujan tinggi melalui suplai nutrisi dari daratan. Hubungan tersebut diperkuat oleh peran klorofil-a sebagai pigmen kunci fotosintesis,

di mana variabilitas curah hujan dapat mengubah ketersediaan air dan nutrisi sehingga mempengaruhi produktivitas primer serta dinamika fitoplankton di perairan pesisir. Sebaliknya, pada tahun 2015 yang ditandai El-Nino kuat, konsentrasi klorofil-a menurun sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3(b). Nilai anomali klorofil bulanan tercatat sebagai berikut: Januari  $-0,28$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Februari  $-0,28$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Maret  $-0,17$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , April  $-0,34$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Mei  $0,011$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Juni  $-0,09$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Juli  $-0,06$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Agustus  $0,012$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , September  $0,08$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , Oktober  $-0,04$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , November  $-0,31$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , dan Desember  $-0,40$   $\text{mg}/\text{m}^3$ . Penurunan anomali ini sejalan dengan berkurangnya curah hujan selama El-Nino, yang mengakibatkan menurunnya masukan nutrisi dari daratan.



**Gambar 3.** Anomali klorofil Tahun 2007 di perairan Pulau Laut(a), anomali klorofil Tahun 2015 di perairan Pulau Laut (b), anomali curah hujan Tahun 2007 di perairan Pulau Laut (c), dan anomali curah hujan Tahun 2015 di perairan Pulau Laut (d).

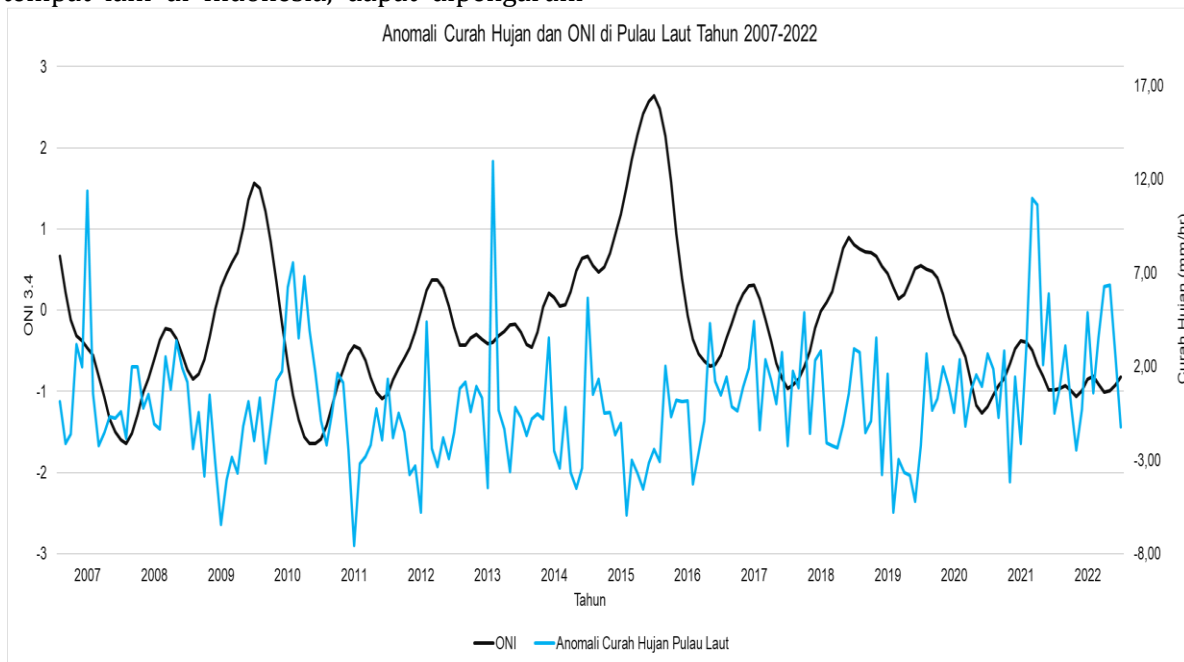
Pada tahun 2007, anomali curah hujan di perairan Pulau Laut juga menunjukkan variasi bulanan seperti ditunjukkan pada Gambar 3(c), dengan nilai: Januari 1,60 mm/hari, Februari -1.31 mm/hari, Maret -2.28 mm/hari, April 0.39 mm/hari, Mei -0.13 mm/hari, Juni 4.66 mm/hari, Juli 2,51 mm/hari, Agustus -1.52 mm/hari, September -1,29 mm/hari, Oktober -1,54 mm/hari, November -1,40 mm/hari, dan Desember -1,20 mm/hari. Data ini mengindikasikan bahwa meskipun sebagian besar bulan menunjukkan anomali negatif, Januari mencatat curah hujan

yang sangat tinggi. Pola ini sejalan dengan karakteristik iklim tropis perairan Pulau Laut, yang mengalami peningkatan hujan pada musim basah dan penurunan pada musim kemarau. Pada 2015, kondisi curah hujan menunjukkan penurunan tajam pada banyak bulan akibat El-Nino, seperti diperlihatkan pada Gambar 3(d). Anomali hujan bulanan tercatat: Januari 1.12 mm/hari, Februari 1.47 mm/hari, Maret -1.06 mm/hari, April 0,28 mm/hari, Mei -1,11 mm/hari, Juni 0,13 mm/hari, Juli -4,85 mm/hari, Agustus -2,98 mm/hari, September -4,02 mm/hari, Oktober -

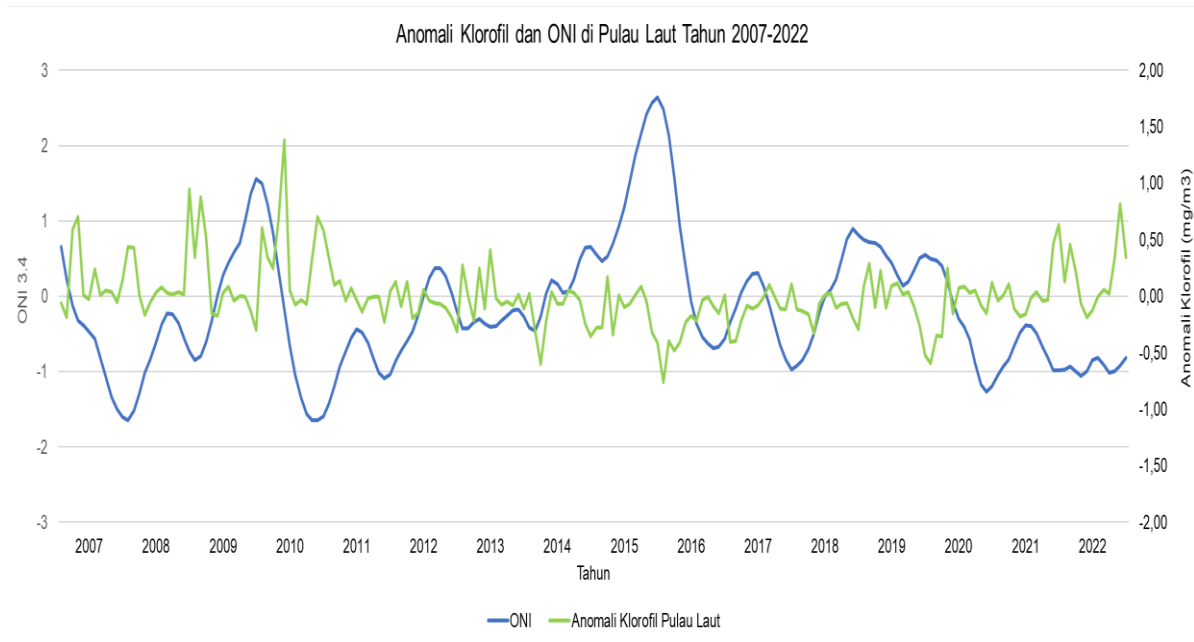
4,76 mm/hari, November -2,81 mm/hari, dan Desember -2,50 mm/hari. Anomali negatif yang dominan di pertengahan hingga akhir tahun menegaskan kuatnya pengaruh El-Nino terhadap penurunan curah hujan di wilayah tersebut.

Berdasarkan analisis secara keseluruhan hubungan anomali curah hujan dan ONI di Pulau Laut dengan Indeks Nino 3.4 dari tahun 2007-2022. Hubungan anomali curah hujan di perairan Pulau Laut berbanding terbalik dengan Indeks Nino 3.4. Dimana saat anomali Pasifik Timur bernilai positif dan anomali curah hujan di perairan Pulau Laut bernilai negatif. Pada Tahun 2007 merupakan La-Nina kuat bernilai -1,5 dan anomali curah hujan di perairan Pulau Laut 8 mm/hr. Tahun 2008 merupakan La-Nina lemah bernilai -0,5 dan anomali Curah Hujan di perairan Pulau Laut 2 mm/hr. Tahun 2015 merupakan El-Nino kuat bernilai 2,46 dan anomali curah hujan Pulau Laut -3,5 mm/hr. Anomali curah hujan di perairan Pulau Laut, seperti di banyak tempat lain di Indonesia, dapat dipengaruhi

oleh berbagai faktor termasuk iklim, musim, dan fenomena cuaca alam seperti El-Nino dan La-Nina. Anomali curah hujan adalah variasi dari pola hujan yang normal atau yang diharapkan dalam suatu wilayah dan periode waktu. Dampak El-Nino terhadap penurunan curah hujan tercatat di berbagai wilayah Indonesia, meskipun tingkat pengaruhnya berbeda-beda antar daerah, dan relatif lebih rendah di Kalimantan, utara Jawa, Nusa Tenggara, dan sebagian Papua (Vitri, 2014). Selanjutnya, hubungan antara anomali klorofil dan Indeks Nino 3.4 pada 2007-2022 (Gambar 5) juga menunjukkan korelasi negatif. Saat indeks Niño 3.4 bernilai positif (El-Nino), anomali klorofil di perairan Pulau Laut cenderung negatif akibat menurunnya suplai nutrisi dari daratan melalui berkurangnya curah hujan. Sebaliknya, selama La-Nina, peningkatan hujan memperbesar limpasan daratan dan masukan nutrisi, sehingga mendorong peningkatan konsentrasi klorofil-a di wilayah pesisir.



Gambar 4. Anomali Curah Hujan dan ONI di perairan Pulau Laut



**Gambar 5.** Anomali klorofil dan ONI di perairan Pulau Laut

Berdasarkan analisis El-Nino kuat, lemah dan La-Nina kuat lemah hubungan anomali klorofil di perairan Pulau Laut dengan Indeks Nino 3.4 dari tahun 2007-2022. Hubungan anomali klorofil di perairan Pulau Laut berbanding terbalik dengan Indeks Nino 3.4. Dimana saat anomali Pasifik Timur bernilai positif dan anomali klorofil di perairan Pulau Laut bernilai negatif. Pada Tahun 2007 merupakan La-Nina kuat bernilai -1,5 dan anomali klorofil di perairan Pulau Laut 0,40 mg/m<sup>3</sup>. Tahun 2015 merupakan El-Nino kuat bernilai 2,46 dan anomali klorofil di perairan Pulau Laut - 0,50 mg/m<sup>3</sup>. Temuan ini menegaskan bahwa ENSO berperan dalam mengontrol produktivitas perairan, terutama melalui mekanisme perubahan suhu permukaan laut, curah hujan, dan pola pergerakan massa air. Kondisi La-Nina yang meningkatkan hujan dan aliran nutrien dari darat cenderung merangsang pertumbuhan fitoplankton, sedangkan El-Nino yang membawa iklim kering justru membatasi suplai nutrien dan menekan produksi primer.

Korelasi ENSO dan klorofil Musim Barat di perairan Pulau Laut yaitu sebesar - 0,525 yang artinya memiliki hubungan yang negatif dan memiliki korelasi sedang yaitu saat El-Nino tinggi maka klorofil rendah dan sebaliknya. Korelasi ENSO dan klorofil Musim Timur di perairan Pulau Laut yaitu sebesar -

0,066 yang artinya memiliki hubungan yang negatif dan memiliki korelasi sangat lemah yang artinya saat El-Nino tinggi maka klorofil rendah. Pada wilayah perairan Pulau Laut di Musim Barat memiliki nilai p value lebih kecil dari 0,05 yaitu 0,000 artinya memiliki hubungan signifikan antara ENSO dan klorofil Musim Barat di perairan Pulau Laut. Pada wilayah perairan Pulau Laut di Musim Timur memiliki nilai p value lebih besar dari 0,05 yaitu 0,645 artinya tidak memiliki hubungan signifikan antara ENSO dan klorofil Musim Timur di perairan Pulau Laut.

Berbeda dengan klorofil, korelasi ENSO dan curah hujan Musim Barat di perairan Pulau Laut yaitu sebesar -0,079 yang artinya memiliki hubungan yang negatif dan memiliki korelasi sangat lemah yaitu saat El-Nino tinggi maka curah hujan rendah dan sebaliknya. Korelasi ENSO dan curah hujan Musim Timur di perairan Pulau Laut yaitu sebesar -0,378 yang artinya memiliki hubungan yang negatif dan memiliki korelasi lemah yang artinya saat El-Nino tinggi maka curah hujan rendah. Pada wilayah perairan Pulau Laut di Musim Barat memiliki nilai p value lebih besar dari 0,05 yaitu 0,595 artinya tidak memiliki hubungan signifikan antara ENSO dan curah hujan Musim Barat di perairan Pulau Laut. Pada wilayah perairan Pulau Laut di Musim Timur memiliki nilai p value lebih kecil dari 0,05 yaitu 0,008

artinya memiliki hubungan signifikan antara ENSO dan curah hujan Musim Timur di perairan Pulau Laut. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ketika indeks ENSO meningkat (fase El-Nino menguat), curah hujan di Pulau Laut cenderung menurun secara konsisten di kedua musim. Temuan ini sejalan dengan karakteristik umum El-Nino di Indonesia bagian tengah-timur, yang memicu kondisi lebih kering dari normal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa fenomena ENSO berpengaruh signifikan terhadap variabilitas curah hujan musiman. Khususnya, ketika terjadi El-Nino (nilai indeks ENSO positif), curah hujan di wilayah ini cenderung menurun. Hal ini selaras dengan karakteristik umum pengaruh El-Nino di wilayah Indonesia bagian tengah dan timur yang menyebabkan kondisi lebih kering dari normal (Zulfa, et al., 2025). Dapat disimpulkan bahwa di perairan selatan Makassar dan Pulau Laut, faktor ENSO lebih berpengaruh terhadap curah hujan dibandingkan dengan angin (Zulfa, et al., 2024).

#### 4. Kesimpulan

Analisis hubungan ENSO terhadap curah hujan dan klorofil-a di perairan Pulau Laut menunjukkan bahwa pada musim barat tidak terdapat hubungan signifikan antara ENSO dan curah hujan, ditunjukkan oleh nilai p sebesar 0,595 ( $>0,05$ ) dengan korelasi -0,079 yang mencerminkan hubungan negatif sangat lemah. Pada musim timur hubungan tersebut menjadi signifikan, dengan p-value 0,008 dan korelasi -0,378, yang mengindikasikan bahwa semakin kuat El-Nino, curah hujan cenderung menurun. Pada musim barat terdapat hubungan signifikan dengan p-value 0,000 ( $<0,05$ ) dan korelasi -0,525. Hal ini menandakan bahwa pada musim barat, peningkatan ENSO (mengarah ke El-Nino) berasosiasi dengan penurunan konsentrasi klorofil-a dengan kekuatan hubungan sedang. ENSO tidak berpengaruh signifikan terhadap curah hujan di Pulau Laut pada musim barat, tetapi memiliki pengaruh signifikan pada musim timur karena curah hujan menurun saat El-Nino menguat. Untuk klorofil-a pada saat ENSO justru menunjukkan pengaruh signifikan pada musim barat, di mana konsentrasinya menurun saat El-Nino

meningkat, sementara pada musim lain pengaruhnya tidak konsisten.

#### Daftar Pustaka

- Aldrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452.
- Hendon, H. (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and the Indian Ocean Dipole. *Journal of Climate*, 16(11), 1775–1790.
- Hidayatullah, M., Yanuwidi, B., & Anwar, M. (2021). *Kajian Kesesuaian Budidaya Laut Karamba Jaring Apung Perairan Gugusan Pulau Laut Kepulauan Kabupaten Kotabaru*. *EnviroScience Journal*, 5(2), 45–56. <https://ppip.ulm.ac.id/journal/index.php/es/article/view/11498>.
- Lavigne, H., Zande, D.V., Ruddick, K., Santos, J.F.C.D., Gohin, F., Brotas V. & Kratzer, S. (2021). Quality control tests for OC4, OC5 and NIR-red satellite chlorophyll-a algorithms applied to coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 255(1), 1-19. doi: 10.1016/j.rse.2020.112237.
- Leila, A. S., & Baharuddin. (2019). *Pengelolaan pulau-pulau kecil: Potensi pengembangan ekowisata Pulau Laut Kepulauan*. Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan 2019, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura (Unpatti), Ambon, 18-19 Desember 2019. ISBN 978-602-5943-27-0.
- Petrova, D., Lowe, R., Stewart-Ibarra, A., Ballester, J., Koopman, S.J. & Rodo, X. (2019). Sensitivity of large dengue epidemics in Ecuador to long-lead predictions of El Niño. *Climate Services*, 15(1), 1-9. doi : 10.1016/j.cliser.2019.02.003.
- Prianto, T. Zia., Riris A. (2013). Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a di Selat Bangka dengan Menggunakan Citra Aqua-Modis. *Maspari Journal*, 5 (1), 22-33.
- Putra, E., Gaol, J.L., & Siregar V. (2017). Hubungan Konsentrasi Klorofil-a Dan Suhu Permukaan Laut Dengan Hasil

- Tangkapan Ikan Pelagis Utama Di Perairan Laut Jawa Dari Citra Satelit Modis. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 3(2), 1–10. doi: 10.24319/jtpk.3.1-10.
- Reis-Santos, P., Conдини, M.V., Albuquerque, C.Q., Saint’Pierre, T.D., Garcia, A.M., Gillanders, B.M. & Tanner, S.E. (2021). El Niño –Southern Oscillation drives variations in growth and otolith chemistry in a top predatory fish. *Ecological Indicators*, 121(1), 1-11. doi : 10.1016/j.ecolind.2020.106989.
- Sari, N., Hidayat, M., & Utami, D. (2021). ENSO-driven rainfall variability in Indonesia: seasonal and spatial response. *Journal of Environmental Climate Studies*, 9(2), 55–64.
- Sayad, Y.O. (2023). Mapping Potential Fishing Zones Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Moroccan Waters. Resbee Publishers, pp.1-13. doi: 10.46253/j.mr.v6i2.a1.
- Smith S.A. & Barnard P.L. (2021). The impacts of the 2015/2016 El Niño on California's sandy beaches. *Geomorphology*, 377(1), 1-18. doi : 10.1016/j.geomorph.2020.107583.
- Sugiyono (2011). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Wang, B., & Liu, J. (2021). Ocean–atmosphere interaction and ENSO dynamics. *Climate Dynamics*, 56(3), 1205–1223.
- Wang, M., Jiang L., Mikelsons K., & Liu X. (2021). Satellite-derived global chlorophyll-a anomaly products. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 97(1), 1-11. doi: 10.1016/j.jag.2020.102288.
- Wirasatriya, A., Raden, D.S., Joga, D.S., Fatwa, R., Iskhaq, I., Abd, R.J., Ardiansyah, D.P., Kunarso., & Lilik M. (2021). High Chlorophyll-a Areas along the Western Coast of South Sulawesi-Indonesia during the Rainy Season Revealed by Satellite Data. *Jurnal Remote Sensing*, 13(1), 1-12. doi: o10.3390/rs13234833.
- Wirasatriya, A., Riza Y.S., & Petrus S. (2017). The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12), 5513-5518. doi: 10.1109/JSTARS.2017.2745207.
- Zuleta, M., Torres, J., & Ramirez, A. (2020). La Niña influence on extreme precipitation events in Southeast Asia. *International Journal of Hydrometeorology*, 14(4), 211–225.
- Zulfa, I. N, Wirasatriya, A., Ismanto, A. (2024). Kajian Spasial dan Temporal Klorofil-a di Selat Makassar: Variasi Musiman dan Antar Tahunan. *Jurnal Buletin Oseanografi Marina*, 13 (3), 311-326.
- Zulfa, I. N, Wirasatriya, A., Ismanto, A. (2025). Pengaruh ENSO Terhadap Variabilitas Curah Hujan Dan Klorofil-A di Perairan Samarinda. *Jurnal Kelautan Tropis*, 28 (2), 277-287.