

Pengaruh ENSO Terhadap Variabilitas Curah Hujan Dan Klorofil-A di Perairan Samarinda

Istna Nabila Zulfa*, Anindya Wirasatriya, Aris Ismanto

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacobus Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: istnanabilazulfa@students.undip.ac.id

Abstract

The Effect Of Enso On The Variability Of Rainfall And Chlorophyll-A In Samarinda Waters

Samarinda is located along the Mahakam River, which is one of the largest rivers on the island of Borneo. The river stretches for approximately 920 kilometers, starting from the mountains in East Kalimantan and ending at the Makassar Strait. The Mahakam River plays an important role in the daily activities of the people of Samarinda. This study aims to analyze how rainfall intensity affects chlorophyll-a levels in Samarinda waters during the west and east seasons. The data used in this study came from satellite imagery. Sea surface temperature information was taken from the Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) source, while chlorophyll data was obtained from The Ocean Color CCI (OC CCI). For rainfall, data was collected through the Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMaP), and wind speed data was obtained from ASCAT. All temperature, wind, chlorophyll and rainfall data were spatially processed using IDL (Interactive Data Language) software. This study used data for 16 years, from January 2007 to December 2022. The results of the analysis show that in the Samarinda water area, there is a significant relationship between ENSO and rainfall in the west season, as indicated by a p value of 0.000 (<0.05). The correlation between ENSO and western season rainfall is -0.510, indicating a negative relationship with moderate strength, i.e. rainfall tends to decrease when El-Nino increases, and vice versa. Meanwhile, the relationship between ENSO and rainfall in the eastern season in the same area is also significant, with a p-value of 0.001. The correlation of -0.459 shows a negative direction and moderate correlation strength, which means that when El-Nino is strong, rainfall decreases. The relationship between ENSO and chlorophyll-a concentration is different. In the western season, the p value of 0.248 (>0.05) indicates that there is no significant relationship. The correlation value of -0.170 indicates a very weak negative relationship, meaning that when El Niño occurs, chlorophyll-a tends to decrease but not significantly. The same is true for the eastern season, where a p value of 0.615 indicates no significant relationship between ENSO and chlorophyll-a. The positive correlation of 0.074 is also very weak, meaning that when El Niño increases, chlorophyll-a increases slightly but this relationship is not strong.

Keywords : Chlorophyll-a, Rainfall, Samarinda

Abstrak

Samarinda berada di sepanjang aliran Sungai Mahakam, yang merupakan salah satu sungai terbesar di Pulau Kalimantan. Sungai ini membentang sepanjang kurang lebih 920 kilometer, bermula dari pegunungan di wilayah Kalimantan Timur dan berakhir di Selat Makassar. Sungai Mahakam memiliki peranan penting dalam aktivitas sehari-hari masyarakat Samarinda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana intensitas curah hujan memengaruhi kadar klorofil-a di wilayah Perairan Samarinda selama musim barat dan musim timur. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari citra satelit. Informasi suhu permukaan laut diambil dari sumber Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA), sedangkan data klorofil diperoleh dari The Ocean Color CCI (OC CCI). Untuk curah hujan, data dikumpulkan melalui Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMaP), dan data kecepatan angin diperoleh dari ASCAT. Seluruh

*) Corresponding author
www.ejournal2.undip.ac.id/index.php/jkt

data suhu, angin, klorofil, dan curah hujan diolah secara spasial menggunakan perangkat lunak IDL (Interactive Data Language). Penelitian ini menggunakan data selama 16 tahun, yaitu dari Januari 2007 hingga Desember 2022. Hasil analisis menunjukkan bahwa di kawasan perairan Samarinda, terdapat hubungan yang signifikan antara ENSO dan curah hujan pada musim barat, yang ditunjukkan oleh nilai p sebesar 0,000 ($< 0,05$). Korelasi antara ENSO dan curah hujan musim barat bernilai -0,510, menandakan adanya hubungan negatif dengan kekuatan sedang, yaitu curah hujan cenderung menurun saat El-Nino meningkat, dan sebaliknya. Sementara itu, hubungan antara ENSO dan curah hujan pada musim timur di daerah yang sama juga signifikan, dengan p -value 0,001. Korelasi sebesar -0,459 menunjukkan arah hubungan yang negatif dan kekuatan korelasi sedang, yang berarti saat El-Nino kuat, curah hujan menurun. Berbeda halnya dengan hubungan ENSO dan konsentrasi klorofil- a . Di musim barat, nilai p sebesar 0,248 ($> 0,05$) menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan. Nilai korelasi sebesar -0,170 mengindikasikan hubungan negatif yang sangat lemah, artinya saat terjadi El-Nino, klorofil- a cenderung menurun namun tidak secara signifikan. Hal serupa juga ditemukan pada musim timur, di mana nilai p sebesar 0,615 menunjukkan tidak adanya hubungan yang signifikan antara ENSO dan klorofil- a . Korelasi positif sebesar 0,074 pun sangat lemah, yang berarti saat El-Nino meningkat, klorofil- a sedikit meningkat namun hubungan ini tidak kuat.

Kata kunci : Klorofil- a , Curah Hujan, Samarinda

PENDAHULUAN

Klorofil- a merupakan pigmen penting yang diperlukan tumbuhan, khususnya fitoplankton, dalam menjalankan proses fotosintesis. Parameter seperti klorofil- a , suhu permukaan laut (SPL), dan karbon organik partikulat (POC) dapat dimanfaatkan sebagai indikator untuk menilai produktivitas perairan serta memberikan gambaran mengenai potensi ketersediaan ikan (Sayad, 2023). Dalam konteks produktivitas primer laut dan lokasi perikanan, klorofil- a kerap dijadikan sebagai indikator utama (Zhang *et al.*, 2023). Selain berfungsi sebagai penggerak utama fotosintesis, klorofil- a juga berperan sebagai produsen dalam rantai makanan laut (Hastuti *et al.*, 2021). Kandungan klorofil juga menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan karakteristik optik, biologi, serta biokimia dari air laut, sekaligus berkaitan erat dengan dampak lingkungan dan perubahan iklim global (Wang *et al.*, 2021). Konsentrasi klorofil- a dapat dipantau melalui pengolahan data dari citra satelit. Satelit ini menyediakan prakiraan yang sangat berguna untuk mengamati fenomena eutrofikasi (Lavigne *et al.*, 2021). Dinamika pergerakan air laut turut memengaruhi terbentuknya proses upwelling, yang pada akhirnya berdampak pada penyebaran klorofil- a yang tidak merata. Upwelling yang terjadi di suatu wilayah laut dapat dipetakan dan dijadikan acuan awal untuk menentukan lokasi perikanan yang potensial (Unputtied *et al.*, 2022). Penelitian oleh Kunarso *et al.* (2022) mengkaji variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil- a serta intensitas upwelling di Selat Makassar, sedangkan Wirasatriya *et al.* (2021) meneliti sebaran klorofil- a yang tinggi di sepanjang wilayah pantai barat daya Sulawesi selama musim hujan dengan menggunakan data dari satelit. Penelitian ini bertujuan untuk menelusuri pengaruh El Nino-Southern Oscillation (ENSO) terhadap klorofil- a , baik dari segi spasial maupun temporal di perairan Samarinda. ENSO merupakan fenomena iklim utama yang memiliki pengaruh signifikan terhadap pola iklim di kawasan Pasifik (Smith & Barnard, 2021). ENSO berperan besar dalam mengatur distribusi spasial klorofil- a di wilayah perairan Indonesia. Fenomena ENSO disebabkan oleh interaksi skala besar antara atmosfer dan laut di kawasan tropis Samudra Pasifik (Wang & Liu, 2021), dan terdiri atas dua fase, yaitu fase pemanasan yang dikenal sebagai El-Nino dan fase pendinginan yang disebut La-Nina (Reis Santos *et al.*, 2021). ENSO sendiri ditandai oleh adanya anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino 3.4 atau ditentukan berdasarkan indeks ENSO yang berada dalam ambang batas tertentu selama tiga bulan berturut-turut (Petrova *et al.*, 2019). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa ENSO hanya mempengaruhi peningkatan klorofil dan penurunan suhu permukaan laut (SST), tetapi tidak mengubah area blooming maupun area pendinginan seperti yang ditemukan di sekitar muara Teluk Tomini dan Semenanjung Bitung. Pola sebaran spasial tersebut sejalan dengan pola angin, di mana

angin bertiup lebih kencang selama El-Nino dan melemah saat La-Nina. Selama fase El-Nino, gradien tekanan muka laut yang meningkat memicu terjadinya angin selatan yang lebih kencang (Wirasatriya *et al.*, 2021).

Curah hujan merujuk pada volume air yang jatuh ke permukaan bumi dalam suatu rentang waktu tertentu dan biasanya diukur dalam satuan milimeter pada permukaan datar. Definisi lainnya mencakup jumlah air hujan yang tertampung di atas bidang datar yang tidak mengalami penguapan, infiltrasi, ataupun limpasan. Karena topografi wilayahnya yang beragam, Indonesia memiliki karakteristik hujan yang bervariasi. Misalnya, curah hujan 1 mm berarti satu meter persegi permukaan menerima air setinggi 1 mm. Curah hujan harian adalah jumlah hujan yang tercatat selama 24 jam di suatu stasiun pengamatan. Data harian ini biasanya digunakan untuk analisis kebutuhan air pertanian dan perencanaan waduk. Sedangkan curah hujan harian maksimum merujuk pada jumlah hujan tertinggi yang tercatat dalam satu tahun di satu lokasi pengamatan tertentu (Susilowati & Saddam, 2015). Terdapat beberapa faktor meteorologis yang memengaruhi curah hujan di Indonesia, salah satunya adalah fenomena ENSO. Ketika La-Nina aktif, suhu permukaan laut di Indonesia meningkat sementara suhu permukaan laut di wilayah khatulistiwa Pasifik menurun. Kondisi ini menyebabkan peningkatan konveksi dan akumulasi massa udara di wilayah Indonesia, yang mendorong terbentuknya awan dan memperbesar potensi terjadinya hujan. Oleh karena itu, fase La-Nina sering dikaitkan dengan curah hujan yang lebih tinggi dari biasanya, yang berpotensi menyebabkan bencana seperti banjir dan tanah longsor (Nabilah *et al.*, 2017).

Samarinda merupakan ibu kota Provinsi Kalimantan Timur yang berbatasan langsung dengan wilayah Kabupaten Kutai Kartanegara. Secara astronomis, kota ini berada pada koordinat 117°03'00" – 117°18'14" Bujur Timur dan 0°19'02" – 0°42'34" Lintang Selatan, dengan luas area mencapai 718 km² (setara dengan 71.800 hektare) sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 1987 tentang Penetapan Batas Wilayah Kotamadya Daerah Tingkat II Samarinda. Keberadaan sungai-sungai yang mengalir melintasi wilayah Samarinda memberikan kontribusi besar terhadap pertumbuhan dan perkembangan kota ini. Berperan sebagai salah satu pusat ekonomi utama di Kalimantan Timur, Samarinda memiliki posisi yang strategis untuk berbagai aktivitas industri, perdagangan, jasa, serta pemukiman yang berorientasi pada kelestarian lingkungan. Kota ini terletak di tepian Sungai Mahakam, yang merupakan salah satu sungai terpanjang di Pulau Kalimantan, dengan panjang sekitar 920 kilometer. Sungai ini berhulu di pegunungan Kalimantan Timur dan bermuara di Selat Makassar, serta memiliki peran penting dalam kehidupan masyarakat setempat. Sungai Mahakam tidak hanya berfungsi sebagai jalur transportasi, tetapi juga dimanfaatkan oleh warga untuk berbagai aktivitas seperti memancing, mandi, mencuci, buang air, serta pembuangan limbah rumah tangga. Sebagai sungai yang menjadi pusat berbagai kegiatan sosial dan ekonomi, keberadaannya berpotensi memengaruhi konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan Samarinda (Karnelia *et al.*, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fenomena El Nino-Southern Oscillation (ENSO) terhadap variabilitas curah hujan dan konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan Samarinda. 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 Samarinda.

MATERI DAN METODE PENELITIAN

Penelitian ini memanfaatkan data berbasis satelit. Informasi curah hujan yang digunakan mencakup periode selama 16 tahun, dari tahun 2007 hingga 2022, dengan resolusi spasial sebesar 0,10°. Data tersebut diperoleh dari Global Satellite Measurement of Precipitation (GSMaP) yang tersedia melalui platform JAXA Global Rainfall Watch. Alternatif lainnya, data ini juga dapat diakses melalui Marine Copernicus atau diunduh via protokol FTP melalui situs my.cmems-du.eu. Sumber data klorofil-a dalam penelitian ini berasal dari produk Ocean Color CCI (OC-CCI) Level 3 Standard

(L3S), yang disediakan oleh Marine Copernicus. Dataset ini berupa data harian dengan resolusi spasial 4 kilometer dan mencakup rentang waktu dari Januari 2007 hingga Desember 2022. Data ini dikompilasi dari berbagai sensor satelit, termasuk SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS-SNPP & JPSS1, serta OLCI-S3A & S3B, dan tersedia dalam format NetCDF. Sementara itu, informasi mengenai variabilitas iklim El Niño-Southern Oscillation (ENSO) diperoleh dari situs resmi NOAA (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring). Dataset ini berisi nilai anomali suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Nino 3.4 dan digunakan untuk menilai dinamika iklim selama kurun waktu 16 tahun (2007–2022). Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini bersifat kuantitatif, sesuai dengan metode yang dikemukakan oleh Sugiyono (2011) dimana data numerik yang didapatkan akan dianalisis secara statistik dan divisualisasikan dalam bentuk grafik, serta peta.

Data curah hujan dan klorofil-a dalam format harian untuk tahun 2007 hingga 2022 diolah dari file NetCDF (.nc) menggunakan perangkat lunak IDL. Tahapan ekstraksi mencakup pengambilan nilai klorofil-a, curah hujan, serta koordinat spasial. Hasil ekstraksi kemudian disimpan dalam format biner (.bin) untuk keperluan analisis lanjutan. Selanjutnya, data harian dikonversi menjadi data bulanan serta data klimatologi bulanan, dengan metode pengolahan mengacu pada pendekatan yang digunakan oleh Wirasatriya *et al.* (2017).

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

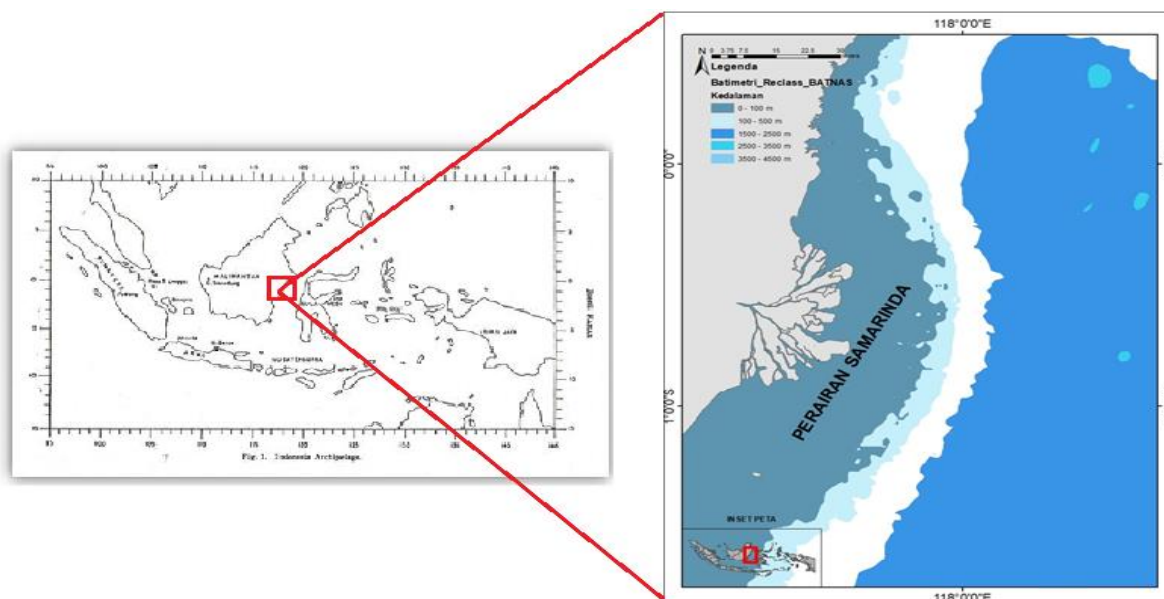
Nilai rata-rata bulanan serta klimatologi bulanan dari variabel $X(x,y)$ dihitung berdasarkan data observasi pada setiap koordinat spasial (x,y) . Jumlah total waktu dalam bentuk jam, hari, atau bulan selama satu periode pengamatan dilambangkan sebagai n , sedangkan i menunjukkan urutan waktu, misalnya hari atau bulan ke- i . Apabila nilai x_i teridentifikasi sebagai NaN (Not a Number), maka data tersebut dianggap tidak tersedia (kosong) dan dikecualikan dari proses perhitungan nilai rata-rata.

Variasi iklim yang dikendalikan oleh fenomena El-Nino-Southern Oscillation (ENSO) diklasifikasikan berdasarkan anomali suhu permukaan laut (SPL) pada wilayah Nino 3.4. Ketika nilai anomali SPL melebihi $+0,5^{\circ}\text{C}$, kondisi ini dikategorikan sebagai El-Nino, sedangkan nilai anomali di bawah $-0,5^{\circ}\text{C}$ mengindikasikan kondisi La-Nina. Untuk mengukur hubungan antara curah hujan dan konsentrasi klorofil-a, digunakan analisis korelasi. Hubungan tersebut dianalisis menggunakan rumus Korelasi Pearson sebagaimana dijelaskan oleh Sugiyono (2011), yang digunakan untuk menentukan tingkat keeratan hubungan linear antara dua variabel kuantitatif.

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

Koefisien korelasi (r) digunakan untuk menunjukkan tingkat hubungan antara dua variabel, yaitu variabel independen (X) dan variabel dependen (Y), berdasarkan jumlah pengamatan n . Nilai koefisien Pearson (r) berada dalam rentang -1 hingga 1. Bila nilai korelasi bernilai positif (antara 0 sampai +1), maka kedua variabel memiliki hubungan searah. Sebaliknya, jika nilai korelasi negatif (antara -1 sampai 0), maka kedua variabel menunjukkan hubungan yang berlawanan arah.

Penelitian ini dilakukan di wilayah Samarinda, yang merupakan pusat pemerintahan Provinsi Kalimantan Timur dan berbatasan langsung dengan Kabupaten Kutai Kartanegara. Sungai Mahakam membelah kota ini dan berperan penting sebagai jalur utama transportasi menuju wilayah pedalaman Kalimantan Timur, baik melalui jalur air, darat, maupun udara. Kajian ini mencakup periode selama 16 tahun, dari 2007 hingga 2022, dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh fenomena ENSO terhadap variabilitas curah hujan dan konsentrasi klorofil-a di kawasan perairan Samarinda.



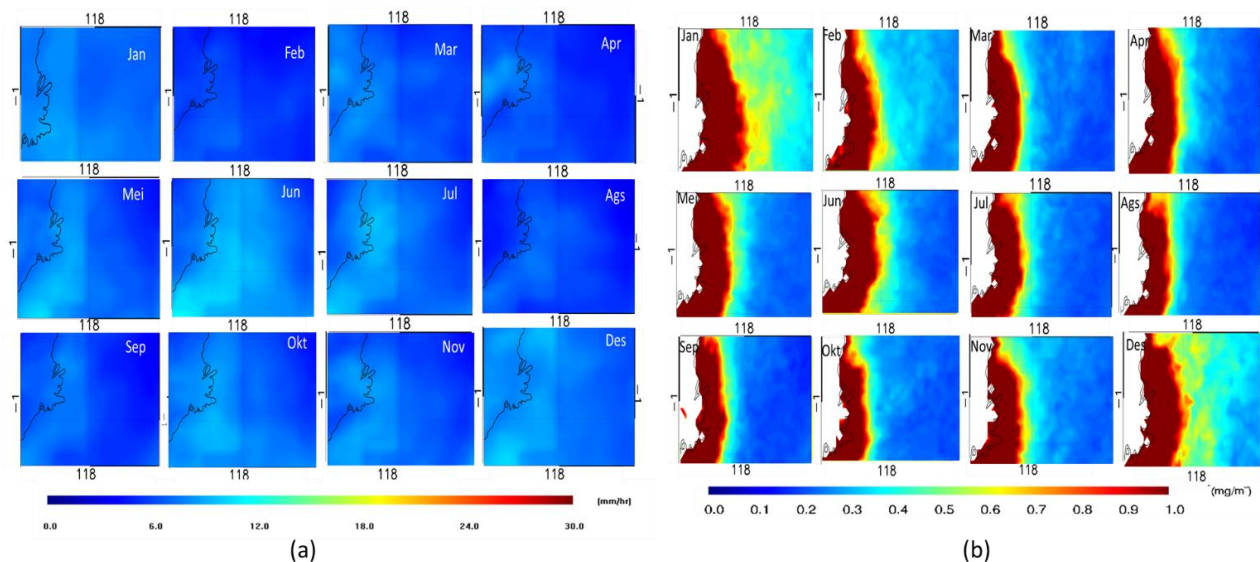
Gambar 1. Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

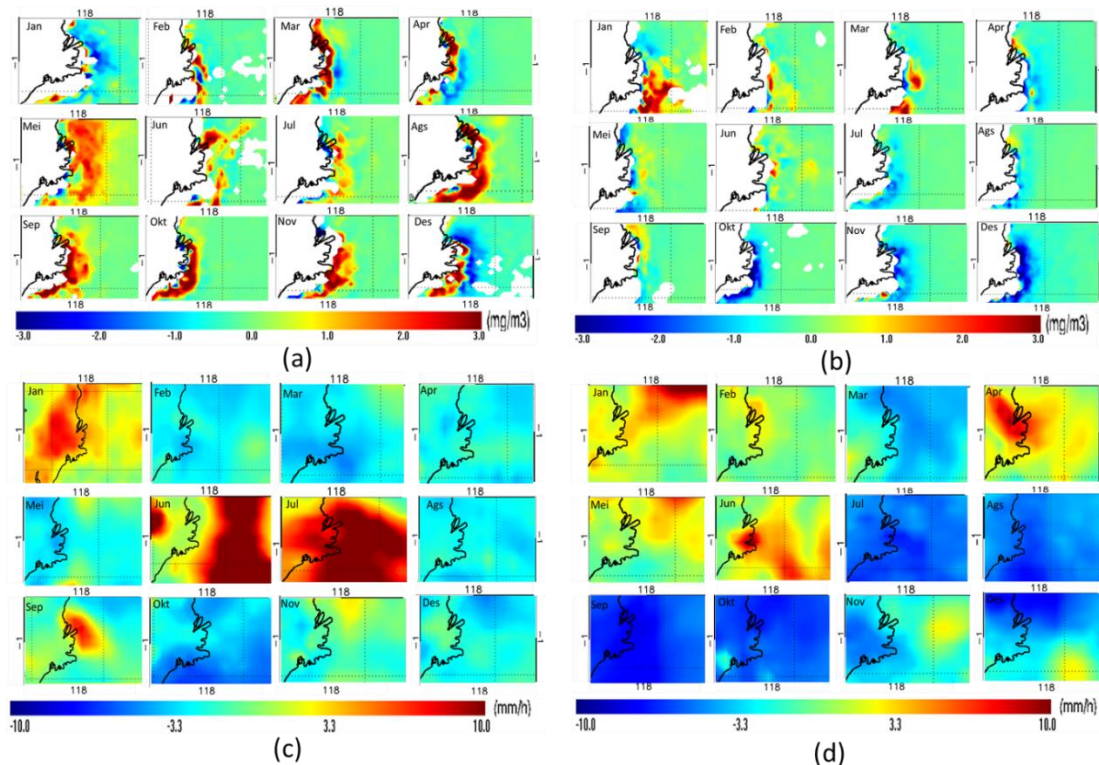
Peta klimatologi yang ditampilkan merupakan hasil dari pengolahan data rata-rata bulanan yang diambil dari bulan yang sama selama seluruh periode pengamatan, kemudian digabungkan untuk menghasilkan nilai rata-rata klimatologis tahunan. Data tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk plot, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan visualisasi spasial curah hujan di wilayah perairan Samarinda dari data klimatologi tahun 2007 hingga 2022 (Gambar 2a), terlihat bahwa intensitas curah hujan tertinggi terjadi di area pesisir. Hal serupa juga ditemukan dalam visualisasi spasial konsentrasi klorofil-a (Gambar 2b), di mana tingkat klorofil-a tertinggi juga terkonsentrasi di daerah pesisir. Peningkatan konsentrasi klorofil-a yang signifikan di wilayah pesisir disebabkan oleh tingginya kandungan nutrisi yang berasal dari aliran daratan menuju laut. Selama musim barat (Desember–Februari), konsentrasi klorofil-a di wilayah Samarinda tercatat tinggi, sekitar 3–4 mg/m³, dengan curah hujan berkisar antara 4–5 mm/hari. Pada masa peralihan pertama (Maret–Mei), nilai klorofil-a meningkat menjadi 4–7 mg/m³, disertai curah hujan sebesar 5–7 mm/hari. Di musim timur (Juni–Agustus), konsentrasi klorofil-a tetap tinggi pada kisaran 4–5 mg/m³ dengan curah hujan yang sedikit menurun antara 3–5 mm/hari. Sedangkan pada musim peralihan kedua (September–November), klorofil-a berada di sekitar 5 mg/m³ dan curah hujan antara 5–7 mm/hari. Tingginya konsentrasi klorofil-a pada umumnya sangat dipengaruhi oleh kontribusi nutrisi dari daratan, terutama yang dibawa oleh aliran sungai yang bermuara di kawasan pesisir (Putra *et al.*, 2017). Sebagai contoh, fenomena blooming klorofil-a di sepanjang pesisir barat Sulawesi Selatan selama musim hujan menunjukkan adanya pengaruh curah hujan terhadap fluktuasi klorofil melalui limpasan air sungai. Limpasan ini membawa serta bahan organik dari aktivitas manusia (antropogenik), yang kemudian memperkaya kandungan klorofil-a di perairan pesisir (Wirasatriya *et al.*, 2021). Pengayaan nutrisi yang berlebihan di wilayah pesisir menjadi salah satu pemicu utama meningkatnya biomassa fitoplankton di kawasan tersebut (Yang & Ye, 2022).

Adapun peta spasial anomali (keruangan) dalam penelitian ini disusun untuk menganalisis tahun-tahun ekstrem berdasarkan fase ENSO. Tahun 2007 dipilih sebagai representasi dari fase La Niña kuat (dengan nilai anomali SPL -1,5), sedangkan tahun 2015 mewakili fase El-Niño kuat (dengan nilai anomali SPL sebesar +2,46). Nilai-nilai anomali ini dihitung dari selisih antara data bulanan pada tahun tertentu dan rata-rata klimatologi tahunan sebelumnya. Visualisasi hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk peta. Pada tahun 2007, curah hujan di Samarinda menunjukkan anomali

positif sebesar 2 mm/hari, sedangkan pada tahun 2015 terjadi anomali negatif sebesar -5 mm/hari. Fenomena El-Nino kuat diketahui menyebabkan penurunan signifikan dalam curah hujan tahunan di berbagai wilayah Indonesia, termasuk Kalimantan, sebagian utara Pulau Jawa, Kepulauan Nusa Tenggara, dan sebagian wilayah Papua (Vitri, 2014).



Gambar 2. Peta klimatologi curah hujan di Perairan Samarinda (a) dan Peta klimatologi klorofil-a di Perairan Samarinda (b)



Gambar 3. Anomali klorofil Tahun 2007 di Perairan Samarinda (a), anomali klorofil Tahun 2015 di Perairan Samarinda (b), anomali klorofil Tahun 2015 di Perairan Samarinda (b), anomali curah hujan Tahun 2007 di Perairan Samarinda (c), dan anomali curah hujan Tahun 2015 di Perairan Samarinda (d).

Pada saat La-Nina kuat terjadi pada tahun 2007, konsentrasi klorofil-a cenderung tinggi di wilayah pesisir Samarinda, sebagaimana terlihat pada Gambar 3(a). Peningkatan konsentrasi ini dikaitkan dengan limpasan (runoff) dari daratan, yang mengalirkan nutrien ke perairan pesisir. Berdasarkan analisis anomali bulanan klorofil-a tahun 2007, nilai-nilai yang diperoleh adalah sebagai berikut: Januari sebesar $-0,12 \text{ mg/m}^3$, Februari $0,51 \text{ mg/m}^3$, Maret $-1,49 \text{ mg/m}^3$, April $0,46 \text{ mg/m}^3$, Mei $0,73 \text{ mg/m}^3$, Juni $-0,18 \text{ mg/m}^3$, Juli $-0,51 \text{ mg/m}^3$, Agustus $0,51 \text{ mg/m}^3$, September $0,40 \text{ mg/m}^3$, Oktober $-0,28 \text{ mg/m}^3$, November $-0,12 \text{ mg/m}^3$, dan Desember $-0,44 \text{ mg/m}^3$. Secara umum, peningkatan kandungan klorofil-a di perairan Samarinda selama La-Nina mencerminkan pengaruh signifikan dari curah hujan tinggi yang menyebabkan peningkatan limpasan daratan. Korelasi antara anomali klorofil-a dan curah hujan dapat dijelaskan melalui peran klorofil-a sebagai pigmen utama dalam proses fotosintesis. Curah hujan mempengaruhi ketersediaan air dan nutrien, yang berdampak langsung terhadap produktivitas primer dan konsentrasi klorofil-a di perairan. Dalam konteks ekosistem akuatik, fluktuasi curah hujan dapat mengubah laju masuknya nutrien ke perairan pesisir melalui aliran sungai, yang selanjutnya berdampak pada dinamika pertumbuhan fitoplankton. Sebaliknya, pada tahun 2015 yang ditandai dengan fenomena El-Nino kuat, konsentrasi klorofil-a relatif lebih rendah di wilayah pesisir, seperti ditunjukkan pada Gambar 3(b). Anomali bulanan klorofil-a tahun tersebut tercatat sebagai berikut: Januari $-0,09 \text{ mg/m}^3$, Februari $-0,27 \text{ mg/m}^3$, Maret $-0,54 \text{ mg/m}^3$, April $0,04 \text{ mg/m}^3$, Mei $-0,15 \text{ mg/m}^3$, Juni $0,02 \text{ mg/m}^3$, Juli $-0,26 \text{ mg/m}^3$, Agustus $-0,06 \text{ mg/m}^3$, September $-0,02 \text{ mg/m}^3$, Oktober $0,06 \text{ mg/m}^3$, November $-0,08 \text{ mg/m}^3$, dan Desember $-0,16 \text{ mg/m}^3$. Penurunan nilai anomali klorofil ini sejalan dengan berkurangnya curah hujan selama periode El-Nino, yang berdampak pada berkurangnya suplai nutrien dari daratan ke perairan pesisir.

Pada tahun 2007 (La-Nina kuat), pola curah hujan di Samarinda menunjukkan fluktuasi bulanan, sebagaimana digambarkan dalam Gambar 3(c). Anomali curah hujan bulanan adalah: Januari $4,64 \text{ mm/hari}$, Februari $-2,84 \text{ mm/hari}$, Maret $-2,17 \text{ mm/hari}$, April $-1,22 \text{ mm/hari}$, Mei $-0,38 \text{ mm/hari}$, Juni $-0,47 \text{ mm/hari}$, Juli $-0,51 \text{ mm/hari}$, Agustus $-0,56 \text{ mm/hari}$, September $-0,81 \text{ mm/hari}$, Oktober $-1,34 \text{ mm/hari}$, November $-1,50 \text{ mm/hari}$, dan Desember $-1,60 \text{ mm/hari}$. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa meskipun sebagian besar bulan menunjukkan anomali negatif, bulan Januari menunjukkan curah hujan yang sangat tinggi. Secara umum, wilayah Samarinda memiliki pola curah hujan tropis yang bersifat musiman, dengan intensitas hujan yang meningkat selama musim hujan dan menurun pada musim kemarau. Pada tahun 2015 (El-Nino kuat), kondisi curah hujan di Samarinda menunjukkan penurunan signifikan pada sebagian besar bulan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3(d). Anomali curah hujan bulanan tercatat sebagai berikut: Januari $3,16 \text{ mm/hari}$, Februari $-0,09 \text{ mm/hari}$, Maret $-2,08 \text{ mm/hari}$, April $-0,45 \text{ mm/hari}$, Mei $1,90 \text{ mm/hari}$, Juni $-0,48 \text{ mm/hari}$, Juli $-4,16 \text{ mm/hari}$, Agustus $-3,18 \text{ mm/hari}$, September $-4,15 \text{ mm/hari}$, Oktober $-4,90 \text{ mm/hari}$, November $-1,34 \text{ mm/hari}$, dan Desember $-4,82 \text{ mm/hari}$. Anomali negatif yang terjadi selama pertengahan hingga akhir tahun mencerminkan pengaruh kuat El-Nino terhadap penurunan curah hujan di wilayah tersebut.

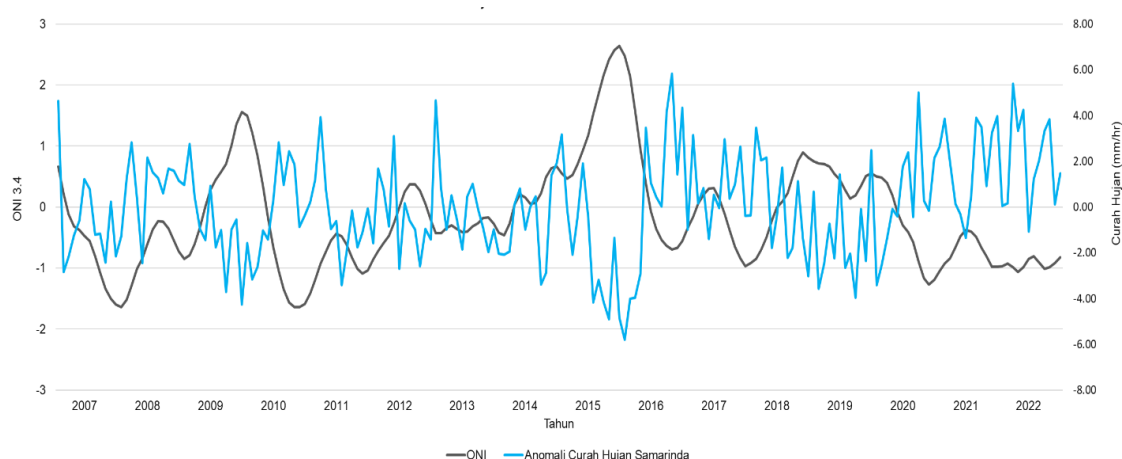
Berdasarkan analisis deret waktu terhadap hubungan antara anomali curah hujan dan Oceanic Nino Index (ONI) di Samarinda selama periode 2007–2022 (Gambar 4), ditemukan pola hubungan negatif antara anomali curah hujan dan Indeks Nino 3.4. Ketika indeks Nino 3.4 menunjukkan anomali positif (indikasi El-Nino), maka anomali curah hujan di perairan Samarinda cenderung bernilai negatif. Hal ini konsisten dengan mekanisme fisik iklim regional, di mana peningkatan suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Pasifik Timur yang menjadi ciri El-Nino berdampak pada penurunan konveksi di wilayah Indonesia, termasuk Samarinda. Sebaliknya, saat La Niña mendominasi (anomali SPL negatif), terjadi peningkatan aktivitas konvektif yang menyebabkan peningkatan curah hujan.

Pada tahun 2007 ditandai oleh kejadian La-Nina kuat dengan nilai Indeks Nino 3.4 sebesar $-1,5$, di mana anomali curah hujan di wilayah Samarinda mencapai 2 mm/hari . Sebaliknya, pada tahun 2015 terjadi fenomena El-Nino kuat dengan nilai Indeks Nino 3.4 sebesar $2,46$, yang disertai dengan anomali curah hujan negatif di Samarinda sebesar -5 mm/hari . Fenomena El-Nino diketahui berdampak pada penurunan curah hujan tahunan di berbagai wilayah Indonesia. Meskipun dampaknya bervariasi secara spasial, pengaruh El-Nino terhadap curah hujan tergolong rendah di

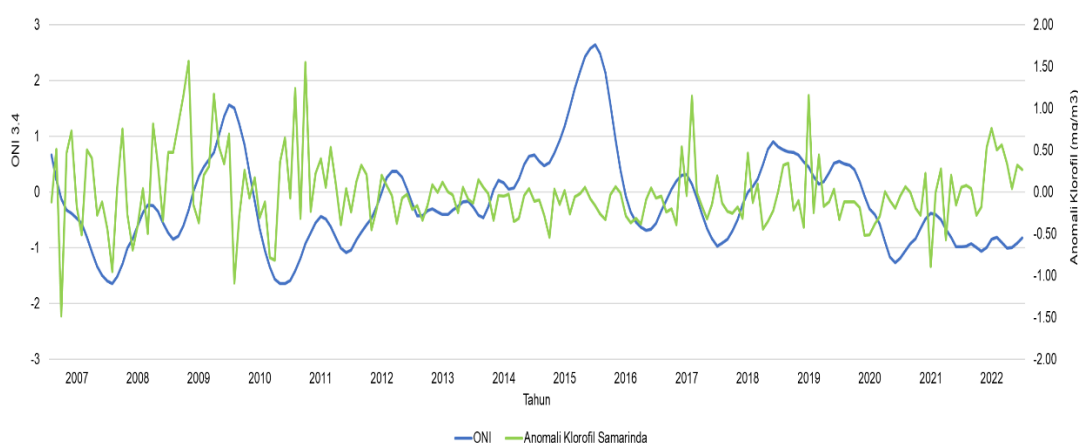
beberapa wilayah seperti Kalimantan, sebagian utara Pulau Jawa, Kepulauan Nusa Tenggara, dan sebagian Papua (Vitri, 2014).

Analisis hubungan antara anomali klorofil dan Indeks Nino 3.4 selama periode 2007–2022 menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif antara keduanya (Gambar 5). Ketika nilai Indeks Nino 3.4 menunjukkan anomali positif yang mencerminkan kejadian El-Nino anomali klorofil di perairan Samarinda cenderung negatif. Hal ini dapat dijelaskan melalui berkurangnya suplai nutrisi dari daratan ke perairan akibat menurunnya curah hujan selama El-Nino, sehingga menghambat pertumbuhan fitoplankton dan menurunkan konsentrasi klorofil-a. Sebaliknya, saat La-Nina terjadi, peningkatan curah hujan menyebabkan semakin banyaknya limpasan air dari daratan yang membawa nutrisi, sehingga meningkatkan konsentrasi klorofil-a di perairan pesisir Samarinda.

Secara spesifik, pada tahun 2007 yang dikategorikan sebagai La-Nina kuat dengan nilai Indeks Nino 3.4 sebesar -1,5, anomali klorofil tercatat sebesar 0,50 mg/m³. Sementara pada tahun 2008, saat terjadi La-Nina lemah (nilai -0,5), nilai anomali klorofil meningkat secara signifikan menjadi 1,50 mg/m³. Sebaliknya, pada tahun 2015, yang merupakan periode El-Nino kuat dengan nilai Indeks Nino 3.4 sebesar 2,46, konsentrasi klorofil di perairan Samarinda sangat rendah, yakni hanya 0,12 mg/m³. Demikian pula pada tahun 2019, saat terjadi El-Nino lemah dengan nilai indeks sebesar 0,7, anomali klorofil juga rendah, yaitu hanya 0,20 mg/m³. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa fenomena ENSO (El Nino–Southern Oscillation) memengaruhi produktivitas perairan di Samarinda,



Gambar 4. Anomali Curah Hujan dan ONI di Samarinda



Gambar 5. Anomali klorofil dan ONI di Samarinda

dengan mekanisme yang diduga terkait dengan perubahan suhu permukaan laut, curah hujan, dan pola sirkulasi massa air. La-Nina yang biasanya meningkatkan curah hujan dan membawa limpasan nutrisi dari daratan cenderung mendukung pertumbuhan fitoplankton dan meningkatkan konsentrasi klorofil. Sebaliknya, El-Nino yang bersifat mengeringkan iklim lokal justru menurunkan ketersediaan nutrisi di perairan pesisir, sehingga mengurangi produksi primer.

Hasil analisis korelasi antara fenomena ENSO (El Niño–Southern Oscillation) yang direpresentasikan oleh Indeks Niño 3.4 dengan anomali klorofil di perairan Samarinda menunjukkan hubungan yang sangat lemah dan tidak signifikan secara statistik, baik pada Musim Barat maupun Musim Timur. Pada Musim Barat (Desember–Februari), nilai korelasi antara ENSO dan klorofil adalah sebesar -0,170. Nilai ini mengindikasikan hubungan negatif yang sangat lemah, artinya ketika nilai indeks ENSO meningkat (terjadi El-Niño), konsentrasi klorofil cenderung menurun, dan sebaliknya. Namun, nilai signifikansi (*p*-value) sebesar 0,248 menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik, karena melebihi ambang batas 0,05. Sementara itu, pada Musim Timur (Juni–Agustus), korelasi antara ENSO dan klorofil tercatat sebesar 0,074, yang menunjukkan hubungan positif yang sangat lemah. Hal ini berarti bahwa saat nilai ENSO tinggi, klorofil sedikit meningkat, meskipun korelasinya sangat rendah. Sama halnya dengan musim barat, nilai *p*-value sebesar 0,615 menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan signifikan antara ENSO dan klorofil pada musim ini. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa fenomena ENSO tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap anomali klorofil di wilayah perairan Samarinda, baik pada Musim Barat maupun Musim Timur. Korelasi yang sangat lemah dan *p*-value yang tinggi mengindikasikan bahwa terdapat faktor lain yang lebih dominan dalam memengaruhi dinamika klorofil di wilayah ini, seperti dinamika angin permukaan yang memicu upwelling maupun pencampuran massa air.

Untuk curah hujan, terdapat hubungan yang negatif dan signifikan antara fenomena ENSO (diwakili oleh Indeks Niño 3.4) dengan anomali curah hujan di wilayah Samarinda, baik pada Musim Barat maupun Musim Timur. Pada Musim Barat (Desember–Februari), nilai korelasi antara ENSO dan curah hujan adalah sebesar -0,510, yang menunjukkan hubungan negatif dengan kekuatan korelasi sedang. Hal ini berarti bahwa ketika terjadi peningkatan nilai indeks ENSO (menunjukkan kondisi El-Niño yang lebih kuat), curah hujan cenderung mengalami penurunan di wilayah Samarinda. Nilai *p*-value sebesar 0,000 mengindikasikan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik ($p < 0,05$). Sementara itu, pada Musim Timur (Juni–Agustus), korelasi antara ENSO dan curah hujan tercatat sebesar -0,459, yang juga mencerminkan hubungan negatif dengan kekuatan korelasi sedang. Artinya, curah hujan cenderung lebih rendah saat nilai indeks ENSO meningkat. Hubungan ini juga terbukti signifikan secara statistik, dengan *p*-value sebesar 0,001 ($p < 0,05$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa fenomena ENSO berpengaruh signifikan terhadap variabilitas curah hujan musiman di Samarinda. Khususnya, ketika terjadi El-Niño (nilai indeks ENSO positif), curah hujan di wilayah ini cenderung menurun, baik pada Musim Barat maupun Musim Timur. Hal ini selaras dengan karakteristik umum pengaruh El-Niño di wilayah Indonesia bagian tengah dan timur yang menyebabkan kondisi lebih kering dari normal.

Di wilayah perairan Samarinda, terdapat pola bahwa saat La-Niña, curah hujan tinggi diikuti oleh peningkatan klorofil akibat limpasan daratan yang membawa nutrisi. Contohnya, pada 2007 (La-Niña kuat) klorofil mencapai 0,25 mg/m³ dengan curah hujan 8 mm/hari, dan pada 2008 (La-Niña lemah) klorofil 0,20 mg/m³ dengan curah hujan serupa. Sebaliknya, saat El-Niño, curah hujan menurun dan klorofil juga cenderung rendah, seperti pada 2015 (El-Niño kuat) dengan klorofil 0,20 mg/m³ dan curah hujan 1,5 mm/hari, serta 2019 (El-Niño lemah) dengan klorofil 0,12 mg/m³ meski curah hujan tetap tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum El-Niño menurunkan dan La-Niña meningkatkan klorofil, meski faktor lain seperti angin dan dinamika laut juga berpengaruh.

KESIMPULAN

Analisis hubungan antara ENSO dan curah hujan dan klorofil-a di wilayah di Perairan Samarinda menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara ENSO dan curah hujan di perairan Samarinda selama musim barat, dengan *p*-value sebesar 0,000 ($< 0,05$). Korelasi bernilai -

0,510 mengindikasikan hubungan negatif dengan kekuatan sedang, di mana curah hujan cenderung berkurang saat El-Nino menguat, dan meningkat saat fenomena ini melemah. Pada musim timur, hubungan serupa teridentifikasi dengan p-value 0,001 dan korelasi -0,459, yang menunjukkan pola penurunan curah hujan saat El-Nino lebih intens. Sebaliknya, hubungan antara ENSO dan konsentrasi klorofil-a tidak menunjukkan signifikansi statistik. Pada musim barat, nilai p sebesar 0,248 ($> 0,05$) serta korelasi -0,170 mencerminkan hubungan negatif yang sangat lemah, yang berarti penurunan klorofil-a saat El-Nino terjadi tidak signifikan. Kondisi serupa terjadi di musim timur, dengan p-value 0,615 dan korelasi positif 0,074, menunjukkan sedikit peningkatan klorofil-a saat El-Nino menguat, namun tanpa hubungan yang kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Hastuti, Wirasatriya, A., Maslukah, L., Subardjo, P., & Kunarso. (2021). Pengaruh Faktor Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Teri (*Stelephorus* sp) di Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2), 1-9. doi: 10.14710/ijoce.v3i2.11222
- Karnelia, K., Ghitaria, & Irma S., (2023). Kandungan nitrogen saat pasang dan surut di Sungai Mahakam Kota Samarinda (Nitrogen content during high and low tides in the Mahakam River, Samarinda City. *Jurnal Ilmu Perikanan Tropis Nusantara*, 2(1), 24-29. doi: 10.30872/jipt.v2i1.179
- Kunarso., Surya R.G., & Wulandari, S.Y. (2022). Identifikasi Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A serta Intensitas Upwelling di Selat Makassar. *Jurnal Buletin Oseanografi*, 11(2), 206–214. doi: 10.14710/buloma.v11i2.42170
- 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
- Nabilah, F., Prasetyo, Y., & Sukmono, A., (2017). Analisis pengaruh fenomena El Nino dan la nina terhadap curah hujan tahun 1998 - 2016 menggunakan Indikator Oni (Oceanic Nino Index) (Studi Kasus : Provinsi Jawa Barat). *Geodesi Undip*, 6(4), 404. doi: 10.14710/jgundip.2017.18170
- 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
- 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., Condini, 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
- 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.
- Susilowati dan Ilyas Sadad. (2015). Analisa Karakteristik Curah Hujan Di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Konstruksia*, 7(1), 13-25. doi: 10.24853/jk.7.1.%p
- Uneputti, B. A.S., Simon T., & Yunita A.N. (2022). Klorofil-a dan kaitannya terhadap Produktifitas Primer Perairan Laut Banda pada Fenomena La Nina. *Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 2(1), 57-65. doi: org/10.47767/nekton.v2i1.326
- Vitri, T.M. (2014) Analisis Pengaruh El Nino Southern Oscillation (Enso) Terhadap Curah Hujan Di Koto Tabang Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 3(4), 2302-849. doi: 10.25077/JFU.3.4.214-221.2014
- Wang S., Mu, L., & Liu, D. (2014). A hybrid approach for El Niño prediction based on Empirical Mode Decomposition and convolutional LSTM Encoder-Decoder. *Computer and Geosciences*, 149(1), 1-16. doi : 10.1016/j.cageo.2021.104695
- Wang, M., Jiang L., Mikelson 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.R. Susanto, D., Kunarso K., Abd, R.J., Fatwa, R., & Ardiansyah, D.P. (2021). Northwest monsoon upwelling within the Indonesian seas. *International Journal of Remote Sensing*, 42(14), 5437–5458. doi: 10.1080/01431161.2021.1918790
- 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
- Yang, C. & Ye, H. (2022). Enhanced Chlorophyll-a in The Coastal Waters near the Eastern Guangdong during the Downwelling Favorable Wind Period. *Remote Sensing*, 14(5), 1138. doi: 10.3390/rs14051138.
- Zhang, K., Zhao,X., Xue,J., Mo,D., Zhang,D., Xiao,Z., Yang,W., Wu,Y.,& Chen, Y. (2023). The Temporal and Spatial Variation of Chlorophyll a Concentration in the China Seas and its Impact on Marine Fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1-19. doi: 10.3389/fmars.2023.1212992