

## Analisis Pengaruh ENSO dan Suhu Permukaan Laut terhadap Klorofil-A di Laut Halmahera

Mochammad Rafli Ginanjar<sup>1</sup>. Meilany Eka Saputri<sup>1</sup>. Moch Dhaffa Abduzar Ghyffary<sup>1</sup>. Zalsa Riski Stefani<sup>1</sup>. Lia Aryanti<sup>1</sup>. Muhamad Gilang Arindra Putra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung, Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Indonesia

Korespondensi: [muhamad.gilang@fp.unila.ac.id](mailto:muhamad.gilang@fp.unila.ac.id)

Diterima: 4 November 2025; Direvisi: 7 April 2026; Disetujui: 30 April 2026

### Abstrak

Fenomena El Niño Southern Oscillation (ENSO) berdampak signifikan terhadap dinamika oseanografi, khususnya suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a sebagai indikator produktivitas primer laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi SPL dan klorofil-a di Laut Halmahera selama periode El Niño (2015) dan La Niña (2020). Data SPL dan klorofil-a diunduh dari Marine Copernicus dan diolah menggunakan perangkat lunak Ocean Data View (ODV) 4.6.5. Hasil analisis menunjukkan bahwa selama El Niño, SPL cenderung menurun sementara konsentrasi klorofil-a meningkat dengan konsentrasi tertinggi sebesar 0,26 mg/l, terutama pada musim timur akibat pengaruh upwelling yang memperkaya nutrisi di permukaan. Sebaliknya, saat La Niña, SPL lebih tinggi dan konsentrasi klorofil-a cenderung menurun dengan konsentrasi tertinggi hanya sebesar 0,21 mg/l. Perbedaan ini mencerminkan adanya hubungan negatif antara suhu permukaan laut dan kandungan klorofil-a.

**Kata kunci:** ENSO, El Niño, La Niña, Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut

### Abstract

*The El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon significantly influences oceanographic dynamics, particularly sea surface temperature (SST) and chlorophyll-a concentration, which serves as an indicator of marine primary productivity. This study aims to analyze the variation of SST and chlorophyll-a in the Halmahera Sea during the El Niño (2015) and La Niña (2020) periods. Oceanographic data, including SST and chlorophyll-a, were obtained from Marine Copernicus and processed using Ocean Data View (ODV) 4.6.5 software. The analysis results show that during El Niño, SST tend to decrease while chlorophyll-a concentrations increase, reaching a peak of 0.26 mg/l, particularly during the eastern season due to the influence of upwelling that enriches the surface with nutrients. Conversely, during La Niña, SST are higher and chlorophyll-a concentrations tend to decrease, with the highest concentration reaching only 0.21 mg/l. These findings indicate a negative correlation between SST and chlorophyll-a concentration. As a region highly sensitive to ENSO variability, the Halmahera Sea demonstrates complex ecological responses to global climate fluctuations.*

**Key words:** ENSO, El Niño, La Niña, Chlorophyll-a, Sea Surface Temperature

## PENDAHULUAN

Indonesia termasuk di antara negara-negara yang terkena dampak fenomena ENSO (*El Nino Southern Oscillation*), yang terjadi di wilayah Laut Halmahera, yang merupakan laut terbesar di Kepulauan Maluku dan terletak di antara dua pulau, yaitu Pulau Sulawesi dan Pulau Papua. Fenomena ENSO terjadi secara berkala dan disebabkan oleh pergeseran pola interaksi antara lautan dan atmosfer di wilayah ekuator Samudera Pasifik, yang menyebabkan perubahan kondisi iklim di seluruh dunia (Handoko dkk. 2019). ENSO terdiri atas dua fase yaitu El Niño dan La Niña. Fase El-Nino ditandai oleh penurunan Suhu Permukaan Laut (SPL) di Perairan Timur Pasifik, sedangkan La Niña ditandai oleh penurunan SPL di Perairan Barat Pasifik (Suniada, 2020). Kejadian ENSO di Indonesia mulai terjadi lebih sering sejak dekade 1960-an, dengan dampak yang cenderung lebih signifikan di wilayah timur dibandingkan dengan wilayah barat Indonesia (Hamada dkk. 2002).

El Niño dan La Niña adalah fenomena yang terjadi karena interaksi kompleks antara atmosfer dan samudra, yang turut dipengaruhi oleh radiasi matahari. El Niño umumnya menyebabkan penurunan suhu permukaan laut karena pergeseran massa air hangat ke bagian tengah Samudra Pasifik (Ryadi dan Sasmito, 2019). Suhu permukaan laut berubah dibandingkan dengan kondisi klimatologis normal sebagai akibat dari interaksi ini. Selama La Niña, suhu permukaan laut di sebagian besar wilayah perairan Indonesia cenderung lebih hangat dari rata-rata. Selama El Niño, sebaliknya, suhu permukaan laut di sebagian besar wilayah perairan Indonesia cenderung menurun. Beberapa cara untuk mengidentifikasi fenomena ENSO termasuk perubahan suhu permukaan laut, pola tekanan udara di atmosfer, *Southern Oscillation*, dan perubahan elevasi permukaan laut. (Rejeki dkk. 2017). Fenomena ENSO mengubah suhu permukaan laut, pola curah hujan, sirkulasi massa air, dan intensitas upwelling, yang semuanya berkontribusi pada ketersediaan nutrisi fitoplankton sebagai produsen utama ekosistem laut. Akibatnya, fenomena ENSO dapat mempengaruhi distribusi spasial klorofil-a di berbagai wilayah perairan (Zulfa dkk. 2025).

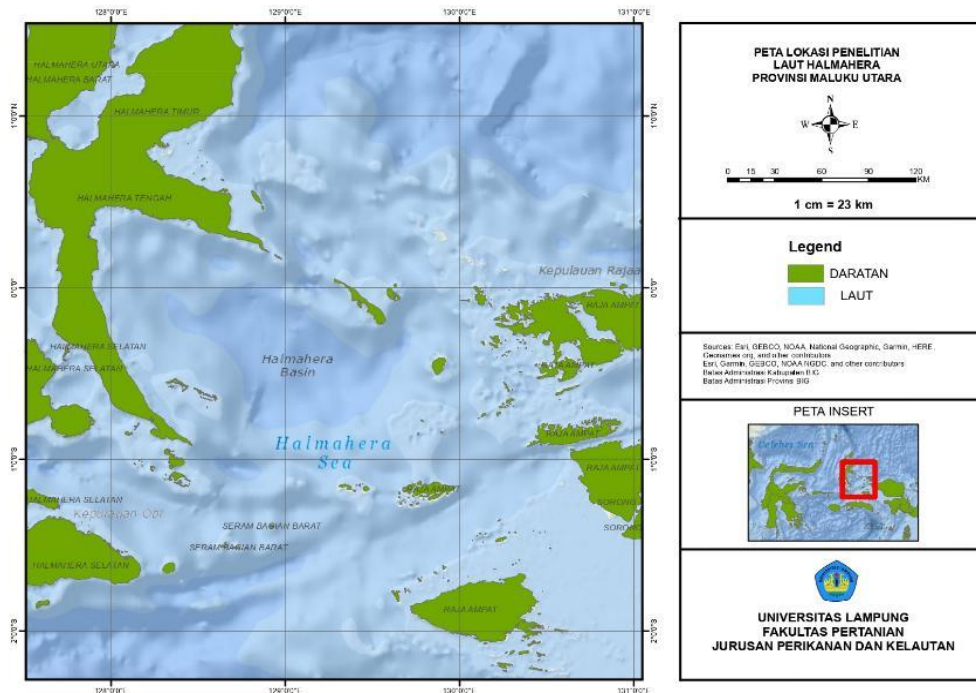
Suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a adalah indikator kesuburan perairan. Klorofil-a adalah salah satu parameter penting yang mempengaruhi produktivitas primer laut. Klorofil-a berperan sebagai indikator kunci dalam menggambarkan sifat optik, biologis, dan biokimiawi perairan laut, serta memiliki keterkaitan yang signifikan terhadap dampak lingkungan dan dinamika perubahan iklim global (Wang dkk. 2021). Sebaran konsentrasi klorofil-a berkaitan erat dengan kondisi oseanografi perairan. Beberapa faktor yang mempengaruhi distribusi klorofil-a adalah intensitas cahaya dan ketersediaan nutrisi. Terdapat korelasi yang berlawanan antara suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a. Ketika suhu permukaan laut naik, jumlah klorofil-a biasanya menurun, sedangkan ketika suhu turun, konsentrasi klorofil-a cenderung meningkat. Fenomena ENSO yang menyebabkan anomali suhu dan curah hujan di wilayah tropis, diketahui turut mempengaruhi pola distribusi klorofil-a di laut, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya oleh Zulfa dkk. (2025). Namun, pengaruh tersebut dapat berbeda tergantung wilayah dan musim. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a di Laut Halmahera selama periode aktifnya El Niño dan La Niña.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini berada di Laut Halmahera berada sekitar 1° Lintang Selatan (LS) dan 129° Bujur Timur (BT). Laut ini berbatasan dengan Laut Seram di selatan, Samudra Pasifik di sebelah utara, Pulau Halmahera di barat, dan Waigeo dan Irian Jaya di timur (Gambar 1). Studi ini menggunakan data tahun 2015 dan tahun 2020 yang bertujuan untuk melihat perbedaan respon wilayah perairan terhadap fenomena El Niño dan La Niña. Adapun alat yang digunakan selama penelitian ini yaitu perangkat keras atau hardware Laptop untuk mengolah data sekunder. Perangkat lunak (software) ODV 4.6.5 untuk menginterpretasikan data oseanografi parameter SPL dan Klorofil-a yang diunduh melalui website Marine copernicus (<https://marine.copernicus.eu/>).

Adapun alat yang digunakan selama penelitian ini yaitu perangkat keras atau hardware Laptop untuk mengolah data sekunder. Perangkat lunak (software) ODV 4.6.5 untuk menginterpretasikan data oseanografi parameter

SPL dan Klorofil-a yang diunduh melalui website Marine copernicus (<https://marine.copernicus.eu/>).



Gambar 1. Area penelitian lokasi

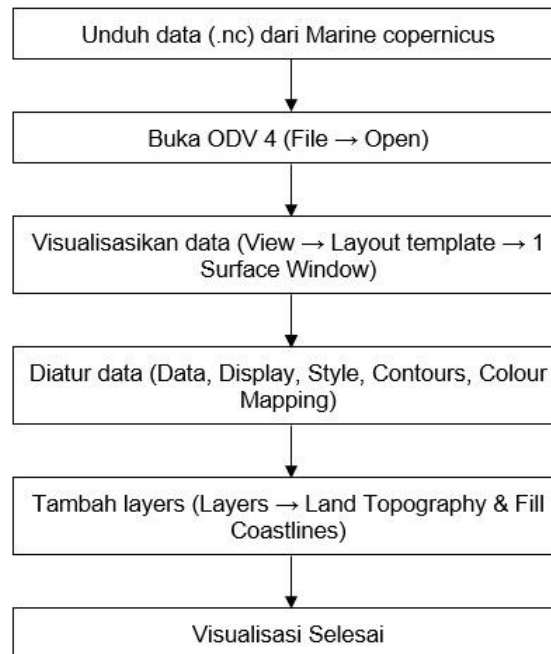
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a yang diperoleh dari platform Marine Copernicus. Data diambil pada dua periode berbeda, yaitu tahun 2015 yang merepresentasikan kondisi El Niño dan tahun 2020 yang merepresentasikan kondisi La Niña. Data diunduh dalam format NetCDF dan digunakan untuk analisis spasial dan temporal. Adapun jenis, sumber, dan periode data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis dan sumber data penelitian

No	Jenis data	Sumber data	Periode data	Resolusi data
1	Suhu Permukaan Laut (SPL)	Marine Copernicus	2015 & 2020	Bulanan
2	Klorofil-a	Marine Copernicus	2015 & 2020	Bulanan

Metode analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif komparatif, yaitu dengan membandingkan pola distribusi SPL dan klorofil-a pada dua kondisi iklim yang berbeda (El Niño dan La Niña). Pendekatan ini mengacu pada

penelitian sebelumnya yang menggunakan metode serupa dalam menganalisis pengaruh ENSO terhadap parameter oseanografi (Alfiqri dkk. 2024; Pesoth dkk 2024). Alur tahapan penelitian yang dilakukan dalam studi ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

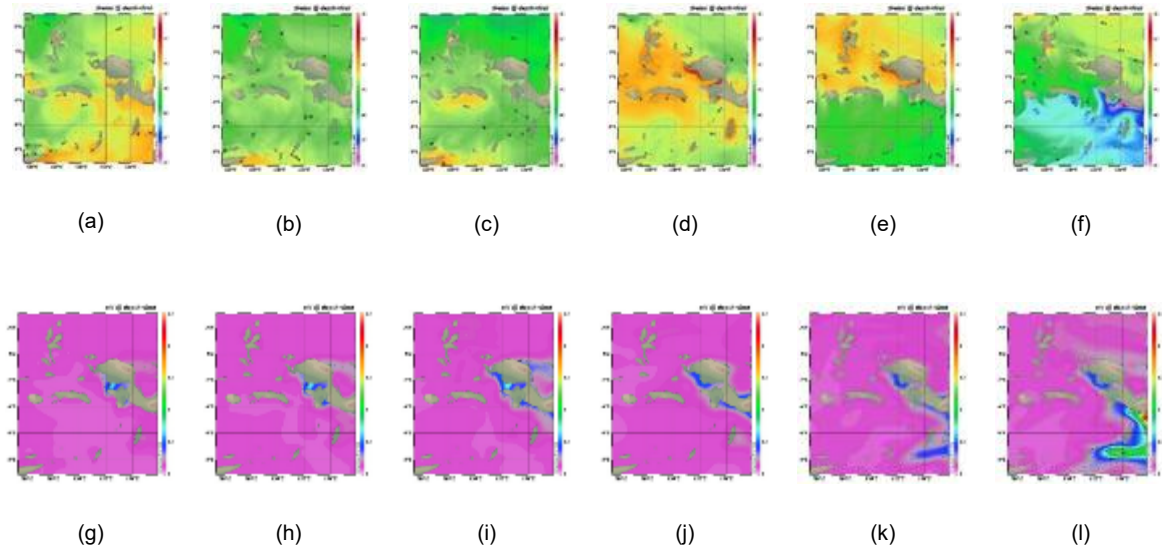
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi klorofil-a merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengukur produktivitas primer fitoplankton di perairan, serta menjadi indikator penting dalam perairan. Klorofil-a berperan dalam proses fotosintesis fitoplankton, sehingga fluktuasinya mencerminkan dinamika pertumbuhan organisme tersebut yang sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu permukaan laut, nutrien, dan cahaya. Oleh karena itu, karena fitoplankton memainkan peran penting dalam siklus karbon laut, perubahan nilai klorofil-a tidak hanya mencerminkan kondisi ekologis perairan, tetapi juga dapat membantu kita memahami lebih baik tentang perubahan iklim di seluruh dunia (Wang dkk. 2021; Unepetty dkk. 2022).

Berdasarkan hal tersebut, dalam penelitian ini digunakan dua parameter utama, yakni SPL dan klorofil-a, yang dianalisis untuk menggambarkan kondisi oseanografi di perairan Laut Halmahera. Analisis tersebut juga bertujuan untuk

mengamati perubahan yang terjadi selama berlangsungnya fenomena ENSO (El Niño dan La Niña), yang diketahui memiliki dampak terhadap dinamika laut. Studi yang dilakukan oleh Alfiqri dkk. (2024) mengungkapkan bahwa ENSO secara signifikan memengaruhi konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan tropis. Sementara itu, hasil penelitian Pesoth dkk. (2024) menunjukkan bahwa El Niño umumnya menyebabkan penurunan suhu permukaan laut disertai peningkatan klorofil-a, sedangkan La Niña justru menyebabkan suhu meningkat dan konsentrasi klorofil-a menurun. Hasil penelitian Alfiqri dkk. (2024) juga menyatakan bahwa ketika fenomena El Niño terjadi, SPL dan intensitas curah hujan cenderung menurun, sedangkan konsentrasi klorofil-a meningkat. Sebaliknya, saat terjadi La Niña, SPL dan curah hujan cenderung meningkat, sementara nilai klorofil-a menurun. Temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa fenomena iklim global seperti ENSO dapat memengaruhi produktivitas primer laut melalui interaksi yang kompleks antara faktor fisik dan biogeokimia.

**Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a tahun 2015 di Laut Halmahera**

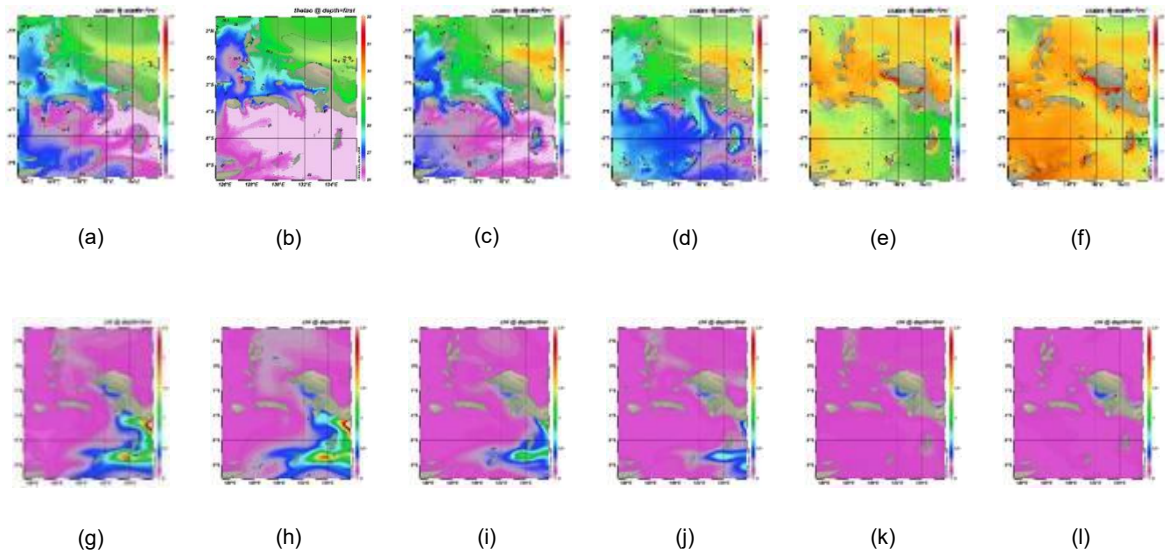


Gambar 3. Distribusi SPL (a–f) dan klorofil-a (g–l) pada musim barat hingga peralihan I tahun 2015 di Laut Halmahera

Gambar 3 menampilkan distribusi spasial SPL dan klorofil-a di Laut Halmahera pada periode musim barat hingga peralihan I tahun 2015, berturut-turut dari bulan Desember, Januari, Februari, Maret, April, hingga Mei. Pada periode musim barat (Gambar 3a–3c), distribusi SPL menunjukkan kondisi yang

relatif hangat dan merata di seluruh wilayah perairan, dengan nilai berkisar antara 28–30°C. Kondisi ini mencerminkan dominasi angin barat yang menyebabkan stratifikasi termal kuat dan menekan proses pencampuran vertikal. Sejalan dengan tingginya SPL, distribusi klorofil-a pada panel yang sama tampak seragam rendah, yang mengindikasikan terbatasnya suplai nutrisi ke lapisan permukaan sehingga aktivitas fitoplankton pun terhambat.

Memasuki periode peralihan I (Gambar 3d–3f), distribusi SPL mulai memperlihatkan sedikit penurunan terutama di bagian selatan dan timur Laut Halmahera, meskipun penurunannya belum signifikan. Seiring dengan perubahan arah angin dari barat menuju timur, distribusi klorofil-a pada panel 3(d) hingga 3(f) menunjukkan peningkatan ringan yang mulai terlihat di beberapa titik perairan. Namun demikian, peningkatan ini masih terbatas karena kondisi oseanografi belum sepenuhnya mendukung terjadinya upwelling yang efektif. Hal ini konsisten dengan rendahnya nilai klorofil-a rata-rata yang tercatat pada periode musim barat hingga peralihan I sebesar 0,10–0,13 mg/l berdasarkan data grafik Gambar 7..

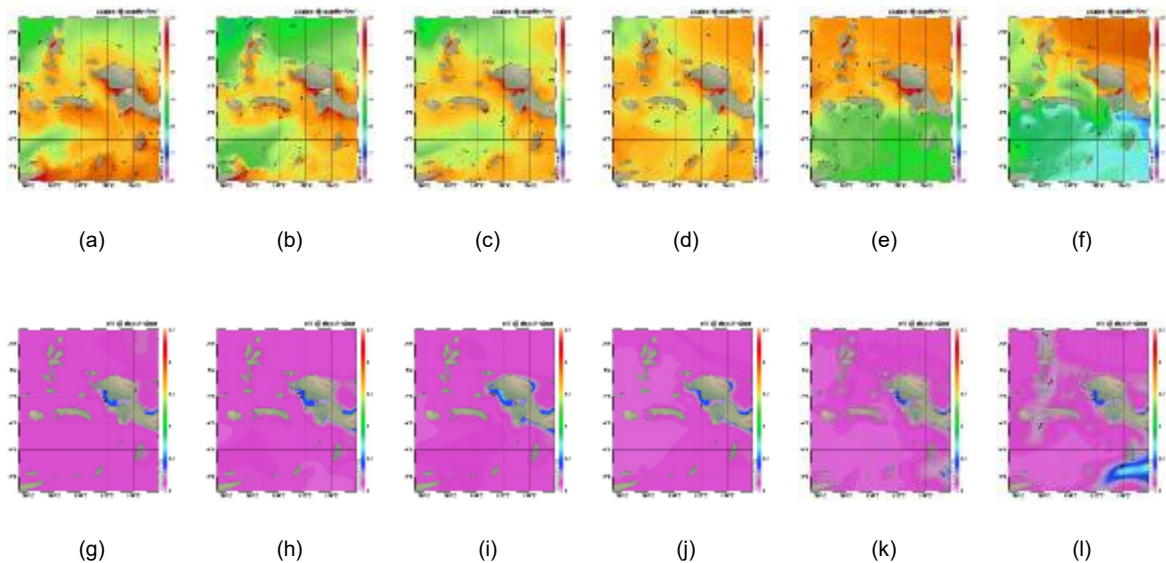


Gambar 4. Distribusi SPL (a–f) dan klorofil-a (g–l) pada musim timur hingga peralihan II tahun 2015 di Laut Halmahera

Gambar 4 menyajikan distribusi SPL dan klorofil-a selama musim timur hingga peralihan II tahun 2015, mencakup bulan Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, dan November. Pada musim timur (Gambar 4a–4c), distribusi SPL menunjukkan penurunan yang lebih jelas dibandingkan musim sebelumnya,

dengan pola penurunan suhu yang tampak lebih dominan di bagian selatan dan tengah Laut Halmahera. Nilai SPL terendah tercatat pada bulan Agustus yang ditunjukkan pada Gambar 4(c), di mana warna biru pada peta distribusi mengindikasikan massa air yang lebih dingin akibat pengaruh upwelling. Meskipun demikian, karena fenomena El Niño melemahkan intensitas angin musim timur, proses upwelling yang terjadi tidak sekuat kondisi normal, sehingga distribusi klorofil-a pada Gambar 4(a–c) hanya menunjukkan peningkatan moderat dengan nilai tertinggi mencapai 0,26 mg/l pada bulan Agustus.

**Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a Tahun 2020 di Laut Halmahera**

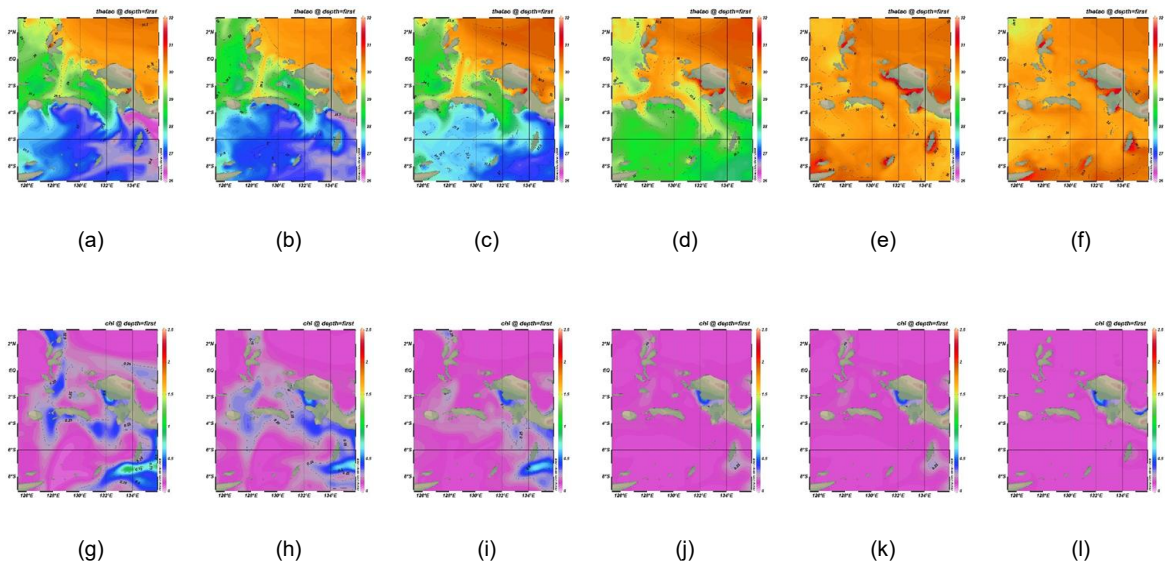


Gambar 5. Distribusi SPL (a–f) dan klorofil-a (g–l) pada musim barat hingga peralihan I tahun 2020 di Laut Halmahera

Pada periode peralihan II (Gambar 4d–4f), distribusi SPL mulai meningkat kembali secara bertahap dari September hingga November, yang tercermin dari perubahan gradasi warna pada peta distribusi ke arah yang lebih hangat. Distribusi klorofil-a pada Gambar 4(d–f) juga menunjukkan penurunan secara spasial sejalan dengan meredanya aktivitas upwelling. Sisa dampak El Niño menyebabkan sistem laut belum pulih sepenuhnya, sehingga meskipun angin mulai bergeser kembali ke arah barat, konsentrasi klorofil-a tetap berada pada level rendah hingga akhir periode peralihan II. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pemulihan produktivitas primer laut pasca puncak musim timur berlangsung

secara lambat akibat gangguan El Niño yang menghambat siklus nutrisi secara keseluruhan.

Gambar 5 menggambarkan distribusi spasial SPL dan klorofil-a pada periode musim barat hingga peralihan I tahun 2020, secara berurutan dari bulan Desember, Januari, Februari, Maret, April, hingga Mei. Pada musim barat (Gambar 5a–5c), distribusi SPL memperlihatkan kondisi yang sangat hangat dan merata dengan kisaran suhu 29–31°C, lebih tinggi dibandingkan periode yang sama pada tahun 2015. Hal ini mencerminkan pengaruh La Niña yang mendorong penumpukan massa air hangat di perairan Indonesia bagian barat, sehingga stratifikasi termal semakin kuat. Distribusi klorofil-a pada panel yang sama tampak sangat rendah dan homogen, menandakan bahwa kondisi laut yang hangat dan tenang pada musim barat benar-benar menekan aktivitas fitoplankton di seluruh wilayah Laut Halmahera.



Gambar 6. Distribusi SPL (a–f) dan klorofil-a (g–l) pada musim timur hingga peralihan II tahun 2020 di Laut Halmahera

Pada periode peralihan I (Gambar 5d–5f), distribusi SPL mulai menunjukkan penurunan bertahap, terutama terlihat pada Gambar 5(e) dan 5(f) di mana gradasi warna pada peta mulai bergeser ke nilai yang lebih rendah di beberapa bagian perairan. Seiring dengan transisi angin menuju musim timur, distribusi klorofil-a pada Gambar 5(d–f) mulai memperlihatkan peningkatan ringan hingga sedang di beberapa titik, dengan nilai klorofil-a mulai bergerak ke

kisaran 0–0,5 mg/l. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa proses pencampuran vertikal mulai terjadi secara terbatas, meskipun belum cukup kuat untuk memicu upwelling yang signifikan. Pola ini sejalan dengan karakteristik peralihan musim yang umumnya ditandai oleh perubahan oseanografi yang bersifat gradual.

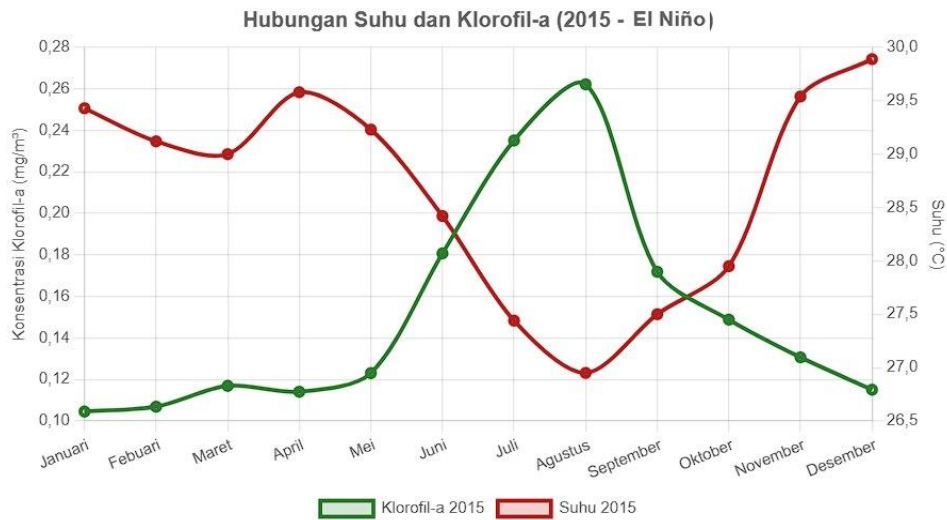
Gambar 6 menyajikan distribusi spasial SPL dan klorofil-a selama musim timur hingga peralihan II tahun 2020, mencakup bulan Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, dan November. Pada musim timur (Gambar 6a–6c), distribusi SPL menunjukkan penurunan yang cukup signifikan dengan kisaran suhu antara 26–28°C, di mana gradasi warna biru pada peta distribusi mengindikasikan massa air dingin yang naik ke permukaan akibat upwelling yang diperkuat oleh angin monsun tenggara. Meskipun berada pada periode La Niña yang umumnya meningkatkan SPL di perairan Indonesia, aktivitas upwelling pada musim timur tetap terjadi dan mendorong naiknya nutrien ke permukaan, tercermin dari peningkatan distribusi klorofil-a yang terlihat pada Gambar 6(a–c). Nilai klorofil-a tertinggi pada tahun 2020 mencapai 0,21 mg/l, lebih rendah dibandingkan nilai El Niño 2015 yang mencapai 0,26 mg/l, menandakan intensitas upwelling yang relatif lebih lemah.

Pada periode peralihan II (Gambar 6d–6f), distribusi SPL mulai meningkat kembali sejalan dengan melemahnya angin muson tenggara, yang tampak dari pergeseran gradasi warna peta ke arah lebih hangat mulai bulan September hingga November. Menariknya, distribusi klorofil-a pada Gambar 6(d) yakni bulan September masih menampilkan konsentrasi yang relatif tinggi di beberapa area Laut Halmahera, meskipun suhu sudah mulai menghangat. Kondisi ini disebabkan oleh angin tenggara yang masih bertiup dengan intensitas lemah dan tetap memicu upwelling dalam skala terbatas. Namun pada Gambar 6(e) dan 6(f), distribusi klorofil-a kembali menurun secara spasial seiring dengan semakin lemahnya aktivitas upwelling dan meningkatnya dominasi downwelling yang menekan suplai nutrien dari lapisan dalam ke permukaan laut.

### **Perbandingan El Niño 2015 dan La Niña 2020**

Analisis hubungan antara SPL dan konsentrasi klorofil-a di Laut Halmahera dengan membandingkan data tahun 2015 (periode El Niño) dan 2020

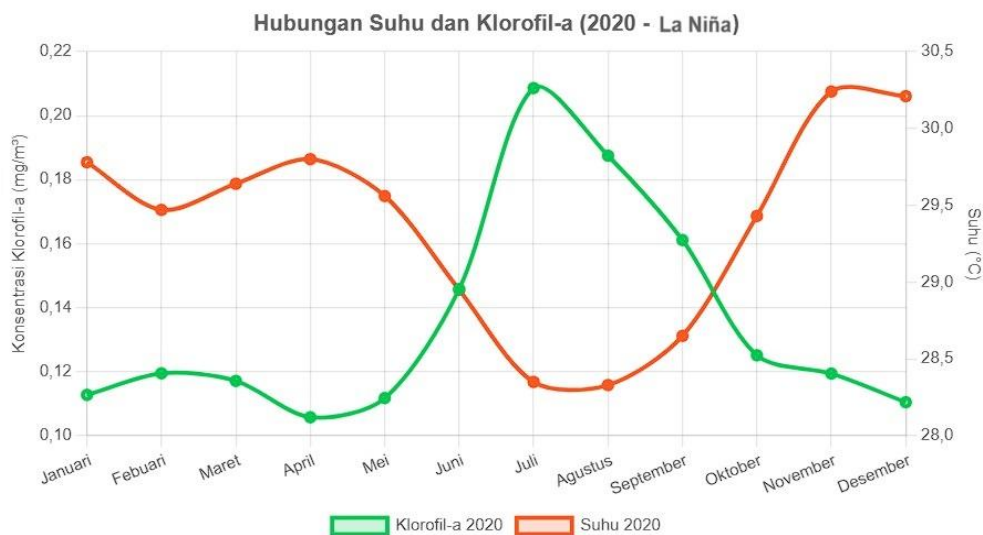
(periode La Niña). Pada musim timur tahun 2015 yang bertepatan dengan periode La Niña, terjadi penurunan suhu yang signifikan dengan rata-rata SPL mencapai titik terendah 26,95°C pada bulan Agustus. Penurunan suhu yang tajam ini berkorelasi kuat dengan peningkatan konsentrasi klorofil-a yang mencapai nilai maksimum 3,95452 mg/l pada bulan yang sama. Fenomena ini konsisten dengan karakteristik musim timur yang umumnya ditandai dengan penguatan angin monsun tenggara yang mendorong terjadinya *upwelling* di perairan Indonesia timur. La Niña memperkuat intensitas *upwelling* tersebut, sehingga menghasilkan pengangkatan massa air kaya nutrisi yang lebih besar ke permukaan, hal ini tercermin pada tingginya konsentrasi klorofil-a.



Gambar 7. Hubungan suhu dan klorofil-a 2015

Sebaliknya, pada musim barat (Desember-Februari) tahun 2015 maupun 2020, konsentrasi klorofil-a cenderung lebih rendah dengan rata-rata berkisar antara 0,104 – 0,112 mg/l. Pada periode ini, SPL relatif lebih hangat dengan rata-rata mencapai 29,12 – 29,78°C. Pola ini sesuai dengan karakteristik musim barat yang ditandai dengan lemahnya *upwelling* dan terjadinya *downwelling* di sebagian besar perairan Indonesia. Meskipun demikian, terlihat bahwa pada musim barat tahun 2020 (El Niño), suhu permukaan laut cenderung lebih tinggi dibandingkan tahun 2015, dengan nilai maksimum mencapai 32,80°C pada bulan Februari.

Peningkatan signifikan konsentrasi klorofil-a terjadi pada musim timur tahun 2015 yang mencapai 0,262 mg/l dengan nilai maksimum hingga 3,95452 mg/l mengindikasikan terjadinya *upwelling* yang kuat. Fenomena ini dikonfirmasi oleh penelitian Ratnawati dkk. (2021) yang menganalisis variabilitas *upwelling* di perairan Indonesia timur. Mereka menemukan bahwa intensitas *upwelling* meningkat secara signifikan pada tahun-tahun La Niña, terutama di perairan Maluku dan sekitarnya, yang tercermin dari penurunan SPL dan peningkatan konsentrasi klorofil-a. Laut Halmahera merupakan salah satu wilayah di Indonesia timur yang sangat sensitif terhadap fenomena ENSO, sebagaimana diidentifikasi oleh Nurdin dkk. (2019) yang memetakan zona-zona perairan Indonesia yang paling terpengaruh oleh ENSO. Menurut Nurdin dkk. (2019), sensitivitas ini terutama disebabkan oleh posisi geografis Laut Halmahera yang berada di jalur masuk Arlindo serta dipengaruhi langsung oleh massa air dari Samudra Pasifik yang membawa sinyal ENSO.



Gambar 8. Hubungan suhu dan klorofil-a 2020

Konsentrasi klorofil jelas lebih tinggi selama fenomena El Niño dibandingkan dengan La Niña. Konsentrasi tertinggi El Niño adalah 0,26 mg/l, sedangkan La Niña adalah 0,21 mg/l. Peningkatan konsentrasi ini menunjukkan peningkatan produktivitas primer yang signifikan selama fase El Niño. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tran dkk. (2015), yang menggunakan analisis Fungsi Orthogonal Empirik (EOF) dan menunjukkan

bahwa fenomena iklim global seperti El Niño La Niña memiliki dampak yang signifikan terhadap distribusi klorofil di suatu wilayah. Selain itu, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan oleh Dang dkk. (2020) di Kepulauan Sulu, El Niño dapat meningkatkan pertumbuhan fitoplankton, sementara kondisi La Niña cenderung menghambatnya. Wirasatriya dkk. (2018) mencatat bahwa fenomena El Niño berkorelasi positif dengan peningkatan klorofil-a di wilayah Laut Jawa, yang menunjukkan terjadinya *blooming* fitoplankton sebagai respons terhadap naiknya suplai nutrisi ke permukaan. Menurut Putri dkk. (2021), pergeseran massa air hangat ke arah timur Pasifik selama El Niño menyebabkan kekosongan massa air di bagian timur Indonesia, seperti Laut Maluku. Kekosongan ini menyebabkan *upwelling*, peningkatan massa air kaya nutrisi dari lapisan bawah ke permukaan laut. Kondisi ini mendukung pertumbuhan fitoplankton secara signifikan dan menyebabkan peningkatan produktivitas primer laut. Sebaliknya, saat La Niña dan kondisi normal, penumpukan massa air hangat di permukaan laut menyebabkan *downwelling*, yang menghambat suplai nutrisi dan menurunkan produktivitas perairan. Proses ini membawa nutrisi dari lapisan permukaan ke lapisan bawah, hal tersebut menghambat pertumbuhan fitoplankton dan menurunkan konsentrasi klorofil-a.

## **KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa fenomena ENSO (El Niño dan La Niña) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap dinamika SPL dan konsentrasi klorofil-a di wilayah Laut Halmahera. Selama periode El Niño (2015), terjadi penurunan suhu yang tajam di mana rata-rata SPL mencapai titik terendah 26,95°C pada bulan Agustus yang memicu peningkatan signifikan pada konsentrasi klorofil-a yang mencapai nilai maksimum 3,95452 mg/l akibat proses *upwelling* yang kuat. Sebaliknya, pada periode La Niña tahun 2020, suhu permukaan laut lebih hangat dengan suhu maksimum mencapai 32,80°C pada bulan Februari dan konsentrasi klorofil-a cenderung menurun dengan nilai tertinggi hanya sebesar 0,21 mg/l, berbanding terbalik dengan rata-rata klorofil-a saat El Niño yang dapat mencapai 0,262 mg/l. Data ini juga menunjukkan adanya korelasi negatif yang jelas antara kedua parameter tersebut; di mana pada musim barat saat SPL relatif lebih hangat (29,12 – 29,78°C), konsentrasi klorofil-a

berada pada tingkat yang rendah (0,104 – 0,112 mg/l), umumnya penurunan suhu laut akan diikuti oleh peningkatan klorofil-a, yang mengindikasikan produktivitas primer yang lebih tinggi. Laut Halmahera terbukti menjadi salah satu wilayah yang sangat sensitif terhadap variabilitas iklim global, sehingga pemahaman mengenai respons oseanografi terhadap ENSO sangat penting dalam konteks pengelolaan sumber daya laut dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

## SARAN

Penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan memperluas cakupan waktu pengamatan guna mengidentifikasi pola perubahan jangka panjang serta variabilitas antar tahun. Penambahan parameter oseanografi seperti arus laut, salinitas, dan kandungan nutrisi juga dapat memperkaya interpretasi terhadap distribusi klorofil-a. Selain itu, penerapan metode statistik lanjutan atau pemodelan numerik dapat digunakan untuk mengkaji keterkaitan antar parameter secara lebih mendalam dan kuantitatif. Pengembangan tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mendukung kebijakan pengelolaan sumber daya kelautan secara berkelanjutan, khususnya dalam menghadapi dinamika perubahan iklim di wilayah perairan timur Indonesia.

## REFERENSI

- Alfiqri, M. Z., Handoyo, G., & Widiaratih, R. (2024). Pengaruh El Niño 2015–2016 dan La Niña 2020–2021 terhadap SPL, klorofil-a, dan intensitas curah hujan di Laut Sulawesi. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 6(3), 239–248.
- Dang, X., Chen, X., Bai, Y., He, X., Chen, C.-T. A., Li, T., Pan, D., & Zhang, Z. (2020). Impact of ENSO events on phytoplankton over the Sulu Ridge. *Marine Environmental Research*, 157, 104934.
- Hamada, J., Yamanaka, M.D., Matsumoto, J., Fukao, S., Winarso, P.A., & Sribimawati, T. 2002. Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 80 (2), 285–310.
- Handoko, E. Y., Filaili, R. B., & Yuwono. 2019. Analisa fenomena ENSO di perairan Indonesia menggunakan data altimetri TOPEX/POSEIDON dan Jason series tahun 1993–2018. *Geoid*, 14(2), 43-50.

- Irawan, B. (2016). Fenomena anomali iklim El Niño dan La Niña: Kecenderungan jangka panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 24(1), 28–45.
- Kida, S., & Richards, K. J. (2009). Seasonal sea surface temperature variability in the Indonesian Seas. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C6), C06016.
- Lizalidiawati, R. (2016). *Variabilitas spasial dan temporal klorofil-a di perairan Indonesia berdasarkan citra satelit MODIS*. Tesis. Institut Pertanian Bogor.
- Nurdin, S., Mustapha, M. A., & Lihan, T. 2019. Pemetaan zona perairan Indonesia yang sensitif terhadap ENSO berdasarkan analisis SPL dan klorofil-a. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16(1), 59-70.
- Pesoth, C. D., Rimper, Joice R.T. S. L., Warouw, V., Mantiri, Rose O.S.E., & Sumilat, D, A. 2024. Analysis Of The Effect Of El Niño La Nina And Sea Level Temperatures On Chlorophyll-A Concentrations In The Waters Of The Maluku Sea. *Jurnal Ilmiah Platax*, 12(1).
- Putri, I. W., Wirasatriya, A., Kunarso, K., Ramdani, F., & Jalil, A. R. (2021). The El Niño Southern Oscillation (ENSO) effect on upwelling in the North Maluku Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 750(1), 012037.
- Ratnawati, H. I., Hidayat, R., & Bey, A. 2021. Variabilitas upwelling di perairan Indonesia timur terkait dengan fenomena ENSO. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 22(1), 23-35.
- Rejeki, H. A., Munasik, & Kunarso. 2017. The Effect of ENSO to the Variability of Sea Surface Height in Western Pacific Ocean and Eastern Indian Ocean and its Connectivity to the Indonesia Throughflow (ITF). *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science* 55.
- Rifai, A., Rochaddi, B., Fadika, U., Marwoto, J., & Setiyono, H. (2020). Kajian pengaruh angin musim terhadap sebaran suhu permukaan laut (studi kasus: perairan Pangandaran, Jawa Barat). *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(1), 98–104.
- Ryadi, G.Y.I., Sukmono, A., & Sasmito, B. 2019. Pengaruh fenomena el Nino dan la Nina pada persebaran curah hujan dan tingkat kekeringan lahan di Pulau Bali. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(4):41-19.
- Setiawan, A. M. (2017, 17 Juli). Variabilitas musiman distribusi suhu permukaan laut, angin permukaan dan klorofil-a di Laut Banda periode tahun 2006–2015 [Prosiding]. Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4.

- Suniada, K. I. 2020. Variability of Sea Surface Temperature in Fisheries Management Area 715, Indonesia and its Relation to The Moonsoon, ENSO and Fishery Production. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 17(2), 99-114.
- Trisianto, G., Wulandari, S. Y., Suryoputro, A. A. D., Handoyo, G., & Zainuri, M. (2021). Studi variabilitas upwelling di Laut Banda. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 25–35.
- Tubalawony, S., Hukubun, R. D., & Kalay, D. E. (2024). The seasonal variations of the thermocline in the Banda Sea and its water mass characteristics. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(SpecialIssue), 534–545.
- Uneputty, B. A. S., Tubalawony, S., & Noya, Y. A. (2022). Klorofil-a dan kaitannya terhadap produktifitas primer perairan Laut Banda pada fenomena La Niña. *Nekton*, 2(1), 57–65.
- 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.
- Widodo, J., Margono, M., & Sudradjat, A. (1998). *Upwelling dan produktivitas perairan di sekitar Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, LIPI.
- Wirasatriya, A., Prasetyawan, I. B., Triyono, C. D., Muslim, L. M., & Maslukah, L. (2018). Effect of ENSO on the variability of SST and chlorophyll-a in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 116, 012063.
- Zainol, Z., & Akhir, M. (2016). The effects of southwest monsoon-induced stratification on chlorophyll concentration in the Gulf of Thailand. *Journal of Marine Systems*, 165, 50–60.
- 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), 1–xx.