

Kajian Korelasi Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Maluku pada Periode Tahun 2015 – 2023

Junda Feberrito, Dwi Haryo Ismunarti, Azis Rifai*

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

Email: *azisrifai@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Perairan selatan Maluku memiliki kondisi suhu permukaan laut (SPL) yang sering berubah. Perubahan SPL ini dapat mempengaruhi konsentrasi klorofil-a. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara SPL dengan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku selama periode tahun 2015–2023, khususnya pada periode ENSO (El Niño dan La Niña). Penelitian ini menggunakan citra MODIS untuk mendapatkan data spasial SPL dan konsentrasi klorofil-a rata-rata bulanan tahun 2015-2023. Peta sebaran SPL dan konsentrasi klorofil-a dibuat berdasarkan interpolasi Kriging pada perangkat lunak ArcGIS. Tingkat hubungan antara SPL dan konsentrasi klorofil-a ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson. Berdasarkan hasil analisa, didapatkan bahwa pada kondisi El Niño saat musim timur (Juni hingga Agustus 2023), rata-rata SPL 27,5°C dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a 0,36 mg/m³. Pada kondisi normal (Juni - Agustus 2021), rata-rata SPL 28°C, dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a 0,34 mg/m³. Pada kondisi La Niña (Juni - Agustus 2022), rata-rata SPL 28,4°C, dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a 0,34 mg/m³. Peta sebaran menunjukkan bahwa sebaran SPL dan konsentrasi klorofil-a selama ENSO tidak berbeda signifikan di perairan selatan Maluku.. Secara tahunan, antara SPL dan konsentrasi klorofil-a menunjukkan hubungan negatif dengan nilai $r = -0,961$. Sedangkan pada saat ENSO, didapatkan hubungan positif, dengan $r = 0,996$ saat El Niño, dan $r = 0,993$ saat La Niña. Disimpulkan bahwa di perairan Selatan Maluku tidak menunjukkan perubahan signifikan pada pola sebaran SPL dan konsentrasi klorofil-a saat periode ENSO, namun menunjukkan perbedaan hubungan antara SPL dengan konsentrasi klorofil-a.

Kata kunci : ENSO; El Niño; La Niña; Klorofil – a; Musim Timur; Maluku; Suhu Permukaan Laut

Abstract

The Analysis of Correlation Between Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Concentration in the Southern Maluku Waters Period 2015 - 2023

The southern waters of Maluku have changing sea surface temperatures (SST) frequently. These changes in SST can affect chlorophyll-a concentration. This study aim to analyze the relationship between SST and chlorophyll-a concentration in the southern waters of Maluku during the period 2015–2023, especially during the ENSO (El Niño and La Niña) period. This study used MODIS satellite imagery to obtain the monthly spatial data of SST and chlorophyll-a concentration. SST and chlorophyll-a concentration distribution maps were created using Kriging interpolation in ArcGIS software. The level of relationship between SST and chlorophyll-a concentration was determined based on the Pearson correlation coefficient value. Based on the analysis results, it was found that under El Niño conditions during the eastern Monsoon (June to August 2023), the average SST was 27.5 °C with an average chlorophyll-a concentration of 0.36 mg/m³. Under normal conditions (June - August 2021), the average SST was 28 °C, with an average chlorophyll-a concentration of 0.34 mg/m³. Under La Niña conditions (June - August 2022), the average SST was 28.4 °C, with an average chlorophyll-a concentration of 0.34 mg/m³. The distribution map shows that the distribution of SST and chlorophyll-a concentration during ENSO did not differ significantly in the southern waters of Maluku. Annually, between SST and chlorophyll-a concentration showed a negative relationship with an r value of -0.961. Meanwhile, during ENSO, a positive relationship was found, with $r = 0.996$ during El Niño, and $r = 0.993$ during La Niña. It was concluded that there was no significant change in the distribution pattern of SST

and chlorophyll-a concentration during the ENSO period, but showed a difference in the relationship between SST and chlorophyll-a concentration.

Keywords: ENSO; El Niño; La Niña; Chlorophyll-a; Maluku; Sea Surface Temperature

PENDAHULUAN

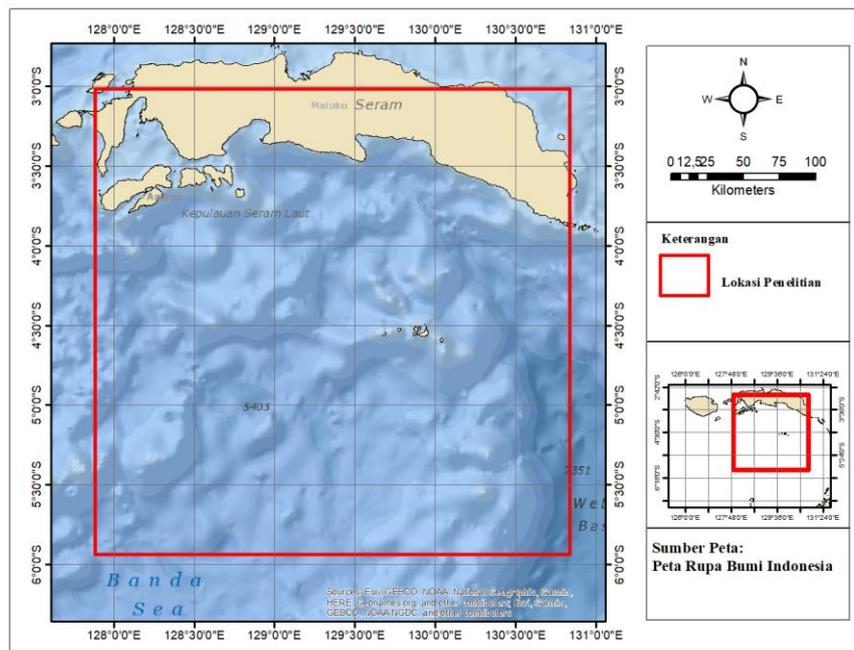
Perubahan iklim global telah menjadi perhatian utama dalam penelitian selama beberapa dekade terakhir. *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) adalah pola iklim berulang yang menyebabkan perubahan suhu perairan di Samudra Pasifik tropis bagian tengah dan timur. Fenomena ENSO muncul dari interaksi yang sangat kuat antara permukaan laut dan atmosfer di kawasan tropis Samudra Pasifik (Wang dan Liu, 2021). Terdapat dua fase dalam ENSO, yaitu El Niño dan La Niña, menggambarkan adanya penyimpangan suhu permukaan laut di Samudra Pasifik (Hidayat *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian Irwandi *et al.* (2017), saat El Niño terjadi, suhu permukaan laut (SPL) di area Pasifik Timur dekat khatulistiwa meningkat dibandingkan kondisi biasanya. Sebaliknya, saat La Niña terjadi, SPL di wilayah ini mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi normal. Penelitian sebelumnya oleh Lasut, A.Y (2021) menunjukkan bahwa fenomena ENSO memiliki pengaruh signifikan terhadap variasi SPL dan konsentrasi klorofil-a antara wilayah Timur dan Barat. Wilayah Timur cenderung memiliki SPL lebih rendah dan konsentrasi klorofil-a lebih tinggi dibandingkan wilayah Barat. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan di wilayah Timur lebih mendukung pertumbuhan fitoplankton, yang merupakan sumber utama klorofil-a, dibandingkan kondisi di wilayah Barat. Menurut Alfahri *et al.* (2017), SPL adalah parameter fisik yang mengindikasikan tingkat panas yang terdapat di permukaan laut. Perubahan SPL berpengaruh pada distribusi nutrisi dan mikroorganisme laut, seperti fitoplankton yang memiliki kandungan klorofil-a, sehingga klorofil-a dapat menjadi penanda produktivitas primer di lautan.

Berdasarkan penelitian Ji *et al.* (2018), SPL memiliki pengaruh besar terhadap konsentrasi klorofil-a di pesisir Provinsi Jiangsu dan Zhejiang, serta berdampak pada distribusi konsentrasi klorofil-a di kawasan tersebut. Menurut Siregar *et al.* (2016), klorofil-a adalah pigmen hijau yang memungkinkan tumbuhan menyerap cahaya untuk fotosintesis dan berperan penting dalam produktivitas primer di laut. Marpaung (2022) menyebut bahwa klorofil-a menunjukkan tingkat kesuburan perairan, dan distribusi fitoplankton menjadi ukuran kesuburan di suatu wilayah. Klorofil-a juga menjadi penanda utama untuk mendeteksi wilayah *upwelling* (Fuadi *et al.*, 2022). Fase El Niño sering menyebabkan peningkatan SPL di kawasan Samudra Pasifik tropis, namun di perairan Selatan Maluku, fenomena ini dapat memicu *upwelling* yang membawa air dingin kaya nutrisi dari dasar laut ke permukaan. Di perairan wilayah Maluku, peristiwa *upwelling* terjadi pada musim timur atau di sepanjang jalur Arlindo, termasuk di Laut Banda, Laut Arafura, Laut Seram, dan di wilayah Maluku Utara seperti Laut Maluku (Maryunus, 2018).

Secara umum, suhu permukaan laut di Indonesia berkisar antara 26°C hingga 31,5°C, dengan konsentrasi klorofil-a bervariasi antara 0,1 hingga 1,0 mg/m³ (Syaiyullah, 2015). Berdasarkan penelitian Wagiyo *et al.* (2019), Maluku adalah wilayah kepulauan yang memiliki sekitar 999 pulau, dengan 90% areanya berupa laut, terdiri dari 77.990 km² luas daratan dan 776.500 km² luas lautan. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah Maluku mempunyai wilayah lautan yang luas dan berpotensi besar untuk penangkapan ikan setiap tahunnya. Selama rentang waktu 2015 hingga 2023, terjadi fenomena ENSO (El Niño dan La Niña) dan dapat berdampak pada SPL dan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku. Haryanto *et al.* (2021) menjelaskan bahwa fenomena El Niño di perairan Selatan Maluku menunjukkan adanya hubungan antara suhu permukaan laut yang lebih rendah dari biasanya dan peningkatan klorofil-a. Hubungan ini menunjukkan bahwa ketika suhu permukaan laut berkurang, kadar klorofil-a di daerah itu meningkat. Selama peristiwa El Niño, suhu permukaan laut di perairan Selatan Maluku berkisar antara 26,0 hingga 30,4°C, dan diikuti dengan peningkatan kadar klorofil-a. Rata-rata klorofil-a selama El Niño berada di kisaran 0,2 hingga 1,0 mg/m³. Wilayah perairan Selatan Maluku, yang turut terpengaruh oleh ENSO, menjadi lokasi penting untuk memahami dampak perubahan SPL terhadap konsentrasi klorofil-a.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan bulan Agustus 2024 sampai bulan Februari 2025. Lokasi penelitian ini berada di perairan Selatan Maluku dengan batasan area penelitian 3° 02' - 5° 93' Lintang Selatan dan 127° 89' - 130° 84' Bujur Timur. Lokasi penelitian seperti terlihat pada Gambar 1



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a yang diambil dari citra satelit MODIS level 3 berformat NetCDF dengan resolusi 4 km, berupa data bulanan selama 9 tahun (2015–2023). Data ini diunduh dari <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>. Menurut Anugrah (2023), konsentrasi klorofil-a dalam perairan dapat dideteksi oleh sensor optik pada satelit penginderaan jauh. Data SPL dan konsentrasi klorofil-a diolah untuk menghasilkan nilai rerata bulanan pada wilayah penelitian, yang difokuskan pada perairan Selatan Maluku. Selain itu, data indeks ENSO diperoleh dari anomali SPL di wilayah NINO 3.4, yang mencakup Samudera Pasifik Tengah dan Timur, diunduh dari <http://cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/SPLoi.indices>. Data ini memungkinkan identifikasi kejadian ENSO berdasarkan nilai anomali, yaitu El Niño ketika nilai SPL $\geq 0,5$, La Niña ketika SPL $\leq -0,5$, dan kondisi normal antara -0,5 hingga 0,5 (NOAA, 2024). Menurut Abdullah (2021), Indeks Niño3.4 merupakan indeks yang paling umum digunakan untuk mendefinisikan kejadian El Niño dan La Niña. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SEADAS untuk proses pemotongan (*cropping*) data SPL dan konsentrasi klorofil-a sesuai area penelitian. Selanjutnya, setiap titik koordinat pada wilayah penelitian tersebut diekstraksi datanya untuk memperoleh nilai SPL dan konsentrasi klorofil-a bulanan. Data hasil ekstraksi diimpor ke Microsoft Excel untuk proses pembersihan (*filter*) data, termasuk mengidentifikasi dan menghapus titik data yang kosong, sehingga hanya data yang valid digunakan dalam analisis lebih lanjut. Pembuatan peta distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a, dilakukan dengan software ArcGIS menggunakan metode interpolasi Kriging. Interpolasi Kriging ini dapat mengestimasi nilai SPL dan konsentrasi klorofil-a pada titik-titik yang belum terukur di area penelitian, memperhitungkan hubungan spasial di antara titik yang ada, sehingga menghasilkan peta distribusi yang memperlihatkan variasi SPL dan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku. Menurut Arif (2019), Kriging adalah salah satu metode interpolasi yang banyak digunakan dalam geostatistik karena menghasilkan akurasi yang lebih baik dibanding metode interpolasi lainnya. Interpolasi Kriging dapat memberikan estimasi ketidakpastian pada hasil interpolasi, yang dapat digunakan untuk mengevaluasi keandalan prediksi dan menginformasikan analisis lebih lanjut.

Langkah selanjutnya dalam menganalisis ENSO adalah menentukan analisis mengenai periode dan kekuatan El Niño, La Niña, serta kondisi netral yang dilakukan dengan mengamati indeks NINO 3.4. ENSO adalah fenomena iklim alami yang ditandai oleh interaksi antara atmosfer dan lautan di kawasan tropis Samudera Pasifik, yang menyebabkan terjadinya fluktuasi suhu permukaan laut di wilayah Niño 3.4 atau melalui indeks ENSO dengan nilai tertentu yang berlanjut selama tiga bulan berturut-turut (Petrova *et al.*,

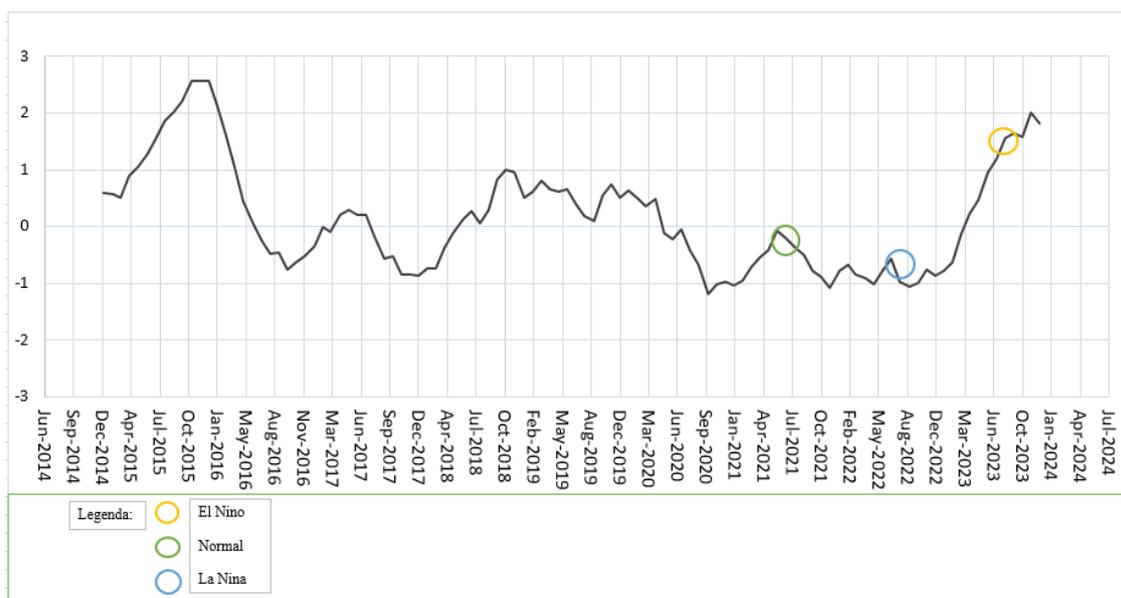
2019). Fenomena ENSO pada saat El Niño, Normal dan La Niña 1 dikaji pada musim yang sama yaitu musim timur serta pada fase yang sama yaitu fase tumbuhnya fenomena ENSO.. Fenomena El Niñodikaji pada bulan Juni hingga Agustus tahun 2023. Sedangkan fenomena La Niña dikaji pada bulan Juni hingga Agustus 2022. Kondisi normal dikaji dari bulan Juni hingga Agustus 2021.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis indeks Nino 3.4 pada Gambar 2 menunjukkan bahwa El Niño, Normal dan La Niña di ambil pada musim yang sama yaitu musim timur yaitu di bulan Juni, Juli dan Agustus. Pada saat kejadian El Niño tahun 2023, dari data dapat dilihat bahwa pada bulan Juni nilai indeks mencapai 0.95, diikuti bulan Juli dengan niali indeks 1.2 dan bulan Agustus mencapai nilai indeks 1.56. Nilai indeks lebih dari 0,5 ini mengindikasikan adanya El Niño di perairan selatan Maluku selama periode tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa tahun 2023 merupakan terjadinya El Niño pada saat musim timur. Sementara itu, La Niña terjadi pada tahun 2022, pada bulan Juni hingga Agustus. Pada bulan Juni, nilai indeks Nino 3.4 mencapai -0,77, kemudian nilai indeks -0,56 pada Juli, dan nilai indeks -0,96 pada bulan Agustus. Nilai indeks kurang dari -0,5 ini menunjukkan adanya La Niña di perairan selatan Maluku. Kondisi netral atau normal teridentifikasi pada Juni hingga Agustus 2021, dengan nilai indeks yang berada di antara -0,5 hingga 0,5. Pada Juni nilai indeks tercatat sebesar -0,06, diikuti oleh Juli dengan nilai indeks -0,2, dan bulan Agustus dengan nilai indeks -0,38. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada periode tersebut, perairan selatan Maluku berada dalam fase netral, di mana tidak ada pengaruh El Niño maupun La Niña yang signifikan (gambar 2)

Analisis Pengaruh Suhu Permukaan Laut terhadap Konsentrasi Klorofil – a di Perairan Selatan Maluku

Hasil analisis yang ditampilkan pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa secara tahunan data suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku menunjukkan hubungan yang berlawanan atau hubungannegatif yang sanga kuat. Ketika suhu permukaan laut naik, konsentrasi klorofil-a menunjukkan penurunan, sedangkan saat suhu permukaan laut turun, konsentrasi klorofil-a meningkat. Berdasarkan anlisis korelasi, didapatkan nilai koefisien korelasi $r = -0,961$. Penelitian ini didasarkan pada data suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a bulanan selama 9 tahun, dari tahun 2015 hingga 2023. Data ini mencakup variasi bulanan yang menunjukkan pola perubahan suhu dan konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan Selatan Maluku sepanjang tahun.



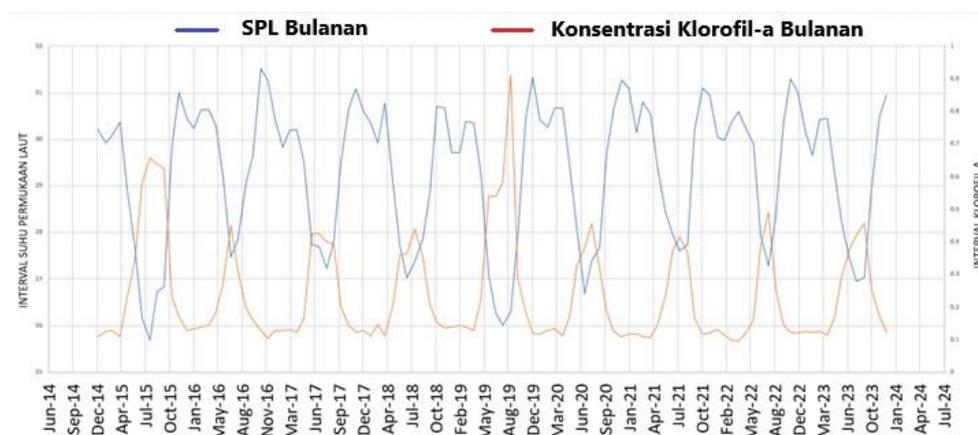
Gambar 2. Grafik Indeks ENSO NINO 3.4

Tabel 1. Nilai Maksimum Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil – a Tahunan Pada Perairan Selatan Maluku

Tahun	SPL Maksimum (°C)	Konsentrasi Klorofil-a (mg/m ³)
2015	31,0	0,17
2016	31,5	0,12
2017	31,0	0,12
2018	30,7	0,11
2019	31,3	0,12
2020	31,2	0,10
2021	31,1	0,11
2022	31,2	0,12
2023	30,9	0,12

Tabel 2. Nilai Minimum Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil – a Tahunan Pada Perairan Selatan Maluku

Tahun	SPL Minimum (°C)	Konsentrasi Klorofil-a (mg/m ³)
2015	25,7	0,65
2016	27,4	0,45
2017	27,2	0,40
2018	27,0	0,36
2019	26,0	0,58
2020	26,6	0,37
2021	27,6	0,41
2022	27,2	0,49
2023	26,9	0,42



Gambar 3. Grafik Hubungan Suhu Permukaan Laut Dan Konsentrasi Klorofil – a di Perairan Selatan Maluku

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa pada bulan November 2016, suhu permukaan laut mencapai nilai tertinggi 31,5°C, sementara konsentrasi klorofil-a hanya sebesar 0,12 mg/m³. Hal ini memperlihatkan bahwa suhu laut yang lebih tinggi dapat menurunkan konsentrasi klorofil-a, yang berhubungan dengan tingkat produktivitas fitoplankton di daerah tersebut. Sedangkan Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa pada bulan Agustus 2015, suhu permukaan laut mencapai nilai terendah, yaitu 25,7°C, dan konsentrasi klorofil-a mencapai nilai tertinggi sebesar 0,65 mg/m³. Ini menunjukkan bahwa pada suhu yang lebih rendah dapat meningkatkan konsentrasi klorofil-a, yang menunjukkan produktivitas fitoplankton yang lebih besar. Hal ini berkaitan dengan proses upwelling yang membawa massa air dengan suhu lebih

rendah dan kaya nutrien. Selain itu dapat menunjukkan bahwa suhu laut yang lebih rendah merupakan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan fitoplankton, sedangkan suhu yang lebih tinggi dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton sehingga menurunkan konsentrasi klorofil-a

Hubungan antara suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku menunjukkan bahwa adanya variasi SPL berpengaruh terhadap produktivitas primer di daerah ini. Fitoplankton akan mengalami pertumbuhan optimum pada suhu perairan tertentu. Saat suhu perairan melewati batassuhu optimum, pertumbuhan fitoplankton akan menurun. Hal ini terlihat di perairan Selatan Maluku, yaitu pada suhu perairan yang lebih tinggi akan berkaitan dengan konsentrasi klorofil-a yang lebih rendah. Sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian Boyd et al (2013), bahwa di wilayah tropis pertumbuhan optimum fitoplankton terjadi pada kisaran suhu 24 °C – 28 °C. Dari **Tabel 1** dan **Tabel 2**, di perairan Selatan Maluku menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a lebih tinggi terjadi pada saat SPL lebih rendah, demikian pula sebaliknya. Sehingga dapat dikatakan bahwa suhu permukaan laut (SPL) adalah salah satu faktor yang berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku

Pemetaan Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil – a Pada Kondisi El Niño

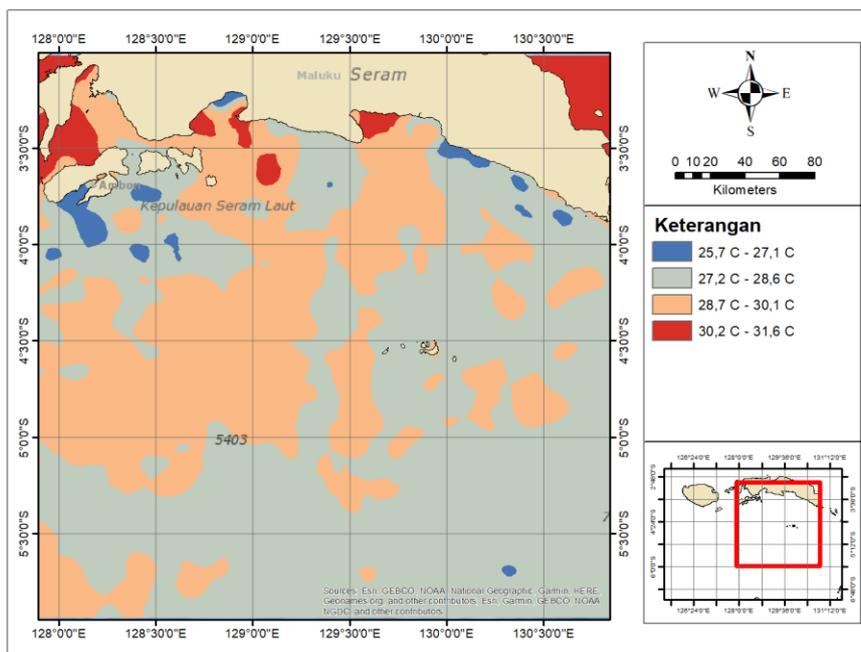
Tabel 3 menunjukkan bahwa pada kondisi El Niño saat musim timur yaitu pada bulan Juni hingga Agustus tahun 2023, rata-rata suhu permukaan laut tercatat sebesar 27,5°C dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a mencapai 0,36 mg/m³. Pada kondisi normal bulan Juni hingga Agustus tahun 2021, SPL rata-rata tercatat 28°C, dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a 0,34 mg/m³. Sedangkan pada kondisi La Niña, yang terjadi pada saat musim timur bulan Juni hingga Agustus tahun 2022, SPL rata-rata tercatat 28,4°C (lebih tinggi daripada SPL rata-rata saat El Niño), dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a tercatat 0,34 mg/m³ (lebih rendah daripada rata-rata saat El Niño).

Gambar 4 dan 5 menunjukkan sebaran suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku selama kondisi El Niño saat musim timur pada bulan Juni hingga Agustus 2023. Rata-rata suhu permukaan laut selama periode ini tercatat mencapai 27,5°C, dengan rentang suhu antara 26,9°C hingga 28,2°C. Konsentrasi klorofil-a yang terukur selama periode ini mencapai nilai rata-rata 0,36 mg/m³, dengan nilai minimum 0,29 mg/m³ dan maksimum 0,42 mg/m³. Peningkatan konsentrasi klorofil-a menunjukkan adanya pertumbuhan fitoplankton yang baik di perairan Selatan Maluku selama kondisi El Niño.

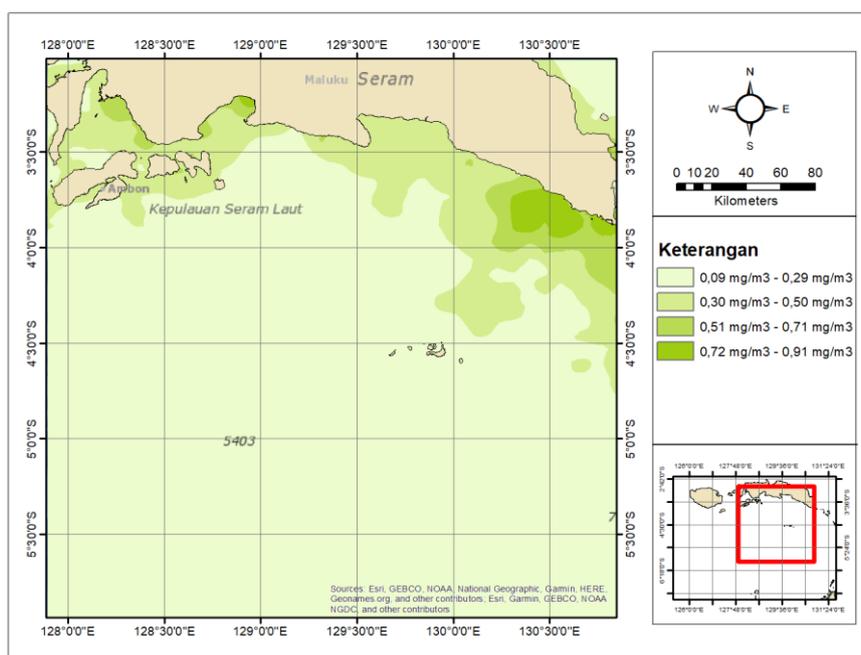
Hubungan antara suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan Selatan Maluku menunjukkan bahwa pada kondisi El Niño, distribusi suhu permukaan laut berperan dalam menentukan pola distribusi konsentrasi klorofil-a. Pada rentang suhu yang dikaji, konsentrasi klorofil-a tidak menunjukkan pola sebaran yang tetap, melainkan menunjukkan pola yang bervariasi. Berdasarkan sebaran SPL, terlihat bahwa pada saat El Niño, SPL lebih tinggi cenderung berada pada wilayah dekat dengan pantai. Demikian pula dengan konsentrasi klorofil-a, konsentrasi lebih tinggi cenderung berada di wilayah dekat pantai. Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan antara SPL dengan konsentrasi klorofil-a. Berdasarkan analisa korelasi, didapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,996$, menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara parameter SPL dengan parameter konsentrasi klorofil-a. Namun ada dugaan bahwa tingginya konsentrasi klorofil-a di wilayah dekat pantai karena ada masukan nutrien dari daratan yang dibawa oleh aliran sungai. Selain itu, kondisi musim timur menimbulkan arus permukaan dari timur ke barat. Arus ini akan dibelokkan ke kanan menjauhi pantai, sehingga memicu terjadinya *coastal upwelling* di wilayah pesisir pulau Seram. Kondisi tersebut berperan meningkatkan konsentrasi klorofil-a di wilayah dekat pantai di perairan Selatan Maluku.

Tabel 3. Nilai Rerata Suhu Permukaan Laut dan Klorofil – a pada Kondisi ENSO

	Suhu Permukaan Laut (°C)			Konsentrasi Klorofil-a (mg/m ³)		
	Maksimum	Rerata	Minimum	Maksimum	Rerata	Minimum
El Niño	28,2	27,5	26,9	0,42	0,36	0,29
Normal	28,4	28,0	27,6	0,41	0,34	0,23
La Niña	29,9	28,4	27,2	0,49	0,34	0,16



Gambar 4. Pola Persebaran SPL Pada Kondisi El Niño di Perairan Selatan Maluku



Gambar 5. Pola Persebaran Konsentrasi Klorofil – a Pada Kondisi El Niño di Perairan Selatan Maluku

Pemetaan Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil – a Pada Kondisi Normal

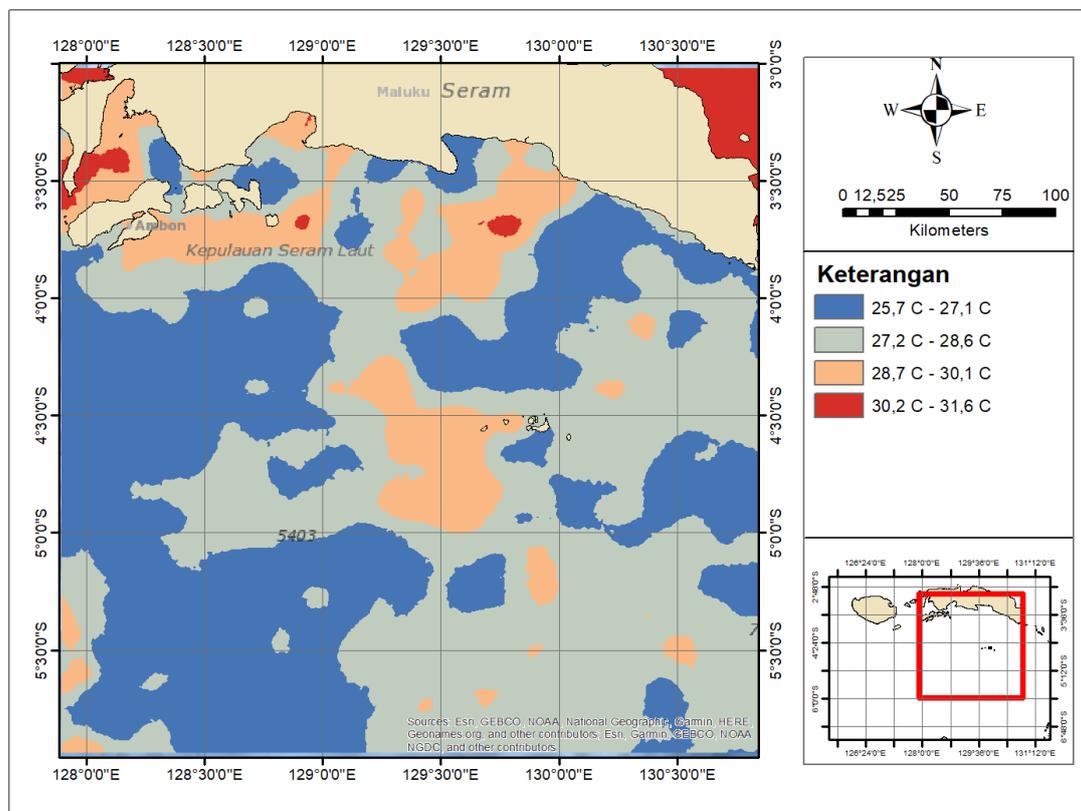
Gambar 6 dan 7 menunjukkan sebaran SPL dan konsentrasi klorofil-a pada kondisi normal di perairan Selatan Maluku pada musim timur tahun 2021. Suhu permukaan laut rata-rata selama bulan Juni, Juli, dan Agustus adalah 28°C, dengan rentang suhu antara 27,6°C hingga 28,4°C, dan rata-rata konsentrasi klorofil-a tercatat sebesar 0,34 mg/m³ dengan nilai minimum 0,23 mg/m³ dan maksimum 0,41 mg/m³. Kondisi ini sesuai dengan nilai indeks ENSO Niño 3.4 yang mendekati 0, menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan dari

fenomena El Niño atau La Niña pada periode tersebut. Distribusi suhu permukaan laut menunjukkan pola yang stabil, dengan sedikit variasi suhu di wilayah perairan Selatan Maluku. Sebaran konsentrasi klorofil-a menunjukkan konsentrasi klorofil-a lebih tinggi cenderung berada di wilayah dekat pantai. Hal ini mencerminkan tingkat produksi primer dari fitoplankton dalam kondisi lingkungan yang normal. Secara keseluruhan, peta sebaran tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi normal, perairan selatan Maluku mempertahankan pola distribusi suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a yang konsisten selama periode Juni hingga Agustus 2021.

Sebaran suhu permukaan laut yang relatif stabil di perairan Selatan Maluku pada kondisi normal tahun 2021 menunjukkan bahwa perairan ini tidak terpengaruh oleh peristiwa cuaca seperti El Niño maupun La Niña. Suhu permukaan laut rata-rata 28°C dengan rentang suhu 27,6°C hingga 28,4°C, menunjukkan variasi SPL yang kecil pada kondisi normal. Sebaran konsentrasi klorofil-a lebih tinggi cenderung berada dekat pantai, diduga berkaitan dengan suplai nutrisi dari daratan dan *coastal upwelling* yang terjadi pada kondisi musim timur. Berdasarkan analisa korelasi, didapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,991$. Menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara parameter SPL dengan parameter konsentrasi klorofil-a pada kondisi normal. Hubungan positif ini diduga terkait dengan data yang dianalisa hanya pada periode musim timur saja. Sedangkan pada analisa korelasi data rata-rata bulanan selama 9 tahun, didapatkan nilai koefisien korelasi $r = -0,961$, yang menunjukkan hubungan negatif yang sangat kuat antara parameter SPL dengan parameter konsentrasi klorofil-a.

Pemetaan Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil – a Pada Kondisi La Nina

Berdasarkan hasil analisa sebaran SPL dan konsentrasi klorofil-a pada kondisi La Niña di perairan selatan Maluku pada tahun 2022 (Gambar 8 dan 9) , diketahui bahwa suhu permukaan laut rata-rata selama bulan Juni, Juli, dan Agustus tercatat sebesar 28,4°C. Rentang SPL adalah dari suhu terendah 27,2°C hingga suhu tertinggi 29,9°C. Sedangkan sebaran konsentrasi klorofil-a pada periode yang sama menunjukkan rata-

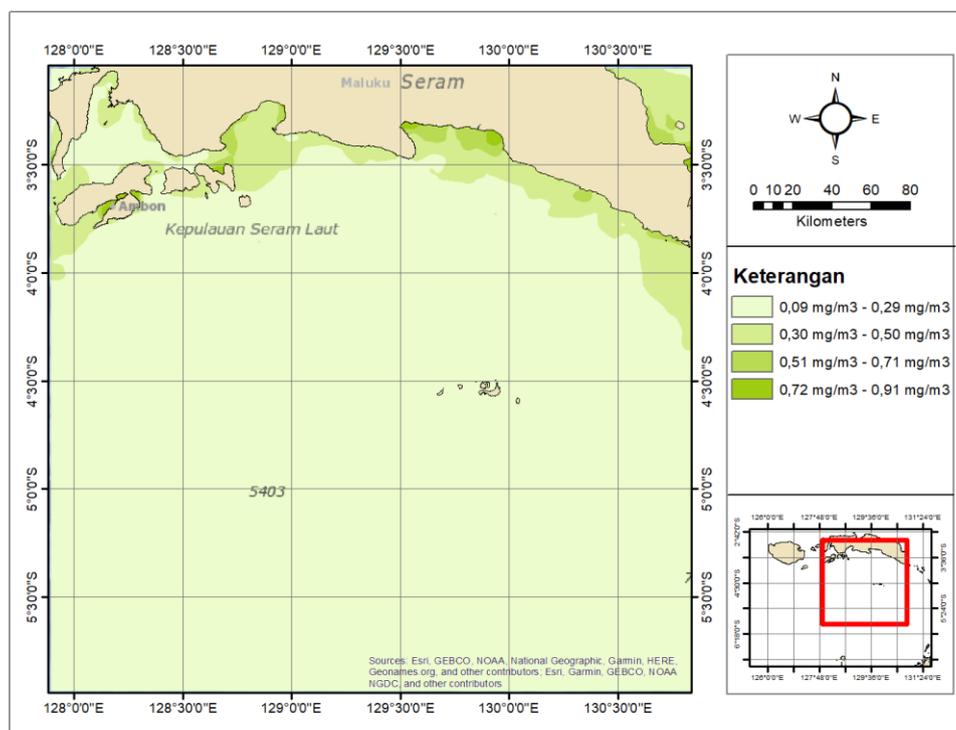


Gambar 6. Pola Persebaran SPL Pada Kondisi Normal di Perairan Selatan Maluku

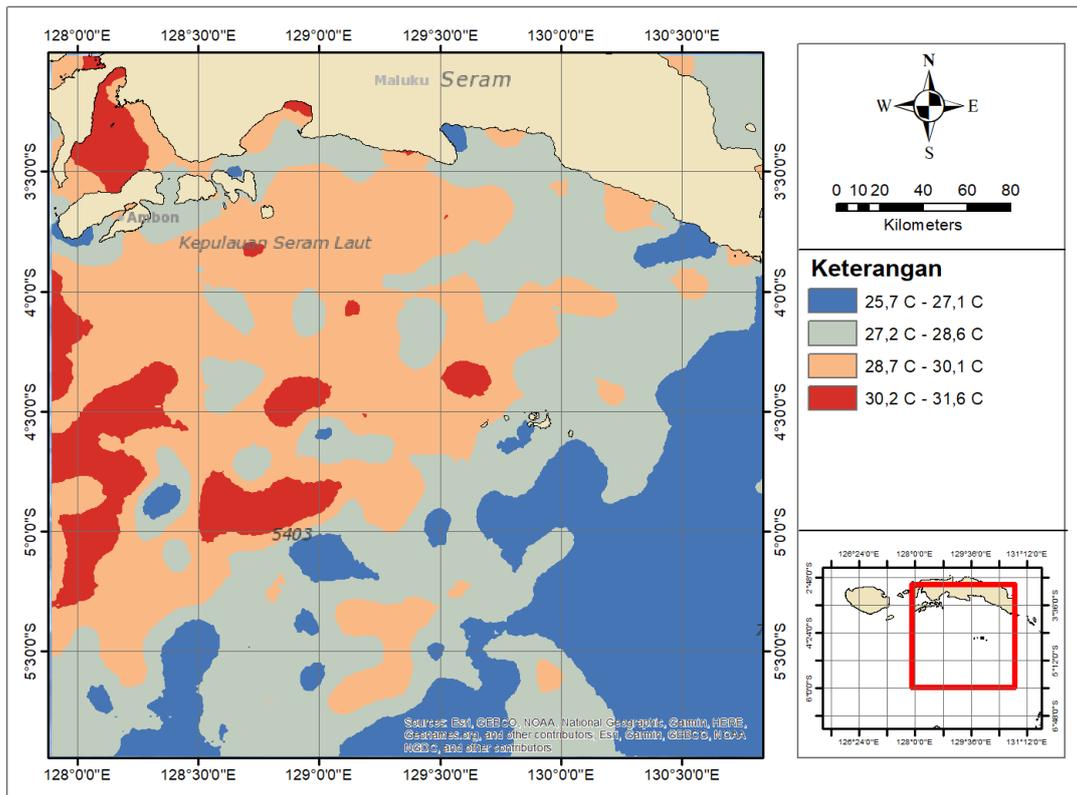
rata sebesar 0,34 mg/m³ dengan rentang konsentrasi yang bervariasi mulai dari 0,16 mg/m³ hingga mencapai 0,49mg/m³. Secara keseluruhan, distribusi suhu permukaan laut di perairan selatan Maluku selama kondisi La Niña menunjukkan adanya variasi SPL yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi El Niño dan kondisi normal. Secara visual juga terlihat bahwa ada variasi dalam sebaran SPL. Suhu tidak tersebar secara merata di seluruh wilayah perairan, melainkan bervariasi di berbagai titik, dengan sebagian wilayah menunjukkan suhu yang lebih tinggi, sementara wilayah lainnya cenderung lebih rendah. Variasi sebaran SPL ini menunjukkan adanya dinamika penyebaran suhu di permukaan laut yang tidak seragam pada kondisi La Niña.

Sebaran konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan juga menunjukkan variasi dari konsentrasi yang lebih rendah hingga yang lebih tinggi, yaitu dari 0,16 mg/m³ hingga 0,49 mg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi klorofil-a di perairan selatan Maluku selama kondisi La Niña tidak seragam, namun menunjukkan pola sebaran yang hampir sama dengan sebaran klorofil-a pada kondisi El Niño dan kondisi normal. Seperti pada kondisi El Niño dan kondisi normal, konsentrasi klorofil-a yang cenderung lebih tinggi di dekat pantai diduga terkait dengan *coastal upwelling* yang terjadi selama musim timur. Secara keseluruhan, hasil analisa data h menunjukkan bahwa distribusi suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku selama kondisi La Niña pada tahun 2022 memiliki pola sebaran yang bervariasi. Berdasarkan hasil analisa korelasi, didapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,993$, menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara parameter SPL dengan parameter konsentrasi klorofil-a pada kondisi La Niña.

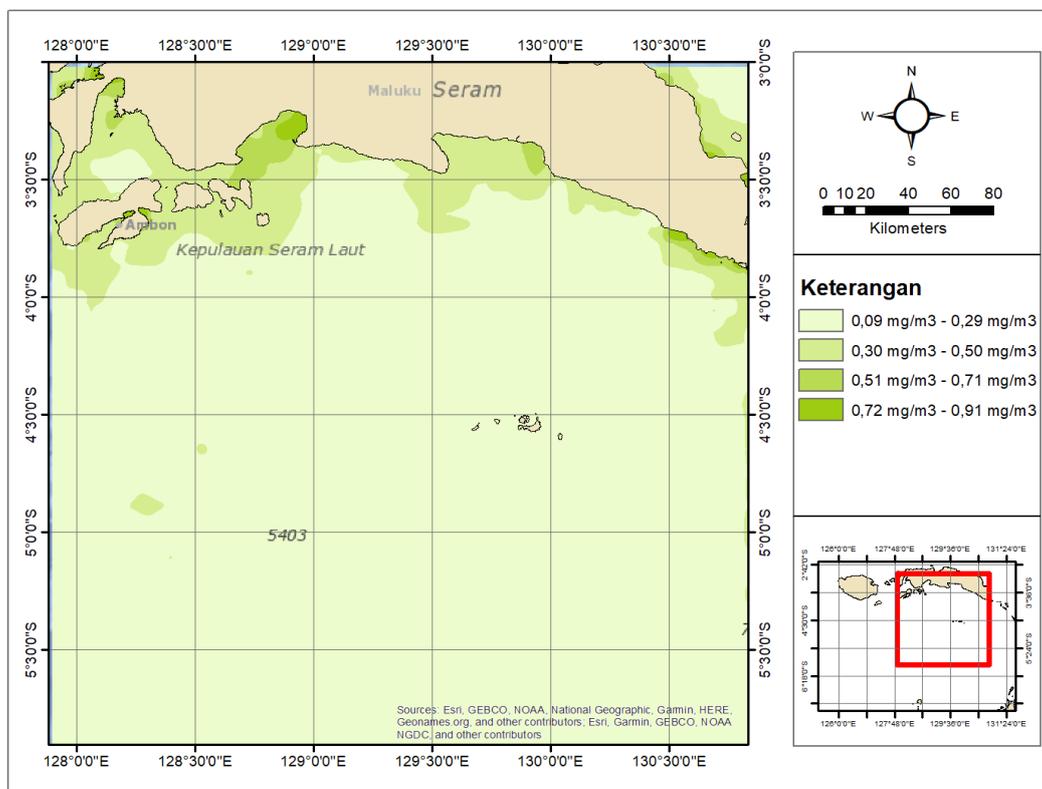
Analisis data pengamatan selama 9 tahun (2015 – 2023), terlihat hubungan antara suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku (Gambar 3). Secara keseluruhan, terdapat hubungan berkebalikan (negatif) yang sangat kuat ($r = - 0,961$) Berdasarkan indeks Nino 3.4 pada Gambar 2 dan Tabel 3, dapat dilihat bahwa pada kondisi El Niño selama musim timur dari Juni hingga Agustus 2023 rata-rata suhu permukaan laut tercatat sebesar 27,5°C dengan konsentrasi rata-rata klorofil-a mencapai 0,36 mg/m³. Sedangkan pada kondisi normal selama musim timur dari Juni hingga Agustus 2021, rata-rata SPL tercatat sedikit lebih tinggi, yakni 28°C, dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a sedikit lebih rendah yaitu 0,34 mg/m³. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi El Niño, SPL di perairan selatan Maluku cenderung lebih rendah daripada SPL pada kondisi normal. Dinamika SPL berpengaruh terhadap konsentrasi klorofil-a. Pada kondisi El Niño, konsentrasi klorofil-a cenderung lebih tinggi daripada konsentrasi klorofil pada kondisi normal.



Gambar 7. Pola Persebaran Klorofil – a Pada Saat Normal di Perairan Selatan Maluku



Gambar 8. Pola Persebaran SPL Pada Kondisi La Niña di Perairan Selatan Maluku



Gambar 9. Pola Persebaran Konsentrasi Klorofil – a Pada Kondisi La Niña di Perairan Selatan Maluku

Dar hubungan ini terlihat bahwa pada SPL lebih rendah akan menyebabkan konsentrasi klorofil-a lebih tinggi di perairan selatan Maluku. Haryanto *et al.* (2021), menyatakan bahwa kejadian El Niño mempengaruhi konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku. Pada kejadian El Niño, konsentrasi klorofil-a di Perairan Selatan Maluku tercatat cukup tinggi dengan kisaran antara 0.2-1.0 mg/m³. Selama periode tahun 2023, SPL di wilayah Samudra Pasifik tropis lebih tinggi dari kondisi normalnya (Gambar 2), yang mengindikasikan terjadinya fenomena El Niño. Hal ini juga dinyatakan Baharrizky *et al.* (2024), bahwa pada bulan Juni, Juli dan Agustus 2023 indeks El Niño semakin menguat, El Niño pada tahun 2023 merupakan yang terkuat sejak 5 tahun terakhir. Pada saat terjadi El Niño, suhu permukaan laut di wilayah Maluku cenderung mengalami penurunan (Gambar 4), yang mengakibatkan berkurangnya curah hujan di wilayah Maluku. SPL lebih tinggi lebih banyak dijumpai di perairan dekat pantai, diduga karena pengaruh masuknya air dari daratan yang memiliki suhu lebih tinggi daripada SPL. Kondisi sebaliknya terjadi dengan konsentrasi klorofil-a di perairan, dimana konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku mengalami kenaikan pada saat suhu permukaan laut menurun seperti terlihat pada Gambar 5. Konsentrasi klorofil-a lebih tinggi banyak dijumpai di perairan dekat pantai. Kondisi ini diduga terkait dengan terjadinya *coastal upwelling* di pesisir perairan selatan Maluku selama musim timur. Angin musim timur menyebabkan arus permukaan bergerak ke arah barat. Pengaruh efek *Coriolis* menyebabkan massa air dibelokkan ke kiri (di belahan bumi selatan) sehingga massa air bergerak menjauhi pesisir pantai di perairan dan terjadi *upwelling* di pesisir perairan selatan Maluku. Selama kondisi El Niño, di perairan selatan Maluku menunjukkan hubungan setara (positif) yang sangat kuat antara parameter SPL dengan parameter konsentrasi klorofil-a.

Pada kondisi La Niña, selama musim timur dari Juni hingga Agustus 2022, rata-rata suhu permukaan laut adalah 28,4°C, lebih tinggi daripada SPL pada kondisi El Niño. Sedangkan rata-rata konsentrasi klorofil-a adalah 0,34 mg/m³, sedikit lebih rendah daripada rata-rata konsentrasi klorofil-a pada kondisi El Niño. Berdasarkan nilai indeks NINO 3,4 (Gambar 2), dapat dilihat bahwa pada periode Juni hingga Agustus 2022, nilai indeks adalah antara -0,5 sampai -1 menunjukkan fenomena La Niña yang tidak terlalu kuat. Hal ini juga dinyatakan Yuniasih *et al.* (2022), bahwa fenomena La Niña tahun 2022 adalah fenomena La Niña dalam kategori lemah menuju sedang. Dampak fenomena La Niña akan menyebabkan nilai SPL dan intensitas curah hujan akan meningkat, sementara nilai klorofil-a akan menurun. Seperti terlihat pada Tabel 3, pada kondisi La Niña menunjukkan rata-rata SPL lebih tinggi daripada rata-rata SPL pada kondisi El Niño dan kondisi normal. Sedangkan rata-rata konsentrasi klorofil-a pada kondisi La Niña lebih rendah daripada rata-rata konsentrasi klorofil-a pada kondisi El Niño. Sebaran konsentrasi klorofil-a lebih tinggi banyak dijumpai di perairan dekat pantai diduga masih berkaitan dengan pengaruh musim timur yang menyebabkan *coastal upwelling* di perairan selatan Maluku. Peta sebaran SPL dan konsentrasi klorofil-a menunjukkan adanya variasi nilai SPL dan konsentrasi klorofil-a pada kondisi La Niña. Dan selama kondisi La Niña, terdapat hubungan positif yang sangat kuat antara parameter SPL dan parameter konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku.

Hasil analisa data SPL dan konsentrasi klorofil-a minimum dan maksimum setiap tahun (**Tabel 1 dan 2**) menunjukkan bahwa kejadian SPL terendah dan konsentrasi klorofil-a tertinggi tidak terjadi bertepatan dengan kondisi El Niño, maupun La Niña. Hal ini menunjukkan bahwa fenomena ENSO tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap perubahan suhu dan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku. Suhu tertinggi sering terjadi pada bulan November dan Desember, yang merupakan saat musim barat, sedangkan konsentrasi klorofil-a tertinggi sering dijumpai pada bulan Juli hingga Agustus. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hadiman *et al.* (2017), konsentrasi klorofil-a di wilayah perairan Maluku cukup tinggi terjadi dari bulan Juni hingga Agustus. Sedangkan hasil penelitian Haryanto *et al.* (2021), menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi pada Juli hingga Oktober berbanding lurus dengan kecepatan arus permukaan pada saat El Niño. Selama kondisi El Niño, suhu rata-rata tercatat sebesar 27,5°C dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a 0,36 mg/m³, sementara pada kondisi La Niña suhu rata-rata 28,4 °C dengan rata-rata konsentrasi klorofil-a 0,34 mg/m³. Perbedaan ini tidak terlalu besar namun menunjukkan bahwa pada kondisi El Niño terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku, dibandingkan pada kondisi La Niña. Meskipun fenomena ENSO, baik El Niño maupun La Niña, sering dikaitkan dengan perubahan iklim global yang signifikan, hasil pengamatan di perairan selatan Maluku tidak menunjukkan adanya hubungan yang sangat besar terhadap perubahan suhu permukaan laut maupun konsentrasi klorofil-a. Dalam hal ini suhu permukaan laut selama kondisi El Niño (27,5°C) tidak jauh berbeda dengan suhu saat kondisi netral (28°C) atau kondisi La Niña (28,4°C). Begitu juga dengan konsentrasi klorofil-a yang hanya mengalami sedikit peningkatan selama kondisi El Niño (0,36 mg/m³) dibandingkan dengan kondisi La Niña (0,34 mg/m³). Hasil

analisa data juga menunjukkan bahwa meskipun El Niño biasanya diasosiasikan dengan peningkatan suhu permukaan laut, di perairan selatan Maluku justru terjadi penurunan suhu permukaan laut dan peningkatan konsentrasi klorofil-a dibandingkan La Niña. Analisa korelasi menunjukkan bahwa secara umum (tahunan) terdapat hubungan negatif yang sangat kuat antara SPL dengan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku. Namun hal sebaliknya terjadi pada kondisi El Niño dan La Niña. Pada kondisi ini, terdapat hubungan positif yang sangat kuat antara SPL dengan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku. Ada dugaan bahwa hal ini terkait dengan kondisi musim timur yang berlangsung bertepatan dengan kondisi El Niño dan La Niña. Karena dari hasil analisa kondisi normal yang diambil pada saat yang sama dengan musim timur, juga menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara SPL dengan konsentrasi klorofil-a. Pengaruh musim timur menyebabkan pergerakan massa air di perairan selatan Maluku memicu terjadinya *upwelling*. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Maryunus (2018), bahwa di perairan Maluku mengalami *upwelling* pada musim timur. . Adanya *upwelling* memberikan suplai nutrisi bagi pertumbuhan fitoplankton, sehingga konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku meningkat. Selain itu, di wilayah pesisir perairan Maluku memiliki kaitan erat dengan pasokan nutrisi yang berasal dari pulau Seram, yang mendapatkan kontribusi signifikan dari aliran sungai, terutama selama musim hujan. Dalam kondisi tersebut, sungai-sungai besar yang bermuara di pantai utara pulau Seram berperan penting sebagai sumber utama fosfat dan nitrat. Nutrien yang terbawa oleh aliran sungai ini kemudian tersebar ke wilayah pesisir, sehingga memengaruhi distribusi dan ketersediaan zat hara yang mendukung ekosistem di kawasan tersebut (Makatita *et al.*, 2014).

Faktor lain yang juga berperan penting terhadap distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a adalah intensitas cahaya matahari. Cahaya matahari dapat menaikkan suhu permukaan laut dan merupakan faktor penting sebagai sumber energi dalam proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton. Hal ini juga dinyatakan oleh Zainuri *et al.* (2023), fitoplankton merupakan mikroorganisme yang memiliki pigmen klorofil sehingga dapat melakukan fotosintesis. Dalam proses fotosintesis fitoplankton membutuhkan cahaya matahari, sehingga cahaya matahari menjadi faktor utama terhadap perkembangbiakan fitoplankton. Di perairan selatan Maluku, distribusi cahaya matahari dipengaruhi oleh kondisi musim. Variasi musiman intensitas cahaya matahari diduga berkaitan dengan distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a. Secara keseluruhan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Maluku tidak hanya dipengaruhi oleh fenomena ENSO, tetapi juga oleh faktor-faktor lain seperti arus laut (Arlindo), intensitas cahaya matahari, serta karakteristik fisik perairan seperti kedalaman dan posisi geografis.

KESIMPULAN

Secara umum, di perairan selatan Maluku menunjukkan hubungan terbalik (negatif) yang sangat kuat antara parameter suhu permukaan laut (SPL) dengan parameter konsentrasi klorofil-a. Namun pada kondisi El Niño dan La Niña, menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara parameter SPL dengan parameter konsentrasi klorofil-a. Hubungan positif ini berkaitan dengan meningkatnya konsentrasi klorofil-a selama musim timur. Di perairan selatan Maluku, kondisi El Niño dan La Niña menyebabkan perubahan suhu permukaan laut (SPL) namun perubahan SPL tidak berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi klorofil-a.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. E. A. N. A. 2021. Analisis hubungan indeks nino 3.4 dengan curah hujan di Jawa Tengah. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(1): 24-30.
- Alfahri, Mubarak, & Mulyadi, A. 2017. Analisis Spasial dan Temporal Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan Sumatera Barat. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 5(2): 65-74.
- Anugrah, A. P., Hidayah, Z., As-Syakur, A., & Rachman, H. A. 2023. Pemanfaatan Citra Satelit Aqua-MODIS untuk Pemantauan Dinamika Spasio-Temporal Produktivitas Primer Bersih di Perairan Laut Jawa. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3): 473-484.
- Arif, N. 2019. Studi Komparasi Kriging dan IDW untuk Estimasi Spasial Bahan Organik Tanah. *Geomedia*, 17(2): 83-87.
- Baharrizky, A. F., Kurniawati, N., Mardiansyah, W., Setiabudidaya, D., Sailah, S., Saleh, K., & Irfanmakmun, M. 2024. Pengaruh Interaksi Laut-Atmosfer terhadap Evolusi El Niño pada Musim Kemarau Tahun 2023. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 5(2): 50-56.

- Boyd, P. W., Rynearson, T. A., Armstrong, E. A., Fu, F., Hayashi, K., Hu, Z., Hutchins, D. A., Kudela, R. M., Litchman, E., Mulholland, M. R. & Passow, U., 2013. Marine phytoplankton temperature versus growth responses from polar to tropical waters—outcome of a scientific community-wide study. *PLoS one*, 8(5): p.e63091.
- Fuadi, A., Akbar, M. W., & Irham, M. 2022. Analisis Daerah Penangkapan Ikan Tuna Sirip Kuning (*Thunnus albacares*) Berdasarkan Sebaran Klorofil A Di Perairan Utara Provinsi Aceh. *Jurnal Perikanan Terpadu*, 2(2): 5-10.
- Hadiman, Handono, E., & Rejeki, H. A. 2017. Analisis Sebaran Wilayah Potensi Ikan Berdasarkan Pantauan Konsentrasi Klorofil-a dan Suhu Muka Laut di Perairan Maluku. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*.
- Haryanto, Y. D., Hadiman, H., Agdialta, R., & Riama, N. F. 2021. Pengaruh El Niño Terhadap Pola Distribusi Klorofil-a dan Pola Arus di Wilayah Perairan Selatan Maluku. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3): 364-374.
- Hidayat, U., Prasetyo, S., Donni H.Y., & Florida R.N. 2022. Pengaruh ENSO Terhadap Curah Hujan dan Kelembapan Relatif serta Suhu Permukaan Laut di Sulawesi. *Buletin GAW Bariri*, 2(2):88-96.
- Irwandi, H., Nasution, M.I., Kurniawan, E. & Megalina, Y. 2017. Pengaruh el niño terhadap variabilitas curah hujan di Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, 1(2):7-15.
- Ji, C., Zhang Y., Cheng, Q., Tsou, J., Jiang, T. & Liang, X.S. 2018. Evaluating the impact of sea surface temperature (SST) on spatial distribution of chlorophyll-a concentration in the East China Sea. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 68(1): 252-261.
- Lasut, A. Y., Patty, W., Warouw, V., Sondakh, C. A., Bara, R. A., Luasunaung, A., & Sumilat, D. A. 2021. The relationship between El Niño Southern Oscillation (ENSO) and oceanographic parameters in North Sulawesi waters. *Aquatic Science & Management*, 9(1): 17-25.
- Makatita, J. R., Susanto, A. B., & Mangimbulude, J. C. 2014. Kajian zat hara fosfat dan nitrat pada air dan sedimen padang lamun Pulau Tujuh Seram Utara Barat Maluku Tengah. *Seminar Nasional FMIPA-UT (Vol. 23)*.
- Marpaung, S., Prayogo, T., Yati, E., Purwanto, A. D., Nandika, M. R., Domiri, D. D., & Kushardono, D. 2022. Analisis karakteristik net primary productivity dan klorofil-a di laut banda dan sekitarnya. *Jurnal ilmu dan teknologi kelautan tropis*, 14(1): 31-46.
- Maryunus, R. P. 2018. Pengendalian penyakit ice-ice budidaya rumput laut, *Kappaphycus alvarezii*: Korelasi musim dan manipulasi terbatas lingkungan. *Jurnal kebijakan perikanan Indonesia*, 10(1): 1-10.
- NOAA. 2024. Cold & Warm Episodes by Season. Diakses 31 Oktober 2024 dari https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ENSOstuff/ONI_v5.php
- Petrova, D., Lowe, R., Stewart-Ibarra, A., Ballester, J., Koopman, S. J., & Rodó, X. 2019. Sensitivity of large dengue epidemics in Ecuador to long-lead predictions of El Niño. *Climate Services*, 15: p.100096
- Siregar, S., Ternala, A. B., & Zulham, A. H. 2016. Analisis konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut menggunakan data satelit aqua modis serta hubungannya dengan hasil tangkapan ikan tongkol (*Euthynnus sp.*) di Selat Malaka. *Jurnal Aquacoastmarine*, 4(1): 27-36.
- Syaifullah, M. D. 2015. Suhu permukaan laut perairan Indonesia dan hubungannya dengan pemanasan global. *Jurnal Segara*, 11(2): 103-113.
- Wagiyo, K., Priatna, A., & Herlisman, H. 2019. Kelimpahan, Komposisi dan Sebaran Larva Ikan di Laut Seram, Laut Maluku dan Teluk Tomini (WPP 715). *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 11(1): 1-17.
- Wang S., Mu, L., & Liu, D. 2021. A hybrid approach for El Niño prediction based on Empirical Mode Decomposition and convolutional LSTM Encoder-Decoder. *Computer and Geosciences*, 149(1):1-16.
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., & Wardana, D. A. S. 2022. Anomali iklim el nino dan la nina di Indonesia pada 2013-2022. *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 6(2): 136-143.
- Zainuri, M., Indriyawati, N., Syarifah, W., & Fitriyah, A. 2023. Korelasi intensitas cahaya dan suhu terhadap kelimpahan fitoplankton di Perairan Estuari Ujung Piring Bangkalan. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1): 20-26.