Kajian Variabilitas Spasial dan Temporal Suhu dan Salinitas Laut Seram

Pedro El-Roy Wattimury[a,*], Maulana Ahmad Isman Tubaka[a], Farrel Siraj[a], Hafidz Maruapey[a], Zainal Derwotubun[a], Abdul Majid Ulath[a], Ludi Kinlihu[a], Gewinko Latuhihin[a], Edward Hansye Mahuwe[a].
[a]Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon 97233, Indonesia.

* Korespondensi Penulis: wattimurypedro32@gmail.com

Dikirim: 26 Juli 2026;
Diterima: 9 November 2026;
Diterbitkan: 9 November 2026.

Abstrak. Laut Seram merupakan perairan strategis di kawasan Indonesia Timur yang menjadi salah satu jalur Arus Lintas Indonesia (Arlindo), sehingga variabilitas suhu permukaan laut (*sea surface temperature,* SST) dan salinitas permukaan laut (*sea surface salinity*, SSS) di kawasan ini penting untuk dipahami, termasuk keterkaitannya dengan *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO). Penelitian ini mengkaji variabilitas spasial-temporal SST dan SSS di Laut Seram selama 2015–2024 menggunakan data *reanalisis* CMEMS yang diolah secara komputasi dengan Python, meliputi analisis sebaran musiman, tren jangka panjang (uji Mann-Kendall dan Sen's Slope), karakteristik massa air (diagram T-S), serta korelasi dengan indeks *Oceanic Niño Index* (ONI). Hasil menunjukkan tren pemanasan SST signifikan sebesar +0,610 °C/dekade dan tren penurunan SSS signifikan sebesar -0,196 PSU/dekade selama periode kajian. Korelasi silang mengungkap SST berkorelasi negatif kuat dengan ONI (r = -0,63) pada *lag* -4 bulan, sedangkan SSS berkorelasi positif (r = 0,58) pada *lag* -2 bulan, yang mengindikasikan bahwa perairan Laut Seram merespons fase ENSO lebih cepat dibanding sebaliknya. Diagram T-S menunjukkan stratifikasi massa air yang konsisten antarmusim dengan variasi pada lapisan termoklin. Temuan ini memperkaya pemahaman dinamika oseanografi Laut Seram sebagai bagian dari sistem iklim regional Indonesia Timur.

Kata kunci: ENSO; Laut Seram; salinitas; suhu permukaan laut; variabilitas spasial-temporal.

Abstract. The Seram Sea is a strategic body of water in Eastern Indonesia that forms part of the Indonesian Throughflow (ITF); therefore, it is important to understand the variability of sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSS) in this region, including their relationship with El Niño–Southern Oscillation (ENSO). This study examines the spatiotemporal variability of SST and SSS in the Seram Sea from 2015-2024 using CMEMS reanalysis data processed computationally with Python, including analyses of seasonal distribution, long-term trends (Mann-Kendall and Sen's Slope tests), water mass characteristics (T-S diagrams), and correlations with the Oceanic Niño Index (ONI). The results show a significant warming trend in SST of +0.610 °C/decade and a significant decreasing trend in SSS of −0.196 PSU/decade during the study period. Cross-correlation analysis revealed that SST showed a strong negative correlation with the ONI (r = −0.63) at a lag of −4 months, while SSS exhibited a positive correlation (r = 0.58) at a lag of −2 months, indicating that the Seram Sea responds to ENSO phases faster than the reverse. T-S diagrams show consistent inter-seasonal water mass stratification with variations in the thermocline layer. These findings enrich our understanding of the oceanographic dynamics of the Seram Sea as part of the regional climate system of Eastern Indonesia.

Keywords: ENSO; Seram Sea; salinity; sea surface temperature; spatial-temporal variability.

I. PENDAHULUAN

Laut Seram memiliki posisi yang sangat strategis karena terletak di antara Pulau Seram, Pulau Buru, dan wilayah barat Papua. Laut ini berbatasan langsung dengan Laut Banda dan Laut Maluku, yang menjadi jalan utama bagi Arus Lintas Indonesia (Arlindo) untuk membawa aliran air dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia [1]. Bukti dari aliran ini terlihat dari masuknya air laut Pasifik Selatan yang asin hingga ke bagian timur Laut Seram [2]. Kondisi

perairan di sekitar wilayah ini juga sangat dinamis, seperti adanya fenomena naiknya air dingin dari dasar laut (*upwelling*) di selatan Laut Maluku [3], serta percampuran berbagai jenis air di Laut Banda [4].

Suhu permukaan laut (*sea surface temperature,* SST) dan salinitas permukaan laut (*sea surface salinity*, SSS) merupakan dua parameter fisik utama yang menentukan kondisi suatu perairan, karena keduanya berperan dalam stratifikasi kolom air dan berkaitan dengan aktivitas konveksi atmosfer regional [5]. SST dan SSS tidak saling memengaruhi secara langsung. Variabilitas keduanya dikendalikan oleh proses yang sama, yaitu keseimbangan presipitasi–evaporasi, limpasan daratan, dan sirkulasi laut yang dimodulasi oleh monsun serta *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO). Pada fase *El Niño,* curah hujan yang berkurang cenderung meningkatkan salinitas permukaan, sedangkan pada fase *La Niña,* curah hujan yang meningkat menyebabkan penurunan salinitas [6]. Respons SST terhadap ENSO bervariasi antarwilayah. Di Laut Sawu, SST meningkat saat *El Niño* 2023 [7], sedangkan di kawasan Maluku fluktuasi SST banyak dikendalikan oleh fase ENSO [8].

Dalam konteks perubahan iklim, hampir seluruh perairan Indonesia dilaporkan mengalami tren SST yang meningkat selama periode 1982–2009 [9]. Laju pemanasan SST di perairan Indonesia bahkan dilaporkan sedikit lebih tinggi daripada rata-rata global [10]. Untuk kawasan Maluku/Seram, laju pemanasan sebesar 0,025–0,033 °C per tahun dilaporkan pada periode 2003–2025 beserta keterkaitannya dengan siklus ENSO [11].

Meskipun demikian, kajian tren SST di kawasan ini umumnya memakai data satelit permukaan sehingga tidak menggambarkan struktur kolom air, padahal kajian stratifikasi massa air di perairan sekitar menegaskan pentingnya data bawah permukaan [3]. Struktur suhu dan salinitas di Selat Haruku [12] dan Laut Halmahera [13] menunjukkan bahwa perairan di sekitar kepulauan Maluku memiliki stratifikasi vertikal yang khas. Kajian yang melihat variabilitas suhu dan salinitas hingga ke bawah permukaan di Laut Seram, baik secara spasial maupun temporal, masih sangat jarang dilakukan.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pola variabilitas spasial SST dan SSS di Laut Seram pada empat musim; (2) menganalisis pola variabilitas temporal serta tren jangka panjang SST dan SSS selama 2015–2024; (3) mengidentifikasi karakteristik massa air melalui diagram T-S pada kedalaman 0–100 m; dan (4) menganalisis hubungan antara indeks ONI dengan variabilitas SST dan SSS, baik secara spasial maupun melalui *lag correlation*.

II. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan di perairan Laut Seram dengan mengikuti batas resmi yang diakui secara internasional [14]. Data yang diamati adalah kondisi laut setiap bulan selama kurun waktu 10 tahun, terhitung dari Januari 2015 hingga Desember 2024.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Sumber Data

Data suhu dan salinitas diperoleh dari produk *reanalisis Global Ocean Physics Reanalysis* (GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030) yang disediakan oleh *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) [15]. Parameter yang diunduh mencakup suhu potensial (*thetao*) dan salinitas *(so)* pada enam lapisan kedalaman (0, 10, 30, 50, 75, dan 100 m) dengan resolusi spasial sekitar 1/12 derajat. Sebagai data pendukung untuk merepresentasikan fase ENSO, digunakan *Oceanic Niño Index* (ONI) bulanan yang diperoleh dari NOAA Climate Prediction Center [16].

2.3 Alat dan Perangkat Lunak

Seluruh pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python, dengan pustaka utama meliputi geopandas dan rioxarray untuk pengolahan data spasial, xarray untuk pengolahan data multidimensi, pandas dan numpy untuk analisis numerik, serta matplotlib dan cartopy untuk visualisasi peta. Palet warna oseanografi (*balance* dan *tarn*) diadopsi dari pustaka cmocean [17]. Perhitungan densitas air laut sebagai dasar garis isopiknal pada diagram T-S mengikuti standar *Thermodynamic Equation of Seawater 2010* (TEOS-10) menggunakan pustaka gsw [18]. Uji tren statistik menggunakan pustaka pymannkendall.

2.4 Pengolahan Data

Data CMEMS dan data batas wilayah *IHO Sea Areas* diunduh secara manual melalui Copernicus Marine Data Store dan Marine Regions. Data hasil unduhan dipotong (*masking/clipping*) sesuai poligon batas Laut Seram menggunakan operasi spasial berbasis *shapefile*, sehingga

hanya piksel yang berada di dalam batas laut tersebut yang digunakan. Setelah kontrol kualitas data (pemeriksaan nilai hilang dan pencilan), dilakukan perhitungan klimatologi bulanan sebagai rata-rata tiap bulan selama 2015–2024. Nilai anomali dihitung sebagai selisih antara nilai aktual dan klimatologi bulan yang bersesuaian, mengikuti persamaan:

$$A = X - X\mathit{bar}, \quad (1)$$

dengan A adalah nilai anomali, X adalah nilai aktual bulanan, dan X-bar adalah rata-rata klimatologi bulan yang bersangkutan.

2.5 Analisis Data

Variabilitas spasial SST dan SSS dianalisis melalui peta sebaran musiman untuk empat musim di Indonesia, yaitu Musim Barat (Des–Feb), Musim Peralihan I (Mar–Mei), Musim Timur (Jun–Ags), dan Musim Peralihan II (Sep–Nov). Variabilitas temporal dianalisis melalui dua pendekatan: (1) deret waktu anomali bulanan dengan *shading* periode fase *El Niño* dan *La Niña* berdasarkan ONI, dan (2) matriks *heatmap* tahun terhadap bulan untuk menunjukkan pola musiman sekaligus variabilitas antartahun.

Karakteristik massa air dianalisis melalui diagram hubungan suhu-salinitas (diagram T-S) untuk setiap musim, dengan data dari enam kedalaman digabungkan dalam satu diagram dan dibedakan berdasarkan gradasi warna kedalaman, serta dilengkapi kontur densitas (isopiknal) sebagai latar belakang.

Uji tren jangka panjang menggunakan uji non-parametrik Mann-Kendall yang dikembangkan oleh Mann [19] dan Kendall [20], untuk mendeteksi tren monotonik pada deret waktu tanpa mensyaratkan asumsi distribusi normal. Statistik uji S dihitung dari perbandingan berpasangan seluruh nilai dalam deret waktu:

$$S = \Sigma\, \mathrm{sgn}(X_j - X_k), \text{ untuk } j > k \quad (2)$$

Besaran laju tren diestimasi dengan estimator Sen's Slope [21], yaitu median dari seluruh kemiringan berpasangan:

$$Q = \mathrm{median}[(X_j - X_k)/(j - k)] \quad (3)$$

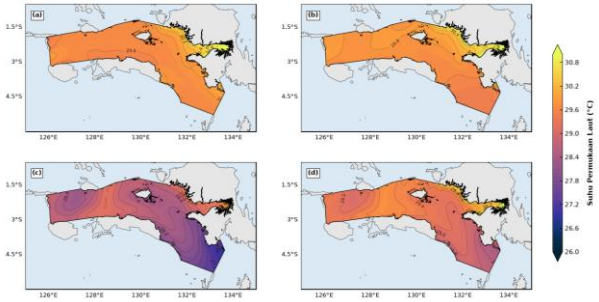
Uji diterapkan pada deret waktu rata-rata regional maupun pada setiap titik grid untuk menghasilkan peta tren spasial, dengan tingkat signifikansi $p < 0{,}05$.

Hubungan dengan ENSO dianalisis melalui korelasi Pearson antara ONI dan anomali SST/SSS pada setiap titik grid, serta korelasi silang (*lag correlation*) antara ONI dan anomali rata-rata regional pada berbagai jeda waktu. *Lag* negatif menunjukkan anomali SST/SSS mendahului ONI, sedangkan *lag* positif menunjukkan ONI mendahului anomali SST/SSS. Signifikansi korelasi dinilai pada tingkat kepercayaan 95%.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Variabilitas Spasial SST dan SSS

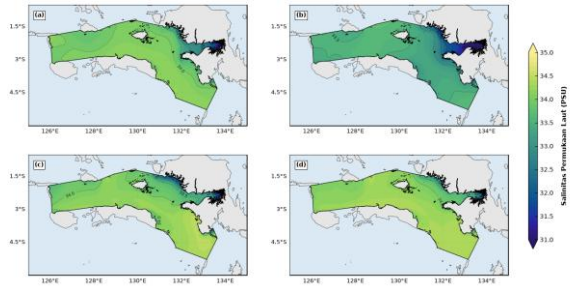
Sebaran musiman SST di Laut Seram (Gambar 2) menunjukkan suhu yang berkisar antara 26–31 °C, dengan pola yang relatif hangat dan homogen pada Musim Barat dan Musim Peralihan I. Pada Musim Timur (JJA) terjadi penurunan suhu yang nyata terutama di bagian barat dan selatan domain kajian, yang mengindikasikan kemungkinan pengaruh percampuran vertikal atau *upwelling* musiman pada periode angin muson tenggara [3]. Pola pendinginan musiman ini konsisten dengan karakteristik perairan Indonesia timur yang dipengaruhi sistem monsun [7].



Gambar 2. Sebaran musiman suhu permukaan laut (SST) di Laut Seram: (a) Musim Barat (DJF), (b) Musim Peralihan I (MAM), (c) Musim Timur (JJA), (d) Musim Peralihan II (SON)

Sebaran musiman SSS (Gambar 3) menunjukkan salinitas rendah di pesisir timur laut domain kajian yang tampak sepanjang tahun, dengan nilai terendah pada MAM (Gambar 3b) dan relatif melemah pada SON (Gambar 3d). Persistensi ini mengindikasikan masukan air tawar yang relatif kontinu dari daratan Papua melalui limpasan sungai dan curah hujan tinggi, sedangkan penguatannya pada Musim Barat dan Peralihan I kemungkinan berkaitan dengan peningkatan curah hujan monsun. Pola penurunan salinitas pesisir akibat limpasan daratan juga dilaporkan di Selat Haruku [12].

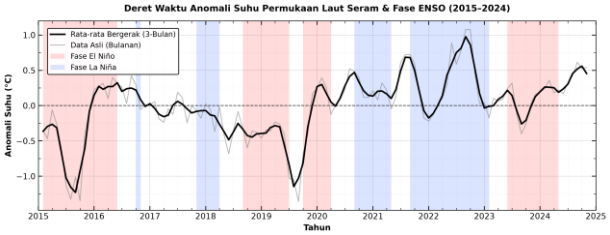
Persistensi salinitas rendah di bagian timur wilayah kajian menunjukkan bahwa pengaruh air tawar tidak terbatas pada musim hujan. Di perairan Indonesia, air tawar dari presipitasi dapat bertahan di lapisan permukaan dan selanjutnya didistribusikan oleh adveksi serta proses pencampuran [22]. Selain itu, masukan air tawar dari sungai juga diketahui membentuk massa air bersalinitas rendah di kawasan pesisir Papua Barat [23], sedangkan pencampuran pasang surut internal turut memodifikasi karakteristik salinitas massa air di Laut Halmahera dan Laut Seram [24]. Dengan demikian, pola SSS rendah yang relatif persisten kemungkinan dipengaruhi oleh kombinasi masukan air tawar dan dinamika sirkulasi regional.



Gambar 3. Sebaran musiman salinitas permukaan laut (SSS) di Laut Seram: (a) Musim Barat (DJF), (b) Musim Peralihan I (MAM), (c) Musim Timur (JJA), (d) Musim Peralihan II (SON)

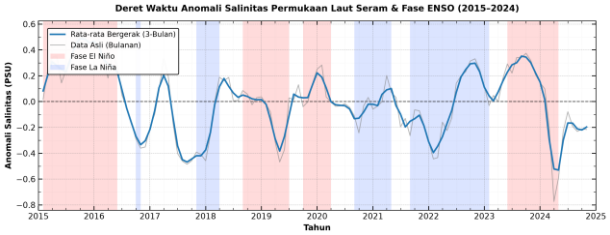
3.2 Variabilitas Temporal dan Tren Jangka Panjang

Deret waktu anomali SST selama 2015-2024 (Gambar 4) menunjukkan pola fluktuasi yang jelas mengikuti fase ENSO, dengan anomali negatif terendah (hingga -1,3°C) terjadi pada tahun 2015 dan 2019 yang bertepatan dengan fase *El Niño*, serta anomali positif tertinggi (mencapai +1,1°C) pada periode 2022-2023 yang bertepatan dengan fase *La Niña* berkepanjangan.



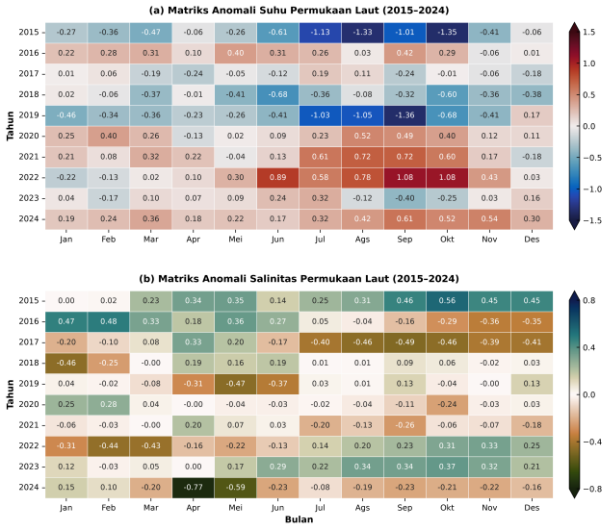
Gambar 4. Deret waktu anomali SST Laut Seram dan fase ENSO (2015-2024).

Pola fluktuasi serupa teramati pada anomali SSS (Gambar 5), tetapi dengan arah yang berkebalikan terhadap SST pada beberapa periode. Hal ini mencerminkan interaksi antara proses termal dan proses presipitasi–evaporasi yang bekerja bersamaan [6].



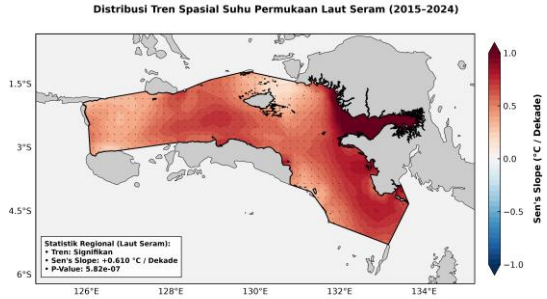
Gambar 5. Deret waktu anomali SSS Laut Seram dan fase ENSO (2015-2024).

Pola musiman dan variabilitas antartahun tersebut tergambar secara ringkas pada matriks *heatmap* tahun terhadap bulan (Gambar 6). Anomali ekstrem SST terkonsentrasi pada bulan Juli-Oktober, yaitu negatif pada 2015 dan 2019 serta positif pada 2022. Anomali ekstrem SSS tidak terbatas pada bulan tertentu, antara lain tampak pada semester kedua 2017 (-0,39 hingga -0,49 PSU) dan April-Mei 2024 (-0,77 dan -0,59 PSU).



Gambar 6. Matriks *heatmap* anomali (a) SST dan (b) SSS Laut Seram per tahun-bulan (2015-2024).

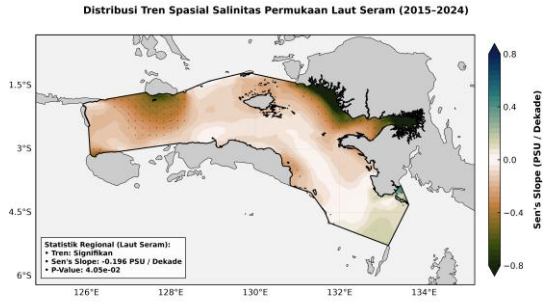
Hasil uji Mann-Kendall menunjukkan tren pemanasan SST yang signifikan secara statistik selama periode kajian, dengan estimasi Sen's Slope sebesar +0,610 °C/dekade ($Z = 4{,}997$; $p = 5{,}8 \times 10^{-7}$). Nilai ini sejalan arah dengan tren pemanasan SST yang dilaporkan secara luas di perairan Indonesia [9], meskipun laju yang diperoleh dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan estimasi laju pemanasan di Laut Maluku/Seram pada kajian berbasis data satelit periode lebih panjang (0,025–0,033 °C/tahun) [8], yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan sumber data, resolusi, serta periode kajian yang lebih pendek dan lebih baru pada penelitian ini. Peta tren spasial SST (Gambar 7) menunjukkan pola pemanasan yang relatif merata di seluruh domain kajian dengan intensitas lebih tinggi di bagian timur dekat pesisir Papua.



Gambar 7. Peta tren spasial SST Laut Seram (2015-2024), Sen's Slope dalam °C/dekade.

Sementara itu, SSS menunjukkan tren penurunan yang juga signifikan secara statistik, dengan Sen's Slope sebesar -0,196 PSU/dekade ($Z = -2{,}048$; $p = 0{,}041$). Peta tren spasial SSS (Gambar 8) menunjukkan pola yang lebih beragam

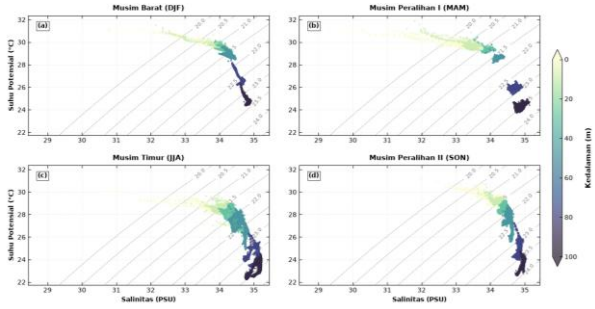
dibandingkan SST, dengan wilayah barat dan pesisir menunjukkan penurunan salinitas yang lebih nyata dibandingkan wilayah tengah domain.



Gambar 8. Peta tren spasial SSS Laut Seram (2015-2024), Sen's Slope dalam PSU/dekade.

3.3 Karakteristik Massa Air

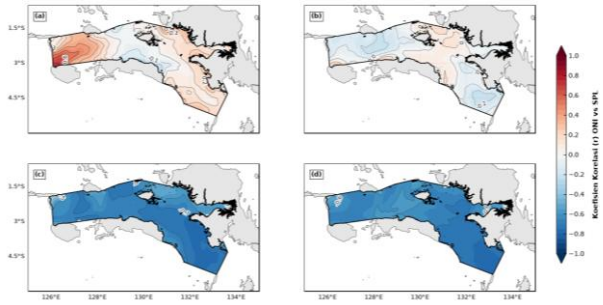
Diagram T-S pada keempat musim (Gambar 9) menunjukkan pola stratifikasi vertikal yang konsisten, dengan lapisan permukaan (0-10 m) dicirikan oleh suhu tinggi (29-31°C) dan salinitas relatif rendah, serta lapisan yang lebih dalam (75-100 m) dicirikan oleh suhu yang menurun tajam (hingga di bawah 25°C) disertai peningkatan salinitas menuju nilai maksimum sekitar 34,5-35 PSU. Pola stratifikasi ini konsisten dengan karakteristik massa air yang dilaporkan pada perairan sekitar Laut Seram, di mana suhu menurun dan salinitas meningkat secara signifikan seiring bertambahnya kedalaman akibat pengaruh massa air dari Laut Banda [12]. Perbedaan antarmusim paling terlihat pada sebaran titik di lapisan termoklin (30-75 m), yang mengindikasikan variasi musiman pada kedalaman dan ketajaman lapisan termoklin di Laut Seram.



Gambar 9. Diagram T-S Laut Seram per musim, gabungan 6 kedalaman (0-100 m) dengan garis isopiknal.

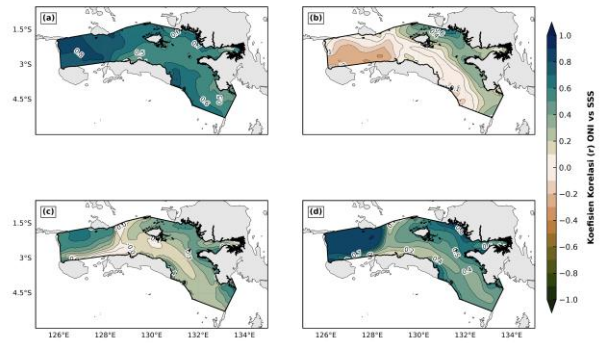
3.4 Hubungan dengan ENSO

Analisis korelasi spasial (Gambar 10) menunjukkan bahwa sebagian besar domain Laut Seram memiliki korelasi negatif antara indeks ONI dengan anomali SST, dengan koefisien korelasi mencapai -0,6 hingga -0,7 di bagian tengah dan timur domain, menandakan bahwa fase *El Niño* secara umum diasosiasikan dengan pendinginan SST di Laut Seram, sedangkan fase *La Niña* diasosiasikan dengan pemanasan. Pola hubungan negatif antara ONI dan SST ini konsisten dengan temuan pada Laut Maluku/Seram yang menjelaskan bahwa korelasi signifikan sebesar r = -0,499 terhadap indeks ONI dalam kajian dengan basis data dan periode berbeda [8], sekaligus mengonfirmasi peran Laut Seram sebagai salah satu jalur transmisi sinyal iklim ke perairan Indonesia bagian dalam.



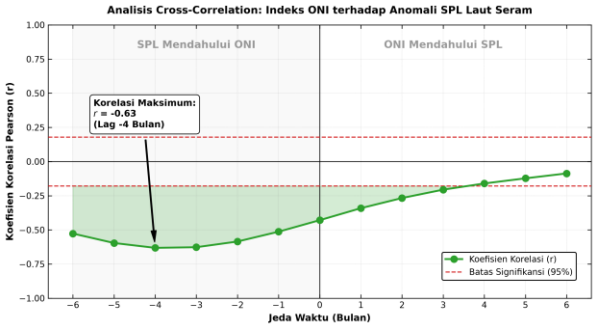
Gambar 10. Peta korelasi spasial (r) indeks ONI terhadap anomali SST Laut Seram

Sebaliknya, korelasi spasial antara ONI dengan anomali SSS (Gambar 11) didominasi oleh hubungan positif, terutama di bagian barat domain kajian, konsisten dengan mekanisme fisis bahwa fase *El Niño* yang mengurangi curah hujan di kawasan Indonesia Timur akan meningkatkan salinitas permukaan akibat berkurangnya masukan air tawar [6].



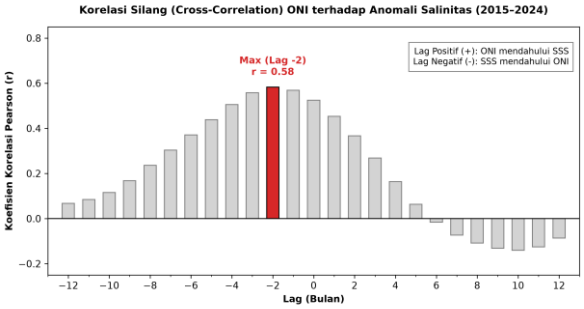
Gambar 11. Peta korelasi spasial (r) indeks ONI terhadap anomali SSS Laut Seram

Analisis korelasi silang mengungkapkan bahwa korelasi maksimum antara ONI dan anomali SST (Gambar 12) terjadi pada *lag* -4 bulan (r = -0,63), yang berarti perubahan SST di Laut Seram cenderung mendahului puncak indeks ONI sekitar empat bulan, yang juga mengindikasikan Laut Seram merespons secara lebih cepat terhadap prekursor pembentukan ENSO dibandingkan puncak indeks itu sendiri.



Gambar 12. Korelasi silang (*lag correlation*) indeks ONI terhadap anomali SST Laut Seram

Sementara itu, korelasi maksimum ONI dan anomali SSS (Gambar 13) terjadi pada *lag* -2 bulan (r = 0,58), menunjukkan pola respons jeda waktu yang sedikit lebih singkat dibandingkan SST. Pola *lag* semacam ini juga umum dijelaskan pada kajian hubungan ENSO dengan parameter oseanografi di perairan Indonesia lainnya, meskipun besaran jeda waktu bervariasi bergantung pada karakteristik lokal masing-masing perairan [7].



Gambar 13. Korelasi silang (*lag correlation*) indeks ONI terhadap anomali SSS Laut Seram

IV. KESIMPULAN

Secara spasial, SST dan SSS menunjukkan pola musiman yang berkaitan dengan sistem monsun Indonesia, dengan penurunan suhu pada Musim Timur dan pola salinitas rendah di sekitar pesisir pada musim hujan. Secara temporal, kedua parameter menunjukkan tren jangka panjang yang signifikan secara statistik, yaitu meningkatnya SST sebesar +0,610°C/dekade dan menurunnya SSS sebesar -0,196 PSU/dekade. Diagram T-S mengonfirmasi stratifikasi massa air yang konsisten antarmusim dengan variasi pada lapisan termoklin. Analisis korelasi menunjukkan bahwa Laut Seram merespons fase ENSO secara nyata, dengan SST berkorelasi negatif kuat terhadap ONI pada *lag* -4 bulan dan SSS berkorelasi positif pada *lag* -2 bulan, menegaskan peran Laut Seram sebagai salah satu jalur transmisi sinyal iklim Pasifik ke perairan Indonesia. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada resolusi spasial data *reanalisis* yang digunakan serta periode kajian yang terbatas pada satu dekade, sehingga disarankan penelitian lanjutan menggunakan periode data yang lebih panjang serta validasi dengan data pengukuran *in-situ* untuk memperkuat keandalan temuan yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. L. Gordon, "Oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow," *Oceanography*, vol. 18, no. 4, 2005.

[2] E. Hadikusumah, "Massa air dan sirkulasinya di Laut Halmahera, Laut Seram, dan Laut Banda," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 2, no. 1, 2010.

[3] F. N. Ryanto, "Stratifikasi dan sirkulasi massa air di perairan selatan Laut Maluku," Skripsi, IPB Univ., Bogor, 2024.

[4] A. A. Zahara, M. T. Hartanto, Nabil, A. S. Atmadipoera, I. W. Nurjaya, dan Y. Naulita, "Karakteristik massa air berdasarkan data Argo float di Laut Banda," *J. Kelaut.*, vol. 18, no. 3, 2025.

[5] T. Qu, Y. Du, J. Strachan, G. Meyers, dan J. Slingo, "Sea surface temperature and its variability in the Indonesian region," *Oceanography*, vol. 18, no. 4, 2005.

[6] Sasongko, "Analisis variabilitas suhu dan salinitas permukaan laut di Laut Sulawesi terkait ENSO menggunakan data CMEMS," Artikel Ilmiah, Univ. Jenderal Soedirman, 2024.

[7] M. R. Aziis, A. B. Wirasatriya, dan A. Setiyono, "Dampak El Niño 2023 terhadap suhu permukaan laut dan curah hujan di Laut Sawu," *Indones. J. Ocean.*, 2023.

[8] A. B. Wirasatriya, R. Y. Setiawan, dan P. Subardjo, "The effect of ENSO on the variability of chlorophyll-a and sea surface temperature in the Maluku Sea," *Indones. J. Ocean.*, vol. 4, no. 1, 2017.

[9] M. N. Habibie dan T. A. Nuraini, "Karakteristik dan tren perubahan suhu permukaan laut di Indonesia periode 1982-2009," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 15, no. 2, 2014.

[10] S. Mubarrok dan I. M. Radjawane, "Tren kenaikan suhu permukaan laut dan korelasinya dengan suhu laut global periode 1982-2024," 2025.

[11] F. Kasim, S. Kalaka, S. Habibie, dan M. Sau, "Tren suhu permukaan laut, anomali ekstrem, dan keterkaitannya dengan ENSO di Teluk Tomini dan perairan sekitarnya periode 2003-2025," *Indones. J. Ocean.*, vol. 8, no. 1, 2026.

[12] Hukubun dkk., "Distribusi spasial suhu dan salinitas di perairan Selat Haruku," *J. Sci. Aquat. (JSAI)*, 2023.

[13] S. Tubalawony, D. E. Kalay, dan Z. Z. Buamona, "Variabilitas suhu dan salinitas di Laut Halmahera," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 2, no. 2, 2023.

[14] VLIZ, "IHO Sea Areas, version 3," Marine Regions, 2023.

[15] Mercator Ocean International, "Product User Manual - GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030," Issue 1.7, Copernicus Marine Service, 2025.

[16] NOAA Climate Prediction Center, "Oceanic Niño Index (ONI)."

[17] K. M. Thyng, C. A. Greene, R. D. Hetland, H. M. Zimmerle, dan S. F. DiMarco, "True colors of oceanography: Guidelines for effective and accurate colormap selection," *Oceanography*, vol. 29, no. 3, 2016.

[18] T. J. McDougall dan P. M. Barker, "Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) oceanographic toolbox," SCOR/IAPSO WG127, 2011.

[19] H. B. Mann, "Nonparametric tests against trend," *Econometrica*, vol. 13, no. 3, 1945.

[20] M. G. Kendall, *Rank Correlation Methods*, 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.

[21] P. K. Sen, "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau," *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 63, no. 324, 1968.

[22] S. Kida, K. J. Richards, dan H. Sasaki, "The fate of surface freshwater entering the Indonesian Seas," J. Geophys. Res. Oceans, vol. 124, no. 5, pp. 3228–3245, 2019.

[23] I. W. Nurjaya, "Salinity structure within the estuary of Bintuni Bay, at the southern part of Bird Head of West Papua, Indonesia," J. Segara, vol. 12, no. 2, pp. 73–80, 2016.

[24] A. Koch-Larrouy, G. Madec, P. Bouruet-Aubertot, T. Gerkema, L. Bessières, dan R. Molcard, "On the transformation of Pacific Water into Indonesian Throughflow Water by internal tidal mixing," Geophys. Res. Lett., vol. 34, no. 4, Art. no. L04604, 2007.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)