

ARTIKEL RISET



Variasi Musiman Spasial-Vertikal Suhu dan Salinitas di Teluk Tomini dan Laut Banggai

Spatial-Vertical Seasonal Variations of Temperature and Salinity in Tomini Bay and Banggai Sea

Amir Yarkhasy Yuliardi^{1*}, Gandhi Napitupulu^{2,3}, Luhur Moekti Prayogo⁴, Diah Ayu Rahmalia¹, Ratna Juita Sari¹, Agung Tri Nugroho¹

Diterima: 30 Juni 2025/ Disetujui: 10 Juli 2025
© Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala 2025

Abstrak

Teluk Tomini merupakan salah satu wilayah semi-tertutup di Indonesia yang memiliki karakteristik oseanografi kompleks akibat pengaruh sirkulasi regional dan faktor musiman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi musiman, spasial, dan vertikal suhu serta salinitas di Teluk Tomini sepanjang tahun 2020 dengan menggunakan data reanalisis oseanografi dari produk Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) yang memiliki resolusi spasial 0,083° dan 50 lapisan vertikal. Analisis dilakukan terhadap distribusi suhu dan salinitas permukaan, penampang vertikal sepanjang lintang 0° antara 120°–125°BT, serta profil vertikal pada tiga titik pengamatan (121°BT, 123°BT, dan 125°BT). Hasil menunjukkan bahwa suhu permukaan laut (SPL) mencapai nilai maksimum >30°C pada musim peralihan I, dan minimum <28°C pada musim timur. Distribusi salinitas memperlihatkan gradasi secara zonal, dengan nilai yang lebih tinggi di bagian timur (>34,5 PSU) akibat intrusi massa air asin dari Laut Banda dan Laut Maluku. Secara vertikal, terdapat stratifikasi termohalin yang mencolok hingga kedalaman 100 m, dengan kolom air yang lebih homogen di wilayah timur. Arus permukaan memainkan peran penting dalam membentuk distribusi spasial parameter-parameter tersebut. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengaruh dinamika musiman dan intrusi regional terhadap struktur termohalin di Teluk Tomini. Temuan ini memberikan dasar penting bagi pemahaman lebih lanjut mengenai proses oseanografi fisis serta implikasinya terhadap ekosistem laut dan perencanaan pengelolaan sumber daya perikanan di wilayah ini.

Kata Kunci: Massa air, Salinitas, Suhu, Stratifikasi, Teluk Tomini

Abstract

Tomini Bay is one of the semi-enclosed marine regions in Indonesia, characterized by complex oceanographic features influenced by regional circulation and seasonal variability. This study aims to analyze the seasonal, spatial, and vertical variability of temperature and salinity in Tomini Bay throughout the year 2020 using oceanographic reanalysis data from the Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) product, with a spatial resolution of 0.083° and 50 vertical layers. The analysis includes surface temperature and salinity distributions, vertical cross-sections along the equator between 120°–125°E, and vertical profiles at three observation points (121°E, 123°E, and 125°E). Results show that sea surface temperature (SST) reaches a maximum value of >30°C during the first transitional season and a minimum of <28°C during the southeast monsoon. Salinity distribution exhibits a zonal gradient, with higher values in the eastern part (>34.5 PSU) due to the intrusion of saline water from the Banda Sea and the Maluku Sea. Vertically, a pronounced thermohaline stratification is observed down to 100 m depth, with a more homogeneous water column in the eastern region. Surface currents play a significant role in shaping the spatial distribution of these parameters. This study confirms the importance of seasonal dynamics and regional water intrusion in determining the thermohaline structure of Tomini Bay. The findings provide a valuable basis for

ARTIKEL RISET

advancing the understanding of physical oceanographic processes and their implications for marine ecosystems and the management of fisheries resources in the region

Keywords: Salinity, Stratification, Temperature, Tomini Bay, Water mass

Penulis dan Surel Korespondensi:

Amir Yarkhasy Yuliardi

✉ amiryarkhasy@gmail.com

- 1 Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 53122, Indonesia
- 2 Kelompok Keahlian Oseanografi Lingkungan dan Terapan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia
- 3 Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Cirebon, 45151, Indonesia
- 4 Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas PGRI Ronggolawe, Tuban, 62381, Indonesia

Pendahuluan

Teluk Tomini merupakan teluk terbesar di Indonesia, dengan luas lebih dari enam juta hektare. Teluk ini terletak di garis khatulistiwa dan membentang antara Semenanjung Minahasa dan Semenanjung Banggai di Sulawesi (Bano & Khakhim, 2016). Wilayah ini memiliki banyak pulau kecil, termasuk Kepulauan Togian, dan secara geografis berada di persimpangan antara Laut Maluku dan Laut Sulawesi. Karakteristik oseanografinya sangat khas, dengan kondisi laut yang relatif tenang, batimetri yang bervariasi dari dangkal hingga sedang, serta keanekaragaman hayati yang tinggi. Kawasan ini juga termasuk dalam wilayah Coral Triangle yang dikenal sebagai pusat keanekaragaman hayati laut tropis (Hasnawi *et al.*, 2014; Thaib *et al.*, 2024; Dunggio *et al.*, 2024; Wantu *et al.*, 2024).

Beberapa studi oseanografi sebelumnya telah mengungkap fenomena penting di Teluk Tomini. Yuliyanti *et al.* (2022) melaporkan adanya aktivitas hidrotermal di dasar laut, sementara Santoso *et al.* (2022) mencatat adanya pola musiman pada arus dan suhu permukaan laut yang berkisar antara 28,6 hingga 32°C, serta salinitas antara 32,2 hingga 34,4 PSU berdasarkan pemodelan sirkulasi laut INDESOS tahun 2008–2014. Selain itu, data satelit periode 2003–2004 menunjukkan indikasi adanya upwelling (Amri *et al.*, 2005), sedangkan Tita *et al.* (2020) menemukan fenomena “hot event” (>30 °C) yang konsisten terjadi akibat interaksi antara radiasi matahari, kecepatan angin yang rendah, dan topografi lokal. Variabilitas iklim global seperti El Niño–Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) juga diketahui berkontribusi signifikan terhadap anomali suhu dan salinitas di perairan Indonesia Timur, termasuk Teluk Tomini, melalui modulasi angin monsun dan transport massa air dari Samudra Pasifik dan Hindia (Simanjuntak *et al.*, 2022; Putra *et al.*, 2025).

Meskipun temuan-temuan tersebut telah memberikan gambaran umum mengenai sirkulasi dan kondisi permukaan laut di Teluk Tomini, kajian distribusi vertikal suhu dan salinitas resolusi tinggi untuk Teluk Tomini secara spasial-musiman belum pernah dilakukan. Secara khusus, wilayah pada penampang lintang 0° dan rentang bujur 120°–125°BT belum pernah dikaji secara menyeluruh. Informasi struktural vertikal harian atau bulanan suhu dan salinitas penting untuk memahami stratifikasi pelagis, termoklin, haloklin, serta integrasi dengan arus permukaan seperti Indonesian Throughflow (ITF), namun masih sangat terbatas dalam literatur regional.

ARTIKEL RISET

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut melalui analisis data suhu dan salinitas dari Teluk Tomini selama satu tahun (2020) menggunakan data netCDF dari produk reanalisis oseanografi. Metodologi yang digunakan meliputi: (i) visualisasi spasial bulanan suhu dan arus permukaan, (ii) penampang vertikal suhu dan salinitas di sepanjang lintang 0° antara 120° – 125° BT, dan (iii) profil vertikal di tiga titik pengamatan spesifik (121° BT, 123° BT, dan 125° BT) untuk mendeteksi pola stratifikasi dan dinamika vertikal. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan penting untuk memahami kondisi oseanografi regional, sekaligus menyediakan referensi numerik dan sitasi ilmiah yang kuat. Manfaat penelitian ini bersifat penting baik dari aspek ilmiah maupun manajemen sumber daya. Dari segi ilmu kelautan, hasilnya memperkaya pemahaman tentang struktur dan dinamika perairan tropis, serta bagaimana variabilitas musim mempengaruhi stratifikasi dan sirkulasi lokal. Sedangkan dari sisi pengelolaan wilayah pesisir, khususnya Teluk Tomini, informasi suhu dan salinitas vertikal akan mendukung pengelolaan sumber daya laut (perikanan demersal/pelagis), pengaturan konservasi terumbu karang, serta mitigasi dampak perubahan iklim terutama pada kejadian “hot events” atau intrusi massa air ekstrem.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

Wilayah studi difokuskan pada Teluk Tomini, sebuah cekungan semiterutup yang terletak di bagian utara Pulau Sulawesi. Wilayah ini memiliki interaksi oseanografis yang unik akibat topografi kompleks, kontribusi dari Arus Lintas Indonesia (Indonesian Throughflow), serta variasi musiman yang dipengaruhi oleh sistem monsun. Analisis spasial permukaan mencakup area antara $119,5^\circ$ BT hingga $125,4^\circ$ BT dan $-1,5^\circ$ LS hingga $1,5^\circ$ LU. Untuk analisis vertikal, penampang diambil pada lintang 0° , dengan cakupan bujur dari 120° BT hingga 125° BT. Tiga titik pengamatan vertikal tambahan ditetapkan pada titik merah (0° , 121° BT), titik hijau (0° , 123° BT), dan titik biru (0° , 125° BT) (Gambar 1).

Sumber Data

Data oseanografi yang digunakan dalam studi ini diperoleh dari produk Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), yaitu reanalisis oseanografi global bulanan dari model GLORYS12V1 (Bourdalle-Badie *et al.*, 2020). Produk ini merupakan hasil simulasi numerik tiga dimensi dari sistem model laut global asimilatif dengan resolusi horizontal $1/12^\circ$ ($\sim 0,083^\circ$) dan 50 lapisan vertikal. Data yang digunakan mencakup suhu potensial laut (θ_{tao}), salinitas (s_o), dan komponen arus zonal (u_o) dan meridional (v_o), dengan cakupan spasial dari $119,5^\circ$ BT hingga $125,4^\circ$ BT dan $-1,5^\circ$ LS hingga $1,5^\circ$ LU, serta resolusi vertikal hingga kedalaman sekitar 110 m. Penelitian ini menggunakan subset data sepanjang tahun 2020, dengan resolusi temporal bulanan (12 timestep).

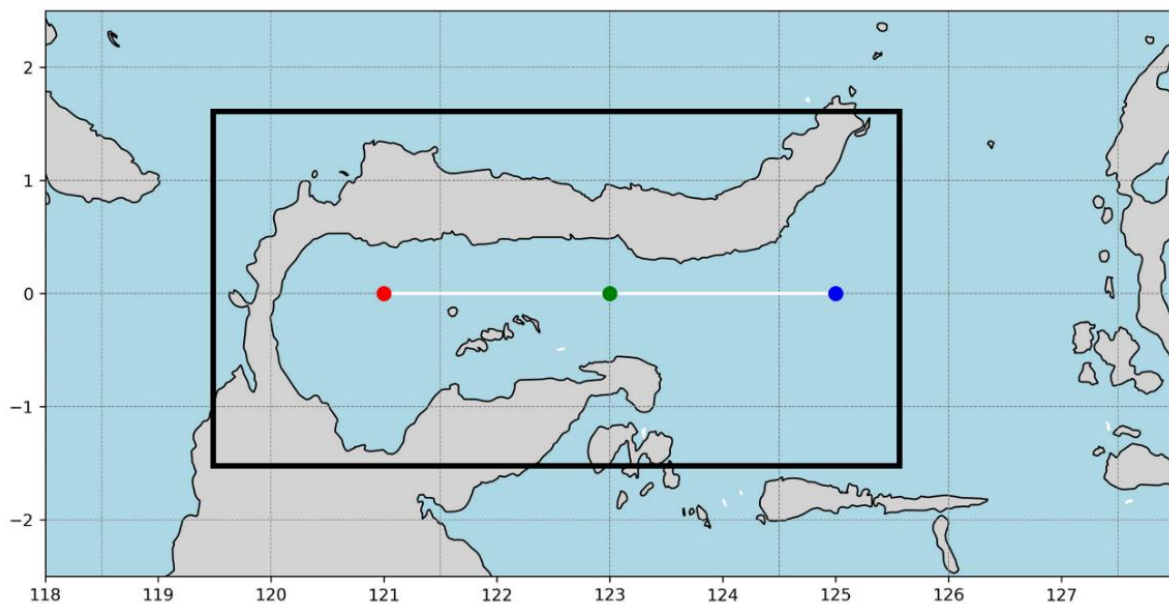
Analisis Data

Suhu permukaan laut (SPL) dan vektor arus permukaan ditampilkan dalam 12 peta bulanan untuk mengamati variabilitas spasial musiman. Data suhu diambil pada lapisan paling atas (kedalaman $\sim 0,5$ m), sedangkan vektor arus berasal dari komponen u_o dan v_o pada lapisan yang sama. Visualisasi menggunakan skema warna RdYlBu_r dengan rentang suhu 27°C – 31°C , dan arus ditampilkan sebagai vektor tipis untuk menghindari clutter visual. Distribusi suhu dan salinitas laut divisualisasikan dalam bentuk penampang vertikal sepanjang lintang 0° , dari 120° BT hingga 125° BT. Plot menggunakan kombinasi pcolormesh dan kontur isotherm/isohaline dengan level $0,5^\circ\text{C}$ atau 0,1 PSU untuk meningkatkan resolusi interpretasi struktur vertikal. Tiga titik observasi pada 0° lintang dan 121° BT, 123° BT, serta 125° BT

ARTIKEL RISET

digunakan untuk mempelajari stratifikasi vertikal suhu dan salinitas secara lebih mendalam. Profil vertikal ditampilkan secara bulanan dengan perbandingan warna (R-G-B) untuk menunjukkan perbedaan struktur vertikal antar lokasi sepanjang tahun.

Model GLORYS12V1 telah divalidasi secara global dan regional terhadap data observasi in-situ dan satelit, termasuk di wilayah Indonesia, dan menunjukkan performa yang baik dalam merepresentasikan suhu dan salinitas permukaan laut (Lellouche *et al.*, 2021). Namun, karena resolusi temporal data yang bersifat bulanan, fenomena oseanografi jangka pendek seperti upwelling mingguan, eddy transien, atau kejadian ekstrem berskala harian mungkin tidak terdeteksi secara detail, sehingga hasil studi ini lebih merepresentasikan dinamika oseanografi skala musiman.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Teluk Tomini, Sulawesi.

Garis putih menunjukkan penampang lintang pada lintang 0° dari 121° hingga 125°BT, sedangkan titik merah, hijau, dan biru masing-masing mewakili lokasi pengamatan profil vertikal pada 121°BT, 123°BT, dan 125°BT. Kotak hitam menunjukkan area studi yang dianalisis dalam penelitian ini.

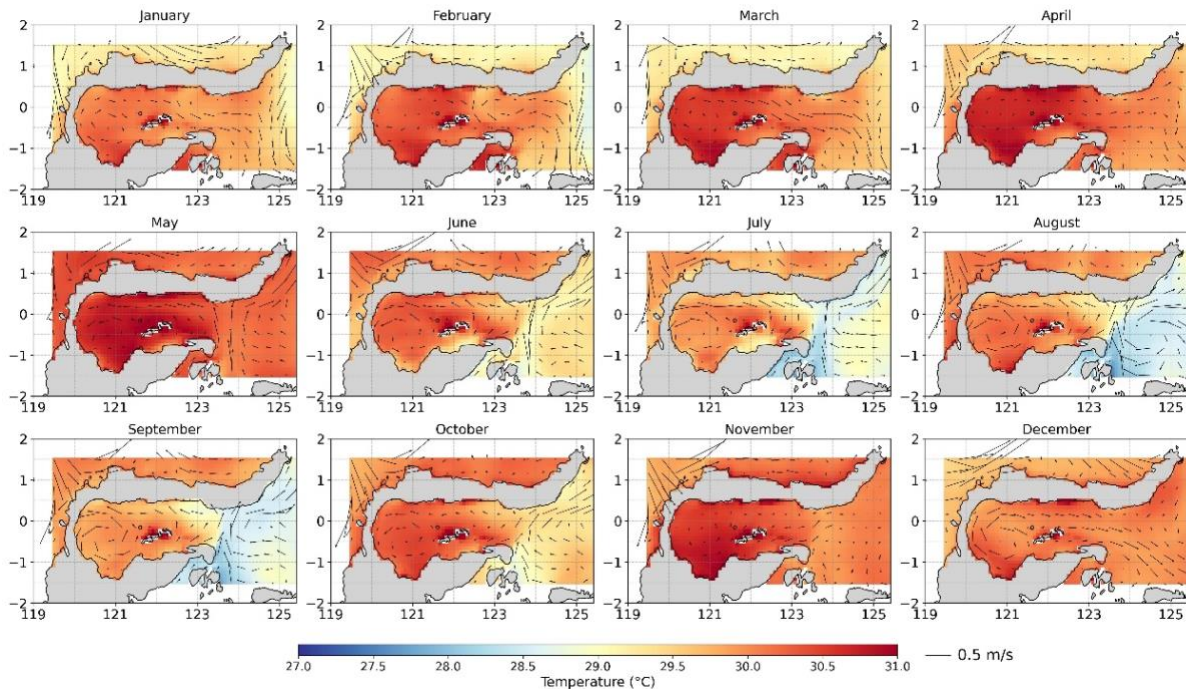
Hasil

Distribusi suhu permukaan laut (SPL) di Teluk Tomini menunjukkan pola yang relatif hangat sepanjang tahun, dengan kisaran suhu antara 27,0 hingga 31,0°C (Gambar 2). Suhu tertinggi teramati pada bulan Maret hingga Mei, dengan nilai maksimum sekitar 30,8°C yang terkonsentrasi di bagian barat laut teluk. Sebaliknya, suhu relatif lebih rendah terjadi selama bulan Agustus hingga Oktober, dengan nilai minimum mencapai sekitar 27,0°C di wilayah tenggara teluk, dekat perairan terbuka. Secara umum, suhu menunjukkan pola musiman yang dipengaruhi oleh variasi radiasi matahari dan sirkulasi angin monsun.

Arus permukaan yang ter-overlay dalam visualisasi memperlihatkan adanya pola sirkulasi tertutup (gyre) di bagian barat Teluk Tomini selama musim barat (Januari–Maret), yang kemungkinan berperan dalam akumulasi massa air hangat di wilayah tersebut. Sementara pada musim timur (Juli–September), arus cenderung bergerak dari timur ke barat laut,

ARTIKEL RISET

membawa massa air yang lebih dingin dari perairan luar masuk ke teluk melalui bagian timur daya teluk, sebagaimana tergambar pada pendinginan lokal yang signifikan pada bulan Agustus–September. Pergantian arah angin musiman ini secara langsung mempengaruhi distribusi termal horizontal melalui dinamika transportasi permukaan.

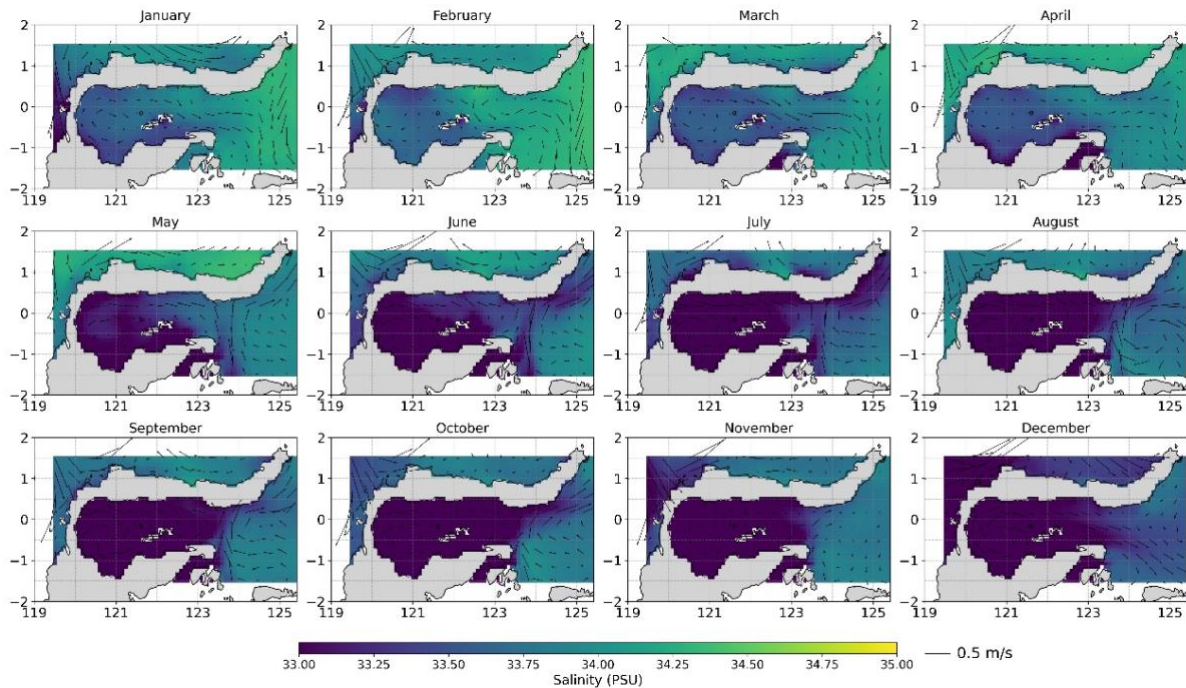


Gambar 2. Pola distribusi spasial suhu permukaan laut bulanan sepanjang tahun 2020 di Teluk Tomini dengan *overlay* vektor arus permukaan.

Salah satu wilayah yang menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan adalah bagian tenggara Teluk Tomini, khususnya antara bulan Juli hingga September. Pada periode ini, suhu permukaan laut di wilayah tersebut turun drastis hingga sekitar $27,0^{\circ}\text{C}$, berbeda kontras dengan wilayah barat laut yang tetap hangat. Perbedaan ini mengindikasikan adanya dinamika lokal yang kuat, kemungkinan akibat masuknya massa air yang lebih dingin dari Laut Maluku atau Laut Banda melalui celah timur daya teluk, yang diperkuat oleh pola arus timuran musiman. Wilayah ini menjadi pusat pendinginan yang konsisten selama musim timur, yang menandakan peran penting zona ini dalam proses pertukaran massa air antara teluk dan laut terbuka.

Distribusi spasial salinitas permukaan laut di Teluk Tomini memperlihatkan fluktuasi musiman yang mencerminkan pengaruh dinamika regional dan proses atmosferik (Gambar 3). Nilai salinitas berkisar antara 33,0 hingga 35,0 PSU, dengan konsentrasi terendah secara konsisten muncul di bagian barat dan tengah teluk selama bulan Mei hingga Oktober, berkorelasi dengan periode curah hujan tinggi dan dominasi angin monsun timur. Salinitas tertinggi ($>34,5$ PSU) terjadi di bagian timur laut teluk, terutama pada bulan Januari hingga Maret, yang kemungkinan berasal dari intrusi massa air asin dari laut terbuka melalui bagian timur teluk.

ARTIKEL RISET



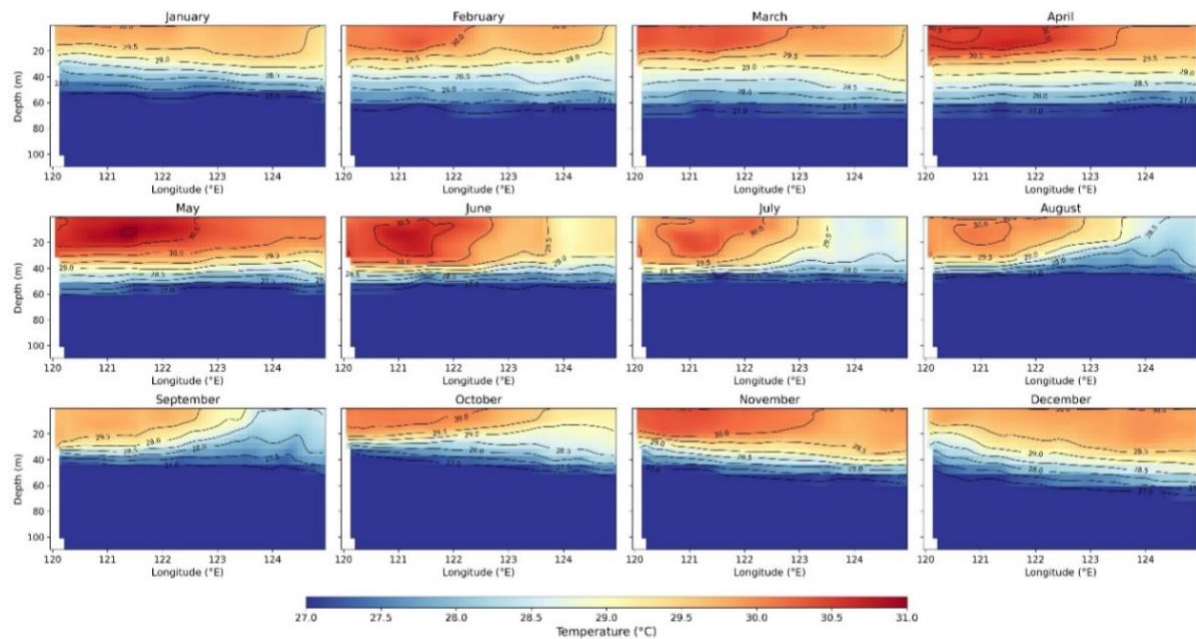
Gambar 3. Pola distribusi spasial salinitas permukaan laut di Teluk Tomini selama tahun 2020 dengan *overlay* arus permukaan.

Selama periode April hingga Oktober, air dengan salinitas rendah ($<33,5$ PSU) meluas ke seluruh bagian dalam Teluk Tomini. Pada bulan-bulan tersebut, arah arus permukaan cenderung membawa massa air dari barat ke timur laut, yang mungkin memperkuat akumulasi air tawar akibat limpasan daratan dan presipitasi. Sebaliknya, pada bulan November hingga Februari, peningkatan salinitas di bagian tengah dan barat teluk menunjukkan peran sirkulasi balik yang membawa air asin dari timur ke barat.

Wilayah timur laut Teluk Tomini, khususnya pada bulan Januari hingga Maret, menunjukkan anomali salinitas yang mencolok dibandingkan dengan bagian lain teluk. Salinitas di area ini mencapai lebih dari 34,8 PSU, berbeda tajam dengan wilayah barat yang mencatat nilai lebih rendah dari 33,5 PSU pada periode yang sama. Perbedaan ini menandakan adanya intrusi signifikan dari massa air laut terbuka yang lebih asin melalui pintu masuk timur teluk. Keberadaan gradien salinitas yang kuat antara timur dan barat pada musim barat memperkuat dugaan bahwa transportasi lateral air asin dari Laut Maluku atau Banda memegang peranan penting dalam membentuk struktur salinitas horizontal di teluk ini.

Distribusi vertikal suhu laut di lintang 0° antara 120° hingga 125° BT menunjukkan adanya stratifikasi termal yang kuat di lapisan atas perairan Teluk Tomini (Gambar 4). Suhu permukaan rata-rata berkisar antara 29°C hingga lebih dari 30°C selama bulan-bulan awal tahun (Januari–Mei), dengan suhu maksimum lebih dari $30,5^{\circ}\text{C}$ tercatat pada bulan April dan Mei di sektor barat (sekitar 121° – 122° BT). Sementara itu, suhu minimum pada kedalaman >80 m secara konsisten berada di bawah 27°C sepanjang tahun, mencerminkan keberadaan massa air yang lebih stabil dan dingin di lapisan bawah.

ARTIKEL RISET



Gambar 4. Penampang vertikal suhu laut bulanan di lintang 0° antara 120° dan 125° BT.

Selama musim kemarau (Juli–Oktober), lapisan termoklin tampak lebih dangkal, khususnya pada bulan Agustus dan September, ketika isotherm 28°C turun hanya sampai sekitar 30 m. Hal ini menunjukkan proses pendinginan permukaan akibat peningkatan kecepatan angin dan mixing vertikal. Di sisi lain, selama musim hujan (November–Maret), lapisan hangat ($\geq 29^\circ\text{C}$) lebih tebal dan meluas hingga kedalaman 50 m, terutama di bagian barat dan tengah penampang. Fluktuasi ini menunjukkan adanya pengaruh musiman yang signifikan terhadap ketebalan lapisan permukaan hangat.

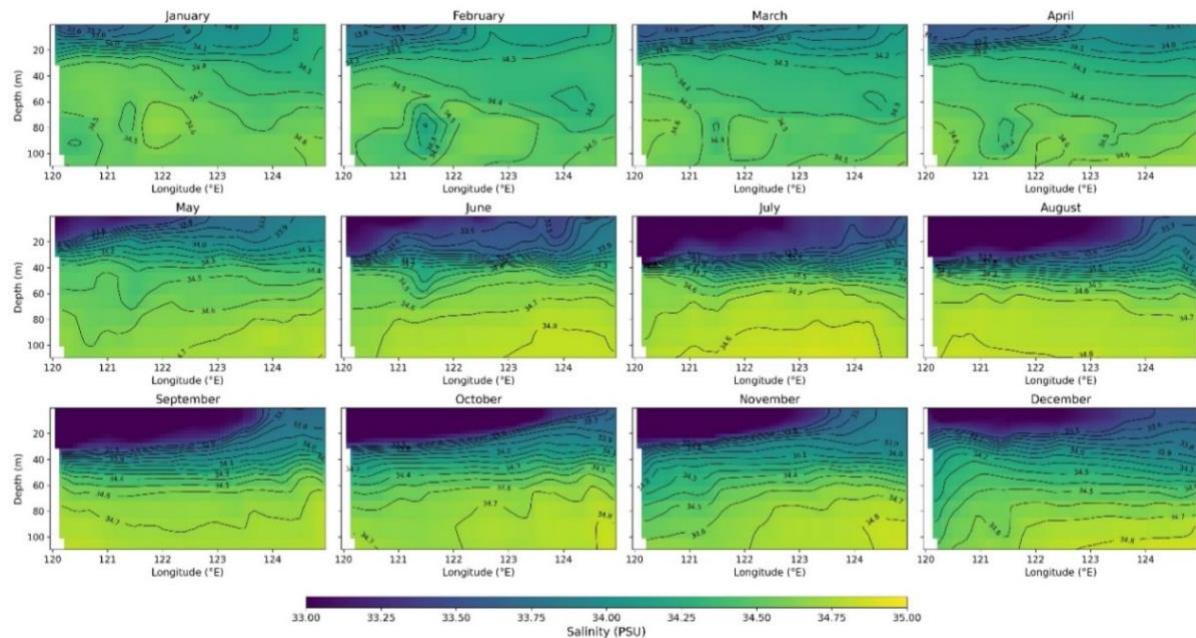
Salah satu perbedaan mencolok secara spasial terlihat pada sektor timur penampang (sekitar 124°–125°BT), terutama pada bulan Agustus hingga Oktober. Di wilayah ini, lapisan termoklin lebih landai dan suhu pada kedalaman menengah (50–80 m) cenderung lebih homogen dibandingkan sektor barat. Ketidakjelasan batas termal ini mengindikasikan adanya proses pencampuran vertikal yang lebih intens atau masuknya massa air dari laut terbuka yang telah bercampur. Sebaliknya, pada sektor barat (121°–122°BT), lapisan termoklin lebih tajam dan stabil, menunjukkan bahwa perairan di bagian ini lebih terisolasi secara vertikal, terutama selama musim hujan. Perbedaan ini menekankan pentingnya posisi geografis dan kedekatan dengan perairan terbuka dalam memengaruhi dinamika vertikal suhu laut di Teluk Tomini.

Distribusi vertikal salinitas laut di lintang 0° antara 120° hingga 125°BT memperlihatkan pola stratifikasi yang cukup jelas, terutama pada musim kemarau (Gambar 5). Salinitas di permukaan pada bulan Januari hingga April berkisar antara 33,6 hingga 34,2 PSU, dengan nilai tertinggi tercatat di bagian timur penampang (sekitar 124°–125°BT). Salinitas cenderung meningkat dengan kedalaman, mencapai nilai maksimum sekitar 34,8 PSU pada lapisan bawah (>80 m). Pola ini mengindikasikan keberadaan air permukaan yang lebih tawar, kemungkinan berasal dari curah hujan tinggi dan limpasan daratan.

Selama bulan-bulan puncak musim kemarau (Juli–September), lapisan permukaan menunjukkan penurunan salinitas signifikan, dengan nilai minimum $<33,6$ PSU di atas 20 m kedalaman. Sementara itu, salinitas di bawah 40 m relatif konstan dan lebih tinggi ($>34,5$ PSU), mencerminkan adanya water mass yang lebih stabil. Ketebalan lapisan haloklin menjadi lebih

ARTIKEL RISET

sempit, dan gradien vertikal salinitas meningkat selama periode ini. Sebaliknya, pada bulan Oktober hingga Desember, salinitas permukaan mulai meningkat kembali, seiring masuknya air dengan salinitas lebih tinggi dari perairan terbuka.



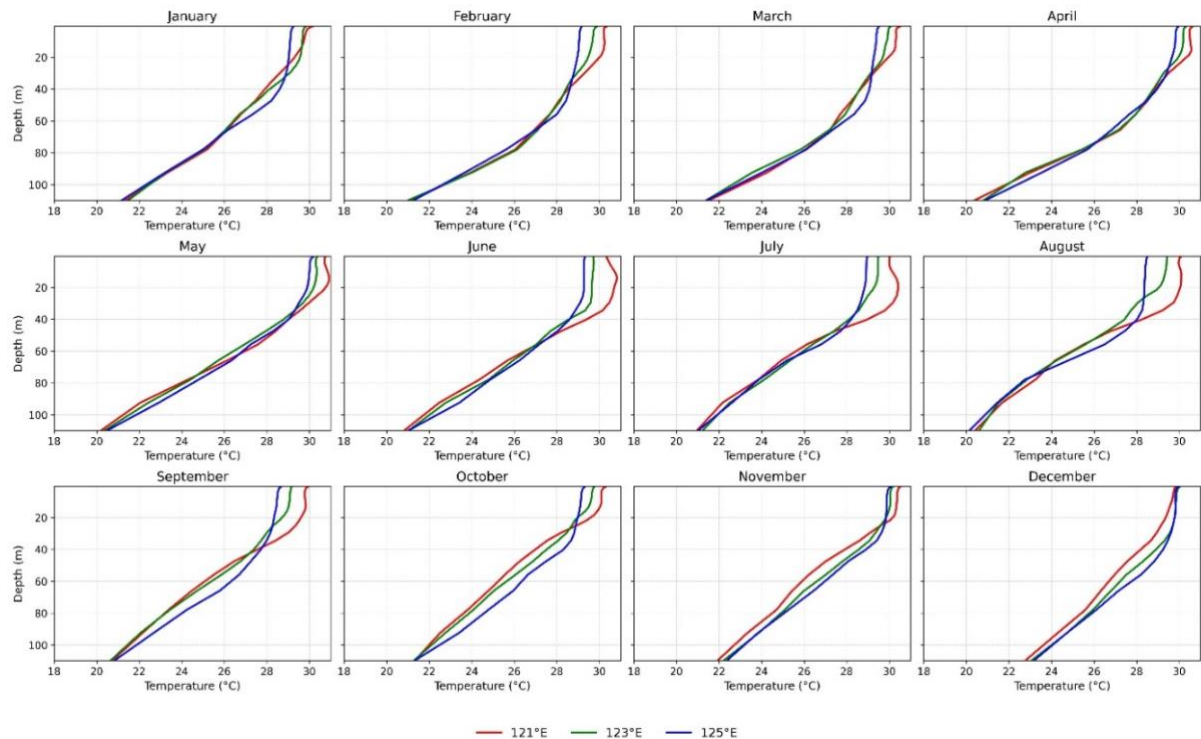
Gambar 5. Penampang vertikal salinitas bulanan di lintang 0° antara 120° dan 125° BT.

Perbedaan spasial yang menonjol tampak pada sektor timur penampang (sekitar 124° – 125° BT), di mana salinitas lapisan bawah (>60 m) secara konsisten lebih tinggi sepanjang tahun dibandingkan sektor barat. Fenomena ini paling jelas selama musim kemarau (Juli–September), ketika gradien halin meningkat secara tajam di wilayah tersebut. Sementara bagian barat (121° – 122° BT) cenderung memiliki kolom air yang lebih homogen dengan variasi salinitas vertikal yang lebih kecil, mencerminkan terbatasnya intrusi air asin dari luar. Ketimpangan ini mengindikasikan adanya proses adveksi lateral dari Laut Banda atau Laut Maluku yang memperkuat stratifikasi di bagian timur Teluk Tomini.

Profil vertikal suhu laut di tiga titik observasi menunjukkan karakteristik stratifikasi termal yang konsisten sepanjang tahun, dengan variasi mencolok pada lapisan atas (Gambar 6). Suhu permukaan (kedalaman <20 m) secara umum berada dalam rentang $28,5^\circ\text{C}$ hingga $30,5^\circ\text{C}$, dengan titik 121°E cenderung memiliki suhu tertinggi dibanding dua titik lainnya. Selama musim barat (Januari–April), suhu relatif homogen hingga kedalaman sekitar 60 m, menandakan pencampuran vertikal yang cukup merata di permukaan perairan bagian barat Teluk Tomini.

Pada musim kemarau (Juni–September), stratifikasi termal semakin tajam. Lapisan termoklin terbentuk jelas di kedalaman sekitar 20–60 m, dengan perbedaan suhu mencapai 6 – 8°C antara permukaan dan lapisan bawah. Titik 125°E , yang lebih dekat ke mulut teluk, menunjukkan gradasi vertikal suhu yang paling tajam dan suhu dasar yang lebih rendah ($\sim 21^\circ\text{C}$), kemungkinan akibat pengaruh intrusi air dari laut terbuka. Sebaliknya, titik 121°E memiliki kolom air yang lebih hangat secara keseluruhan dan termoklin yang lebih dalam.

ARTIKEL RISET



Gambar 6. Profil vertikal suhu laut bulanan tahun 2020 di tiga titik pada lintang 0°: 121°E (merah), 123°E (hijau), dan 125°E (biru).

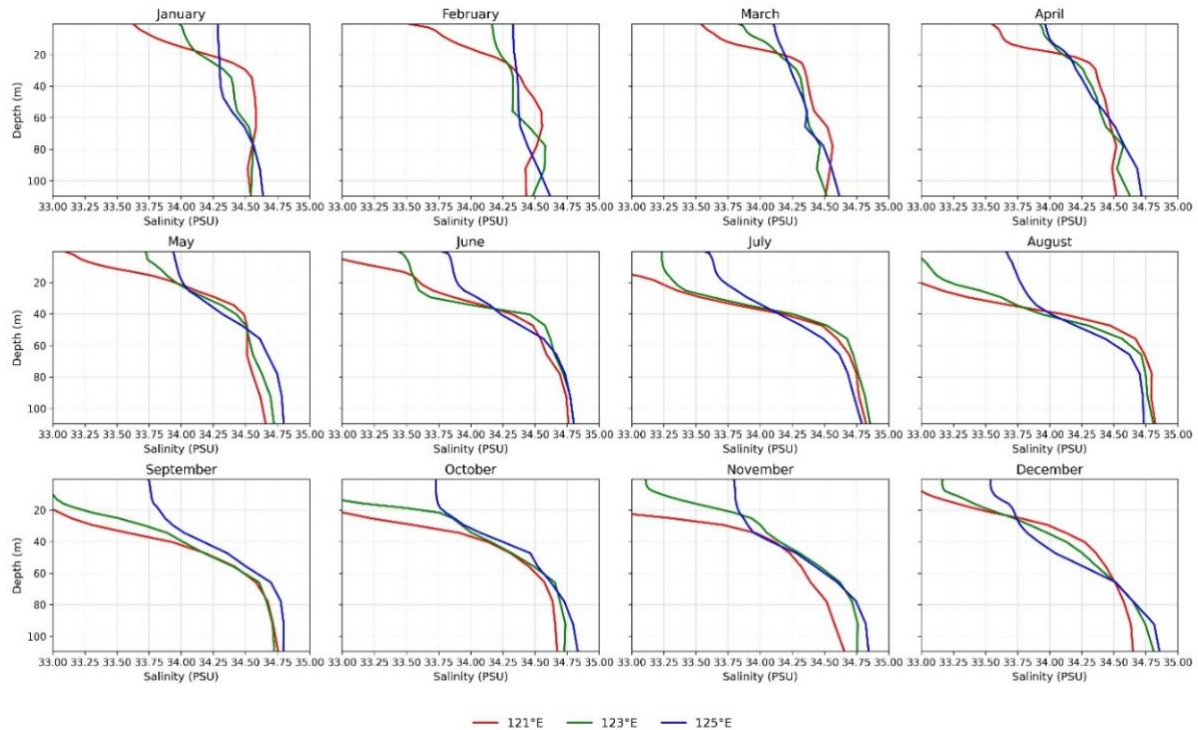
Perbedaan mencolok terlihat antara titik 121°E dan 125°E, terutama pada musim kemarau. Titik 125°E mengalami penurunan suhu yang drastis di bawah 20 m, dengan kisaran suhu bawah yang mencapai 21°C, berbeda signifikan dengan titik 121°E yang mempertahankan suhu >26°C hingga kedalaman 60 m. Fenomena ini menandakan adanya intrusi air laut dalam yang lebih dingin di bagian timur teluk, memperkuat hipotesis adanya pengaruh laut terbuka terhadap dinamika termal di wilayah ini. Kondisi ini menjadi penting dalam memahami variasi lokal yang bisa berdampak pada habitat dan distribusi biota laut pelagis.

Distribusi vertikal salinitas di lintang 0° menunjukkan variasi spasial dan musiman yang cukup signifikan di sepanjang bujur 121°E, 123°E, dan 125°E (Gambar 7). Pada bulan Januari hingga Maret, lapisan permukaan menunjukkan salinitas berkisar antara 33,3 hingga 34,5 PSU, dengan nilai tertinggi cenderung ditemukan di lokasi timur (125°E). Selama periode musim timur (Juni–September), kolom air bagian permukaan di titik 121°E mengalami penurunan salinitas yang cukup tajam, dengan nilai minimum sekitar 33,0 PSU, menandakan adanya pengenceran oleh massa air yang lebih tawar. Sementara itu, di titik 125°E, salinitas permukaan tetap tinggi hingga >34,5 PSU, menunjukkan peran masuknya massa air laut terbuka dari arah timur.

Secara vertikal, gradien salinitas memperlihatkan pola stratifikasi yang kuat pada hampir seluruh bulan, dengan peningkatan salinitas yang jelas dari permukaan ke kedalaman, terutama di bulan Juli hingga Oktober. Di lokasi 125°E, kolom air bagian bawah (>60 m) memiliki salinitas relatif stabil di atas 34,7 PSU sepanjang tahun, menunjukkan keberadaan massa air yang lebih asin dan homogen dari laut dalam. Perbedaan antara titik 121°E dan 125°E tampak

ARTIKEL RISET

paling menonjol pada bulan Agustus dan September, dengan titik barat (121°E) menunjukkan kolom air yang lebih segar dan stratifikasi yang lebih tebal dibandingkan wilayah timur.



Gambar 7. Profil vertikal salinitas bulanan tahun 2020 di lintang 0° pada tiga titik bujur berbeda (121°E , 123°E , dan 125°E).

Ketimpangan salinitas paling mencolok terjadi antara titik 121°E dan 125°E selama bulan Agustus dan September, ketika titik 121°E menunjukkan salinitas permukaan minimum $<33,0$ PSU dan stratifikasi halin yang lebih tebal. Sebaliknya, titik 125°E mempertahankan profil yang lebih stabil dan asin ($>34,7$ PSU) di bawah 40 m. Kontras ini mempertegas pengaruh regional dari intrusi massa air laut terbuka di timur Teluk Tomini, sementara bagian barat lebih rentan terhadap pengenceran akibat curah hujan atau limpasan daratan. Perbedaan ini penting dalam mengidentifikasi dinamika water mass dan potensi pencampuran vertikal di sepanjang lintang ekuator.

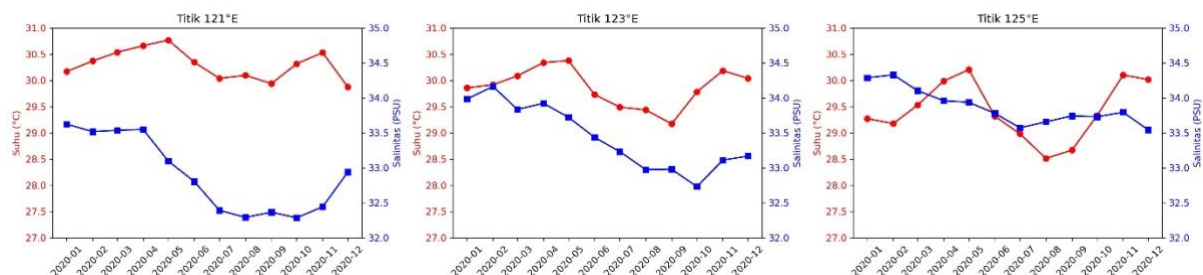
Distribusi musiman suhu permukaan laut (SPL) di tiga titik lintang 0° masing-masing 121°E (barat), 123°E (tengah), dan 125°E (timur) menunjukkan pola fluktuasi tahunan yang serupa namun dengan magnitudo berbeda (Gambar 8). Suhu tertinggi terjadi pada bulan April–Mei dengan nilai maksimum mencapai $30,8^{\circ}\text{C}$ di titik barat (121°E), dan terendah pada Agustus–September, terutama di titik timur (125°E) yang mencatat suhu minimum sekitar $28,3^{\circ}\text{C}$. Di titik tengah (123°E), suhu juga turun ke bawah 29°C pada periode musim timur. Secara umum, pola suhu memperlihatkan penurunan bertahap dari awal tahun menuju musim kemarau, kemudian meningkat kembali di akhir tahun.

Salinitas permukaan laut juga menunjukkan variasi yang signifikan sepanjang tahun. Titik timur (125°E) konsisten mencatat nilai salinitas tertinggi, dengan puncaknya pada bulan Maret–April (sekitar 34,5 PSU), yang menurun secara bertahap hingga mencapai minimum 33,3 PSU pada Agustus. Sebaliknya, titik barat (121°E) mengalami penurunan salinitas yang lebih drastis selama musim timur, mencapai nilai terendah sekitar 32,5 PSU pada bulan Juli–

ARTIKEL RISET

Agustus. Titik tengah (123°E) berada di antara keduanya, memperlihatkan tren penurunan salinitas pada pertengahan tahun dan pemulihan menjelang akhir tahun.

Perbedaan signifikan terlihat pada titik 121°E dan 125°E , terutama selama periode musim timur. Di titik 121°E , terjadi penurunan suhu hingga $\sim 2,5^{\circ}\text{C}$ dan salinitas hingga $\sim 1,0$ PSU antara April dan Agustus, menunjukkan pengaruh kuat dari stratifikasi dan kemungkinan limpasan darat. Sebaliknya, titik 125°E mengalami fluktuasi suhu yang lebih moderat namun mempertahankan tingkat salinitas yang tinggi, menandakan dominasi massa air asin dari Laut Banda. Perbandingan ini memperkuat temuan bahwa bagian timur Teluk Tomini lebih dipengaruhi oleh intrusi massa air laut terbuka, sementara bagian barat lebih dinamis terhadap pengaruh atmosferik dan kontinental.



Gambar 8. Tren Musiman Suhu dan Salinitas permukaan di Teluk Tomini pada Tahun 2020 di lintang 0° pada tiga titik bujur berbeda (121°E , 123°E , dan 125°E).

Pembahasan

Variabilitas SPL di Teluk Tomini ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya di wilayah Indonesia bagian timur, yang menyatakan bahwa suhu permukaan di daerah semi-tertutup seperti Teluk Tomini sangat dipengaruhi oleh pola angin monsun, transport massa air dari laut sekitarnya, serta faktor radiasi matahari lokal (Sari *et al.*, 2018; Suniada *et al.*, 2021; Radjawane *et al.*, 2023; Napitupulu *et al.*, 2025). Adanya suhu minimum pada musim timur memperkuat dugaan akan peran intrusi massa air dari Laut Maluku dan perairan laut lepas di utara melalui celah timur teluk. Fenomena ini mengindikasikan pentingnya pengaruh sirkulasi regional terhadap dinamika SPL lokal, yang memiliki implikasi penting bagi produktivitas primer dan potensi perikanan di teluk ini. Lebih lanjut, informasi termohalin ini dapat diintegrasikan ke dalam strategi manajemen perikanan lokal, misalnya dengan memanfaatkan data suhu dan salinitas permukaan untuk memetakan daerah-daerah upwelling atau akumulasi nutrisi yang potensial sebagai zona penangkapan ikan. Pola suhu tinggi yang konsisten selama musim peralihan juga dapat menjadi indikator awal untuk mitigasi hot event, yang berisiko menyebabkan stres termal bagi biota laut. Dengan demikian, data oseanografi seperti ini dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk meningkatkan efisiensi penangkapan sekaligus menjaga keberlanjutan sumber daya hayati di Teluk Tomini.

Variabilitas salinitas di Teluk Tomini mencerminkan peran interaksi atmosfer-laut yang khas di wilayah tropis Indonesia. Monsun barat dan timur tidak hanya memengaruhi arah transport massa air, tetapi juga mengontrol distribusi input air tawar dari daratan, curah hujan, dan evaporasi. Hasil ini sejalan dengan temuan Barale (2019) dan Kida *et al.* (2019), yang menunjukkan bahwa wilayah semi-tertutup seperti Teluk Tomini sangat responsif terhadap perubahan musiman, baik dalam suhu maupun salinitas. Hasil pengamatan ini juga diperkuat oleh Napitupulu *et al.* (2024), yang menemukan bahwa dinamika arus eddy di Teluk Tolo, yang secara geografis berdekatan dengan Teluk Tomini, dapat memicu perubahan mendadak pada

ARTIKEL RISET

distribusi massa air dan konsentrasi klorofil-a. Fenomena ini mengindikasikan adanya interaksi kuat antara sirkulasi mesoskal, variabilitas arus permukaan, dan distribusi parameter oseanografi, termasuk salinitas. Respon cepat parameter biologis seperti klorofil-a terhadap variabilitas arus eddy menunjukkan tingginya sensitivitas kolom perairan di wilayah semi-tertutup terhadap gangguan dinamis, yang dapat terjadi pula di Teluk Tomini.

Akumulasi air tawar di bagian barat teluk juga menegaskan pentingnya pengaruh lokal, seperti kontribusi aliran sungai dan topografi pesisir, terhadap stratifikasi vertikal (Radjawane *et al.*, 2024). Hal ini berdampak pada pembentukan lapisan haloklin yang dapat menghambat pencampuran vertikal, sehingga berpengaruh pada distribusi nutrisi dan produktivitas primer di teluk.

Fenomena stratifikasi suhu yang teramati menunjukkan bahwa Teluk Tomini memiliki pola termal yang didominasi oleh pemanasan intensif di permukaan dan pelemahan mixing vertikal selama musim hujan, serta peningkatan mixing dan pendinginan pada musim kemarau. Hal ini konsisten dengan teuan Wirasatriya *et al.* (2019) dan Napitupulu (2024) yang menunjukkan bahwa sistem perairan tropis dangkal sangat dipengaruhi oleh fluktuasi musiman radiasi matahari dan angin muson. Keberadaan termoklin yang dangkal selama musim kemarau juga berimplikasi pada potensi upwelling lokal atau proses adveksi dari perairan dalam yang lebih dingin.

Perubahan spasial-vertikal salinitas ini sangat dipengaruhi oleh dinamika musim di Teluk Tomini. Intrusi massa air asin dari perairan timur (Laut Maluku) selama musim timur dapat memperkuat salinitas di lapisan bawah, sedangkan pengenceran akibat hujan dan runoff pada musim barat menurunkan salinitas di lapisan permukaan. Transport massa air dari Pasifik Barat melalui celah timur Indonesia memberikan kontribusi penting terhadap struktur salinitas regional di perairan tropis Indonesia (Talley & Sprintall, 2005; Yang *et al.*, 2018).

Perbedaan spasial dalam profil suhu ini mencerminkan variasi dalam dinamika lokal seperti pasokan panas permukaan, turbulensi vertikal, serta pengaruh massa air dari luar teluk. Perairan Indonesia bagian timur rentan terhadap dinamika Arus Lintas Indonesia (Indonesian Throughflow) yang membawa massa air dari Pasifik barat melalui celah sempit ke perairan lokal (Atmadipoera *et al.*, 2009; Karima *et al.*, 2025). Hal ini dapat memperkuat stratifikasi termal di wilayah seperti Teluk Tomini, khususnya pada musim kering saat pengaruh angin timur menguat.

Variabilitas spasial dan vertikal salinitas ini mencerminkan dinamika oseanografi di Teluk Tomini yang dipengaruhi oleh kombinasi sirkulasi permukaan, curah hujan, dan intrusi massa air dari laut terbuka. Perairan bagian timur teluk yang lebih asin, terutama di titik 125°E, kemungkinan besar disebabkan oleh intrusi massa air dari Laut Maluku dan Laut Banda yang lebih tinggi salinitasnya, terutama selama musim timur ketika arus permukaan mengarah dari timur ke barat (Wang *et al.*, 2019; Santoso *et al.*, 2022). Di sisi lain, penurunan salinitas di bagian barat seperti pada 121°E pada musim timur mengindikasikan kontribusi air tawar dari presipitasi tinggi di sekitar wilayah pesisir atau pencampuran air pantai. Kondisi stratifikasi ini juga dapat memengaruhi proses seperti pencampuran vertikal dan transport nutrisi yang berdampak pada produktivitas primer (Widianingsih *et al.*, 2024).

Pola spasial-vertikal suhu dan salinitas di Teluk Tomini juga sebaiknya dianalisis dalam konteks variabilitas iklim skala regional untuk penelitian selanjutnya, seperti pengaruh ENSO dan Indian Ocean Dipole (IOD). Fenomena ENSO, khususnya fase El Niño atau La Niña, berpotensi mengubah pola angin regional, intensitas hujan, serta arus lintas Indonesia, yang pada akhirnya memengaruhi suhu, salinitas, dan sirkulasi lokal. Oleh karena itu, integrasi data reanalisis dengan observasi in-situ dan model numerik dapat memperkaya pemahaman mengenai dinamika termohalin di Teluk Tomini.

ARTIKEL RISET

Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji dinamika suhu dan salinitas di Teluk Tomini sepanjang 2020 menggunakan data reanalisis resolusi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan pola musiman yang kuat, dengan suhu dan salinitas yang dipengaruhi oleh pola angin monsun, intrusi massa air asin dari timur (Laut Banda dan Laut Maluku), serta input air tawar dari daratan dan curah hujan. Stratifikasi termohalin yang teridentifikasi hingga kedalaman 100 meter menunjukkan gradasi vertikal paling tajam di bagian barat teluk, menegaskan peran penting faktor lokal dan regional. Temuan ini penting untuk mendukung pemahaman tentang proses fisik dan ekologis di Teluk Tomini, terutama terkait produktivitas primer dan potensi perikanan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mencakup pengamatan arus vertikal secara langsung serta evaluasi pengaruh fenomena iklim global seperti ENSO dan IOD terhadap dinamika oseanografi di wilayah ini. Penelitian lanjutan perlu mencakup observasi arus vertikal dan analisis pengaruh ENSO serta IOD terhadap dinamika laut di Teluk Tomini. Informasi suhu dan salinitas musiman dapat dimanfaatkan untuk sistem peringatan dini hot event dan strategi pengelolaan pesisir, seperti zonasi tangkapan ikan, perlindungan habitat, dan pengaturan musim penangkapan demi keberlanjutan perikanan.

Persantunan

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) atas penyediaan data reanalisis oseanografi GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030 (GLORYS12V1) yang digunakan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Amri, K., Suwarso, S., & Herlisman, H. (2005). Dugaan Upwelling Berdasarkan Analisis Komparatif Citra Sebaran Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A Di Teluk Tomini. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 11(6), 57-71.
- Atmadipoera, A., Molcard, R., Madec, G., Wijffels, S., Sprintall, J., Koch-Larrouy, A., ... & Supangat, A. (2009). Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(11), 1942-1954.
- Bano, V. S., & Khakhim, N. (2016). Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Terumbu Karang di Teluk Tomini Bagian Kota Gorontalo. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(3).
- Barale, V. (2019). The Asian marginal and enclosed seas: an overview. *Remote sensing of the Asian seas*, 3-38.
- Bourdalle-Badie, R., Lellouche, J. M., Hamon, M., Drevillon, M., Greiner, E., Garric, G., ... & Drillet, Y. (2020, February). The First 1/12° Global Ocean Reanalysis of Copernicus Marine Environment Monitoring Service: Description and Quality Assessment. In *American Geophysical Union, Ocean Sciences Meeting* (pp. OM21A-07).
- Dunggio, R., Yusuf, D., & Eraku, S. (2024). Analisis Potensi Kawasan Ekowisata Torosiaje di Kabupaten Pohuwato. *Jurnal Riset dan Pengabdian Interdisipliner*, 1(1), 1-6.
- Hasnawi, H., Makmur, M., Paena, M., & Mustafa, A. (2013). Analisis kesesuaian lahan budidaya rumput laut (*Kappaphycus alvarezii*) di kabupaten parigi moutong provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Riset Akuakultur*, 8(3), 493-505.

ARTIKEL RISET

- Karima, S., Ningsih, N. S., Tisiana, A. R., & Napitupulu, G. (2025). Water Mass Vertical Mixing in The Sulawesi Sea and Makassar Strait During the Second Transition Monsoon. *Earth and Planetary Science*, 4(1), 73-88. <https://doi.org/10.36956/eps.v4i1.2061>
- Kida, S., Richards, K. J., & Sasaki, H. (2019). The fate of surface freshwater entering the Indonesian Seas. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(5), 3228-3245.
- Lellouche, J. M., Greiner, E., Bourdallé-Badie, R., Garric, G., Melet, A., Drévillon, M., ... & Le Traon, P. Y. (2021). The Copernicus Global 1/12° Oceanic and Sea Ice GLORYS12 Reanalysis. *Frontiers in Earth Science*, 9, 698876. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.698876>
- Napitupulu, G. (2024). Monthly variability of wind-induced upwelling and its impact on chlorophyll-a distribution in the Southern and Northern parts of the Indonesian Archipelago. *Ocean Dynamics*, 74(10), 859-878. <https://doi.org/10.1007/s10236-024-01640-9>
- Napitupulu, G., Fekranie, N. A., Millina, A. V., Putri, M. R., Kartadikaria, A. R., Setiawan, A., ... & Fajary, F. R. (2025). Seasonal Variability of Surface Heat Transport in the Banda Sea. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 41(2), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s41208-025-00840-4>
- Napitupulu, G., Lukman, A. A., Hatmaja, R. B., Kartadikaria, A. R., Radjawane, I. M., Millina, A. V., ... & Napitupulu, M. (2024). Respon Singkat Konsentrasi Klorofil-A Terhadap Perubahan Arus Eddy Permukaan di Wilayah Perairan Teluk Tolo dan Sekitarnya. *Jurnal Geologi Kelautan*, 22(1). <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.22.1.2024.877>
- Putra, I. W. S. E., Atmadipoera, A. S., Manik, H. M., Harsono, G., & Purwandana, A. (2025). Oceanographic Characteristics in the Three International Indonesian Archipelago Sea Lanes (IASLs) Region: Implications for Underwater Acoustics System. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 17(2), 322.
- Radjawane, I. M., Basuki, I. N., & Napitupulu, G. Pelacakan Mundur Partikel Sampah Laut dengan Metode Euler-Lagrange di Pelabuhan Ratu. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 20 (3), 371-391. <http://dx.doi.org/10.12962/limits.v20i3.18676>
- Radjawane, I. M., Saleh, E., Napitupulu, G., Abdillah, M. R., & Hassan, M. A. M. (2024). Seasonal Variability of Sea Surface Chlorophyll-a at West Borneo Island. *The Indonesian Journal of Geography*, 56(1), 70-81. <https://doi.org/10.22146/ijg.87713>
- Santoso, S. Y., Atmadipoera, A. S., Nurjaya, I. W., Nugroho, D., & Koch-Larrouy, A. (2022). Simulated Ocean Circulation from INDES0 data in the Region of the Gulf of Tomini. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 27(3), 223-232. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.27.3.223-232>
- Sari, Q. W., Siswanto, E., Setiabudidaya, D., Yustian, I., & Iskandar, I. (2018). Spatial and temporal variability of surface chlorophyll-a in the gulf of Tomini, Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 19(3), 793-801.
- Simanjuntak, F., & Lin, T. H. (2022). Monsoon effects on chlorophyll-a, sea surface temperature, and ekman dynamics variability along the southern coast of lesser Sunda

ARTIKEL RISET

- islands and its relation to ENSO and IOD based on satellite observations. *Remote Sensing*, 14(7), 1682.
- Suniada, K. I. (2021). Variability of sea surface temperature at fisheries management area 715 in Indonesia and its relation to the monsoon, ENSO and fishery production. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 17(2), 99-114.
- Talley, L. D., & Sprintall, J. (2005). Deep expression of the Indonesian Throughflow: Indonesian intermediate water in the South Equatorial Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C10).
- Thaib, N. A., Sahami, F. M., & Salam, A. (2024). Morfometrik dan Komposisi Spesies Penyusun Ikan Nike di Perairan Marisa Kecamatan Marisa Kabupaten Pohuwato. *The NIKe Journal*, 12(1), 001-008.
- Tita, A. D. C., Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Maslukah, L., Handoyo, G., Helmi, M., & Avianto, P. (2020). Persistence of high sea surface temperature (> 30 C) in Tomini Bay. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 530, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.
- Wang, L., Zhou, L., Xie, L., Zheng, Q., Li, Q., & Li, M. (2019). Seasonal and interannual variability of water mass sources of Indonesian throughflow in the Maluku Sea and the Halmahera Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 38, 58-71.
- Wantu, F. M., Bakung, D. A., & Muhtar, M. H. (2024). Urgensi pembentukan Perdes tentang penataan tanah sempadan pantai di pesisir Teluk Tomini dalam pengelolaan dan penggunaan serta kepemilikannya. *MAJU: Indonesian Journal of Community Empowerment*, 1(4), 241-249.
- Widianingsih, W., Hartati, R., Atmadipura, A. S., & Zuraida, R. (2024). The study of phytoplankton in the Banggai Deep Sea: The study case of Banggai Upwelling Dynamics and Ecosystem Experiment (BUDEE). In *BIO Web of Conferences* (Vol. 106, p. 02010). EDP Sciences.
- Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Helmi, M., Setiawan, R. Y., & Koch, M. (2019). Distinct characteristics of SST variabilities in the Sulawesi Sea and the northern part of the Maluku Sea during the southeast monsoon. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(6), 1763-1770.
- Yang, L., Zhou, L., Li, S., & Wei, Z. (2018). Spreading of the South Pacific tropical water and Antarctic intermediate water over the maritime continent. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(6), 4423-4446.
- Yuliyanti, A., Permana, H., Setiawan, I., Nurohman, H., & Saputro, S. P. (2022). Geochemistry of seafloor surface sediment and submarine hydrothermal signature of Tomini Bay, Indonesia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 69(7), 1000-1011.