

Variabilitas *Mixed Layer Depth* dan Karakteristik Massa Air di Perairan Barat Sumatera Berdasarkan Data CTD dan *Argo Float* Tahun 2010-2024

Syarifudin Nur*, Mukti Dono Wilopo, Lita Astini, Anggini Fuji Astuti

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu,
Jl. WR. Supratman, Kelurahan Kandang Limun, Kecamatan Muara Bangka Hulu, Kota Bengkulu,
38371A, Provinsi Bengkulu, Indonesia;

*Corresponding Author: snur@unib.ac.id

Manuscript received: 3 November, 2026; Received in revised form: 24 February, 2026;

Accepted: 25 February, 2026

ABSTRACT

The waters off western Sumatera, bordering the eastern Indian Ocean, are characterized by strong ocean-atmosphere interactions influenced by the monsoon system, surface wind variability, and global climate phenomena such as the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and the Indian Ocean Dipole (IOD). Mixed Layer Depth (MLD) is a parameter in understanding these processes, as it regulates exchange and controls surface stratification. This study analyzes MLD variability and water mass characteristics in the waters off western Sumatera using Conductivity–Temperature–Depth (CTD) and Argo Float data from 2010–2024. Temperature, salinity, and pressure data were processed for vertical profiles, spatial distributions, and MLD estimates. Ocean stratification was visualized through section views, while water mass characteristics were evaluated using temperature–salinity (T–S) diagrams. Results show that MLD had clear seasonal variability associated with monsoon wind changes. The depth of the Mixed Layer Depth (MLD) is generally in the range of 40–70 m, characterized by a significant thermocline, below the surface layer. During the northwest monsoon, enhanced atmospheric convection and stronger surface winds contribute to a shallower MLD, whereas the southeast monsoon promotes deeper mixing and MLD deepening. Interannual variability is also evident, with ENSO and IOD anomalies influencing fluctuations in MLD and water mass distribution. T–S analysis indicates dominant tropical Indian Ocean water masses and possible intrusions from southern latitudes. These findings highlight the role of MLD variability in regional ocean–atmosphere dynamics and provide a scientific basis for improving marine meteorology and regional oceanographic modelling studies.

Keywords: *Argo Float, CTD, mixed layer depth, water mass, west coast of Sumatera.*

ABSTRAK

Perairan barat Sumatera yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia timur merupakan kawasan dengan dinamika oseanografi yang dipengaruhi secara kuat oleh faktor atmosfer-laut, termasuk sistem monsun, variabilitas angin permukaan, serta fenomena iklim global seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). *Mixed layer depth* (MLD) menjadi parameter penting untuk memahami interaksi tersebut karena berperan dalam proses pertukaran energi, momentum, serta pengendalian stratifikasi kolom perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variabilitas MLD dan karakteristik massa air di perairan barat Sumatera dengan memanfaatkan data *Conductivity-Temperature-Depth* (CTD) dan *Argo Float*. Analisis dilakukan dengan mengolah data suhu, salinitas, dan tekanan untuk

memperoleh profil vertikal, distribusi spasial, serta kedalaman MLD. Selanjutnya, stratifikasi laut divisualisasikan dalam bentuk *section view*, sedangkan karakteristik massa air dievaluasi melalui diagram suhu-salinitas (T-S). Hasil penelitian menunjukkan bahwa MLD di wilayah ini memiliki variabilitas musiman yang erat kaitannya dengan perubahan pola angin monsun. Pada periode monsun barat, peningkatan aktivitas konvektif atmosfer dan penguatan angin permukaan menghasilkan pendangkalan MLD, sedangkan pada monsun timur terjadi pendalaman akibat pengadukan vertikal yang lebih kuat. Variabilitas interannual juga teridentifikasi, di mana anomali ENSO dan IOD berkontribusi pada fluktuasi dan distribusi massa air. Profil T-S mengindikasikan keberadaan massa air tropis Samudra Hindia serta kemungkinan intrusi massa air dari lintang selatan. Studi ini menegaskan pentingnya pemahaman dinamika oseanografi fisis, khususnya variabilitas MLD, dalam kaitannya dengan proses atmosfer-laut di Samudra Hindia timur. Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan kajian meteorologi laut dan memperkuat basis ilmiah dalam pemodelan oseanografi regional.

Kata Kunci: *Argo float*, CTD, *mixed layer depth*, massa air, Pesisir Barat Sumatera.

1. PENDAHULUAN

Perairan barat Sumatera yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia timur merupakan salah satu kawasan laut yang memiliki dinamika oseanografi kompleks. Wilayah ini dipengaruhi oleh interaksi kuat antara faktor atmosfer dan laut, termasuk sistem monsun, variabilitas angin permukaan, serta fenomena iklim global seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Schott et al., 2009; Saji et al., 1999). Interaksi atmosfer-laut tersebut tidak hanya memengaruhi kondisi fisis perairan, tetapi juga berdampak pada pola sirkulasi, distribusi massa air, hingga proses biogeokimia di kawasan pesisir dan lepas pantai (Sprintall et al., 2014).

Salah satu parameter penting dalam memahami dinamika laut adalah *mixed layer depth* (MLD), yaitu kedalaman lapisan campuran yang terbentuk akibat pencampuran turbulen di permukaan laut. MLD memainkan peran penting dalam pertukaran energi, momentum, dan fluks massa antara laut dan atmosfer, serta dalam mengendalikan stratifikasi kolom perairan (de Boyer Montégut et al., 2004; Lukas & Lindstrom, 1991). Kedalaman lapisan campuran memengaruhi ketersediaan cahaya dan nutrisi di lapisan permukaan, sehingga berdampak langsung terhadap produktivitas

primer dan dinamika ekosistem laut (Behrenfeld & Boss, 2014).

Pemahaman mengenai variabilitas MLD dan karakteristik massa air membutuhkan data oseanografi dengan resolusi vertikal dan temporal yang memadai. Instrumen *Conductivity-Temperature-Depth* (CTD) merupakan salah satu alat utama dalam pengukuran oseanografi yang mampu merekam profil suhu, salinitas, dan tekanan secara detail, sehingga sangat berguna dalam analisis stratifikasi kolom perairan dan identifikasi massa air (Millard & Yang, 1993). Namun, cakupan spasial dan temporal dari pengukuran CTD relatif terbatas karena bergantung pada pelaksanaan survei lapangan.

Untuk melengkapi keterbatasan tersebut, data dari Argo Float digunakan. Argo merupakan jaringan *profiling floats global* yang secara otomatis melakukan pengukuran suhu dan salinitas dari permukaan hingga kedalaman sekitar 2000 m dengan siklus pengamatan berkala (Roemmich et al., 2009; Riser et al., 2016). Keunggulan Argo terletak pada cakupannya yang luas dan berkelanjutan, sehingga dapat memberikan gambaran variabilitas MLD dalam skala spasial dan temporal yang lebih komprehensif. Kombinasi antara data CTD dan Argo Float memungkinkan analisis yang lebih akurat mengenai dinamika MLD dan

karakteristik massa air di perairan barat Sumatera, baik dalam skala musiman maupun *interannual*.

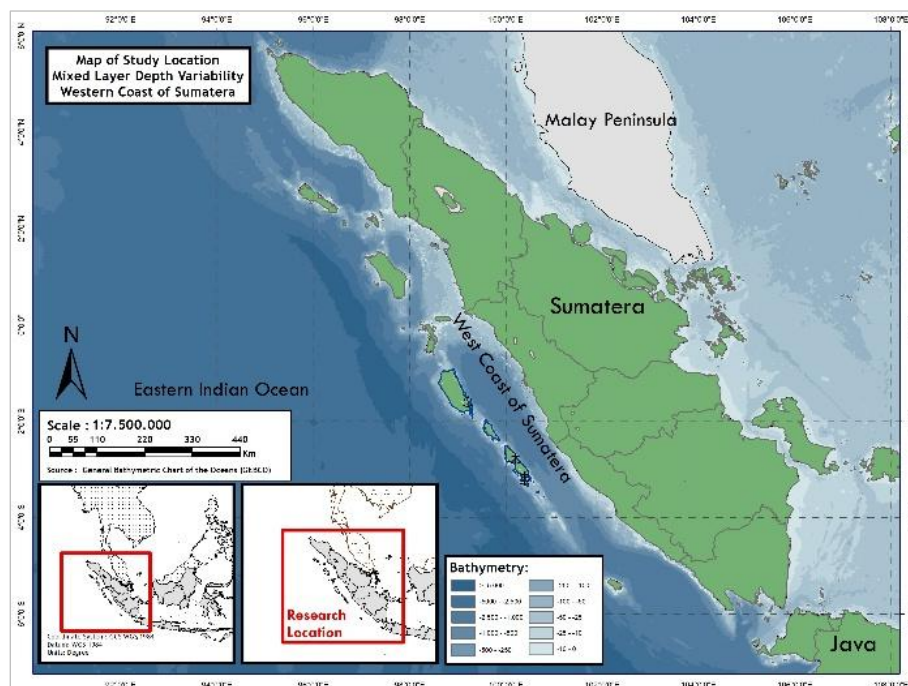
Perairan barat Sumatera, yang terletak di tepi timur Samudra Hindia, memiliki karakteristik oseanografi yang dipengaruhi oleh topografi dasar laut yang curam, keberadaan zona subduksi, serta dinamika musiman akibat sistem monsun Asia-Australia. Variabilitas arus, suhu permukaan laut, dan stratifikasi kolom perairan di wilayah ini juga diperkuat oleh pengaruh fenomena iklim global seperti ENSO dan IOD. Dengan kondisi geografis dan dinamika tersebut, kawasan ini menjadi lokasi penting untuk mengkaji variabilitas *mixed layer depth* dan karakteristik massa air sebagai bagian

dari pemahaman proses atmosfer-laut di Samudra Hindia timur.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dan menganalisis data profil oseanografi dari Argo Float yang berlokasi di perairan barat Sumatera dengan cakupan wilayah 90°E - 110°E dan 10°N - 10°S (Gambar 1).

Data yang digunakan meliputi parameter suhu, salinitas, dan tekanan, yang diunduh dari database *Argo Global*. Selain itu, digunakan juga data *Conductivity-Temperature-Depth* (CTD) hasil survei oseanografi yang tersedia untuk wilayah penelitian guna melengkapi informasi resolusi vertikal pada profil oseanografi.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

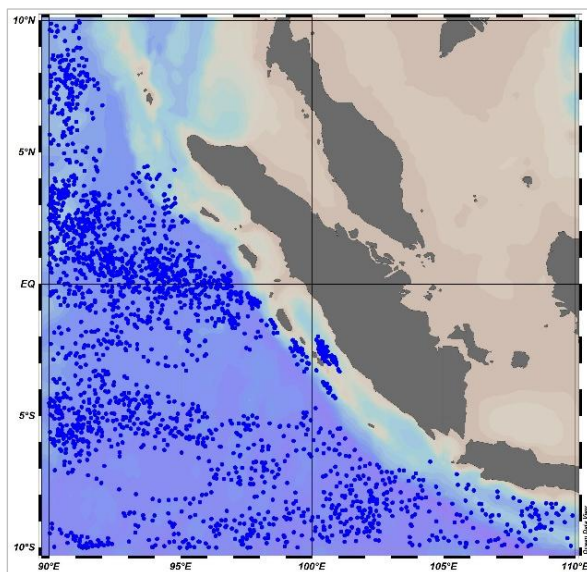
Pengolahan dan visualisasi data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV) (Schlitzer, 2024) untuk menghasilkan profil vertikal suhu, salinitas, serta diagram suhu-salinitas (T-S). Analisis spasial dan temporal visualisasi kedalaman lapisan campuran (*mixed layer depth*, MLD), serta menyusun visualisasi distribusi spasial dan *section view* sepanjang lintasan penelitian.

2.1 Metode

Metode penelitian menggunakan pendekatan analisis temporal, spasial, dan deskriptif. Analisis spasial dilakukan melalui pengolahan data sekunder CTD *per-cruise* dan data Argo float yang tersebar di wilayah penelitian. Data tersebut divisualisasikan menggunakan perangkat lunak ODV (*Ocean Data View*) dan Ferret untuk menghasilkan output berupa profil vertikal suhu dan

salinitas yang merepresentasikan kondisi massa air di perairan barat Sumatera.

Analisis temporal dilakukan dengan mengompilasi data dari tahun 2010 hingga 2024 (Gambar 2). Metadata Argo float disusun secara bulanan sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi variabilitas *mixed layer depth* (MLD) dan karakteristik massa air dalam skala musiman maupun antar-tahunan. Selanjutnya, analisis vertikal-temporal diterapkan untuk melihat perbandingan variabilitas parameter oseanografi (suhu, salinitas, dan densitas) sepanjang periode penelitian, baik pada kondisi normal maupun ketika terjadi fenomena iklim global seperti ENSO dan IOD.



Gambar 2. Ketersediaan data CTD dan Argo Float di Wilayah Penelitian

2.2 Format Data

Pada penelitian ini digunakan data observasi in-situ yang berasal dari CTD per-cruise dan Argo float pada periode tahun 2010-2024 di Perairan Barat Sumatera dengan rentang koordinat 90°E-110°E dan 10°N-10°S. Data CTD diperoleh dari hasil survei oseanografi (*cruise*), sedangkan data Argo float diunduh dari database global (<http://argoweb.whoi.edu/>). Argo float muncul ke permukaan umumnya setiap 10 hari dan mentransmisikan data hasil rekaman dari kedalaman 2000 m hingga permukaan

(Gould, 2005). Pada penelitian ini digunakan data dari kedalaman 300 m hingga permukaan untuk meninjau *mixed layer depth* (MLD) dan karakteristik massa air.

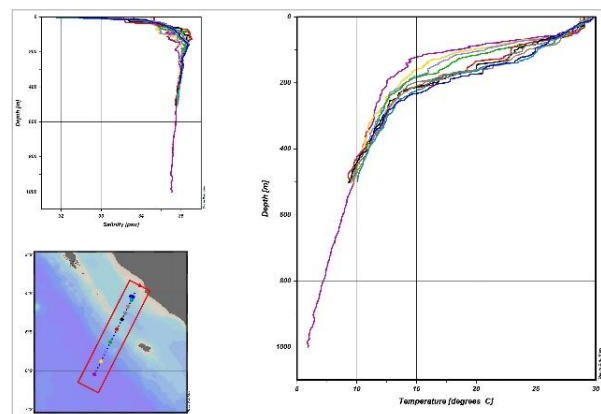
Data Argo float selanjutnya dikompilasi secara bulanan selama 14 tahun (2010-2024) untuk membentuk metadata, kemudian dianalisis dengan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV) (Schlitzer, 2024) dan Ferret guna menghasilkan profil vertikal suhu, salinitas, dan densitas. Analisis temporal dilakukan dengan pendekatan bulanan, sedangkan analisis spasial dilakukan dengan membandingkan sebaran vertikal dari masing-masing cruise CTD dan Argo float.

Sebagai data penunjang, digunakan data batimetri dari *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) yang merupakan data *open access*. Data batimetri ini diolah menggunakan perangkat lunak QGIS dan Surfer untuk memvisualisasikan topografi dasar laut secara detail di wilayah penelitian. Informasi kedalaman dasar laut tersebut digunakan untuk memahami interaksi antara dinamika massa air dan struktur perairan di kawasan barat Sumatera.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Suhu dan Salinitas

Data hasil pengukuran dari *Cruise JP040962* menggunakan platform *MIRAI* menunjukkan profil vertikal suhu dan salinitas hingga kedalaman >1000 m di perairan barat Sumatera (Gambar 3).



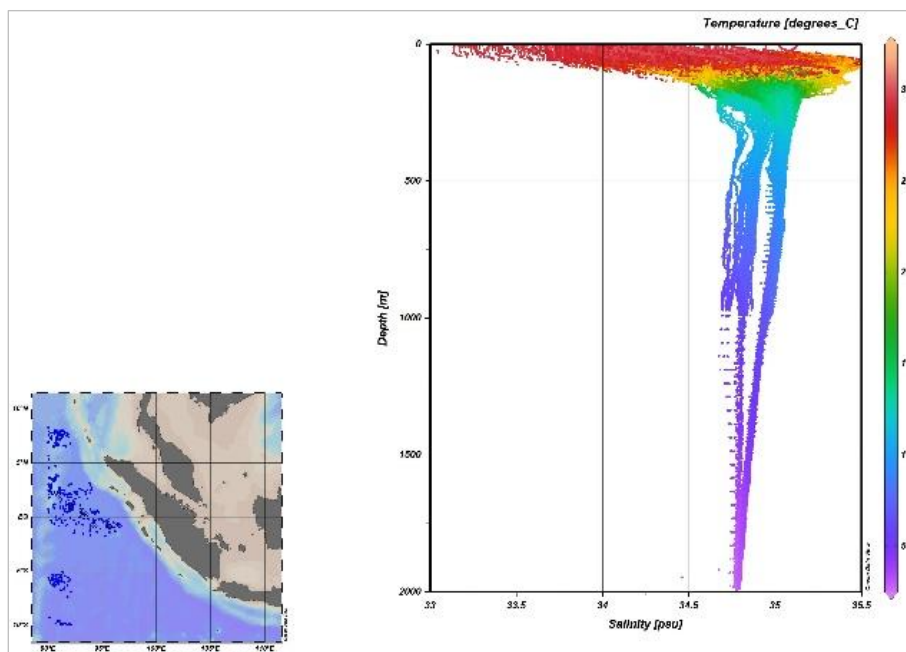
Gambar 3. Diagram T-S di wilayah Penelitian

Dalam diagram T-S kemudian mengalami penurunan tajam pada kedalaman 100-200 m hingga mencapai 10 °C di bawah 400 m. Pada kedalaman >800 m, suhu relatif stabil mendekati 5-7 °C, yang mengindikasikan lapisan massa air dalam yang homogen. Profil salinitas memperlihatkan nilai relatif rendah di permukaan (32-33 psu), kemudian meningkat tajam pada kedalaman 100-200 m, hingga stabil di kisaran 34.5-35 psu pada kedalaman lebih dari 600 m. Pola ini konsisten dengan keberadaan lapisan termoklin dan haloklin yang tegas, yang mencerminkan stratifikasi kolom perairan tropis. Diagram T-S (*temperature-salinity*) menunjukkan hubungan non-linear dengan massa air permukaan yang hangat, serta massa air dalam yang lebih sejuk dengan salinitas tinggi.

Kombinasi hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa perairan barat Sumatera memiliki karakteristik massa air tropis yang dipengaruhi oleh pencampuran vertikal terbatas di lapisan atas, serta intrusi massa air samudera yang lebih asin pada lapisan menengah hingga dalam. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik umum Samudra Hindia timur yang dipengaruhi oleh sistem monsun dan variabilitas interannual (Schott et al., 2009; Sprintall et al., 2014).

3.2 Distribusi Salinitas terhadap Kedalaman

Data hasil observasi dari Cruise US055807 dengan proyek *Global Ocean Biogeochemistry Array* (GO-BGC) memperlihatkan distribusi vertikal salinitas terhadap kedalaman hingga lebih dari 2000 m di perairan barat Sumatera (Gambar 4).



Gambar 4. Distribusi Salinitas Terhadap Kedalaman

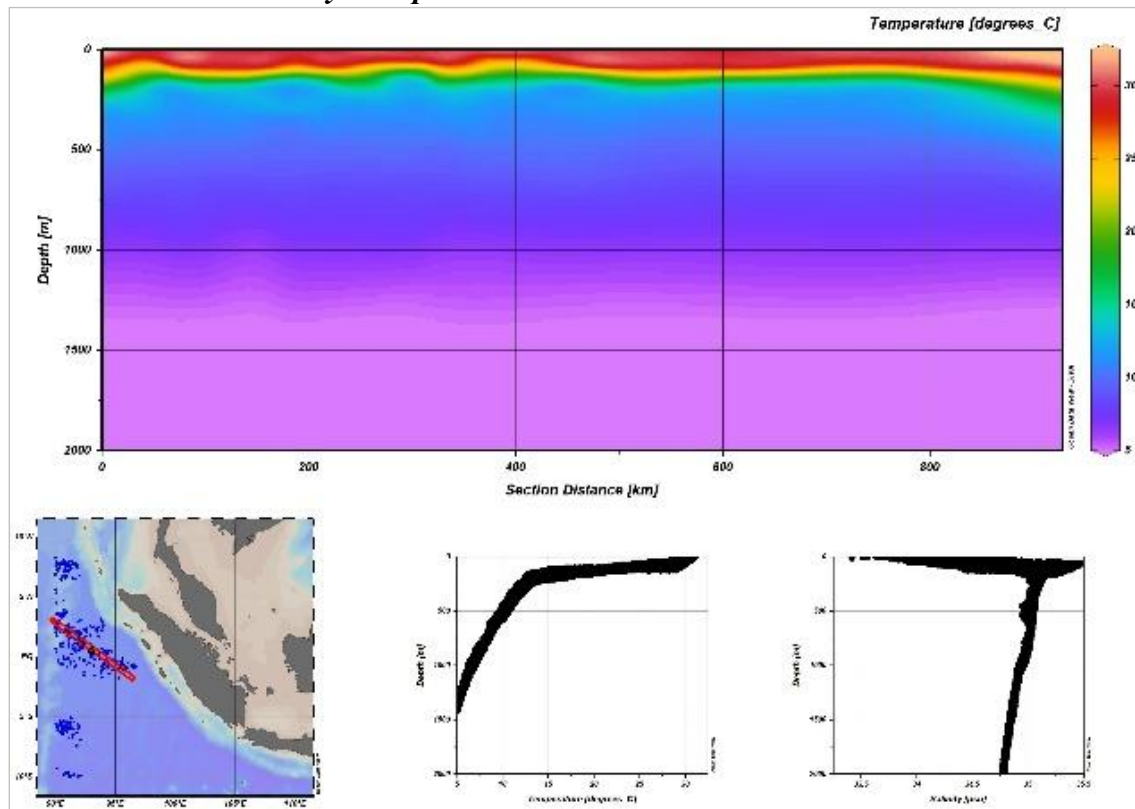
Pada lapisan permukaan (0-50 m), salinitas bervariasi pada kisaran 33.0-34.0 psu dengan suhu tinggi (>28 °C). Nilai ini mencerminkan pengaruh kuat input air hujan dan run-off daratan, yang umumnya menurunkan salinitas permukaan, terutama pada wilayah tropis dengan curah hujan tinggi. Seiring bertambahnya kedalaman, salinitas menunjukkan peningkatan yang jelas hingga mencapai nilai mendekati 35 psu pada

kedalaman 200-500 m, dengan suhu menurun ke kisaran 15-20 °C. Pola ini menandai keberadaan lapisan haloklin yang berasosiasi dengan termoklin, di mana terjadi gradien vertikal yang tajam akibat pencampuran terbatas. Pada kedalaman menengah hingga 1000 m, salinitas relatif stabil di kisaran 34.5-35.0 psu dengan suhu 5-10 °C, yang mencerminkan intrusi massa air samudera dari lintang selatan.

Di bawah 1500 m, baik salinitas maupun suhu cenderung homogen dengan salinitas stabil sekitar 34.7-34.8 psu dan suhu $<5^{\circ}\text{C}$. Kondisi ini menunjukkan dominasi massa air dalam (*deep water masses*) yang relatif seragam dan minim pengaruh proses atmosfer-laut permukaan. Secara

keseluruhan, pola sebaran salinitas ini menegaskan adanya stratifikasi kolom perairan tropis yang dikontrol oleh lapisan campuran dangkal dan proses pencampuran vertikal yang terbatas, konsisten dengan dinamika oseanografi Samudra Hindia timur (Schott et al., 2009; Sprintall et al., 2014).

3.3 Variabilitas *Mixed Layer Depth*



Gambar 5. *Mixed Layer Depth*

Berdasarkan distribusi suhu vertikal (Gambar 5), lapisan permukaan menunjukkan suhu yang relatif tinggi, berkisar antara $28-30^{\circ}\text{C}$, dengan penurunan tajam pada kedalaman sekitar 50-150m. Pola ini menandakan keberadaan lapisan campuran (*Mixed Layer*) yang tipis di wilayah tropis. Kedalaman *Mixed Layer Depth* (MLD) pada umumnya berada pada kisaran 40-70 m, ditandai dengan gradien suhu yang cukup signifikan (termoklin) setelah lapisan permukaan.

Profil rata-rata suhu dan salinitas terhadap kedalaman (Gambar 4) juga menunjukkan karakteristik yang konsisten dengan perairan tropis di Samudra Hindia bagian timur laut. Lapisan campuran dengan suhu tinggi relatif

homogen, kemudian diikuti peningkatan salinitas setelah kedalaman ± 100 m. Hal ini menunjukkan bahwa dinamika MLD dipengaruhi oleh proses stratifikasi kuat antara massa air permukaan yang hangat dengan massa air di bawahnya yang lebih dingin dan asin.

Variabilitas MLD di wilayah ini dapat dikaitkan dengan pengaruh faktor oseanografi dan atmosfer, seperti angin muson, curah hujan, serta aliran massa air lintas ekuator. Secara umum, lapisan campuran yang dangkal memungkinkan terjadinya interaksi intensif antara atmosfer dan laut, sehingga berperan penting dalam proses pertukaran

panas, momentum, dan gas di Samudera Hindia bagian timur.

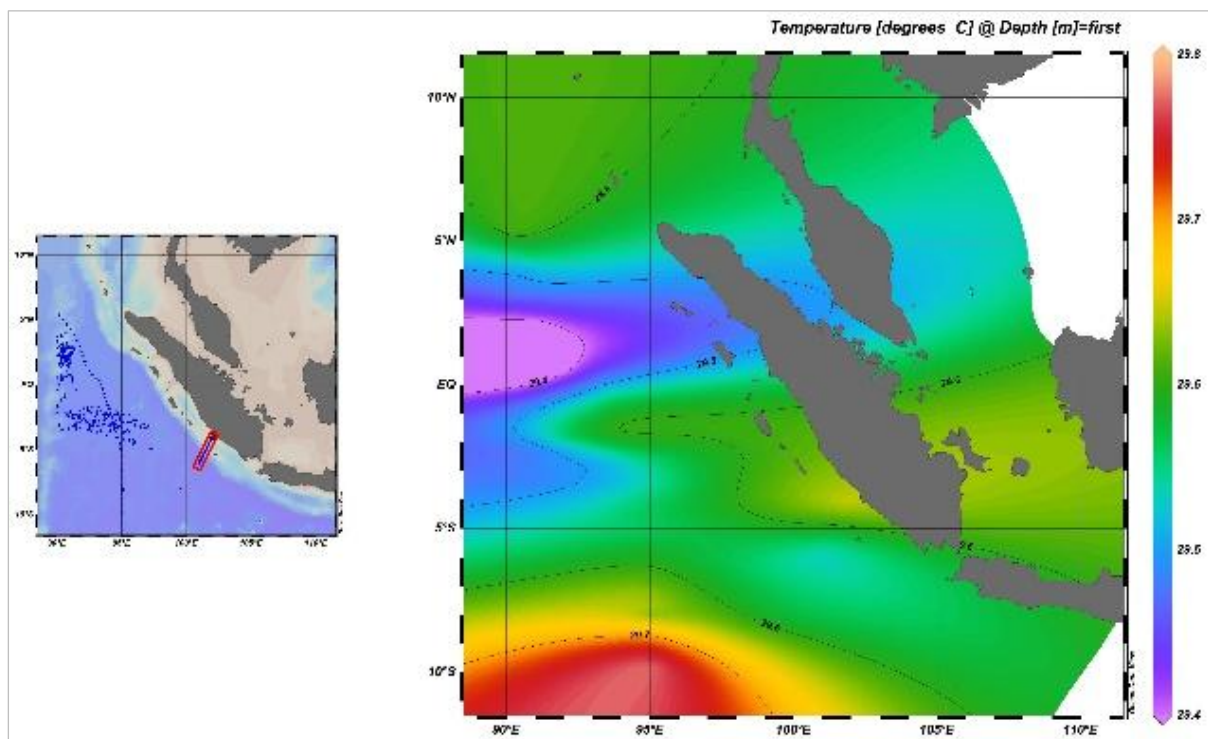
Tabel 1. Variabilitas *Mixed Layer Depth*

Parameter	Nilai / Kisaran	Keterangan
Lokasi Penelitian	Samudera Hindia Timur Laut (Perairan barat Sumatera)	Lintasan sesuai data WOD GO-BGC
Suhu Permukaan (°C)	28 - 30	Relatif homogen di lapisan campuran
Salinitas Permukaan (psu)	33.5 - 34.5	Stabil di lapisan atas
Kisaran Mixed Layer Depth (m)	40 - 70	Ditentukan dari gradien

Rata-rata Mixed Layer Depth (m)	55-60	suhu yang signifikan
Karakteristik Stratifikasi	Kuat setelah > 100 m	Menunjukkan lapisan campuran tipis khas wilayah tropis
		Termoklin jelas, peningkatan salinitas di bawah lapisan campuran

3.4 Variasi Suhu Permukaan Laut (*Sea Surface Temperature-SST*)

Data suhu permukaan laut hasil kombinasi *Argo Float* dan CTD menunjukkan distribusi yang relatif *homogen* dengan kisaran suhu antara 29,4-29,8°C di perairan barat Sumatera (Gambar 6).



Gambar 6. *Sea Surface Temperature (SST)*

Nilai suhu permukaan tertinggi teridentifikasi di wilayah selatan ekuator, sekitar 10°S-5°S, dengan anomali hangat mencapai 29,7-29,8°C. Sementara itu, suhu permukaan relatif lebih rendah (29,4°C) teramati di sekitar ekuator (0°-2°N), yang

kemungkinan dipengaruhi oleh dinamika arus ekuatorial dan *upwelling* lokal.

Secara spasial, distribusi suhu permukaan ini memperlihatkan adanya gradasi dari utara ke selatan, dengan bagian utara (sekitar Selat Malaka dan pesisir Aceh) cenderung lebih

stabil (29,5-29,6°C), sedangkan bagian selatan menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi. Pola ini mengindikasikan adanya pengaruh sirkulasi musiman monsun dan interaksi arus lintas ekuator yang berperan penting dalam membentuk struktur suhu permukaan laut di wilayah penelitian. Kondisi suhu permukaan yang relatif tinggi dan homogen ini konsisten dengan karakteristik perairan tropis, namun gradien spasialnya tetap signifikan untuk menjelaskan dinamika pencampuran massa air di Samudera Hindia bagian timur.

Tabel 2. *Sea Surface Temperature (SST) di Perairan Barat Sumatera*

Wilayah	Rentan g Suhu (°C)	Suhu Minim um (°C)	Suhu Maksi mum (°C)	Rata -rata (°C)
Utara (5°N - 10°N)	29,5 - 29,6	29,5	29,6	29,5 5
Ekuator (2°S - 2°N)	29,4 - 29,5	29,4	29,5	29,4 5
Selatan (5°S - 10°S)	29,6 - 29,8	29,6	29,8	29,7 0
Keselur uhan	29,4 - 29,8	29,4	29,8	29,5 7

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis distribusi suhu dan salinitas di Perairan Barat Sumatera menggunakan data *Argo Float* dan CTD periode 2010–2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan suhu–salinitas (diagram T-S) mengindikasikan karakter perairan tropis dengan salinitas relatif stabil pada kisaran 34–35 psu, sementara suhu permukaan umumnya tinggi (>28 °C) dan menurun signifikan pada lapisan termoklin. Pola stratifikasi kolom air terlihat jelas, dengan lapisan atas dipengaruhi oleh variabilitas musiman dan lapisan lebih dalam menunjukkan kondisi yang relatif stabil.

Analisis *section view* mengidentifikasi *mixed layer depth* (MLD) yang relatif dangkal, umumnya berada pada kisaran 40–

70 m dan rata-rata kurang dari 100 m, ditandai dengan gradien suhu yang signifikan di bawah lapisan permukaan. Variabilitas musiman MLD berkaitan erat dengan sistem monsun, di mana monsun barat cenderung menghasilkan pendangkalan lapisan campuran, sedangkan monsun timur mendorong pencampuran vertikal yang lebih kuat sehingga memperdalam MLD. Selain itu, variabilitas *interannual* yang dipengaruhi oleh fenomena ENSO dan IOD turut berkontribusi terhadap fluktuasi kedalaman MLD serta distribusi massa air di wilayah penelitian.

Analisis suhu permukaan laut menunjukkan kisaran 29,4–29,8 °C dengan variasi spasial yang dipengaruhi posisi lintang dan dinamika regional seperti upwelling. Secara keseluruhan, dinamika suhu–salinitas dan variabilitas MLD di Perairan Barat Sumatera mencerminkan interaksi kuat antara proses atmosfer–laut regional dan pengaruh iklim global.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada *Global Argo Program* atas ketersediaan data *Argo Float* yang digunakan dalam penelitian ini, serta kepada program *Global Ocean Biogeochemistry Array (GO-BGC)* dan *National Centers for Environmental Information (NCEI) NOAA* melalui *World Ocean Database (WOD)* atas akses data oseanografi yang mendukung analisis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Behrenfeld, M. J., & Boss, E. S. (2014). Resurrecting the ecological underpinnings of ocean plankton blooms. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 167-194. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-052913-021325>
- [2] de Boyer Montégut, C., Madec, G., Fischer, A. S., Lazar, A., & Iudicone, D. (2004). Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data

- and a profile-based climatology. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12).
<https://doi.org/10.1029/2004JC002378>
- [3] Ferret. (n.d.). Interactive Computer Visualization and Analysis Environment. NOAA Pacific Marine Environmental Laboratory. Retrieved from <https://ferret.pmel.noaa.gov>
- [4] General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). (n.d.). GEBCO Gridded Bathymetric Data. Retrieved from <https://www.gebco.net>
- [5] Gould, W. J. (2005). From Swallow floats to Argo—the development of neutrally buoyant floats. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52(3-4), 529-543. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.12.005>
- [6] GO-BGC (Global Ocean Biogeochemistry Array). (n.d.). Argo Biogeochemical Float Program. Retrieved from <https://www.go-bgc.org>
- [7] Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). (n.d.). Dipole Mode Index (DMI). Retrieved from <https://www.jamstec.go.jp>
- [8] Lukas, R., & Lindstrom, E. (1991). The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(S01), 3343-3357. <https://doi.org/10.1029/90JC01951>
- [9] Millard, R. C., & Yang, Y. Y. (1993). CTD calibration and processing methods used at Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report WHOI-93-44, 1-14. <https://doi.org/10.1575/1912/541>
- [10] QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System. Opensource Geospatial Foundation. Retrieved from <https://qgis.org>
- [11] Riser, S. C., Freeland, H. J., Roemmich, D., Wijffels, S., Troisi, A., Belbéoch, M., Gilbert, D., Xu, J., Pouliquen, S., Thresher, A., Le Traon, P. Y., Maze, G., Klein, B., Ravichandran, M., Grant, F., Poulain, P. M., Suga, T., Lim, B., Sterl, A., ... King, B. (2016). Fifteen years of ocean observations with the global Argo array. *Nature Climate Change*, 6(2), 145-153. <https://doi.org/10.1038/nclimate2872>
- [12] Roemmich, D., Johnson, G. C., Riser, S., Davis, R., Gilson, J., Owens, W. B., Garzoli, S., Schmid, C., & Ignaszewski, M. (2009). The Argo Program: Observing the global ocean with profiling floats. *Oceanography*, 22(2), 34-43. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.36>
- [13] Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751), 360-363. <https://doi.org/10.1038/43854>
- [14] Schlitzer, R. (2024). Ocean Data View. Alfred Wegener Institute, Bremerhaven, Germany. Retrieved from <https://odv.awi.de>
- [15] Schott, F. A., Xie, S. P., & McCreary, J. P. (2009). Indian Ocean circulation and climate variability. *Reviews of Geophysics*, 47(1). <https://doi.org/10.1029/2007RG000245>
- [16] Sprintall, J., Wijffels, S. E., Molcard, R., & Jaya, I. (2014). Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C7). <https://doi.org/10.1029/2008JC005257>
- [17] World Ocean Database (WOD). (n.d.). National Centers for Environmental Information (NCEI), NOAA. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database>