

Karakteristik Struktur Lapisan Termoklin Di Laut Andaman Dalam 4 Monsun Selama 1 Tahun

Amri Rahmatullah^{1*}, Nuki Widi Asmoro¹, Muhammad Azis¹, Widodo Setiyo Pranowo^{1,2},
Johar Setiyadi¹

¹Program Studi Magister Oseanografi, Direktorat Pascasarjana, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut
Jl. Ganesha No.1, Kelapa Gading Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14240 Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Pemuda Persil No.1, Rawamangun, Pulo Gadung, East Jakarta City, Jakarta 13220 Indonesia

Email: amri19563p@gmail.com

Abstrak

Suhu air laut menjadi salah satu parameter penting dalam bidang oseanografi. Salah satunya adalah termoklin, yaitu lapisan perairan dengan perubahan suhu yang cepat diantara lapisan yang berbeda. Karakteristik laut Andaman banyak yang belum diulas terutama pengaruh periodisitas monsun terhadap struktur lapisan termoklin. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif deskriptif dengan data model dari Copernicus. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik struktur lapisan termoklin di laut Andaman. Hasil pengolahan data menunjukkan lapisan termoklin dalam 4 monsun secara menyeluruh. Sebaran batas atas termoklin berada pada kisaran kedalaman 13,47-109,73 m dan suhu antara 29,87-20,36°C. Sebaran batas bawah berada pada kisaran kedalaman antara 130,67-155,85 m dan suhu antara 23,85-16,83°C. Karena didominasi pengaruh monsun sehingga batas atas termoklin terdangkal ditemukan pada monsun Peralihan I dan batas bawah paling dalam pada monsun Timur dan Peralihan II. Struktur lapisan termoklin berada pada rentang ketebalan termoklin dari 17,4-80,28 m dan rata-rata ketebalan termoklin sebesar 47,18 m. Ketebalan maksimum ditemukan pada monsun Peralihan I dengan ketebalan hingga 80,28 m. Peningkatan ketebalan termoklin pada Monsun Peralihan I terjadi akibat pengaruh angin, SPL yang meningkat dan masuknya *Equatorial Jet* yang membawa arus lebih hangat dan *East Indian Current* (EIC) yang berputar tetap searah jarum jam di Utara Laut Andaman.

Kata kunci : Gradien Suhu, Laut Andaman, Monsun, Struktur Termoklin.

Abstract

Characteristics Of Thermocline Layer Structure In The Andaman Sea In 4 Monsoons For 1 Year

The sea temperature is one of the important parameters in oceanography. One of them is the thermocline, which is a layer of water with rapid temperature changes between different layers. Many characteristics of the Andaman Sea have not been reviewed, especially the effect of monsoon periodicity on the structure of the thermocline layer. This research uses descriptive quantitative research methods with model data from Copernicus. This study aims to identify and analyze the characteristics of thermocline layer structure in the Andaman Sea. The results of data processing show the thermocline layer in 4 monsoons as a whole. The distribution of the upper boundary of the thermocline is in the range of 13.47-109.73 m depth and temperature between 29.87-20.36°C. The lower boundary distribution is in the range of depths between 130.67-155.85 m and temperatures between 23.85-16.83°C. Due to the dominant influence of monsoon, the shallowest upper thermocline was found in the first monsoon and the deepest lower thermocline in the second monsoon. The thermocline layer structure ranges in thermocline thickness from 17.4-80.28 m, with an average thermocline thickness of 47.18 m. The maximum thickness is found in the Transitional I monsoon with a thickness of up to 80.28 m. The increase in thermocline thickness in Monsoon Transitional I occurs due to the influence of winds, increased SPL and the entry of the Equatorial Jet which brings warmer currents and the East Indian Current (EIC) which rotates clockwise in the North of the Andaman Sea.

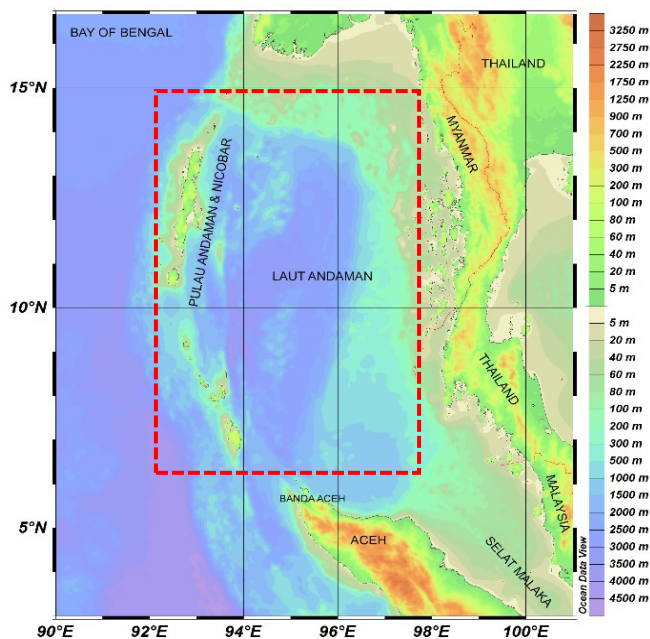
Keywords : Temperature Gradient, Andaman Sea, Monsoon, Thermocline Structure.

PENDAHULUAN

Samudera Hindia pada bagian Timur Laut berbatasan langsung dengan Semenanjung Malaya dan Pulau Sumatera. Wilayah perairan ini merupakan gabungan perairan Barat Sumatera, Laut Andaman, Teluk Bengal dan Selat Malaka (Al Ayubi *et al.*, 2013). Wilayah studi terletak di Timur Laut Samudera Hindia meliputi perairan Laut Andaman. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih memperhatikan efek iklim akibat tren pemanasan jangka panjang terhadap suhu permukaan laut (SPL) di Samudera Hindia (Sijinkumar *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2021), sedangkan untuk penelitian lapisan termoklin belum banyak dilakukan (Gebregiorgis *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2022). Studi tentang karakteristik termoklin di perairan Samudra Hindia bagian utara dan hubungannya dengan aktivitas matahari, sistem monsun India, dan sirkulasi hidrodinamik skala besar memiliki arti penting untuk memahami pengaruh secara regional terhadap perubahan iklim global (Liu *et al.*, 2023). Selain itu perairan Laut Andaman menjadi salah satu unsur penting dalam pembentukan karakteristik oseanografi perairan selat Malaka, seperti suhu, salinitas, dan aliran arus serta pola arus laut. Laut Andaman dan Selat Malaka adalah dua wilayah yang saling terkait secara geografis (Gambar 1). Suhu air laut menjadi salah satu param penting

dalam bidang oseanografi yang digunakan dalam mempelajari dinamika di lautan. Salah satu karakteristik penting dari Laut Andaman adalah adanya termoklin, yaitu lapisan perairan dengan perubahan suhu yang cepat di antara lapisan yang berbeda. Pada lapisan tertentu akan terjadi penurunan suhu yang berlangsung cepat sehingga terjadi gradien suhu yang mencolok yang dikenal dengan lapisan termoklin (Yuliarinda dan Atmodjo, 2012). Selain itu menurut Irmasyithah *et al.*, (2019) termoklin adalah suatu zona lapisan dimana suhu menurun dengan cepat terhadap kedalaman laut. Lapisan termoklin di berbagai perairan memiliki struktur yang bervariasi, sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk mengkaji bagaimana struktur lapisan termoklin yang terbentuk di perairan laut Andaman.

Selain itu lapisan termoklin juga sangat penting bagi keanekaragaman hayati laut karena perubahan dalam struktur dan kedalaman termoklin dapat mempengaruhi kondisi ekologis dan kesuburan perairan laut, yang pada akhirnya akan mempengaruhi secara signifikan tingkat keanekaragaman hayati laut. Lapisan termoklin merupakan salah satu penentu posisi kedalaman penangkapan ikan tuna. Param penangkapan ikan Tuna di Samudra Hindia menurut Kusmedy *et al* (2020) berada pada kedalaman lapisan renang ikan tuna, *Bigeye* tuna (*T. Obesus*) pada



Gambar 1. Peta Lokasi objek penelitian di Laut Andaman (Sumber data Batimetri: NOAA National Centers for Environmental Information. 2022: ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information. DOI: 10.25921/fd45-gt74).

kedalaman 41-327,5 m, *Albacore* (*T. Alalunga*) pada kedalaman 41-327,5 m, *Yellowfin Tuna* (*T. Albacares*) pada kedalaman 41-327,5 m, *Southern bluefin tuna* (*T. Maccoyii*) pada kedalaman 189-310,5 m. Selain lapisan renang, sebaran ikan tuna juga dipengaruhi oleh suhu. Sehingga di beberapa tempat dapat terjadi perbedaan param kedalaman lapisan renang karena sangat dipengaruhi tingkat kedalaman dan suhu di perairan tersebut.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik struktur lapisan termoklin di Laut Andaman. Struktur termoklin secara sederhana berupa sebaran kedalaman batas atas, sebaran kedalaman batas bawah, gradien rata-rata suhu dan besarnya termoklin (ketebalan termoklin) (Boston, 1966). Kriteria lapisan termoklin yang digunakan berdasarkan (Ross, 1970) bahwa lapisan termoklin terjadi pada suatu kedalaman atau posisi di mana gradien suhu lebih besar atau sama dengan $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini disusun dalam beberapa langkah yang sistematis dan terencana. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian ini, penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif deskriptif.

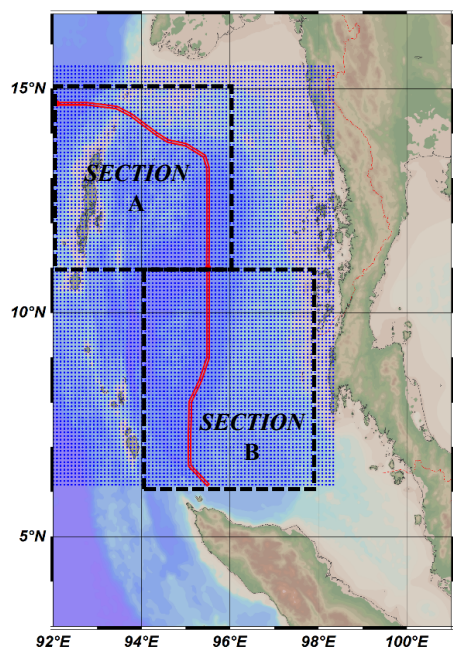
Lokasi penelitian difokuskan di perairan Laut Andaman pada *section A* dan *B* (Gambar 2). Waktu penelitian diambil dari bulan Desember

2020 sampai dengan bulan November tahun 2021. Penentuan lokasi stasiun didasarkan atas pertimbangan variasi kedalaman yang terbagi atas laut dalam dan laut dangkal sehingga *section A* dan *B* dibuat menyambung dari Utara ke Selatan agar dapat mewakili seluruh perairan dan data kedalaman yang ada di Laut Andaman. Titik stasiun *section A* ditetapkan sebanyak 60 stasiun dan titik stasiun *section B* ditetapkan sebanyak 55 stasiun yang diharapkan mewakili kondisi kedalaman termoklin secara keseluruhan.

Selain itu di lokasi penelitian juga dipengaruhi oleh arus-arus regional yang berlaku (Gambar 3) antara lain *South Equatorial Current* (SEC), *North Equatorial Current* (NEC), *Equatorial Countercurrent* (ECC), *Southwest Monsoon Current* (SWMC), *East Arabian Current* (EAC), *East Indian Current* (EIC) (Tomczak and Godfrey, 2001).

Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa instrumen perangkat lunak dalam pengumpulan dan pengolahan data antara lain yaitu *software Ocean Data View 5.5.2* (ODV) dan *Microsoft Excel 2016*. *Software Ocean Data View 5.5.2* (ODV), yaitu *software* yang digunakan untuk memodelkan dan menampilkan data NC dalam bentuk *isosurface* yang kemudian diekspor dalam bentuk *Spreadsheet File*. *Microsoft Excel 2016*,



Gambar 2. Desain domain analisis yang dibagi dalam 2 area yakni *section A* dan *B*. Garis *polyline* merah adalah lintasan *section*.

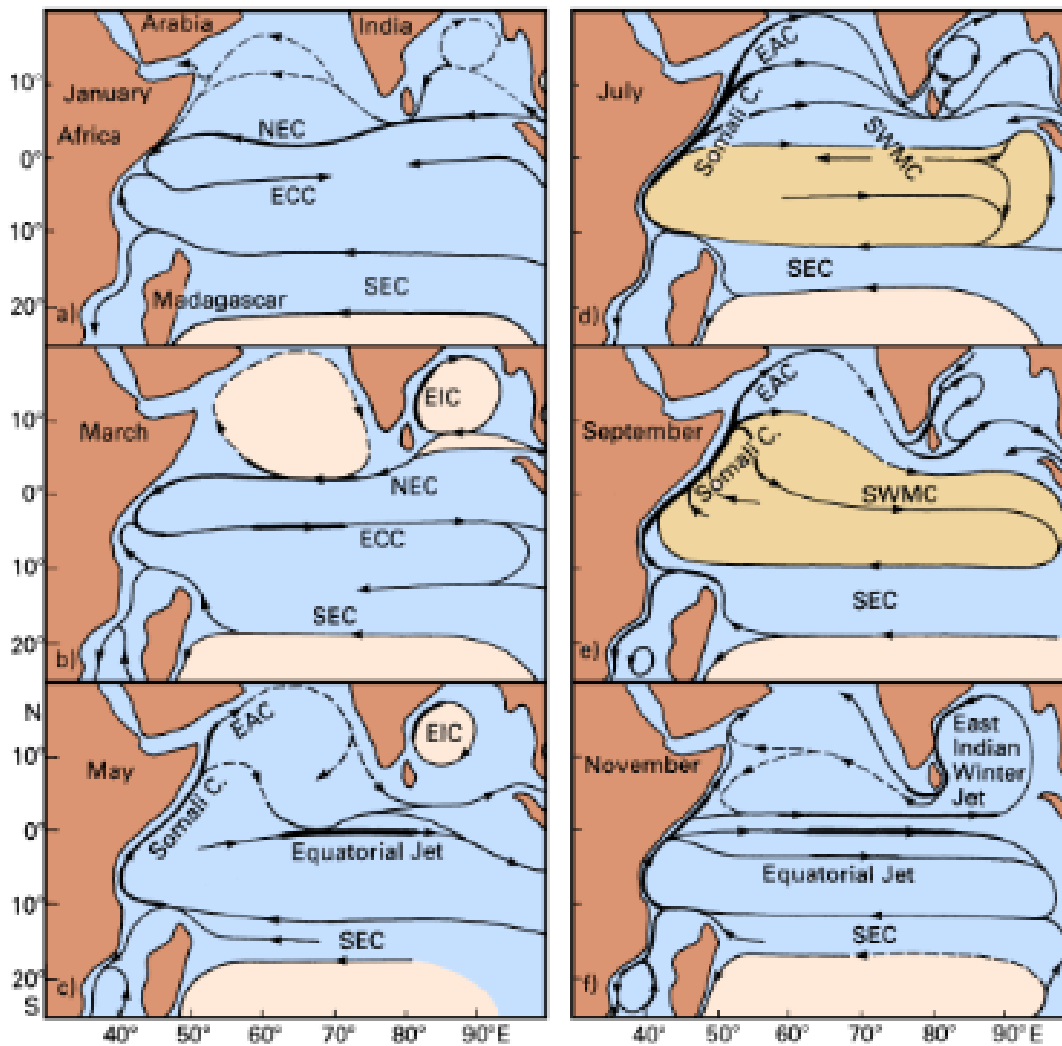
yaitu *software* yang digunakan mengkalkulasi dan mengolah data secara statistik untuk mendapatkan data rata-rata, minimum, dan maksimum di antara data tersebut.

Data Penelitian

Data penelitian ini diunduh dari *website* Copernicus. Jenis data yang digunakan adalah data model. Data ini berupa data NC yang berisi kedalaman (m) dan suhu potensial (°C) dengan penentuan lokasi stasiun menggunakan metode pertimbangan representatif berdasarkan pengalaman peneliti yaitu menentukan lokasi pengambilan sampel dengan pertimbangan-pertimbangan tertentu berdasarkan tujuan dan sasaran penelitian.

Metode Analisis

Metode analisis data yang digunakan adalah analisis statistik deskriptif, yaitu statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiyono, 2011). Data-data yang sudah diunduh diolah menggunakan *software* Ocean Data View (ODV). Kemudian dimodelkan dan akan ditampilkan dalam bentuk *isosurface* yang selanjutnya diekspor dalam bentuk data *spreadsheet file*. Dari data ini selanjutnya dikalkulasi menggunakan MS. Excel untuk mendapatkan data Delta T, karakteristik termoklin, ketebalan termoklin dan



Gambar 3. Arus-arus regional yang berlaku di Samudra Hindia bagian Utara. (Sumber : Tomczak and Godfrey (2001))

gradien. Dalam penelitian ini digunakan asumsi bahwa lapisan termoklin terjadi pada suatu kedalaman atau posisi dimana gradien suhu lebih besar atau sama dengan $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (Ross, 1970), persamaannya sebagai berikut.

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} \geq 0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$$

Keterangan: ΔT = Selisih Suhu bawah dan atas ($^{\circ}\text{C}$); ΔZ : Selisih Kedalaman bawah dan atas (m)

Batas atas yaitu kedalaman minimum dimana sudah mulai terjadi perbedaan temperatur lebih besar atau sama dengan $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ dengan kedalaman dibawahnya, sedangkan batas bawahnya adalah batas akhir yang masih terdapat perbedaan lebih besar atau sama dengan $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ dengan kedalaman diatasnya, namun sudah tidak terjadi $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ dengan kedalaman dibawahnya. Jika pada lapisan ini terdapat gradien temperatur yang kurang dari $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$, maka dilihat gradien temperatur di atas dan di bawahnya, apabila di atas dan di bawahnya masih lebih besar dari $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ maka lapisan ini tetap digabungkan sebagai lapisan termoklin. Untuk menentukan ketajaman lapisan termoklin ditentukan dengan perubahan atau gradien temperatur yaitu rentangan temperatur per ketebalan lapisan termoklin (Yuliarinda, Muslim and Atmodjo, 2012). Besarnya kemiringan termoklin ditentukan dengan membagi ketebalan lapisan termoklin dalam selang kedalaman 1 m, kemudian setiap selang 1 m ini dicari gradien perubahan temperaturnya menurut kedalaman, hasilnya kemudian dirata-ratakan (Sidabutar *et al.*, 2014). Selanjutnya data ini akan disajikan dalam bentuk tabel tabulasi yang merupakan hasil analisis dari perhitungan struktur termoklin dimana perhitungan penyebaran data melalui perhitungan rata-rata yang ditampilkan juga dalam bentuk sebaran vertikal suhu dan grafik hubungan antara batas atas, batas bawah, dan ketebalan termoklin. Data ini dibagi dalam 4 perioditas monsun. Monsun dapat dikategorikan sebagai angin musiman secara periodik yaitu monsun Barat terjadi pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF), monsun Peralihan I terjadi pada bulan Maret-April-Mei (MAM), monsun Timur terjadi pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dan monsun Peralihan II terjadi pada bulan September-Oktober-November (SON) (Siregar *et al.*, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilaksanakan pengolahan data sesuai dengan metode yang sudah ditentukan selanjutnya didapatkan gambar diagram dan profil suhu vertikal dari lapisan termoklin pada tiap monsun dalam 1 tahun di perairan laut Andaman.

Struktur & profil lapisan termoklin di *section A & B* pada tiap monsun dalam 1 tahun dapat dilihat pada gambar 4. Lapisan termoklin terlihat pada bentuk yang melengkung dengan profil warna suhu yang berbeda & rapat. Stratifikasi vertikal ini terjadi karena suhu yang semakin berkurang seiring bertambahnya kedalaman yang diakibatkan oleh penyerapan panas dari matahari yang semakin ke dalam semakin berkurang (Panjaitan *et al.*, 2021). Lapisan termoklin pada monsun Barat di *section A* dan *B* berada di kedalaman 65,81-130,67 m dengan kisaran suhu dari $28,3-17,9^{\circ}\text{C}$. Kisaran kedalaman termoklin ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Babu dan Sastry, (1976) yang menggambarkan kisaran kedalaman termoklin pada monsun Barat dengan batas atas berada di bawah kedalaman 60 m dan batas bawahnya berada antara 120-200 m dengan suhu dari $26-16^{\circ}\text{C}$. Menurut (Haditjar *et al.*, 2022) selama bulan Februari lapisan termoklin ditemukan pada kedalaman 125 m. Anomali pendangkalan *section B* disebabkan peningkatan SPL (Suhu Permukaan Laut) pada bagian Selatan laut Andaman akibat dari pengaruh angin yang bertiup ke arah barat daya dan membawa panas dari daratan ke selatan Laut Andaman (*section B*). Hal ini mengakibatkan peningkatan suhu lapisan atas air laut di area *section B*. Perbedaan suhu yang signifikan antara lapisan atas dan bawah ini juga menghambat pencampuran air sehingga menyebabkan termoklin juga menjadi lebih dangkal.

Lapisan termoklin pada monsun Peralihan I di *section A* berada pada kisaran kedalaman 13,47-130,67 m dan *section B* pada kisaran kedalaman 34,43-130,67 m, kisaran suhu di *section A* dari $29,9-17,4^{\circ}\text{C}$ & *section B* dari $29,3-17,2^{\circ}\text{C}$. Kisaran kedalaman termoklin ini mendekati dari hasil penelitian Al Ayubi *et al.*, (2013). Kenaikan batas atas termoklin ini disebabkan pengaruh kenaikan SPL dan angin permukaan yang berhembus tidak terlalu kencang serta arahnya yang tidak tetap. SPL tertinggi di Laut Andaman ditemukan pada monsun Peralihan I (Isa *et al.*, 2020).

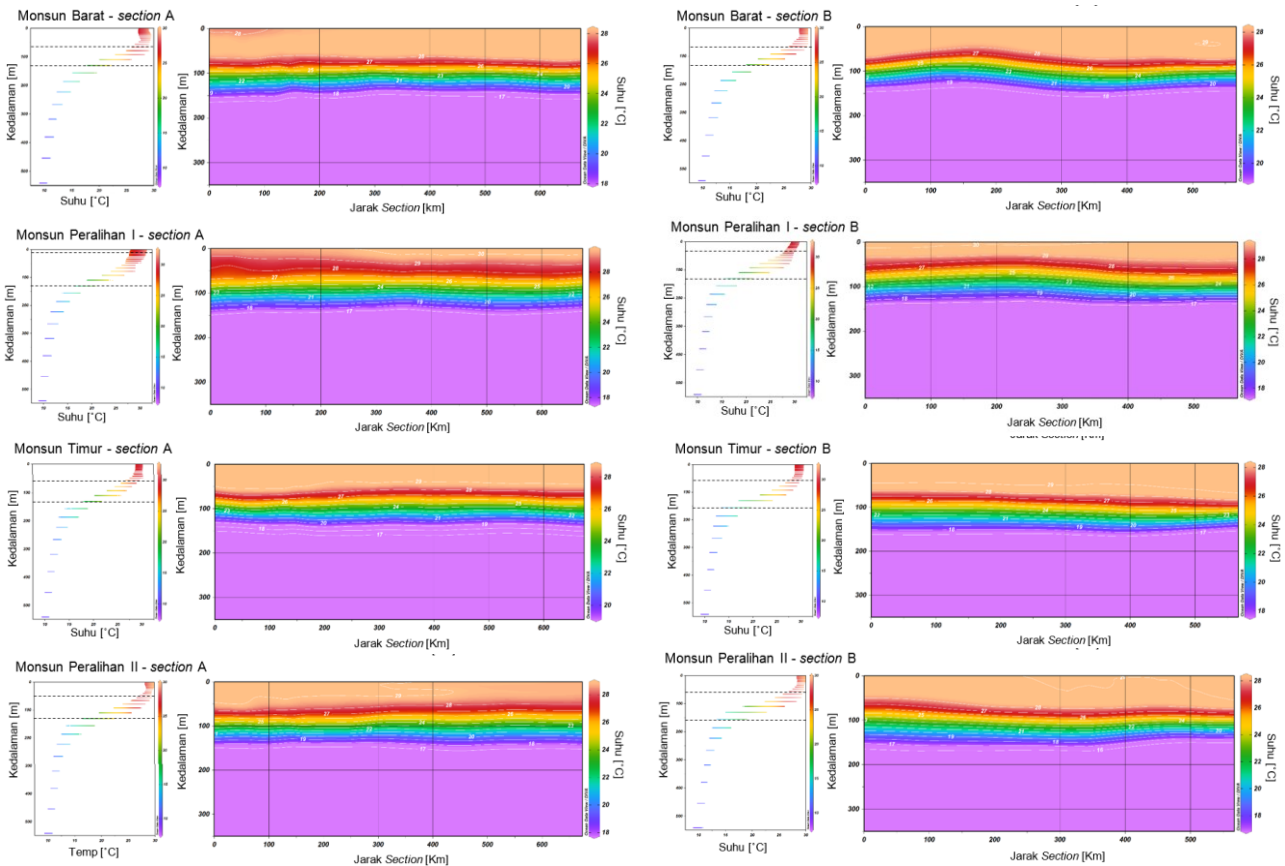
Lapisan termoklin pada monsun Timur di *section A* berada pada kisaran kedalaman 55,76-130,67 m & *section B* pada kisaran kedalaman 55,76-155,85 m, kisaran suhu di *section A* dari 28,8-19,1°C dan *section B* dari 28,3-17,6°C. Kedalaman termoklin ini sejalan dengan penelitian Lana *et al.*, (2017). Suhu termoklin menjadi lebih dingin dikarenakan adanya masukan massa air yang lebih dingin. Ketebalan termoklin juga mengalami penurunan disebabkan adanya pergeseran massa air yang bersuhu rendah dan bersalinitas tinggi dari Laut Andaman ke Selat Malaka (Ibrahim and Yanagi, 2006).

Lapisan termoklin pada monsun Peralihan II di *section A* berada pada kisaran kedalaman 47,37-130,67 m dan *section B* pada kisaran kedalaman 55,76-155,85 m, kisaran suhu di *section A* dari 28,9-17,7°C dan *section B* dari 28,4-16,8°C. Kedalaman dan suhu termoklin ini mendekati hasil penelitian Naik dan Divakar Naidu, (2019) yang menggambarkan kisaran kedalaman termoklin pada monsun Peralihan II berada di kedalaman 40-140 m dengan suhu

antara 27,8-17,8°C. Adanya sedikit perbedaan pada kedalaman batas bawah dan suhu batas atas dikarenakan posisi stasiun dan tahun pengambilan data yang berbeda.

Tabel 1 merupakan data struktur lapisan termoklin secara menyeluruh di sepanjang lintasan *section A* dan B. Dari tabel 1 ini selanjutnya digambarkan grafik perkiraan kedalaman termoklin secara menyeluruh di sepanjang *section A* dan B pada 4 monsun selama 1 tahun (Gambar 5).

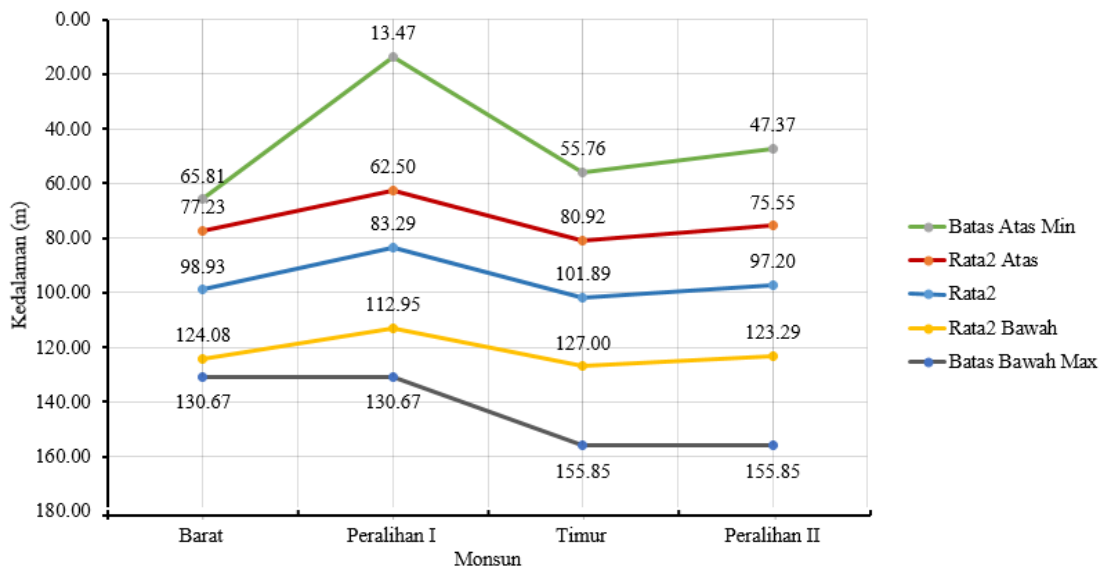
Grafik struktur lapisan termoklin pada monsun Barat memperlihatkan batas atas paling dangkal di kedalaman 65,81 m, rata-rata batas atas di kedalaman 77,23 m, rata-rata kedalaman pada 98,93 m, rata-rata batas bawah pada kedalaman 124,08 m, dan batas bawah paling dalam di kedalaman 130,67 m. Arus laut masuk dari Selat Malaka yang terbagi dua ke arah Utara Laut Andaman dan *North Equator Current* (NEC) ke arah Barat (Tomczak dan Godfrey, 2001). Kekuatan angin cenderung menurun sampai bulan Februari serta terjadi peningkatan suhu permukaan laut pada



Gambar 4. Diagram dan Profil suhu di *section A* dan B pada tiap Monsun dalam 1 tahun.

Tabel 1. Data struktur lapisan termoklin pada tiap monsun pada *section* A dan B di Laut Andaman

SECTION A & B	Termoklin		Sebaran Batas Atas		Sebaran Batas Bawah		Ketebalan Termoklin (m)	Gradien (°C/m)
	Kedalaman (m)	Suhu (°C)	Kedalaman (m)	Suhu (°C)	Kedalaman (m)	Temp (°C)		
Monsun Barat								
Rata-rata	98.93	24	77.23	26.6	124.08	20.6	46.67	0.1
Minimum	65.81	17.9	65.81	20.4	92.33	17.9	20.94	0.1
Maksimum	130.67	28.3	109.73	28.3	130.67	23.8	64.86	0.2
Monsun Peralihan I								
Rata-rata	83.29	24.3	62.50	27.2	112.95	20.3	48.88	0.1
Minimum	13.47	17.2	13.47	25.5	92.33	17.2	31.87	0.1
Maksimum	130.67	29.9	92.33	29.9	130.67	22.7	80.28	0.2
Monsun Timur								
Rata-rata	101.89	24	80.92	25.8	127.00	20.7	45.45	0.1
Minimum	55.76	17.6	55.76	24.2	109.73	17.6	17.40	0.1
Maksimum	155.85	28.8	109.73	28.8	155.85	23.2	74.90	0.2
Monsun Peralihan II								
Rata-rata	97.20	23.9	75.55	26.9	123.29	20.3	47.70	0.1
Minimum	47.37	16.8	47.37	24.8	92.33	16.8	20.94	0.1
Maksimum	155.85	28.9	109.73	28.9	155.85	23.4	64.86	0.2



Gambar 5. Struktur kedalaman lapisan termoklin di sepanjang *section* A & B pada tiap monsun dalam 1 tahun.

bagian Selatan laut Andaman sehingga menyebabkan ketebalan termoklin pada monsun Barat lebih tipis dari monsun lainnya.

Grafik struktur lapisan termoklin pada monsun Peralihan I memperlihatkan batas atas

paling dangkal di kedalaman 13,47 m, rata-rata batas atas di kedalaman 62,5 m, rata-rata kedalaman di 83,29 m, rata-rata batas bawah pada kedalaman 112,95 m, dan batas bawah paling dalam di kedalaman 130,67 m. Angin monsun

Timur Laut terjadi ke arah Barat Daya dengan arus masuk dari Selat Malaka dan terbagi dua menjadi *East Indian Current* (EIC) di bagian Utara Laut Andaman dan NEC ke arah Barat Laut Andaman. Arus Jet Ekuator terjadi pada bulan Mei dan transisi perubahan arah arus NEC dan ECC ke Barat yang menyebabkan arus masuk dari Barat Daya ke Laut Andaman (Tomczak dan Godfrey, 2001). Angin permukaan juga tidak berhembus terlalu kencang dan arahnya tidak tetap (Ayubi *et al.*, 2013). Kekuatan angin menurun sampai dengan titik terendah pada bulan April dan suhu permukaan laut meningkat drastis (Ikhwan *et al.*, 2022). Hal ini menyebabkan kenaikan batas atas termoklin menjadi paling dangkal dari monsun lainnya. Arus laut yang terjadi cenderung meningkat baik dari utara ke selatan ataupun dari Selat Malaka ke Laut Andaman, sehingga kedalaman batas bawah lapisan termoklin cenderung tertahan pada kedalaman yang sama dan menyebabkan terbentuknya ketebalan yang paling tebal dari monsun lainnya.

Grafik struktur kedalaman lapisan termoklin pada monsun Timur memperlihatkan batas atas paling dangkal di kedalaman 55,76 m, rata-rata batas atas di kedalaman 80,92 m, rata-rata kedalaman termoklin di 101,89 m, rata-rata batas bawah pada kedalaman 127 m, dan batas bawah paling dalam di kedalaman 155,85 m. Seluruh wilayah Utara didominasi oleh angin Barat Daya ke arah Timur. *Southwest Monsoon Current* (SWMC) yang cukup kuat di wilayah ekuator samudra Hindia berputar arah mendorong *Somali Current* (SC) dan *East Arabian Current* (EAC) ke arah Timur masuk ke utara Laut Andaman (Tomczak dan Godfrey, 2001). Kekuatan angin maksimum terjadi pada monsun Timur (Juni dan Agustus) dan suhu permukaan laut cenderung lebih dingin pada monsun Timur (Ikhwan *et al.*, 2022). Hal ini menyebabkan penurunan batas atas termoklin dari monsun Peralihan I. Sirkulasi arus laut yang terjadi dari Utara ke Selatan mengalami puncaknya pada musim Timur sehingga kedalaman batas bawah lapisan termoklin menjadi lebih dalam dari monsun Peralihan I.

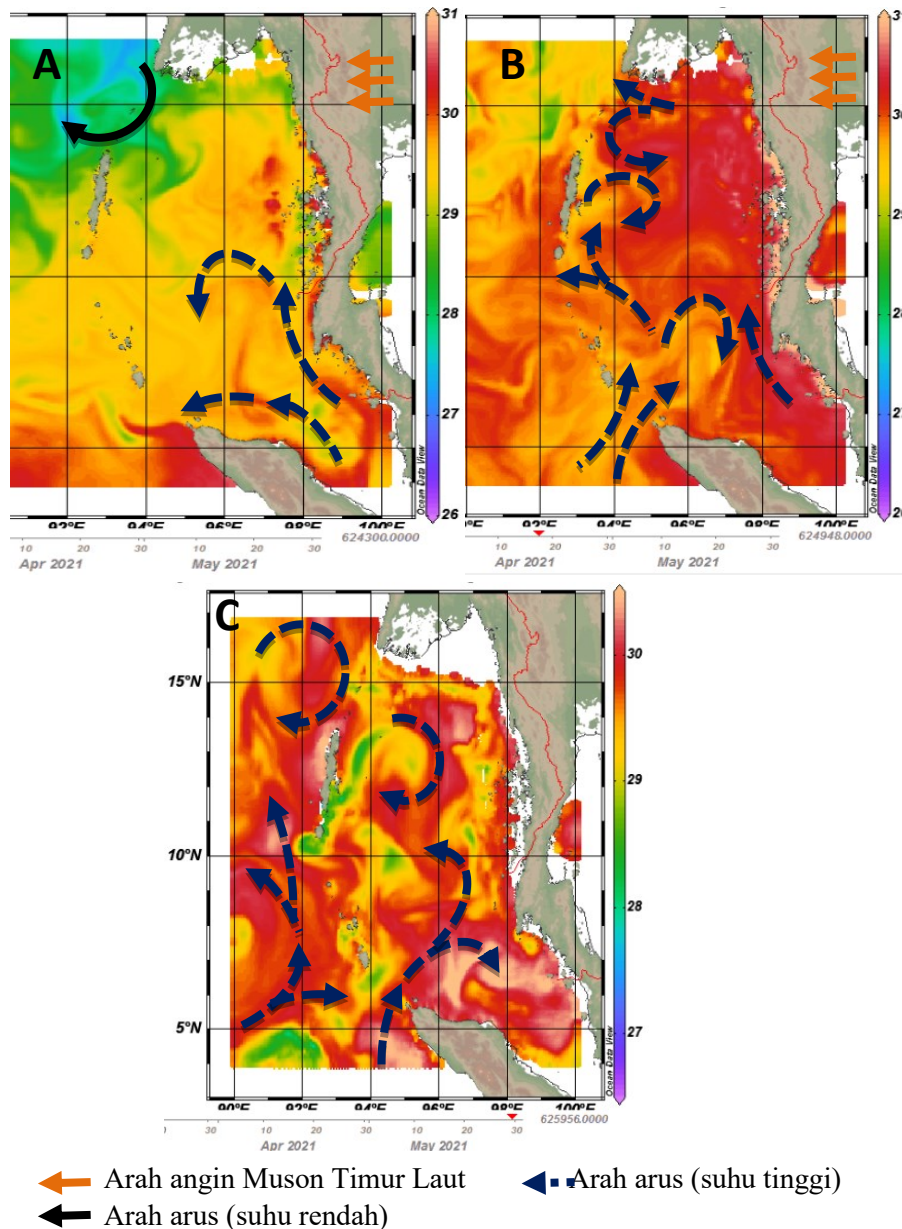
Grafik struktur kedalaman lapisan termoklin saat pada monsun Peralihan II memperlihatkan batas atas paling dangkal di kedalaman 47,37 m, rata-rata batas atas di kedalaman 75,55 m, rata-rata kedalaman termoklin di 97,2 m, rata-rata batas bawah pada

kedalaman 123,29 m, dan batas bawah paling dalam di kedalaman 155,85 m. Angin Barat Daya mulai melemah dan angin Timur Laut mulai bertiup di wilayah tersebut (Tangang *et al.*, 2011) dalam (Isa *et al.*, 2020). SWMC mulai melemah dan berubah arah yang pada akhirnya di bulan November terbentuk *East Indian Winter Jet* yang berputar berlawanan arah jarum jam di wilayah laut Andaman. Selain itu terbentuk juga *Equatorial Jet* yang bergerak ke arah Barat dan terbagi dua menjadi *East Indian Winter Jet* dan SEC (Tomczak dan Godfrey, 2001). Kekuatan angin menurun hingga bulan Oktober mengakibatkan SPL cenderung menghangat daripada SPL saat monsun Timur (Ikhwan *et al.*, 2022). Sirkulasi arus laut juga terus berlanjut serta pusaran air banyak ditemukan di Kepulauan Andaman dan Nikobar. Hal ini menyebabkan kenaikan batas atas dan kedalaman batas bawah tetap sama dengan monsun sebelumnya (monsun Timur).

Hasil penelitian Ikhwan *et al.* (2022) menyatakan kecepatan angin dan sirkulasi arus laut mempengaruhi *Mix Layer Depth* (MLD). Hal ini tentu juga berpengaruh terhadap lapisan dibawah MLD yaitu lapisan termoklin. Kecepatan angin pada bulan Desember, Januari, Februari (monsun Barat) menurun sampai bulan April (monsun Peralihan I). Intensitas angin mulai bergerak meningkat pada bulan Mei dan kecepatan angin bertambah tinggi pada bulan Juni, Juli dan Agustus (monsun Timur). Kecepatan angin pada bulan September dan Oktober kembali menurun dan meningkat kembali pada bulan November (monsun Peralihan II) dan Desember. Puncak kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Juni dan Agustus (monsun Timur) dan kecepatan angin terendah pada bulan April (monsun Peralihan I).

Skematik pergerakan arus yang membawa temperatur laut dan pergerakan angin pada lapisan termoklin di laut Andaman dan sekitarnya diperlukan untuk menganalisa penyebab anomali kenaikan batas atas termoklin di kedalaman 13,47 m dan peningkatan ketebalan termoklin menjadi 80,28 m pada monsun Peralihan I (Gambar 6).

Pergerakan arus yang membawa suhu laut yang dipengaruhi oleh arah angin dan arus di monsun Peralihan I (Tomczak dan Godfrey, 2001), dimana pada saat monsun peralihan, angin akan berhembus dengan kecepatan sedang sampai lemah (Manoppo *et al.*, 2014) dalam (Bayhaqi *et al.*, 2017). Berdasarkan hasil penelitian



Gambar 6. Skematik pergerakan arus yang membawa suhu laut dan pergerakan angin di lapisan termoklin pada Monsun Peralihan I di Laut Andaman dan sekitarnya (A. Maret; B. April; C. Mei).

Richasari and Handoko (2021) pada monsun Peralihan I kecepatan angin rata-rata sebesar 3,952 m/s dan kecepatan arusnya sebesar 0,17 m/s. Pada monsun Peralihan I (Maret-Mei) di samudera Hindia terjadi Angin Monsun Timur Laut. Angin berhembus ke arah Barat dan arus keluar dari Laut Andaman serta terbagi dua. Pertama ke EIC di bagian Utara Laut Andaman berputar searah jarum jam dan kedua ke NEC ke arah Barat dan berbelok ke Selatan bergabung dengan SEC. Pada bulan Mei terjadi *Equatorial*

Jet yang cukup kuat ke arah Timur dan membawa arus kembali ke Laut Andaman dan berlanjut ke Selat Malaka. EIC masih bergerak berputar searah jarum jam di Utara Laut Andaman.

Kenaikan batas atas termoklin pada Monsun Peralihan I salah satunya dipengaruhi oleh angin permukaan yang berhembus tidak terlalu kencang dan arahnya tidak tetap karena merupakan transisi perubahan monsun dari monsun Barat ke monsun Timur. Perubahan drastis SPL yang lebih hangat pada monsun

Peralihan I juga disebabkan oleh peningkatan radiasi gelombang pendek, peningkatan fluks panas sensibel dan laten, dan melemahnya angin permukaan serta jumlah tutupan total yang rendah. Akibatnya menyebabkan lautan menghangat dari bulan Maret dan April (Yang dan Wu, 2019) dalam (Isa *et al.*, 2020). Selain itu menurut Wisna dan Situmeang, (2020) perubahan drastis SPL yang lebih hangat pada monsun Peralihan I disebabkan oleh pengaruh monsun yang dominan menggerakkan angin menuju ke Selatan dan Tenggara. Peningkatan ketebalan termoklin juga terjadi akibat masuknya *Equatorial Jet* yang membawa arus lebih hangat dan EIC yang berputar tetap searah jarum jam di Utara Laut Andaman. Hal ini mengakibatkan penambahan volume lapisan laut Andaman dan peningkatan gradien antar lapisan karena adanya penambahan arus yang lebih hangat sehingga lapisan termoklin pada monsun ini menjadi lebih tebal.

KESIMPULAN

Struktur lapisan termoklin di Laut Andaman dalam 4 monsun mempunyai sebaran batas atas dengan kisaran kedalaman 13,47-109,73 m dan suhu antara 29,9-20,4°C. Sebaran batas bawah berada pada kedalaman antara 130,67-155,85 m dan suhu antara 23,8-16,8°C. Batas atas termoklin terdangkal ditemukan pada monsun Peralihan I dan batas bawah paling dalam ditemukan pada monsun Timur dan Peralihan II. Rata-rata batas atas pada kedalaman 62,5-80,92 m dan rata-rata suhu antara 27,2-26,6°C. Rata-rata batas bawah antara 112,95-127 m dan rata-rata suhu antara 20,7-20,3°C. Struktur lapisan termoklin di Laut Andaman berada pada rentang ketebalan termoklin dari 17,4-80,28 m dan rata-rata ketebalan lapisan termoklin sebesar 47,18 m. Ketebalan maksimum ditemukan pada monsun Peralihan I dengan ketebalan hingga 80,28 m. Gradien suhu lapisan termoklin berkisar antara 0,1-0,2°C/m dan gradien rata-rata sebesar 0,14°C/m. Karakteristik struktur lapisan termoklin di laut Andaman dipengaruhi oleh SPL, angin, dan sirkulasi arus laut. Peningkatan ketebalan termoklin pada monsun Peralihan I terjadi disebabkan penurunan kecepatan angin yang mengakibatkan kenaikan SPL secara drastis sehingga mengakibatkan kenaikan batas atas lapisan termoklin dan masuknya *Equatorial Jet* yang membawa arus lebih hangat dan EIC yang

berputar tetap searah jarum jam di Utara Laut Andaman sehingga mengakibatkan penambahan volume dan peningkatan gradien antar lapisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Ayubi, M.A., Surbakti, H. & Mbay, L.O.N., 2013. Identifikasi Massa Air Di Perairan Timur Laut Samudera Hindia. *Maspari Journal*, 5(2):119-133.
- Babu, V.R. & Sastry, J.S., 1976. Hydrography of the Andaman Sea During Late Winter. *Indian Journal of Marine Sciences*, 5:179–189.
- Bayhaqi, A., Iskandar, M.R. & Surinati, D., 2017. Pola Arus Permukaan dan Kondisi Fisika Perairan di Sekitar Pulau Selayar pada Musim Peralihan 1 dan Musim Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2: 83–95.
- Boston, N.E.J. 1966. Objective definition of the thermocline. Texas: College Station.
- Gebregiorgis, D., Hathorne, E.C., Sijinkumar, A. V., Nagender Nath, B., Nürnberg, D. & Frank, M., 2016. South Asian summer monsoon variability during the last ~54 kyrs inferred from surface water salinity and river runoff proxies. *Quaternary Science Reviews*, 138: 6–15. doi: 10.1016/J.QUASCIREV.2016.02.012.
- Haditjar, Y., Putri, M.R., Ismail, N., Muchlisin, Z.A., Ikhwan, M., Ramli, M., Sugianto Sugianto, R., Wafdan, M.A. & Rizal, S., 2022. The Effect Of Monsoon On The Bay Of Bengal Based On A Hydrodynamic Model. *Journal of Engineering Science and Technology*, 17(2): 936–955.
- Ibrahim, Z.Z. & Yanagi, T., 2006. The Influence of the Andaman Sea and the South China Sea on Water Mass in the Malacca Strait. *La mer*, 44: 33–42.
- Ikhwan, M., Haditjar, Y., Wafdan, R., Ramli, M., Muchlisin, Z.A. & Rizal, S., 2022. Seasonal variability of mixed layer depth in the Andaman Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12):12437–12446.
- Irmasyithah, N., Haditjar, Y., Ikhwan, M., Wafdan, R., Setiawan, I. & Rizal, S., 2019. Thermocline studies using CMEMS data in the Andaman Sea during October 2017. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1): p.12064. doi: 10.1088/1755-1315/348/1/012 064.

- Isa, N.S., Akhir, M.F., Khalil, I., Kok, P.H. & Roseli, N.H., 2020. Seasonal characteristics of the sea surface temperature and sea surface currents of the Strait of Malacca and Andaman sea. *Journal of Sustainability Science and Management*, 15(4): 66–77. doi: 10.46754/jssm.2020.06.007.
- Kusmedy, B., Hutajulu, J., Husen, E.S., Santoso, H., Prayitno, H., Mualim, R., Hermawan, M., Kusumo, T.E., Nugraha, E. & Oktavildy, A., 2020. Study of tunas (*Thunnus* spp.) swimming layer using tuna longliner in the Northern Indian Ocean, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 13(6): 3482–3492.
- Lana, A.B., Kurniawati, N., Purba, N.P. & Syamsuddin, M.L., 2017. Thermocline Layers Depth and Thickness in Indonesian Waters when Southeast Monsoon. *Omni-Akuatika*, 13(2):65-72. doi: 10.20884/1.oa.2017.13.2.70.
- Liu, S., Shi, X., Wong, K.T., Chen, M. Te, Ye, W., Zhang, H., Cao, P., Li, J., Li, X., Khokiattiwong, S. & Kornkanitnan, N., 2022. Synchronous millennial surface-stratified events with AMOC and tropical dynamic changes in the northeastern Indian Ocean over the past 42 ka. *Quaternary Science Reviews*, 284: p.107495. doi: 10.1016/J.quascirev.2022.107495.
- Liu, S., Ye, W., Chen, M. Te, Pan, H.J., Cao, P., Zhang, H., Khokiattiwong, S., Kornkanitnan, N. & Shi, X., 2021. Millennial-scale variability of Indian summer monsoon during the last 42 kyr: Evidence based on foraminiferal Mg/Ca and oxygen isotope records from the central Bay of Bengal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 562: p.110112. doi: 10.1016/j.palaeo.2020.110112.
- Liu, S., Ye, W., Zhang, H., Cao, P., Li, J., Li, X., Khokiattiwong, S., Kornkanitnan, N. & Shi, X., 2023. Variability of thermocline temperature in the Bay of Bengal and its response to solar insolation and Indian monsoon over the last 15 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 610: p.111361. doi: 10.1016/j.palaeo.2022.111361.
- Manoppo, A.K.S., Budhiman, S. & Hasyim, B., 2014. Ekstraksi informasi Keterlindungan Perairan dari Data Penginderaan Jauh untuk Kesesuaian Budidaya Rumput Laut di Pulau Lombok. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*. pp.598–609.
- Naik, S.S. & Divakar Naidu, P., 2019. Coupling of thermocline depth and strength of the Indian, summer Monsoon during deglaciation. *Journal of Earth System Science*, 128(4): 1–6. doi: 10.1007/s12040-019-1132-7.
- Panjaitan, F.A.P., Wulandari, S.Y., Handoyo, G. & Harsono, G., 2021. Identifikasi dan Stratifikasi Massa Air di Laut Sulawesi. *Indonesia Journal of Oceanography*, 03:99–108.
- Richasari, D.S. & Handoko, E.Y., 2021. Analisis Pemodelan Arus Geostropik di Perairan Indonesia menggunakan Data Satelit Altimetri. *Geoid*, 16(1): p.93. doi: 10.12962/j24423998.v16i1.8564.
- Ross, D.A., 1970. Introduction to oceanography, Zappleton Century–Croft.
- Sidabutar, H.C., Rifai, A. & Indrayati, E., 2014. Kajian Lapisan Termoklin di Perairan Utara Jayapura. *Jurnal Oseanografi*, 3(2): 135–141.
- Sijinkumar, A.V, Clemens, S., Nath, B.N., Prell, W., Benschila, R. & Lengaigne, M., 2016. $\delta^{18}\text{O}$ and salinity variability from the Last Glacial Maximum to Recent in the Bay of Bengal and Andaman Sea. *Quaternary Science Reviews*, 135: 79–91.
- Siregar, S.N., Sari, L.P., Purba, N.P., Pranowo, W.S. & Syamsuddin, M.L., 2017. Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *Depik*, 6(1): 44–59. doi: 10.13170/depik.6.1.5523.
- Tangang, F.T., Xia, C., Qiao, F., Juneng, L. & Shan, F., 2011. Seasonal circulations in the Malay Peninsula Eastern continental shelf from a wave-tide-circulation coupled model. *Ocean Dynamics*, 61(9): 1317–1328. doi: 10.1007/s10236-011-0432-5.
- Tomczak, M. & Godfrey, J.S., 2001. Regional Oceanography: an Introduction. Pdf versio ed. New York: Online by M. Tomczak and J.S. Godfrey.
- Wisha, U.J. & Situmeang, E.T., 2020. Karakteristik Arus di Perairan Pulau Weh Pada Musim Peralihan 1 dan Kaitannya dengan Fluktuasi Suhu Permukaan Laut. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2): 166–176. doi: 10.14710/buloma.v9i2.29543.
- Yang, Y. & Wu, R., 2019. Seasonal variation of precipitation over the Indochina Peninsula and its impact on the South China Sea spring

warming. *International Journal of Climatology*, 39(3):1618–1633. doi: 10.1002/joc.5904.

Yuliarinda, R.E., Muslim and Atmodjo, W., 2012.

Studi Struktur Lapisan Termoklin Di Perairan Selat Makassar. *Journal Of Oceanography*, 1(1): 33–39.