

## Thermal Front Persisten di Perairan Selat Malaka

(*Surface Thermal Front Persistence in Malacca Strait*)

Annisa Aulia Lukman<sup>\*1</sup>, Ayi Tarya<sup>2</sup>, dan Widodo Setiyo Pranowo<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, 40132

<sup>2</sup>Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, 40132

<sup>3</sup>Pusat Riset Kelautan, Badan Riset & Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan & Perikanan Republik Indonesia, Jl. Pasir Putih II, Ancol Timur, Jakarta, 14430, Indonesia

<sup>4</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Jl. Pasir Putih II, Ancol Timur, Jakarta, 14430, Indonesia.

\*Corresponding author: [22420012@mahasiswa.itb.ac.id](mailto:22420012@mahasiswa.itb.ac.id)

### Abstract

The Malacca strait is an essential seaway for international sea traffic and a provider of biological and non-biological resources. This strait has dynamic conditions resulting from the interaction between the Indian Ocean in the north and the Pacific Ocean in the south. The characteristic of the thermal front is the strait dynamics that have not been studied comprehensively. This research aims to map and identify the spatial and temporal pattern of the thermal front in Malacca Strait. The data used are sea surface temperature of AquaMODIS level 3 satellite images and bathymetry data of Malacca Strait, Ocean Nino Index (ONI), and Dipole Mode Index (DMI). The sea surface temperature data were processed from 2010 to 2020 using the Single Edge Image Detection (SIED) method. This research denotes the thermal front phenomenon found with several variations in each season. The highest (lowest) number of thermal fronts was discovered in the east season (first transitional season). The total number of thermal fronts each year happened to be maximum in 2015 and minimum in 2019. Annual variability (ENSO and IOD) impacts the number of thermal front events, but the observation period has to be explicitly adjusted in the analysis needed. Persistent thermal fronts in the Malacca Strait occurred in 1-5 repetitions at the exact location. Thermal fronts are commonly found in the northern region of the strait and areas with significant depth changes.

*Keywords:* Malacca Strait, sea surface temperature, thermal front.

### Abstrak

Selat Malaka terkenal sebagai perairan penting dalam lalu lintas laut internasional serta penyedia sumber daya hayati dan non hayati. Perairan ini juga memiliki kondisi yang dinamis sebagai hasil interaksi antara Samudera Hindia di bagian utara serta Samudera Pasifik di bagian selatan selat. Dinamika perairan yang belum dikaji secara komprehensif di perairan ini adalah karakteristik thermal front. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah memetakan secara spasial dan temporal kejadian *thermal front* di perairan Selat Malaka serta menganalisis karakteristik dari *thermal front* yang dipetakan tersebut. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data suhu permukaan laut citra satelit AquaMODIS level 3, data batimetri Selat Malaka, serta data Ocean Nino Index (ONI) dan Dipole Mode Index (DMI). Metode Single Edge Image Detection (SIED) digunakan untuk mengolah data suhu permukaan laut pada periode pengamatan tahun 2010 hingga 2020. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa di perairan Selat Malaka dapat ditemukan *thermal front* dengan jumlah variatif setiap musim. Jumlah *thermal front* tertinggi ditemukan pada musim timur dan terendah pada musim peralihan 1. Jumlah total *thermal front* setiap tahun ditemukan maksimum pada tahun 2015 dan minimum pada tahun 2019. Variabilitas annual (ENSO dan IOD) memberikan dampak terhadap jumlah kejadian *thermal front*, namun untuk kebutuhan analisis perlu disesuaikan terhadap periode pengamatan dari variabilitas tersebut. *Thermal front* persisten di Selat Malaka dapat terjadi pada rentang 1-5 kali pengulangan pada lokasi yang sama. Lokasi *thermal front* persisten lebih sering terjadi di wilayah utara selat dan/atau pada wilayah dengan perubahan kedalaman yang signifikan.

*Kata kunci:* Selat Malaka, suhu permukaan laut, *thermal front*.

## PENDAHULUAN

Suhu air laut menjadi salah satu parameter penting dalam bidang oseanografi yang digunakan dalam mempelajari dinamika di lautan. Beberapa pemanfaatan pengkajian suhu air laut adalah investigasi konsentrasi pigmen klorofil-a, fenomena eddy, pergerakan massa air, perubahan iklim di laut, dan fenomena *front* (Sulistya *et al.*, 2007; Akbari *et al.*, 2017). *Front* merupakan wilayah sempit yang memisahkan wilayah luas dengan tipe stratifikasi dan/atau massa air yang berbeda. Kejadian *front* berasosiasi dengan beberapa fenomena seperti transpor garam dan transpor panas di laut, interaksi atmosfer-laut, fungsi ekosistem, pembentukan eddy, *upwelling*, intrusi massa air laut dalam ke permukaan, serta intrusi debit sungai ke lautan (Belkin dan Cornillon, 2003; Ginzburg dan Kostianoy, 2009). Menurut Puthiezath (2014), berdasarkan karakteristik properti massa airnya *front* dapat dibedakan menjadi *thermal front* (*front* akibat perbedaan suhu lautan), *salinity front* (*front* akibat perbedaan salinitas lautan), *density front* (*front* akibat perbedaan densitas lautan). Sedangkan menurut Yanagi (1987) berdasarkan tempat pembentukannya terdapat beberapa tipe dari *front* yaitu *front* di daerah pantai (*Coastal Sea Front*), *front* di paparan benua (*Continental Shelf Front*), dan *front* di lautan luas (*Open Sea Front*). *Front* dapat terjadi untuk skala waktu harian, musiman, ataupun tahunan dalam lingkup wilayah meter hingga ribuan kilometer (Belkin *et al.*, 2009).

*Thermal front* merupakan zona yang menggambarkan wilayah dengan gradien temperatur baik secara horizontal (Sholva *et al.*, 2013) ataupun vertikal (Belkin dan Cornillon, 2003). *Thermal front* terdapat pada suatu wilayah perairan dengan gradien temperatur yang rapat dengan wilayah lain disekitarnya, yaitu kisaran perbedaan 0,5°C dalam 3 km (Simbolon *et al.*, 2013). *Thermal front* tergolong sebagai zona konvergensi massa air yang kaya dengan nutrisi, konsentrasi klorofil-a, fitoplankton, serta zooplankton sehingga berperan dalam produktivitas perairan

(Valvanis *et al.*, 2005; Sholva *et al.*, 2013). Berdasarkan karakteristik ini, salah satu implementasi dari identifikasi *thermal front* di bidang oseanografi adalah penentuan zona potensial penangkapan ikan (Jatiandana dan Nurdjaman, 2020). Priede dan Miller (2009) juga memanfaatkan teknik deteksi *front* untuk melihat hubungan antara zona hidup hiu penjemur (*Cetorhinus maximus*) dan *thermal front*. Selain itu, intensitas *thermal front* dipetakan selama 10 tahun untuk dimanfaatkan sebagai proksi yang menggambarkan biodiversitas hewan pelagis. Dengan demikian peta ini menjadi salah satu petunjuk dalam merancang wilayah laut yang dilindungi (Miller, 2011).

*Thermal front* berperan sebagai salah satu pembentuk ekosistem laut, maka pemetaan *thermal front* menjadi salah satu aspek penting dalam fisika oseanografi (Belkin *et al.*, 2009). Dalam mempelajari karakteristik *thermal front* digunakan pendekatan penginderaan jauh untuk menganalisis suhu air laut dan fenomena *thermal front* tersebut (Valavanis *et al.*, 2005). Di perairan Indonesia, penelitian dengan topik sebaran spasial serta temporal dari *thermal front* telah banyak dikaji. Beberapa diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Jatisworo dan Murdimanto (2013), Hamzah *et al.* (2014), Hanintyo *et al.* (2015), Ahmad *et al.* (2019), Daulay *et al.* (2019), Jatiandana dan Nurdjaman (2019), serta Trinugroho (2019). Namun, pengkajian secara spesifik dari topik *thermal front* khususnya di perairan Selat Malaka belum pernah dilakukan.

Selat Malaka merupakan selat penting yang menghubungkan perairan Indonesia dengan Laut Andaman dan Samudra Hindia di bagian utara selat dan Laut China Selatan di bagian selatan selat (Haditiar *et al.*, 2020). Perairan ini dikenal sebagai lintas laut yang padat dan penting di dunia yang menghubungkan antara Asia Timur serta Eropa (Amiruddin *et al.*, 2011; Sakmani *et al.*, 2013). Selain sebagai alur laut yang penting, Selat Malaka juga merupakan aset bagi sumber daya hayati dan non hayati seperti gas alam, perikanan, hutan mangrove, dan terumbu karang (Sakmani *et al.*, 2013). Wilayah bagian utara Selat

Malaka tergolong sebagai perairan yang dalam serta lebar dan sangat dipengaruhi oleh dinamika dari Laut Andaman, sedangkan di wilayah bagian selatan selat ini tergolong sebagai perairan yang dangkal dengan topografi yang sempit dan dipengaruhi oleh dinamika dari Laut Cina Selatan (Siswanto dan Tanaka, 2014). Penelitian Isa *et al.* (2020) menemukan fitur *thermal front* pada wilayah antara Selat Malaka dan Laut Andaman berdasarkan perhitungan terhadap gradien horizontal suhu permukaan laut. Namun hasil penelitian ini hanya memberikan konfirmasi studi awal bahwa kemungkinan terdapat *thermal front* di perairan Selat Malaka dan tidak membahas secara spesifik fenomena tersebut. Sehingga pengkajian terkait karakteristik serta *thermal front* di wilayah Selat Malaka menarik untuk dilakukan.

Berdasarkan penjelasan yang telah dijabarkan di atas, maka hipotesis dari penelitian ini adalah diduga terdapat fenomena *thermal front* di Selat Malaka dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah memetakan secara spasial dan temporal kejadian *thermal front* di perairan Selat Malaka serta menganalisis karakteristik dari *thermal front* yang dipetakan tersebut. Untuk mendukung analisis penelitian ini maka digunakan beberapa data diantaranya data suhu permukaan laut bulanan tahun 2010-2020 dari citra satelit AquaMODIS level 3, data batimetri Selat Malaka dari Badan Informasi Geospasial (BIG), data DMI (*Dipole Mode Indeks*) dari Japan Meteorological Agency (JMA), serta data ONI (*Ocean Nino Index*) dari NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

## METODE

Selat Malaka terletak diantara semenanjung Malaysia bagian barat dan pantai timur Pulau Sumatera (Sakmani *et al.*, 2013). Letak Selat Malaka yang berbatasan dengan dua negara tersebut maka dibuat pembatasan lokasi penelitian yaitu Selat Malaka yang terletak pada Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 571 (WPPNRI 571).

Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2014, WPPNRI 571 meliputi perairan Selat Malaka dan Laut Andaman dengan batas koordinat 0° 41' 28" LU- 8° 13' 17" LU dan 94° 29' 24" BT - 103° 25' 19" BT. Batas koordinat dari WPPNRI 571 ini yang kemudian digunakan sebagai batas geografis dari penelitian.

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengolahan data citra satelit suhu permukaan laut (SPL), proses deteksi *thermal front* dengan metode SIED (*Single Image Edge Detection*), pengolahan data ONI (*Ocean Nino Indeks*) serta data DMI (*Dipole Mode Indeks*), dan pengolahan data batimetri. Data citra suhu permukaan laut AquaMODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) level 3 diperoleh dari NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Pengolahan data SPL ini menggunakan metode yang telah digunakan oleh Trinugroho *et al.* (2019). Data SPL yang telah diperoleh lalu dibuka pada perangkat lunak Seadass versi 7.3.1. untuk dilakukan pemotongan atau *cropping* serta reproyeksi citra sesuai dengan wilayah penelitian. Setelah direproyeksi dan dipotong, citra SPL hasil pengolahan kemudian disimpan dalam format *.GeoTIFF* agar dapat diolah menggunakan metode SIED.

Citra SPL hasil pengolahan dari perangkat lunak Seadass kemudian diolah menggunakan metode SIED (*Single Image Edge Detection*). *Tools* yang digunakan untuk metode SIED adalah MGET *Tools* atau *Marine Geospatial Ecology Tools*. Tahap pertama untuk mendeteksi *thermal front* adalah mengkonversi nilai SPL bulanan menjadi bilangan bulat (*integer*). Selanjutnya pada modul *Find Cayula-Cornillon Fronts* di *Tool* MGET dilakukan proses deteksi *front* dengan memasukkan nilai batas ambang suhu atau *threshold*. Nilai batas ambang suhu yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,5°C yang artinya *front* dapat dideteksi dengan melihat perbedaan suhu sebesar 0,5°C pada nilai piksel yang bersebelahan (Trinugroho *et al.*, 2019).

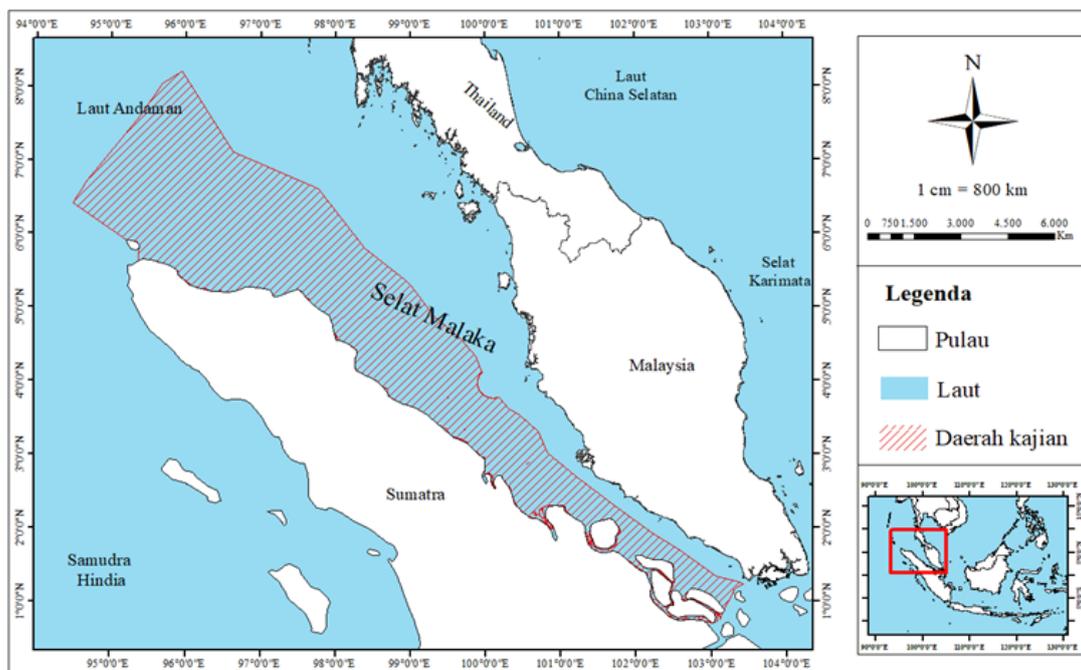
Menurut Siswanto dan Tanaka (2014), perairan Selat Malaka dipengaruhi oleh fenomena anomali iklim skala besar yaitu *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Adanya pengaruh variabilitas antartahunan di Selat Malaka ini tidak terlepas dari posisi selat yang dipengaruhi oleh Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Pengaruh dari kedua fenomena tersebut dapat diidentifikasi berdasarkan nilai anomali suhu permukaan laut melalui nilai ONI yang menggambarkan fenomena ENSO serta nilai DMI yang menggambarkan fenomena IOD. Data ONI dan DMI terlebih dahulu diklasifikasikan untuk mengetahui fase dari ENSO dan IOD.

Untuk data ONI *threshold* yang digunakan  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  selama 5 bulan berturut-turut

([https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5)). Hal ini berarti kejadian diklasifikasikan sebagai fase panas ENSO (*El-Niño*) jika anomali suhu permukaan laut (nilai ONI)  $> +0,5^{\circ}\text{C}$  selama 5 bulan berturut-turut dan jika data ONI sebaliknya maka diklasifikasikan sebagai fase dingin ENSO (*La-Niña*). Sedangkan jika nilai ONI berada pada rentang *threshold* maka diklasifikasikan

sebagai kondisi normal. Untuk data DMI *threshold* yang digunakan  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$  selama 3 bulan berturut-turut (<https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/iodevents.html>). Dengan maksud bahwa kejadian diklasifikasikan sebagai IOD positif jika anomali suhu permukaan laut (nilai DMI)  $> +0,4^{\circ}\text{C}$  selama 3 bulan berturut-turut, jika data DMI sebaliknya maka diklasifikasikan sebagai IOD negatif, dan jika nilai DMI berada pada rentang *threshold* maka diklasifikasikan sebagai kondisi netral. Klasifikasi data DMI dan ONI digunakan dalam menganalisis pengaruh ENSO dan IOD terhadap intensitas *thermal front* di perairan Selat Malaka.

Pengolahan data batimetri Selat Malaka yang diperoleh dari BIG diawali dengan mengunduh data terlebih dahulu. Pengolahan data batimetri dilanjutkan dengan mengklasifikasikan kedalaman perairan berdasarkan data yang tersedia. Hasil pengolahan dan klasifikasi kedalaman data batimetri ini lalu ditampilkan dengan data *thermal front* untuk mempertajam analisis pengaruh kedalaman perairan terhadap kejadian *thermal front* di perairan Selat Malaka.



Gambar 1. Peta Lokasi penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Suhu Permukaan Laut (SPL)

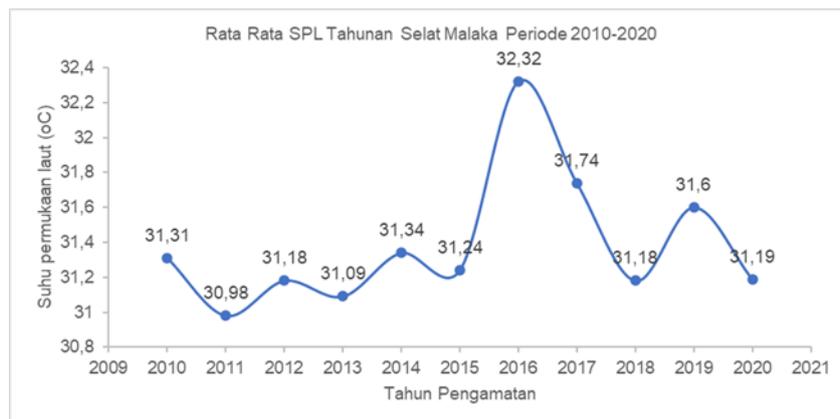
Berdasarkan perhitungan terhadap rata-rata SPL bulanan di Selat Malaka, maka diperoleh hasil bahwa musim barat memiliki rentang suhu 29,58°C – 31,75°C dengan rata-rata SPL selama 11 tahun pengamatan adalah 30,48°C, musim peralihan 1 berada pada rentang 30,80°C – 34,30°C dengan rata-rata 32,18°C, musim timur memiliki rentang suhu 30,50°C – 32,84°C dengan rata-rata 31,83°C, serta musim peralihan 2 memiliki rentang suhu 30°C – 31,70°C dengan rata-rata 31,02°C. Rata-rata SPL terendah ditemukan pada musim barat tahun 2014 sebesar 29,58°C dan tertinggi pada musim peralihan 1 ditahun 2016 sebesar 34,3°C. Sedangkan jika melihat rata-rata SPL tahunan, maka pada tahun 2011 Selat Malaka memiliki SPL paling rendah dalam 11 tahun pengamatan yaitu sebesar 30,98°C dan SPL paling tinggi terjadi pada tahun 2016 dengan rata-rata 32,32°C.

Jika meninjau perbandingan antar musim, maka musim barat selalu memiliki rata-rata SPL yang lebih rendah jika dibandingkan dengan musim lainnya disetiap tahun pengamatan. Dengan karakteristik SPL di Selat Malaka dalam 11 tahun pengamatan yaitu memiliki SPL yang rendah di musim barat (30,48°C) kemudian SPL mulai memanas di musim peralihan 1

(32,18°C) dan musim timur (31,83°C) serta mulai mendingin di musim peralihan 2 (31,02°C). Hal ini diduga disebabkan oleh besarnya pengaruh monsun di Selat Malaka utamanya monsun timur laut atau musim barat dan monsun barat daya atau musim timur. Menurut Isa *et al.* (2020), pada monsun timur laut yang terjadi pada bulan Desember, bulan Januari, dan bulan Februari terdapat aliran massa udara yang dingin serta kering dari timur laut menuju ke barat daya dan menyebabkan besarnya evaporasi di Selat Malaka. Kondisi ini menghasilkan tutupan awan mendung yang tebal serta tingginya curah hujan yang kemudian menghasilkan SPL yang rendah. Sedangkan pada monsun barat daya hal sebaliknya terjadi. Monsun yang ditemukan pada bulan Juni, bulan Juli, bulan Agustus ini cenderung lebih hangat dan kering akibat melemahnya aliran massa udara dari barat daya menuju timur laut. Kondisi yang demikian menyebabkan SPL pada monsun ini lebih hangat jika dibandingkan dengan monsun timur laut. Pada monsun barat daya terdapat transpor massa air di laut dalam yang dingin serta bersalinitas tinggi dari Laut Andaman menuju Laut Cina Selatan. Transpor ini juga diduga menyebabkan pada musim peralihan 2 SPL di Selat Malaka mulai mendingin setelah teridentifikasi lebih panas di dua musim sebelumnya yaitu musim peralihan 1 dan musim timur.

Tabel 1. Sebaran SPL rata-rata Selat Malaka tahun 2010-2020

Tahun pengamatan	M. Barat (°C)	M. Peralihan 1 (°C)	M. Timur (°C)	M. Peralihan 2 (°C)
2010	30,47	31,86	31,48	31,46
2011	30,00	30,80	31,42	31,70
2012	30,51	31,63	32,05	30,53
2013	30,51	32,46	30,50	30,89
2014	29,58	32,20	32,29	31,28
2015	30,44	31,43	32,76	30,34
2016	31,75	34,30	32,01	31,21
2017	30,78	31,88	32,84	31,47
2018	30,16	31,23	31,70	31,63
2019	31,02	33,14	32,24	30,00
2020	30,12	33,08	30,86	30,69



Gambar 2. Grafik Rata-rata SPL Tahunan Selat Malaka Periode 2010-2020

### Thermal Front di Selat Malaka

Hasil pengolahan data SPL dengan metode SIED adalah sebaran spasial dan temporal serta statistik dari *thermal front* di Selat Malaka. Data statistik pada perairan ini menunjukkan sebaran jumlah total kejadian *thermal front* yang terjadi pada musim peralihan lebih kecil dibandingkan dengan musim utama pada periode 2010-2020. Musim timur memiliki jumlah kejadian total tertinggi yaitu ditemukan 1480 *thermal front* dalam rentang waktu 11 tahun pengamatan. Pada musim barat jumlah total dari kejadian *thermal front* adalah 930, musim peralihan 1 dan musim peralihan 2 ditemukan masing-masing 431 dan 839 *thermal front*. Jumlah *thermal front* terbanyak adalah 265 kejadian yang terjadi pada musim timur tahun 2013 dengan jumlah minimum adalah 0 kejadian atau pada musim tersebut tidak terjadi *thermal front* sama sekali. Kondisi ini terjadi pada beberapa musim dan tahun yaitu pada musim timur tahun 2010, musim peralihan 1 tahun 2011 dan 2012, serta musim peralihan 2 tahun 2019.

Sepanjang tahun pengamatan musim timur selalu memiliki jumlah *thermal front* terbanyak sejak tahun 2013, sedangkan jumlah *thermal front* terbanyak di musim barat terjadi pada tahun 2011-2012, jumlah *thermal front* terbanyak di tahun 2010 terjadi pada musim peralihan 1, dan musim peralihan 2 tidak pernah memiliki jumlah *thermal front* terbanyak dalam setiap tahun sepanjang periode pengamatan penelitian ini. Untuk jumlah kejadian *thermal front* minimum didominasi pada musim peralihan

1 yaitu sepanjang periode 2011-2015 serta tahun 2020. Sedangkan jumlah minimum *thermal front* pada musim barat, musim timur, dan musim peralihan 2 masing-masing ditemukan pada tahun 2016 dan 2018, 2010, serta 2017 dan 2019.

Berdasarkan hasil pengolahan dari setiap musim ditemukan bahwa kondisi perairan dengan rata-rata SPL terlalu tinggi justru tidak mendukung terjadinya *thermal front*. Hal ini terlihat dari komparasi antara jumlah total *thermal front* saat musim peralihan 1 sebesar 431 kejadian dengan rata-rata SPL selama 11 tahun 32,18°C. Jumlah *thermal front* saat musim peralihan 1 ini merupakan jumlah terkecil jika dibandingkan musim lainnya, sedangkan rata-rata SPL tersebut merupakan rata-rata terbesar dibandingkan dengan musim lainnya. Selisih jumlah *thermal front* saat musim peralihan 1 ini dengan musim lainnya juga besar (1049 kejadian dengan musim timur, 499 kejadian dengan musim barat, dan 408 kejadian dengan musim peralihan 2). Adanya penurunan SPL rata-rata di musim timur menjadi 31,83°C mendukung terbentuknya *thermal front* maksimum sebesar 1480 kejadian.

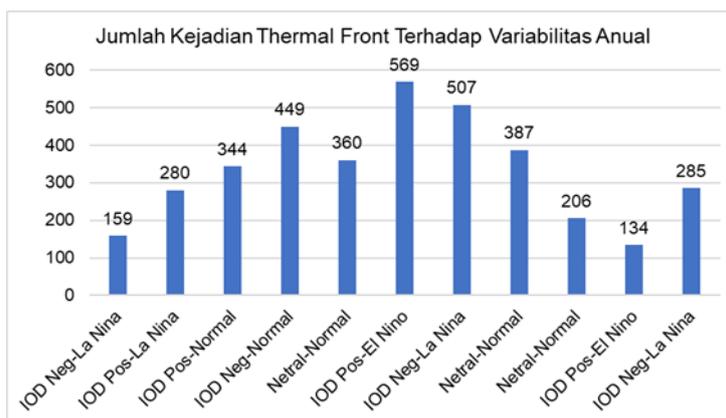
Pengaruh perubahan SPL menjadi lebih dingin terhadap terbentuknya *thermal front* yang lebih banyak ini juga berlaku untuk musim peralihan 2 dan musim barat dimana masing-masing terdapat 839 kejadian dengan SPL rata-rata 31,02°C serta 930 kejadian dengan SPL rata-rata 30,48°C. Menurut Siswanto dan Tanaka (2014), pada monsun barat daya yang terjadi pada bulan Mei hingga bulan

Agustus massa air di Selat Malaka dipengaruhi oleh Laut Andaman sedangkan pada monsun timur laut yang terjadi pada bulan November hingga bulan Februari massa air di selat ini dipengaruhi oleh intrusi massa air dari Laut China Selatan. Melemahnya sirkulasi massa udara saat musim timur yang kemudian mampu mendorong massa air yang lebih

dingin dari utara Selat Malaka diduga menjadi penyebab besarnya pembentukan *thermal front* pada musim ini. Pertemuan antara SPL yang dingin dari utara selat atau dari Laut Andaman dengan SPL dari selatan selat yang lebih hangat saat musim peralihan 1 diduga menjadi kondisi yang ideal dalam proses pembentukan *thermal front* di Selat Malaka.

Tabel 2. Data Statistik Thermal Front di Selat Malaka

TAHUN PENGA MATAN	M. BARAT	M. PERALIHAN 1	M. TIMUR	M. PERALIHAN 2	JUMLA H/TAHU N	VARIABILITAS ANNUAL	
						IOD	ENSO
2010	45	67	0	47	159	IOD Negatif	La Nina
2011	106	0	91	83	280	IOD Positif	La Nina
2012	204	0	38	102	344	IOD Positif	Normal
2013	58	5	265	121	449	IOD Negatif	Normal
2014	76	48	145	91	360	Netral	Normal
2015	182	62	197	128	569	IOD Positif	El Nino
2016	35	155	223	94	507	IOD Negatif	La Nina
2017	103	62	174	48	387	Netral	Normal
2018	5	23	140	38	206	Netral	Normal
2019	64	4	66	0	134	IOD Positif	El Nino
2020	52	5	141	87	285	IOD Negatif	La Nina



Gambar 3. Jumlah Kejadian Thermal Front Terhadap Variabilitas Anual

Gambar 3 menampilkan korelasi antara jumlah *thermal front* tahunan di Selat Malaka dengan variabilitas anual yaitu ENSO dan IOD. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan teridentifikasi bahwa ENSO dan IOD berpengaruh terhadap jumlah *thermal front* yang terjadi

setiap tahun. Terjadinya fenomena ENSO dan IOD cenderung meningkatkan kemungkinan terbentuknya *thermal front* jika dibandingkan dengan tanpa adanya pengaruh dari fenomena ini atau saat kondisi normal serta netral. Hal ini sesuai dengan pernyataan oleh Jatiandana dan

Nurdjaman (2020) bahwa adanya *El-Niño*-IOD Positif menghasilkan kejadian *thermal front* terbanyak di perairan Indonesia dibanding kondisi lainnya. Ahmad *et al.* (2019) juga menyatakan bahwa adanya fenomena *El-Niño* menyebabkan jumlah *thermal front* yang terbentuk lebih banyak jika dibandingkan dengan kondisi normal. Meskipun hasil penelitian ini didukung oleh kedua penelitian sebelumnya, penelitian ini juga hendak menunjukkan bahwa respon kejadian *thermal front* terhadap ENSO dan IOD bervariasi terhadap tahun-tahun terjadinya fenomena annual tersebut. Seperti kejadian *thermal front* pada kondisi netral-normal, IOD positif-*El-Niño*, serta IOD negatif-*La-Niña*, masing-masing tahun 2014-2015-2016 memiliki respon kejadian *thermal front* yang relatif berbeda jika dibandingkan dengan tahun 2018-2019-2020. Bahkan di tahun 2019 kondisi IOD positif-*El-Niño* terbentuk *thermal front* yang lebih sedikit jika dibandingkan kondisi netral-normal di tahun 2018, hal yang berbeda jika dibandingkan tahun 2014-2015. Terbentuknya *thermal front* yang signifikan di tahun 2015 (jika dibandingkan dengan kondisi yang sama tahun 2019) diduga akibat respon SPL terhadap kejadian super *El-Niño* atau kejadian *El-Niño* yang lebih ekstrem dibanding *El-Niño* biasa. Super *El-Niño* ini ditemukan hanya pada tahun-tahun tertentu, yaitu pada tahun 1982/1983, 1997/1998, serta tahun 2015/2016 (Chen *et al.*, 2017). Sehingga meskipun dapat ditarik asumsi bahwa adanya variabilitas annual mempengaruhi jumlah kejadian *thermal front* yang terbentuk, namun perlu difokuskan lagi tahun-tahun pengamatan dari fenomena *thermal front* ini.

### **Thermal Front Persisten di Selat Malaka**

Kalkulasi terhadap setiap piksel kejadian *thermal front* di Selat Malaka menghasilkan jumlah kemungkinan piksel yang sama mengalami *thermal front* secara berulang selama tahun 2010-2020. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan untuk setiap musim, kemungkinan piksel mengalami 1-5 kali kejadian dalam rentang waktu pengamatan. Dengan maksud bahwa jika hasil perhitungan menunjukkan

angka 1 maka piksel tersebut hanya mengalami 1 kali kejadian *thermal front* selama tahun 2010-2020, demikian seterusnya. Terdapat 4 piksel yang mengalami kejadian *thermal front* terbanyak yaitu 5 kali kejadian atau pada 4 piksel ini selama tahun 2010-2020 merupakan tempat terjadinya *thermal front* sebanyak 5 kali. Keempat piksel ini ditemukan pada musim timur atau musim dengan jumlah ditemukannya *thermal front* terbanyak di Selat Malaka. Pada musim barat dan musim peralihan 2 masing-masing ditemukan hingga 4 kali kejadian *thermal front*, sedangkan pada musim peralihan 1 maksimum ditemukan hanya 2 kali kejadian *thermal front* yang berulang.

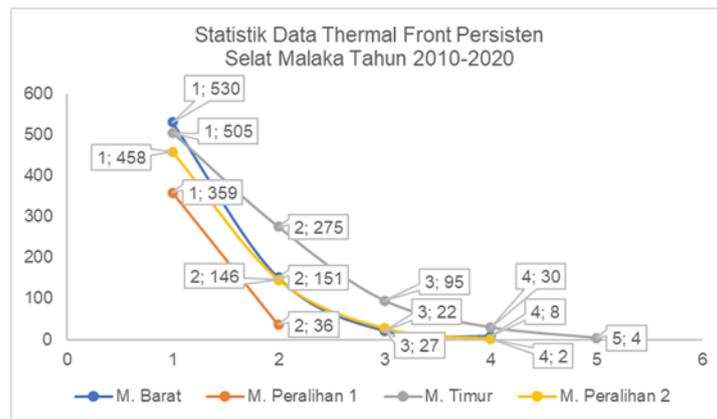
Sebaran spasial dari penjumlahan setiap piksel tempat terjadinya *thermal front* disajikan dalam gambar 5. Berdasarkan gambar ini diketahui bahwa wilayah utara Selat Malaka lebih dominan menjadi tempat terbentuknya *thermal front* dibandingkan wilayah selatan selat. Kondisi ini terjadi pada piksel yang menggambarkan 1 hingga 5 kali kejadian. Meskipun demikian, pada musim barat dan musim timur terjadi ekspansi pembentukan *thermal front* hingga ke bagian tengah dan selatan selat. Berbeda pada musim peralihan 1 dengan sebaran *thermal front* yang terbentuk hanya sampai bagian tengah selat dan musim peralihan 2 hanya pada bagian utara selat.

Kondisi sebaran spasial tempat terjadinya *thermal front* kemudian di komparasikan dengan kedalaman perairan atau batimetri Selat Malaka. Berdasarkan hasil pengolahan data batimetri yang dilakukan teridentifikasi bahwa Selat Malaka merupakan selat dengan batimetri yang beragam. Pada bagian selatan, selat ini cenderung dangkal (87 m – 0 m), bagian tengah selat memiliki kedalaman yang berkisar antara 169 m – 939 m, sedangkan pada bagian utara selat ini lebih dalam yaitu 1000 m – 2000 m bahkan lebih. Hal ini juga sesuai dengan pendapat Rizal *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa kedalaman Selat Malaka berada pada kisaran 30 m di bagian selatan hingga lebih dari 1000 m di bagian utara selat yang merupakan batas paparan (*shelf edge*). Perubahan kedalaman yang signifikan antara bagian selatan, tengah,

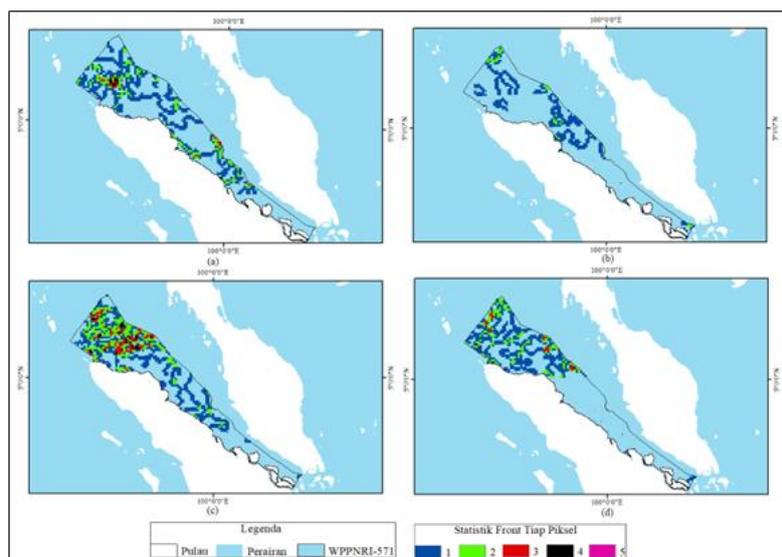
dan utara selat ini ternyata juga membentuk korelasi dengan lokasi ditemukannya *thermal front*. Seperti yang telah dipaparkan bahwa *thermal front* lebih banyak terbentuk di bagian utara selat, meskipun pada beberapa kejadian juga terbentuk juga pada bagian tengah dan selatan selat namun sebarannya tidak sebanyak yang terbentuk pada bagian utara.

Untuk mempertajam analisis kemudian dilakukan tumpang antara *thermal front* yang terjadi secara berulang (1-5 kali kejadian) selama periode pengamatan dengan data batimetri perairan Selat Malaka. Lokasi *thermal front* yang berulang ini kemudian disebut sebagai *thermal front* persisten. *Thermal front* persisten yang ditampilkan adalah yang terjadi selama 2-4 kali kejadian. Hasil yang

diperoleh bahwa pada 2 kali kejadian untuk musim peralihan 1, musim timur, dan musim peralihan 2 sebaran *thermal front* persisten terkonsentrasi pada wilayah utara selat. Sedangkan pada musim barat masih terdapat ekspansi kejadian *thermal front* persisten hingga ke tengah selat. Apabila *thermal front* persisten yang ditampilkan direduksi hanya pada 3-4 kejadian maka *thermal front* ini didominasi ditemukan pada wilayah utara selat atau lokasi dengan perubahan kedalaman yang signifikan. *Thermal front* persisten pada Selat Malaka khususnya pada 2-4 kali kejadian mendukung penelitian yang dilakukan oleh Mohanty *et al.* (2017), bahwa *thermal front* lebih cenderung terlihat atau terbentuk berulang pada wilayah dengan perubahan kedalaman (*shelf break*).



Gambar 4. Statistik Data Thermal Front Persisten di Selat Malaka



Gambar 5. Sebaran Spasial Thermal Front Persisten di Selat Malaka Tahun 2010-2020 pada (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa sepanjang tahun 2010-2020 di perairan Selat Malaka dapat ditemukan *thermal front* dengan jumlah variatif setiap musim. Jumlah *thermal front* tertinggi ditemukan pada musim timur dan terendah dimusim peralihan 1. Jumlah total *thermal front* setiap tahun ditemukan maksimum pada tahun 2015 dan minimum pada tahun 2019. Variabilitas annual (ENSO dan IOD) memberikan dampak terhadap jumlah kejadian *thermal front*, namun untuk analisis perlu disesuaikan terhadap periode pengamatan dari variabilitas tersebut. *Thermal front* persisten di Selat Malaka dapat terjadi 1-5 kali pengulangan pada lokasi yang sama. Lokasi *thermal front* persisten lebih sering terjadi di wilayah utara selat dan/atau pada wilayah dengan perubahan kedalaman yang signifikan (*shelf break*).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Korea-Indonesia MTCRC Scholarship atas pendanaan selama penelitian dilakukan. Serta ucapan terima kasih juga disampaikan kepada BIG (Badan Informasi Geospasial) Republik Indonesia, NASA (The National Aeronautics and Space Administration) OCEAN COLOR, JMA (Japan Meteorological Agency), NOAA (The National Oceanic and Atmospheric Administration) atas penyediaan dan akses data yang digunakan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L., Syamsuddin, M. L., Purba, N. P., dan Sunarto. (2019). *Thermal front condition through El Nino and Indonesian throughflow phase in southern sea of East Java and Bali on the east monsoon. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 303, 1-8.
- Akbari, E., Alavipanah, S.K., Jaihouni, M., Hajeb. M., Haase, D., dan Alavipanah, S. (2017). A review of ocean/sea subsurface water temperature studies from remote sensing and non-remote sensing methods. *Water*, 9, 1-25.
- Amiruddin, A. M., Ibrahim, Z. Z., dan Ismail, S. A. (2011). Water mass characteristic in the Strait of Malacca using ocean data view. *Research Journal of Environmental Science*, 5(1), 49-58.
- BIG (Badan Informasi Geospasial) Republik Indonesia. <https://tanahair.indonesia.go.id/demn as/#/batnas>. Diakses pada: 26-27 Maret 2022.
- Belkin, I. M. dan Cornillon, P.C. (2003). SST fronts of the Pacific Coastal and marginal sead. *Physical Oceanography*, 1(2), 90-114.
- Belkin, I. M., Cornillon, P.C., Sherman, K. (2009). Front in large marine ecosystem. *Progress in Oceanography*, 81, 223-236.
- Cayula, J. dan Cornillon, P. (1992). Edge detection algorithm for SST images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 9, 67-80.
- Chen, L., Li, T., Wang, B., Wang, L. (2017). *Formation mechanism for 2015/16 super El Nino*. Nature Scientific Reports, 7, 1-10.
- Daulay, S.R., Sari, T.E.Y., Usman, U., Jhonneri, R. (2019). Karakteristik thermal front di Perairan Tropis Samudra Hindia bagian timur. *Jurnal Perikanan*, 21(1), 25-29.
- Ginzburg, A.I. dan Kostianoy, A.G. (2009). *Fronts and mixing processes*. Encyclopedia of Life Support System, 237-267.
- Haditiar, Y., Putri, M., Ismail, N., dan Muchlisin, Z. A. (2020). Numerical study of tides in Malacca Strait with a 3-D model. *Research Article Heliyon-Elsevier*, 6, 1-16.
- Hamzah, R., Prayolo, T., Harsanugraha, W. K. (2014). Identifikasi thermal front dari data satelit Terra/Aqua Modis menggunakan Single Image Edge Detection (SIED) Studi Kasus: Perairan Utara dan Selatan Pulau

- Jawa. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 552-559.
- Hanintyo, R., Hadiani, S., Mahardhika, R.M.P., Aldino, J.S., Islamy, F. (2015). Sebaran musiman kejadian thermal front berdasarkan citra Aqua-MODIS di WPP-RI 714, 715, dan 716. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 523-531.
- Isa, N. S., Akhir, M. F., Khalil, I., Kok, P. H., dan Roseli, N. H. (2020). Seasonal characteristics of the sea surface temperature and sea surface current of the Strait of Malacca and Andaman Sea. *Journal of Sustainability Science and Management*, 15(4), 66-77.
- Jatiandana, A. P. dan Nurdjaman, S. (2020). Identification of thermal front in Indonesian Waters during 2007-2017. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 618, 1-7.
- Jatisworo, D. dan A. Murdimanto. (2013). Identifikasi thermal front di Selat Makassar dan Laut Banda. Balai Penelitian dan Observasi Laut.
- Japan Meteorological Agency (JMA). [https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/index/sstindex/slicing\\_30year\\_period/DMI/3rmean](https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/index/sstindex/slicing_30year_period/DMI/3rmean). Diakses pada: April 2022.
- Miller, P.I. 2011. *Detection and visualization of oceanic fronts from satellite data, with application for fisheries, marine megafauna, and marine protected areas*. Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management, Plymouth, 229-239.
- Mohanty, P.C., Mahendra, R.S., Nayak, R.K., Kumar, N., Kumar, S.T., Dwivedi, R.M. (2017). Persistence of productive surface thermal fronts in the Northeast Arabian Sea. *Regional Studies in Marine Science*, 1-28.
- NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Sea Surface Temperature Data; NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. Diakses pada: Maret 2022.
- NOAA (The National Oceanic and Atmospheric Administration), <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>. Diakses pada: April 2022.
- Priede, I.G. dan Miller, P.I. (2009). A basking shark (*Cetorhinus maximus*) tracked by satellite together with simultaneous remote sensing II: new analysis reveals orientation to a thermal front. *Fisheries Research*, 95, 253-277.
- Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2014
- Puthezath, A. S. (2014). *Identification of thermal fronts in the Arabian Sea using MODIS-SST data*. Thesis Master of Science, Kerala University of Fisheries and Ocean Studies Panangad, 1-70.
- Rizal, S., Damm, P., Wahid, M. A., Sundermann, J., Ilhamsyah, Y., Iskandar, T., dan Muhammad. (2012). General circulation in the Malacca Strait and Andaman Sea: A numerical model study. *American Journal of Environmental Science*, 8(5), 479-488.
- Sakmani, A. A., Lam, W.H., Hashim, R., Chong, H.Y. (2013). Site selection for tidal turbine installation in the Strait of Malacca. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 590-602.
- Sholva, Y., Sitohang, B., Wikantika, K. (2013). New approach to locate upwelling and thermal front from satellite imagery data. *Procedia Technology*, 11, 317-326.
- Simbolon, D., Silvia, Wahyuningrum, P.I. (2013). The prediction of thermal front and upwelling as indicator of potential fishing ground in Mentawai water. *Journal of Marine Fisheries*, 4(1), 85-95.
- Siswanto, E. dan Tanaka, K. (2014). Phytoplankton biomass dynamics in the Straits of Malacca within the

- period of the SeaWiFS full mission: seasonal cycles, interannual variation and decadal-scale trend. *Remote Sensing*, 6, 2718-2742.
- Sulistya, W., Hartoko, A., dan Prayitno, S.B. (2007). The characteristic and variability of sea surface temperature in Java Sea. *Remote Sensing and Earth Science*, 4, 85-94.
- Trinugroho, T., Satriadi, A., dan Muslim. (2019). Sebaran thermal front musiman di wilayah perairan Selat Madura menggunakan single image edge detection. *Journal of Marine Research*, 8(4), 416-423.
- Valavanis, V. D., Katara, I., dan Palialexis, A. (2005). Marine GIS: identification of mesoscale oceanic thermal front. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(10), 1311-1147.
- Yanagi, T. (1987). Classification of "siome", streaks, and fronts. *Journal of Oceanography Society of Japan*, 45, 149-158.
- Yokobori, S. I., Watanabe, Y., and Oshima, T. (2003). Mitochondrial Genome Of *Ciona Savignyi* (Urochordata, Ascidiacea, Enterogona): Comparison Of Gene Arrangement And Trna Genes With *Halocynthia Roretzi* Mitochondrial Genome. *Journal Of Molecular Evolution*, 57(5). 574-587.