

Variabilitas Thermal Front dan Keterkaitan dengan Klorofil-a di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 711

Rendy Zandika¹, Dwi Haryo Ismunarti^{1*}, Kunarso¹, Rahaden Bagas Hatmaja²,
M. Albab Al Ayubi³

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang Semarang, Jawa Tengah 50265 Indonesia

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Pajajaran, Cicendo, Bandung Jawa Barat 40135 Indonesia

³Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung
Jl. Pulau Bangka, Air Itam, Pangkal Pinang, Kepulauan Bangka Belitung 33684 Indonesia
Email: dwiharyois@gmail.com

Abstrak

Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 711 (WPPNRI 711) adalah wilayah yang memiliki potensi sumber daya kelautan yang besar yang berada pada kawasan Selat Karimata, Laut Natuna, dan Laut Natuna Utara. Penelitian mengenai variabilitas *thermal front* dan keterkaitan dengan klorofil-a di WPPNRI 711 menjadi informasi yang sangat penting untuk memberikan wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana perubahan suhu dan produktivitas biologis saling mempengaruhi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui variabilitas *thermal front* dan kaitannya dengan klorofil-a di WPPNRI 711. Penelitian ini menggunakan data SPL, klorofil-a, angin, curah hujan dari website marine.copernicus.eu. Data diolah menggunakan MATLAB sehingga menghasilkan data, peta, dan grafik dari SPL, *thermal front*, klorofil-a, curah hujan dan angin dan dianalisis dengan mengkaitkan dengan penelitian sebelumnya menggunakan metode kuantitatif sehingga mendapatkan hasil yang obyektif. Hasil penelitian menunjukkan area *thermal front* di WPPNRI 711 mencapai nilai tertinggi pada musim barat dengan luas sebesar 386.263 km² dan area *thermal front* mencapai nilai terendah pada musim timur dengan luas sebesar 264.058 km². Keterkaitan klorofil-a dengan *thermal front* menunjukkan konsentrasi klorofil-a pada daerah *thermal front* di Pesisir Pulau Sumatera dan Laut Natuna lebih tinggi dengan rata-rata berturut-turut sebesar 3,49 mg/m³ dan 0,16 mg/m³ dibandingkan dengan rata-rata klorofil-a di keseluruhan area Pesisir Pulau Sumatera dan Laut Natuna dengan rata-rata berturut-turut sebesar 2,68 mg/m³ dan 0,14 mg/m³.

Kata kunci : Klorofil-a, WPPNRI 711, *Thermal front*

Abstract

Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 711 (WPPNRI 711) is a region with significant potential for marine resources located in the Karimata Strait, Natuna Sea, and North Natuna Sea. Research on the variability of thermal fronts and their connection with chlorophyll-a in WPPNRI 711 can provide additional information and deeper insights into how temperature changes and biological productivity mutually influence each other. The aim of this research is to understand the variability of thermal fronts and their correlation with chlorophyll-a in WPPNRI 711. The study utilizes secondary data on Sea Surface Temperature (SPL), chlorophyll-a, wind, and rainfall. The data is processed using MATLAB to generate SPL, thermal front, chlorophyll-a, rainfall, and wind data, as well as maps and graphs. The analysis is conducted by associating the results with previous research using quantitative methods to obtain objective findings. The research findings indicate that the thermal front area in WPPNRI 711 reaches its highest value during the west monsoon season, covering an area of 386,263 km², while the thermal front area reaches its lowest value during the east monsoon season, covering an area of 264,058 km². The correlation between chlorophyll-a and thermal fronts shows that chlorophyll-a concentration in the thermal front areas in the Coastal areas of Sumatra Island and Natuna Sea is higher, with average values of 3.49 mg/m³ and 0.16

mg/m³ respectively, compared to the overall average chlorophyll-a in the Coastal areas of Sumatra Island and Natuna Sea, with average values of 2.68 mg/m³ and 0.14 mg/m³ respectively.

Keywords: *Chlorophyll-a, WPPNRI 711, Thermal front*

PENDAHULUAN

Sebagian besar wilayah Indonesia terdiri dari lautan. Mengelola panjangnya garis pesisir dan laut yang sangat luas menjadi tantangan yang besar dan membutuhkan waktu serta usaha yang besar untuk mengidentifikasi potensinya. Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 711 (WPPNRI 711) adalah wilayah yang memiliki potensi sumber daya kelautan yang besar yang berada pada kawasan Selat Karimata, Laut Natuna, dan Laut Natuna Utara. Data mengenai luas perairan, kawasan konservasi, serta produksi perikanan sangat penting dalam upaya pengelolaan yang berkelanjutan. Data produksi perikanan tangkap di WPPNRI 711 menurut data statistik Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) tahun 2019 total potensi sebesar 805.233 ton. Data ini menunjukkan pentingnya wilayah ini sebagai sumber daya kelautan yang kaya. Hal ini menegaskan kebutuhan untuk pengelolaan yang berkelanjutan, mengingat kapasitas eksploitasi yang besar terhadap sumber daya perikanan di wilayah tersebut

Tantangan pengelolaan sumber daya kelautan semakin mendesak dengan perubahan iklim global. Penting untuk menjelajahi dan memahami perubahan terbaru dalam konteks suhu permukaan laut (SPL) dan *thermal front*. SPL adalah indikator utama perubahan suhu di lautan, sementara *thermal front* merupakan wilayah di mana dua massa air yang berbeda suhu bertemu. Kemunculan *thermal front* mempengaruhi produktivitas plankton dan ekosistem laut secara keseluruhan. *Thermal front* menciptakan zona transisi yang kaya nutrisi sehingga memiliki dampak besar pada produktivitas plankton dan ekosistem laut secara keseluruhan. *Thermal front* memiliki kontribusi signifikan terhadap lingkungan laut salah satunya terhadap fitoplankton. Fitoplankton merupakan mikroorganisme fotosintetik yang menghasilkan senyawa klorofil-a menjadi indikator utama produktivitas biologis di ekosistem laut (Angraeni *et al.*, 2014).

Data klorofil-a dari teknologi satelit digunakan untuk memantau pola dinamika lautan, distribusi fitoplankton, dan perubahan ekosistem

laut secara menyeluruh (Lusiana, 2021). Oleh karena itu, pemahaman tentang *Thermal front* menjadi esensial dalam menginterpretasi perubahan produktivitas biologis di ekosistem laut. Penelitian terdahulu mengenai *thermal front* dan klorofil-a telah dilakukan pada perairan Seram, namun belum menjelaskan keterkaitan antara *thermal front* dan klorofil-a (Mustaqim *et al.*, 2015)

Tujuan penelitian untuk mengetahui variabilitas *thermal front* dan kaitannya dengan klorofil-a di WPPNRI 711. Penelitian ini bisa dijadikan sumber ilmu yang komprehensif mengenai keterkaitan antara *thermal front* dan klorofil-a serta dapat menjadi referensi dalam penentuan *fishing ground* (Suhadha dan Asriningrum, 2020).

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data SPL, *thermal front*, klorofil-a, angin dan curah hujan yang didapatkan dari Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS) dengan alamat website marine.copernicus.eu. Data *thermal front* didapatkan dari data SPL yang telah dilakukan pengolahan dengan persamaan *sst gradient*. Data penelitian selama 5 tahun dari tahun 2018 hingga tahun 2022.

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode kuantitatif yaitu metode pengumpulan data dalam bentuk numerik dan hasil berupa gambar, tabel, grafik, atau representasi numerik lainnya (Sugiyono, 2009). Pendekatan ini bersifat sistematis dan dilakukan dengan maksud untuk mengkaji keterkaitan antar variabel.

Dalam penelitian ini, data SPL, *thermal front*, klorofil-a, *masking* klorofil-a pada daerah *thermal front*, curah hujan dan angin telah diolah menjadi data numerik, grafik, serta pola sebaran spasial dan temporal. Data tersebut digunakan untuk memahami hubungan antara variabel di Perairan WPPNRI 711 sehingga kesimpulan dapat diambil dari hasil analisis yang dilakukan.

Penelitian ini dilakukan pada wilayah WPPNRI 711 yang terletak diantara 6°LU - 4°LS dan 102°BT - 112°BT sebagai salah satu wilayah yang terdampak dari fenomena Indian Ocean

Dipole (Habibullah *et al.*, 2023). Data penelitian dari 1 Januari 2018 hingga 31 Desember 2022 dengan mempertimbangkan waktu terjadinya Indian Indian Ocean Dipole. Wilayah WPPNRI 711 dibagi menjadi 2 area yang ditunjukkan pada Tabel 1. Lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 1

Pengolahan Data

Data SPL, klorofil-a, curah hujan, dan angin diolah menggunakan *software MATLAB* dan *software Microsoft Excel* pada area lokasi penelitian. Data *Thermal front* didapatkan dari data SPL melalui persamaan 1:

$$\nabla SST = \frac{\partial SST}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial SST}{\partial y} \mathbf{j} \quad (1)$$

Keterangan:

- ∇SST = SST Gradient ;
- $\frac{\partial SST}{\partial x}$ = perubahan SST sepanjang sumbu x;
- $\frac{\partial SST}{\partial y}$ = perubahan SST sepanjang sumbu y;
- \mathbf{i} = vektor satuan dalam arah bujur (sumbu x);
- \mathbf{j} = vektor satuan dalam arah lintang (sumbu y)

Nilai perbedaan SPL yang digunakan untuk menentukan *threshold thermal front* di WPPNRI 711 adalah 0,5°C (Caluya dan Cornillon, 1992). Nilai *sst gradient* dengan nilai dibawah 0,5°C diabaikan dalam data melalui persamaan 2 dan 3:

$$TF(x, y) = |\nabla SST| \times 100 > 0.5 \quad (2)$$

$$TF(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial SST}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial SST}{\partial y}\right)^2} \times 100 > 0.5 \quad (3)$$

Keterangan:

- $TF(x, y)$ = Thermal front;
- $\frac{\partial SST}{\partial x}$ = perubahan SST sepanjang sumbu x;
- $\frac{\partial SST}{\partial y}$ = perubahan SST sepanjang sumbu y;
- > 0.5 = *threshold thermal front*

Data klorofil-a dilakukan *masking* dengan *thermal front*. *Masking* klorofil-a dan *thermal front* dilakukan untuk memisahkan dan mengidentifikasi klorofil-a hanya terdapat di daerah *thermal front* saja. *Masking* klorofil-a pada daerah *thermal front* dilakukan dengan mengolah data *thermal front* terlebih dahulu dengan mengganti nilai elemen *thermal front* menjadi nilai 1 dengan syarat tidak mengganti nilai NaN. Kemudian, kedua parameter dilakukan *masking* dengan persamaan 4:

$$CHL_{Masking}(x, y, t) = CHL_{certainty}(x, y, t) \times TF(x, y, t) \quad (4)$$

Keterangan:

- $CHL_{Masking}(x, y, t)$ = nilai klorofil-a bulanan pada daerah *thermal front*;
- $CHL_{certainty}(x, y, t)$ = nilai klorofil-a yang telah disesuaikan tingkat akurasi;
- $TF(x, y, t)$ = *thermal front*

Data klimatologi SPL, *thermal front*, klorofil-a, klorofil-a pada daerah *thermal front*, curah hujan dan angin dibuat rerata komposit klimatologi melalui persamaan 5:

$$\bar{X}kb(x, y, t) = \frac{1}{mT} \sum_{t=1}^{mT} xT(x, y, t) \quad (5)$$

Keterangan:

- $\bar{X}kb(x, y, t)$ = nilai rata-rata klimatologi setiap bulan;
- $xT(x, y, t)$ = data periode ke-1 dalam posisi bujur (x), lintang(y), dan hari ke-t;
- mT = jumlah bulan pada periode data penelitian
- $t = 1$ = periode ke-1 pada bulan komposit

Data musiman SPL, *thermal front*, klorofil-a, curah hujan dan angin dibuat rerata komposit musiman melalui persamaan 6:

$$\bar{X}ms(x, y, m) = \frac{1}{nM} \sum_{m=1}^{nM} kb(x, y, m) \quad (6)$$

Keterangan:

- $\bar{X}_{ms}(x, y, m)$ = Rata-rata komposit musiman di lokasi (x, y) untuk musim tertentu (m);
- $kb(x, y, m)$ = Rata-rata komposit bulanan di lokasi (x, y) untuk musim tertentu (m);
- nM = jumlah bulan dalam satu musim;
- $m = 1$ = Periode ke-1 pada musim komposit

Analisis Data

Data SPL, *thermal front*, klorofil-a, dan angin ditampilkan secara spasial dan disajikan dalam musiman selama 5 tahun untuk mengidentifikasi persebaran parameter pada lokasi penelitian. Data klimatologi SPL, *thermal front*, klorofil-a, *masking* klorofil-a pada daerah *thermal front*, curah hujan dan angin ditampilkan secara grafik untuk analisis lokasi penelitian. *Threshold* yang digunakan untuk menentukan daerah *thermal front* adalah 0,5°C (Caluya dan Cornillon, 1992). *Masking* klorofil-a pada daerah *thermal front* diolah untuk mengidentifikasi keterkaitan klorofil-a dengan *thermal front* secara akurat. Dilakukan

perbandingan grafik antara klorofil-a pada daerah *thermal front* dengan klorofil-a pada 2 area untuk melihat pengaruh *thermal front* terhadap persebaran klorofil-a di perairan.

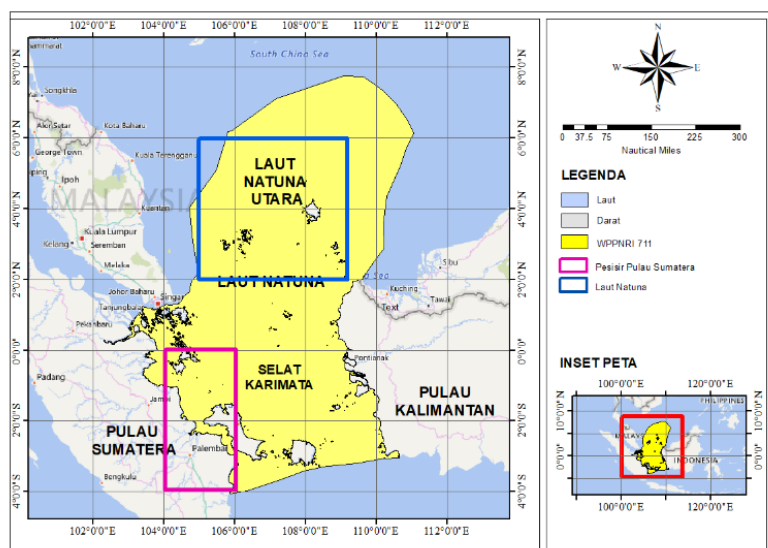
HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabilitas *Thermal front* di WPPNRI 711

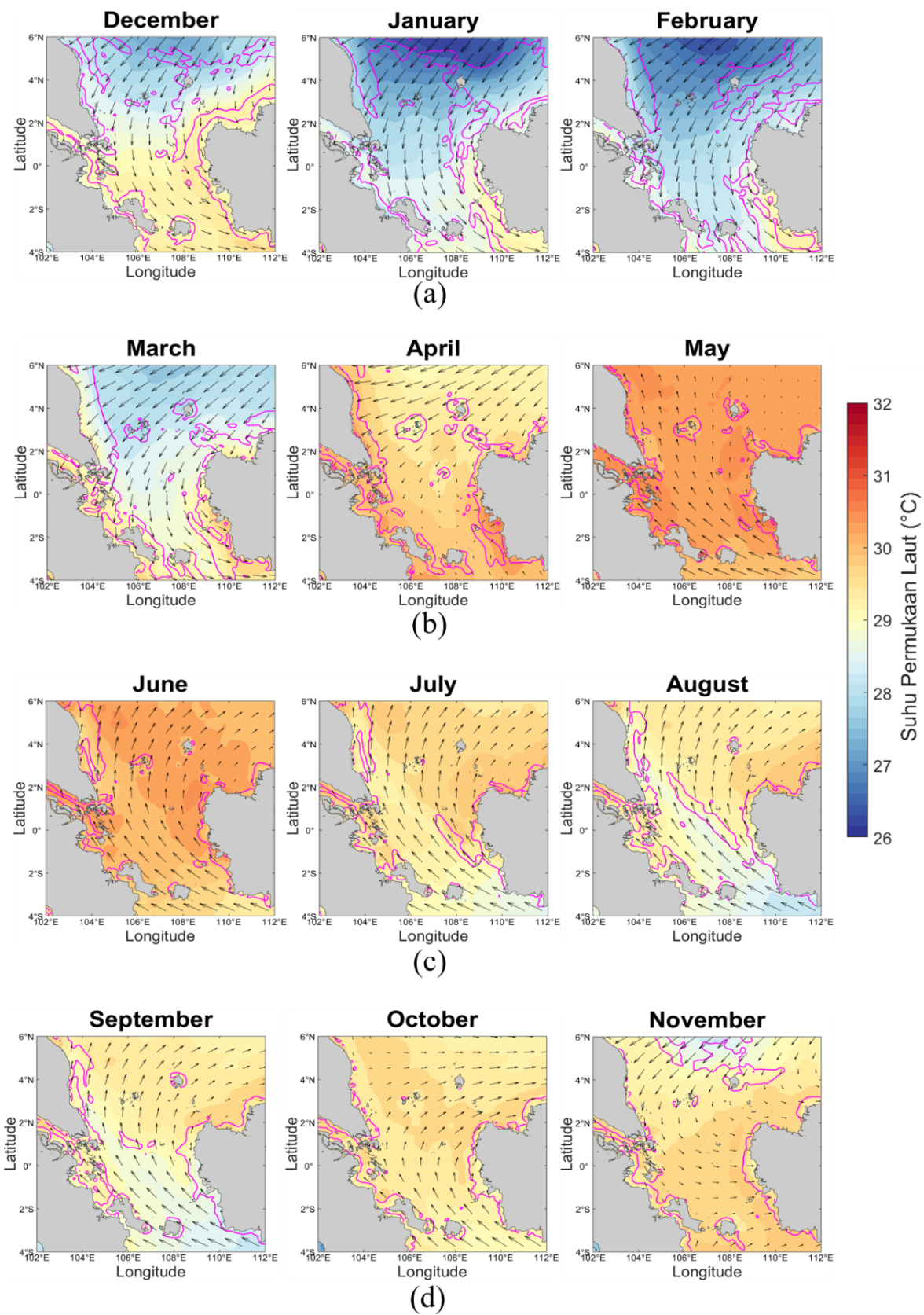
SPL terendah di WPPNRI 711 terjadi pada musim barat dengan nilai 28,31°C (Gambar 2), hasil ini sesuai dengan penelitian Putra *et al.*, (2019) tentang analisis temporal SPL di perairan Indonesia selama 32 tahun. Posisi matahari yang berada di Belahan Bumi Selatan (BBS) pada musim barat (Desember-Februari) menyebabkan suhu dingin di perairan WPPNRI 711 yang berada di atas ekuator. Kecepatan angin yang kuat dengan nilai 3,72 m/s (Gambar 4) pada saat musim barat dari arah utara menuju selatan mendukung terjadinya masukan air dingin dari Laut Natuna Utara menuju WPPNRI 711. Kecepatan angin yang tinggi juga menyebabkan pergerakan massa air dari lapisan dalam laut ke permukaan laut dan mengakibatkan penurunan SPL (Susanto dan Song, 2015). Kecepatan angin yang kuat mempengaruhi perpindahan massa air dan menciptakan perbedaan

Tabel 1. Koordinat 4 Area Penelitian di WPPNRI 711

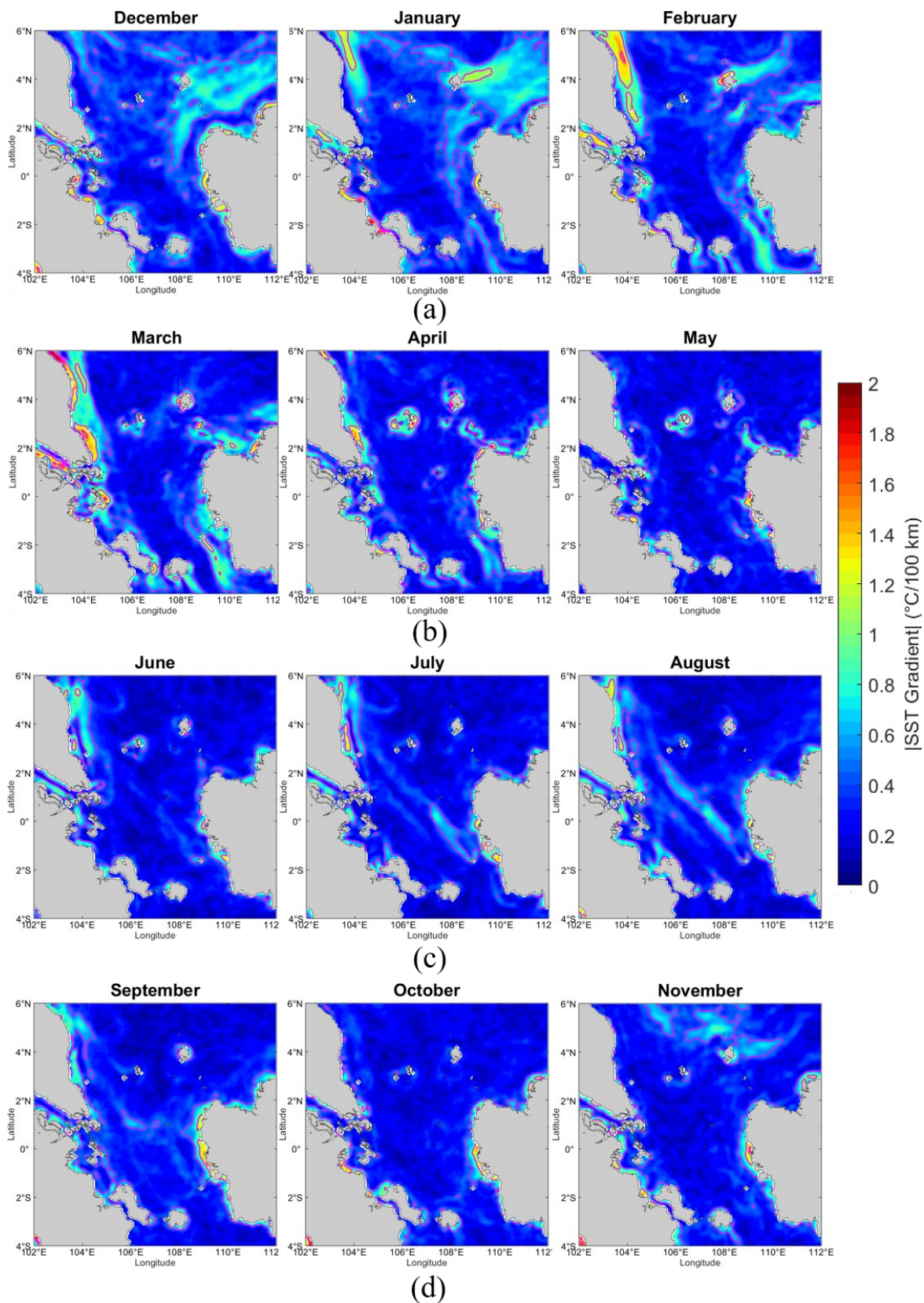
Nomor Area	Nama Area	Koordinat Area
1	Pesisir Pulau Sumatera	0°LU - 4°LS dan 104°BT - 106°BT
2	Laut Natuna	6°LU - 2°LU dan 105°BT - 109°BT



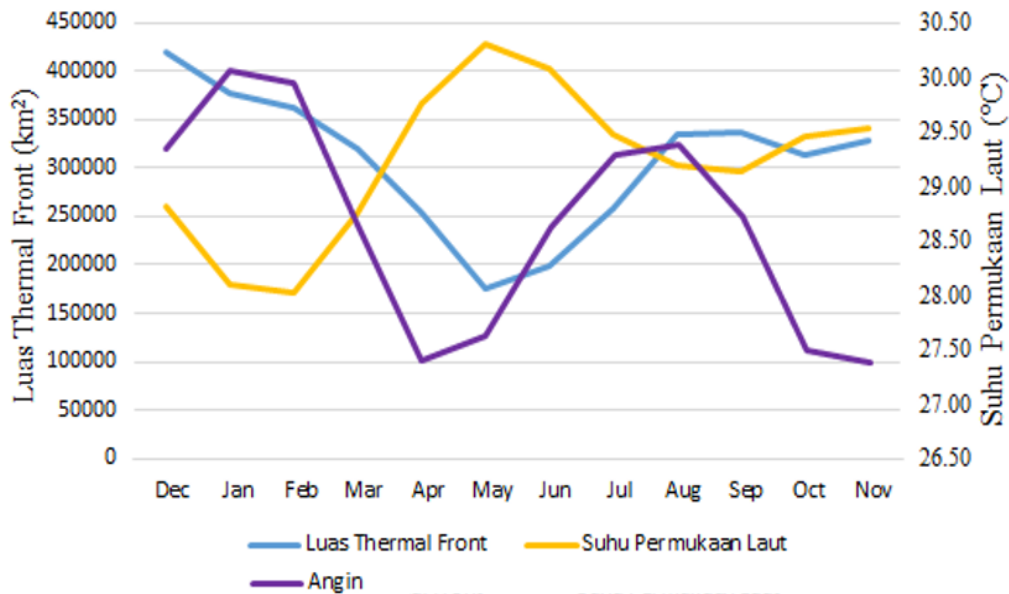
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Klimatologi SPL (warna), *thermal front* (kontur), dan angin (vektor) pada: (a) Desember-Februari, (b) Maret – Mei, (c) Juni-Agustus, (d) September – November



Gambar 3. Klimatologi *thermal front* (warna) dan *thermal front* (kontur) pada: (a) Desember-Februari, (b) Maret – Mei, (c) Juni-Agustus, (d) September – November



Gambar 4. Grafik klimatologi SPL, luas *thermal front*, dan angin

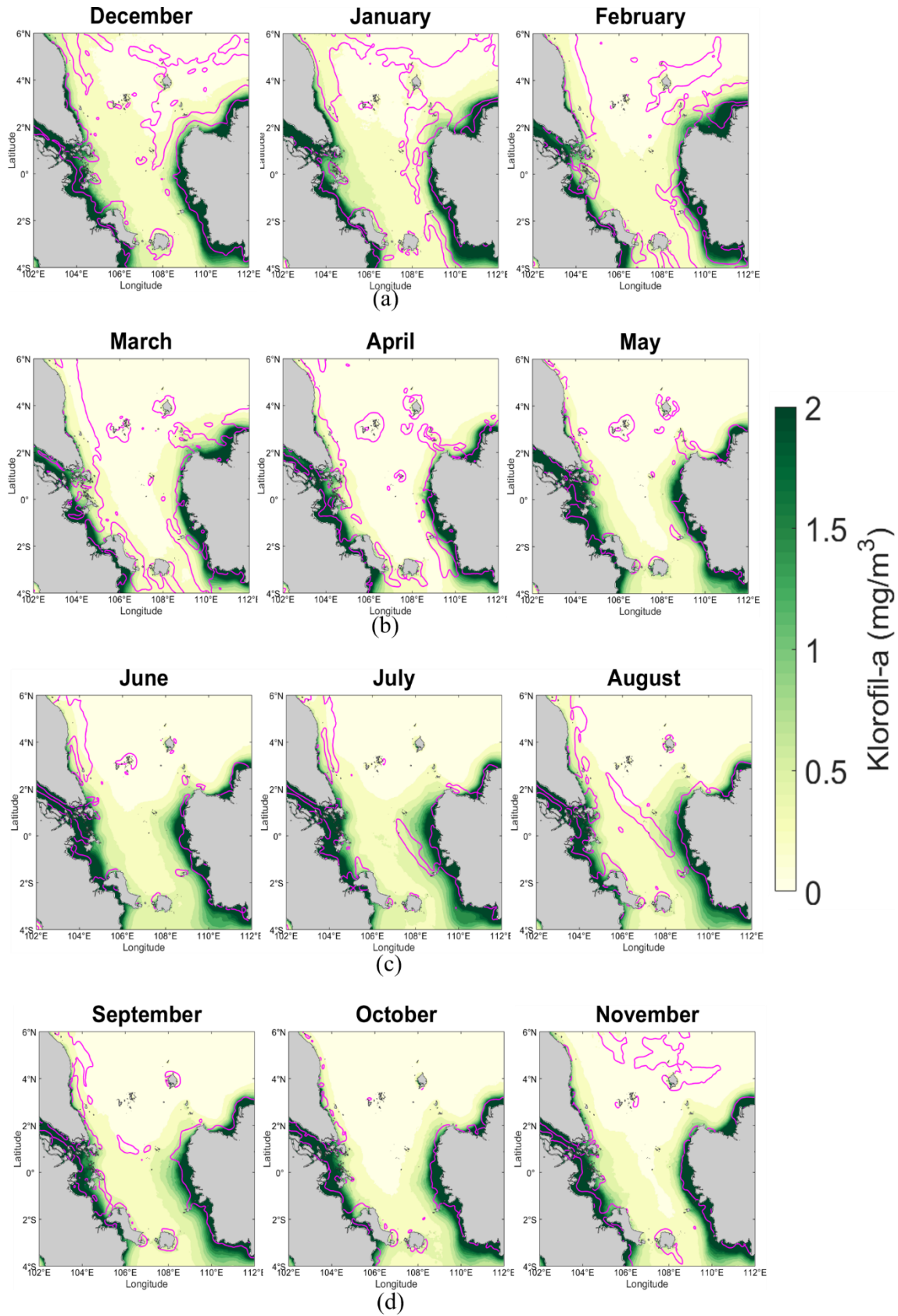
suhu dan terbentuklah *thermal front* (Daulay *et al.*, 2019). SPL yang menurun menyebabkan *thermal front* meningkat (Shi *et al.*, 2022). SPL yang rendah dan kecepatan angin yang kuat pada musim barat menyebabkan area *thermal front* mencapai nilai tertinggi pada musim barat dengan luassebesar 386.263 km². Secara umum *thermal front* ditemukan di perairan pesisir. Sinar matahari memanaskan daratan lebih cepat daripada air laut karena sifat konduktivitas panas yang berbeda. Daratan akan menjadi panas lebih awal dan lebih intensif dibandingkan dengan air laut di dekatnya. Air laut memiliki kapasitas panas yang lebih besar daripada daratan. Oleh karena itu, air laut akan lebih lambat merespon perubahan suhu dibandingkan daratan. Ini menciptakan perbedaan suhu antara daratan dan air laut di sepanjang garis pantai (Daulay *et al.*, 2019).

SPL tertinggi di WPPNRI 711 terjadi pada musim timur dengan nilai 29,58°C (Gambar 2). Posisi matahari terhadap bumi yang berada di Belahan Bumi Utara (BBU) pada musim timur (Juni-Agustus) menyebabkan perairan WPPNRI 711 yang berada di atas ekuator terjadinya peningkatan SPL. Peningkatan SPL menyebabkan kurangnya intensitas pencampuran air dingin dengan air hangat sehingga menyebabkan terjadi penurunan nilai area *thermal front* dengan luas sebesar 264.058 km² (Shi *et al.*, 2022). Kecepatan angin yang tinggi pada musim timur dengan nilai 2,94 m/s (Gambar 4) yang memicu tegangan angin

tidak cukup kuat untuk meningkatkan nilai distribusi *thermal front* karena kurang didukung oleh pencampuran massa air dingin dengan air panas yang memicu terjadinya *thermal front* (Savetri *et al.*, 2019).

Keterkaitan Antara *Thermal front* dan Klorofil-a di WPPNRI 711

Kandungan klorofil-a secara spasial dilihat pada **Gambar 5** cenderung lebih banyak di daerah pesisir. Distribusi horizontal menunjukkan secara umum konsentrasi klorofil-a lebih tinggi (>1 mg/m³) di sekitar pantai dan konsentrasi klorofil-a semakin menurun menjadi <0,5 mg/m³ ketika menjauhi pantai. Hal ini menggambarkan perbedaan nilai konsentrasi klorofil-a yang tinggi di wilayah pantai, terutama di muara sungai, yang kemudian berkurang seiring menjauh ke laut lepas (Wirasatriya, 2011). Masukan nutrisi dari sungai-sungai pada daerah pesisir dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi di wilayah pesisir dan mendukung pertumbuhan fitoplankton (Maslukah *et al.*, 2022). Nutrisi yang dibawa dari darat menuju pesisir mengandung nitrat dan fosfat (Mishbach *et al.*, 2021). Nitrat adalah unsur nutrisi yang memiliki peranan krusial dalam mendukung pertumbuhan fitoplankton dan sering kali menjadi faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton di perairan laut. Sementara itu, fosfat adalah nutrisi utama yang mendukung produksi primer di ekosistem laut (Ruttenberg, 2013).



Gambar 5. Klimatologi klorofil-a (warna) dan *thermal front* (kontur) pada : (a) Desember-Februari, (b) Maret – Mei, (c) Juni-Agustus, (d) September – November

Thermal front dapat ditemukan di perairan pesisir dan konsentrasi klorofil-a lebih tinggi di perairan pesisir. Konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi di perairan pesisir terkait dengan keberadaan nutrisi yang lebih kaya dapat berasal dari curah hujan, SPL, atau *thermal front* (Daulay *et al.*, 2019). Curah hujan yang tinggi menyebabkan terjadinya peningkatan proses *run off* dan menyebabkan konsentrasi klorofil-a di pesisir meningkat. Selain itu, hujan yang jatuh ke permukaan laut dapat menyebabkan pendinginan langsung dan menyebabkan terjadinya peningkatan intensitas *thermal front* (Daulay *et al.*, 2019). *Thermal front* memiliki peranan signifikan dalam meningkatkan produktivitas di perairan pesisir karena cenderung menggabungkan air yang sejuk dan mengandung nutrisi yang melimpah. Nutrisi yang terperangkap dalam *thermal front* didukung oleh kecepatan angin yang kuat memicu turbulensi di daerah *thermal front* sehingga menyebabkan tingkat produktivitas yang tinggi (Angraeni *et al.*, 2014).

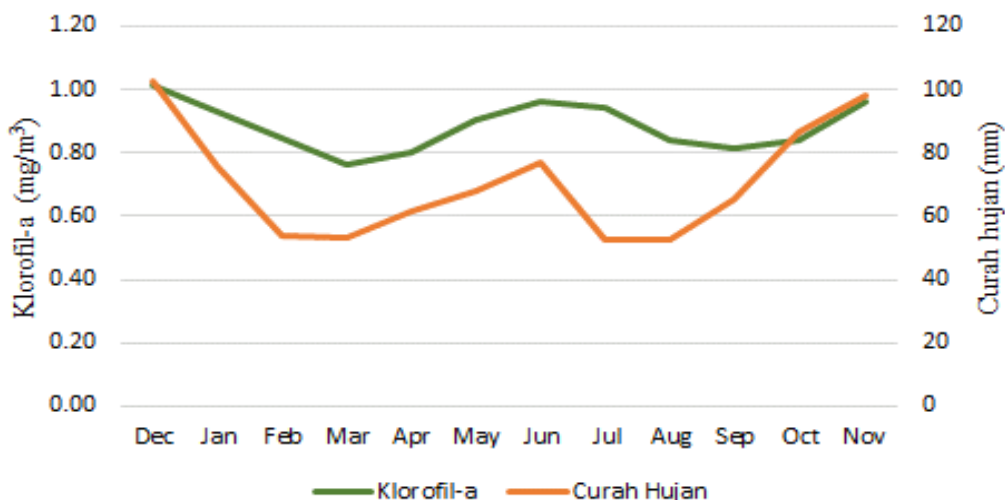
Konsentrasi klorofil-a pada daerah *thermal front* di Pesisir Pulau Sumatera yang ditunjukkan pada Tabel 1 berada pada nilai 2,10 mg/m³ hingga

5,49 mg/m³ dengan rata-rata sebesar 3,49 mg/m³, sedangkan konsentrasi klorofil-a di keseluruhan Pesisir Pulau Sumatera sebesar 1,99 mg/m³ hingga 3,53 mg/m³ dengan rata-rata sebesar 2,68 mg/m³. Rata-rata klorofil-a pada daerah *thermal front* lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata klorofil-a mengindikasikan bahwa adanya pengaruh *thermal front* terhadap klorofil-a di pesisir Pulau Sumatera.

Tingginya konsentrasi klorofil-a pada daerah *thermal front* pada musim barat dengan nilai 3,22 mg/m³ yang ditunjukkan oleh Tabel 1 disebabkan curah hujan yang tinggi dengan nilai 81 mm. Selain itu, kecepatan angin yang kuat dengan nilai 3,04 m/s memicu terjadinya turbulensi di daerah *thermal front* sehingga memicu peningkatan klorofil-a pada daerah *thermal front*. Berbeda kondisi dengan musim barat, angin musim timur menyebabkan curah hujan menurun menyebabkan berkurangnya *run off* yang masuk ke perairan Pulau Sumatera (Kunarso, 2011). Kecepatan angin yang tinggi dengan nilai 2,88 m/s menjadi faktor terjadinya turbulensi pada *thermal front* sehingga terjadi peningkatan klorofil-a pada daerah *thermal front* (Marendy, 2017).

Tabel 1. Klorofil-a, *masking* klorofil-a pada daerah *thermal front*, curah hujan, dan angin di Pesisir Pulau Sumatera

Musim	Klorofil-a (mg/m ³)	<i>Masking</i> Klorofil-a pada daerah <i>Thermal front</i> (mg/m ³)	Curah Hujan (mm)	Angin (m/s)
Barat	2,93	3,22	81	3,04
Peralihan 1	3,24	4,15	81	1,26
Timur	2,32	3,67	55	2,88
Peralihan 2	2,25	2,95	71	1,43



Gambar 6. Grafik klorofil-a dan curah hujan di WPPNRI 711

Tabel 2. Klorofil-a, masking klorofil-a pada daerah thermal front, curah hujan, dan angin di Laut Natuna

Musim	Klorofil-a (mg/m ³)	Masking Klorofil-a pada daerah <i>Thermal front</i> (mg/m ³)	Curah Hujan (mm)	Angin (m/s)
Barat	0,18	0,18	65	5,89
Peralihan 1	0,12	0,13	34	2,43
Timur	0,14	0,19	59	3,88
Peralihan 2	0,14	0,15	79	2,10

Konsentrasi klorofil-a pada daerah *thermal front* di Laut Natuna yang ditunjukkan pada Tabel 2 berada pada nilai 0,10 mg/m³ hingga 0,29 mg/m³ dengan rata-rata klimatologi sebesar 0,16 mg/m³, sedangkan klorofil-a di Laut Natuna sebesar 0,11 mg/m³ hingga 0,19 mg/m³ dengan rata-rata klimatologi sebesar 0,14 mg/m³. Hasil ini mengindikasikan nilai klorofil-a di daerah *thermal front* lebih tinggi dibandingkan klorofil-a di Laut Natuna. Laut Natuna merupakan area yang jauh dari pesisir terutama pesisir Pulau Sumatera dan pesisir Pulau Kalimantan sehingga klorofil-a cenderung dipengaruhi oleh angin yang memicu proses *mixing* dan *thermal front*. Kehadiran angin memungkinkan perairan di berbagai lokasi untuk mengikuti aliran angin. Suhu air yang berbeda di kedua sisi front dengan air yang lebih dingin (kurang berlapis) di satu sisi dan air yang lebih hangat (berlapis) di sisi lainnya menyebabkan *thermal front* dapat dikenali berdasarkan perbedaan dalam produksi biologis dan suhu (Wang *et al.*, 2012). Kecepatan angin yang tinggi pada musim barat dan musim timur menyebabkan terjadinya turbulensi di daerah *thermal front* sehingga memicu peningkatan klorofil-a pada daerah *thermal front* di area Laut Natuna (Marendy, 2017). Pencampuran air terjadi sepanjang *thermal front* ini memiliki dampak penting seperti dalam pertukaran air antara perairan pantai dan perairan terbuka dalam pengaturan pergerakan nutrisi ke kedalaman laut (Trinugroho *et al.*, 2019). Curah hujan pada Laut Natuna yang ditunjukkan pada Tabel 2 lebih rendah dibandingkan dengan curah hujan pada Pesisir Pulau Sumatera yang ditunjukkan pada Tabel 1. Lokasi Laut Natuna yang jauh dari daratan menyebabkan curah hujan tidak terlalu mempengaruhi konsentrasi klorofil-a.

KESIMPULAN

Area *thermal front* di WPPNRI 711 mencapai nilai tertinggi pada musim barat dengan luas sebesar 386.263 km² dan area *thermal front*

mencapai nilai terendah pada musim timur dengan luas sebesar 264.058 km². Keterkaitan klorofil-a dengan *thermal front* menunjukkan konsentrasi klorofil-a pada daerah *thermal front* di Pesisir Pulau Sumatera dan Laut Natuna lebih tinggi dengan rata-rata berturut-turut sebesar 3,49 mg/m³ dan 0,16 mg/m³ dibandingkan dengan rata-rata klorofil-a di keseluruhan area Pesisir Pulau Sumatera dan Laut Natuna dengan rata-rata berturut-turut sebesar 2,68 mg/m³ dan 0,14 mg/m³.

DAFTAR PUSTAKA

- Angraeni, A., Rezkyanti, N. I., Safruddin, dan Zainuddin, M. 2014. Analisis spasial dan temporal hasil tangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dan thermal front pada musim peralihan di Perairan Teluk Bone. *Jurnal IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 1(1): 20–27.
- Caluya, J., & Cornillon, P. 1992. Edge Detection Algorithm for SST Images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 9(1):67-80.
- Daulay, S.R., Sari, T.E.Y., Usman, U. & Jhonnerie, R. 2019. Characteristics of Thermal Front in the Tropical Waters of Eastern Indian Ocean. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 21(1): 25-29.
- Habibullah, A.D., Tarya, A., Ningsih, N.S., & Putri, M.R. 2023. Marine Heatwaves in the Indonesian Fisheries Management Areas. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(1): p.161.
- Kunarso. 2011. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah Upwelling pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 16(3):171-180.
- Marendy, F. 2017. Analisis Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a Menggunakan Citra Satelit Landsat Pada Musim Timur di Perairan Sekitar Muara Sungai Lumpur Kabupaten Oki

- Provinsi Sumatera Selatan. *Maspari Journal*, 9(1):33–42.
- Maslukah, L., Ismunarti, D.H., Widada, S., Sandi, N.F., & Prayitno, H.B. 2022. The Interaction of Chlorophyll-a and Total Suspended Matter along the Western Semarang Bay, Indonesia, Based on Measurement and Retrieval of Sentinel 3. *Journal of Ecological Engineering*, 23(10):191–201.
- Mishbach, I., Zainuri, M., Widianingsih, W., Kusumaningrum, H. P., Sugianto, D. N., & Pribadi, R. 2021. Analisis Nitrat dan Fosfat Terhadap Sebaran Fitoplankton Sebagai Bioindikator Kesuburan Perairan Muara Sungai Bodri. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1):88–104.
- Mustaqim, M., Safruddin, & Zainuddin, M. 2015. Thermal Front dan Klorofil-A Front Hubungannya dengan Hasil Tangkapan Ikan Cakalang Pada Musim Peralihan Barat - Timur di Perairan Seram. *Jurnal IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 2(4): 294–304.
- Putra, I.N.J.T., Karang, I.W.G.A., & Putra, I.D.N.N. 2019. Analisis Temporal Suhu Permukaan Laut di Perairan Indonesia Selama 32 Tahun (Era AVHRR). *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2): 234-246.
- Ruttenberg, K.C. 2013. The Global Phosphorus Cycle. *Treatise on Geochemistry: Second Edition*, 10:499–558.
- Savetri, V., Syamsuddin, M.L., Rostini, I., & Apriliani, I.M. 2019. Distribution of Thermal front and Catches of Mackerel Fish (*Scomberomorus commerson*) in Pangandaran Waters. *Albacore*, 3(2):217–228.
- Shi, R., Guo, X., Chen, J., Zeng, L., Wu, B., & Wang, D. 2022. Effects of Spatial Scale Modification on the Responses of Surface Wind Stress to the Thermal Front in the Northern South China Sea. *Journal of Climate*, 35(1):179–194.
- Sugiyono. 2009. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan RdanD. Bandung: Alfabeta.
- Suhadha, A.G., & Asriningrum, W. 2020. Potential Fishing Zones Estimation Based on Approach of Area Matching Between Thermal Front and Mesotrophic Area. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2): 567–583.
- Susanto, R. & Song, Y.T. 2015. Indonesian Throughflow proxy from satellite altimeters and gravimeters. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(4): 2844-2855
- Trinugroho, T., Satriadi, A., & Muslim, M. 2019. Sebaran Thermal Front Musiman di Wilayah Perairan Selat Madura Menggunakan Single Image Edge Detection. *Journal of Marine Research*, 8(4): 416–423.
- Wirasatriya, A. 2011. Pola Distribusi Klorofil-a dan Total Suspended Solid (TSS) di Teluk Toli Toli, Sulawesi. *Buletin Oseanografi Marina*, 1(1): 10–12.