

Analisis Sebaran *Thermal Front* Ditinjau dari Kondisi E $\dot{N}$ SO di Perairan Teluk Tomini Menggunakan *Single Image Edge Detection*

Vincenzo Carlos Alvarez, Yusuf Jati Wijaya, Indra Budi Prasetyawan*

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang Semarang, Jawa Tengah 50265 Indonesia
Email: indrabudiprasetyawan@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Fenomena *Thermal front* dapat disebabkan oleh pertemuan massa air laut. Perpindahan massa air laut di Indonesia dapat disebabkan oleh ARLINDO. Penelitian mengenai variabilitas *thermal front* perlu memperhitungkan perubahan SPL serta mempertimbangkan perubahan dari E $\dot{N}$ SO dengan melihat kenaikan ataupun penurunan indeks SOI dan perubahan salinitas di perairan tersebut guna melihat pertukaran massa air dan pergerakan arus laut yang terjadi di area pembentukan *thermal front*. Tujuan penelitian ini mendapatkan jumlah dan letak sebaran *thermal front* yang ditinjau terhadap perubahan salinitas dan ENSO di Teluk Tomini Pulau Sulawesi yang memiliki intensitas *upwelling* tinggi akibat pertemuan massa air dari jalur ARLINDO di laut Maluku. Variabel SPL didapatkan dari data citra SST L3 dari Citra AquaMODIS dan Variabel salinitas dari marine.copernicus.eu. Data salinitas diolah menggunakan Ocean Data View(ODV) dan untuk SST menggunakan ArcMap 10.8 dengan *tool* dari MGET menghasilkan data peta dari salinitas dan *Thermal front* dan dianalisis dengan mengaitkan dengan penelitian sebelumnya. Hasil Penelitian ini menunjukkan rerata jumlah kejadian *thermal front* di tahun 2020 adalah 363, di tahun 2021 naik menjadi 406, di tahun 2022 kejadian *thermal front* kembali turun di 377, dan terus menurun di 2023 hingga 310. Kenaikan nilai salinitas berkisar 33,5-34,75% terindikasi adanya massa air dari Samudra Pasifik yang masuk ke dalam Teluk Tomini.

Kata kunci: *Thermal front*, ENSO, Salinitas

Analysis of The Distribution of Thermal Fronts Reviewed From ENSO Conditions In Tomini Bay Waters Using Single Image Edge Detection

Abstract

The thermal front phenomenon can be caused by the convergence of seawater masses. The movement of seawater masses in Indonesia can be influenced by the Indonesian Throughflow (ARLINDO). Research on thermal front variability needs to take into account changes in SST and consider variations in ENSO as well as salinity to examine seawater mass movement by observing the rise or fall of the SOI index and salinity in the area. The objective of this research is to determine the average number of thermal front formations in each season, identify the dominant locations of thermal front formation, and assess the correlation between thermal front occurrences with changes in salinity and ENSO index variations in relation to thermal front distribution. The SST variable was obtained from AquaMODIS L3 imagery, while salinity data were taken from marine.copernicus.eu. Salinity data were processed using Ocean Data View (ODV), and SST was processed with ArcMap 10.8 using the MGET tool, producing maps of salinity and thermal fronts that were then analyzed by linking with previous studies using a quantitative method to achieve objective results. The findings of this research show that the average number of thermal front events in 2020 was 363, which increased to 406 in 2021, then decreased again to 377 in 2022, and further declined to 310 in 2023. The increase in salinity values ranging between 33.5–34.75% indicates the presence of water masses from the Pacific Ocean entering Tomini Bay.

Keywords: *Thermal front*, ENSO, Salinity

PENDAHULUAN

Suhu menjadi suatu parameter penting dalam bidang oseanografi yang digunakan untuk mempelajari dinamika di lautan. Pengukuran suhu menjadi dasar bagi para peneliti di bidang oseanografi dalam

mendeskripsikan suatu karakteristik massa air sebagai indikator penentu berbagai fenomena yang terjadi di lautan. Kemajuan metode pengindraan jauh di bidang oseanografi seperti mendeteksi Suhu Permukaan Laut (SPL) dapat digunakan untuk mendeteksi fenomena oseanografi yang berkaitan dengan pertemuan massa air, perubahan iklim di laut, El Niño dan La Niña, terjadinya upwelling, downwelling, *tidal mixing*, berbagai jenis fenomena front dan proses oseanografi lainnya. Fenomena front yang terbentuk karena adanya gradien suhu disebut sebagai *thermal front* (Trinugroho *et al.*, 2019).

Salinitas menjadi indikator pertukaran massa air laut yang terlihat dari adanya perbedaan salinitas dalam jumlah besar di suatu perairan dan membentuk lapisan baik horizontal maupun vertikal. Salinitas di Samudra Pasifik lebih tinggi dibandingkan di dalam Teluk Tomini. Kenaikan nilai salinitas menjadi indikasi adanya massa air dari Samudra Pasifik yang masuk ke dalam Teluk Tomini. Berdasarkan penelitian Amri (2006) ditemukan gradien salinitas tinggi berada di bagian timur teluk dan semakin ke barat semakin rendah. Fenomena upwelling dan downwelling yang disebabkan ARLINDO pada bulan sebelumnya memicu terjadinya upwelling di bagian pintu Teluk Tomini. Hal ini sesuai dengan temuan Amri *et al.* (2017) bahwa pertemuan arus di perairan dalam antara pintu Teluk Tomini dan Laut Maluku menjadi indikasi adanya perpindahan massa air dengan salinitas dan suhu yang berbeda.

Fenomena *thermal front* juga dapat disebabkan oleh anomali suhu permukaan laut pada saat ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Menurut Ullum *et al.*, (2024), fase netral ENSO ditandai dengan kelembapan tinggi dan curah hujan berulang di Australia dan Asia, sedangkan wilayah Amerika Selatan mengalami iklim yang lebih kering. Perubahan SPL yang muncul di Samudra Pasifik memiliki dampak terhadap cuaca di sekitarnya. *El Niño* secara ilmiah diartikan sebagai fenomena global dari sistem interaksi laut dan atmosfer yang ditandai dengan meningkatnya suhu muka laut (*Sea Surface Temperature/SST*) di sekitar Pasifik Tengah dan Timur sepanjang ekuator (Hidayat *et al.*, 2021) dari nilai rata-ratanya. Sementara itu, *La Niña* adalah fase dingin di wilayah tengah dan timur Samudra Pasifik, ditandai dengan peningkatan suhu permukaan laut di sebelah barat Pasifik yang mengakibatkan peningkatan curah hujan di beberapa wilayah (Ismiati, 2022).. Secara keseluruhan, dampak *La Niña* terhadap curah hujan di Indonesia bersifat dinamis (Ryadi dan Sasmit, 2019). Menurut Lukman *et al.* (2022), berdasarkan karakteristik propertinya, front dapat dibedakan menjadi *thermal front* (front akibat gradien suhu lautan), *salinity front* (front akibat perbedaan salinitas lautan), dan *density front* (front akibat perbedaan densitas lautan). Sedangkan berdasarkan tempat pembentukannya, front dapat dibagi menjadi *coastal sea front*, *continental shelf front*, dan *open sea front*. Salah satu penyebab terjadinya perubahan SPL di Teluk Tomini adalah fenomena ENSO.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan jumlah, lokasi dominan, serta hubungan antara salinitas dan ENSO terhadap sebaran *thermal front*. Fenomena *thermal front* menjadi topik yang sangat menarik, mengingat fenomena ini cukup sering terjadi di Indonesia, meskipun tidak berlangsung sepanjang waktu, melainkan dalam periode harian, mingguan, bulanan, hingga tahunan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi tambahan referensi dan pengetahuan tentang *thermal front* sebagai salah satu fenomena oseanografi dan sebagai indikator zona penangkapan ikan. *Thermal front* menciptakan zona transisi yang kaya nutrisi sehingga memiliki dampak besar pada produktivitas plankton dan ekosistem laut secara keseluruhan (Zandika *et al.*, 2024). Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian terdahulu umumnya membahas *thermal front* berdasarkan SPL atau keterkaitannya dengan klorofil (Trinugroho *et al.*, 2019; Zandika *et al.*, 2024), atau hanya menganalisis salinitas dan massa air tanpa menghubungkannya dengan front (Amri *et al.*, 2017). Selain itu, ENSO sering dianggap berpengaruh langsung terhadap fenomena laut (Ryadi & Sasmito, 2019). Berbeda dengan itu, penelitian ini menunjukkan bahwa *thermal front* di Teluk Tomini lebih dipengaruhi oleh upwelling yang terbentuk akibat intrusi massa air Pasifik (indikator salinitas), sehingga memberikan perspektif baru dalam studi dinamika oseanografi di Indonesia.

MATERI DAN METODE

Lokasi Penelitian Secara geografis terletak pada 120°- 123°30' BT dan 0°30' LU - 1°30' LS. berada di perairan Teluk Tomini Pulau Sulawesi yang ditunjukkan insert peta warna merah (Gambar 1). Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari berbagai sumber, diantaranya: Peta Rupa bumi Indonesia tahun 2019 skala 1:25.000 terbitan Badan Informasi Geospasial yang dapat diakses melalui

<https://tanahair.indonesia.go.id/>; Citra satelit AquaMODIS Level 3 tahun 2020-2023 dengan resolusi spasial 4 km x 4 km yang dapat diakses melalui <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>; Data salinitas pada penelitian ini menggunakan resolusi $0.083^\circ \times 0.083^\circ$ tahun 2020-2023 dengan model global yang bersumber dari Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS) dengan alamat website marine.copernicus.eu. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif.

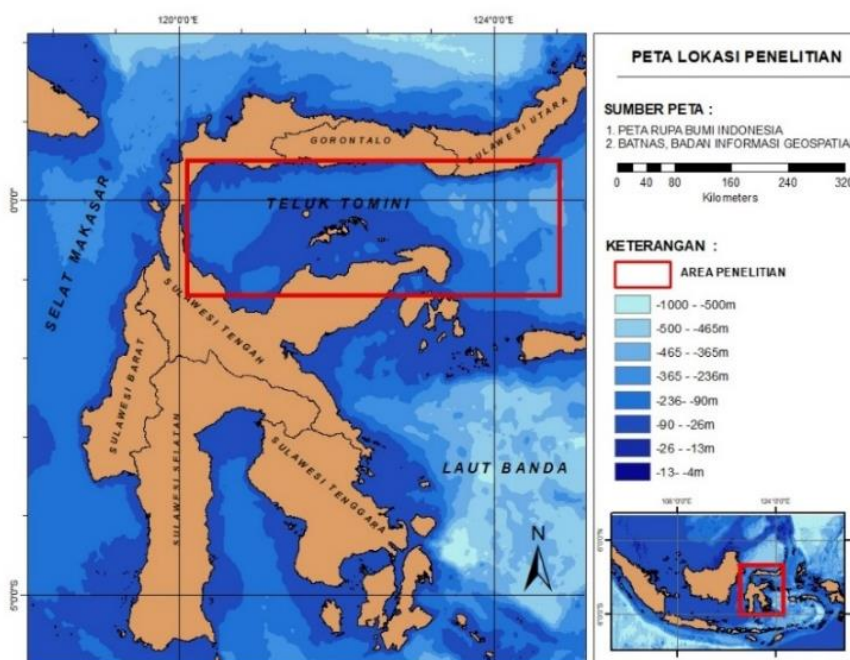
SIED merupakan metode untuk mendeteksi gradien termal/front pada data SPL (Rahmadani dan Jaelani, 2020). Metode deteksi *front* dengan metode SIED (*Single Image Edge Detection*) yang diperkenalkan oleh Cayula dan Cornillon pada tahun 1992 pada saat ini algoritma tersebut dimasukkan kedalam ArcGIS Tools MGET (*Marine Geospatial Ecology Tools*) yang dikembangkan oleh tim dari Duke Marine Geospatial Ecology Lab, Duke University dan disebarakan secara gratis. Basis pemrograman yang digunakan pada tools ini adalah bahasa pemrograman python, bahasa pemrograman yang sama dengan yang digunakan oleh *software* ArcGIS (Trinugroho *et al.*, 2019).

Pengolahan data

Pengukuran suhu permukaan laut (SPL) dilakukan dengan memanfaatkan data SPL yang terdapat pada Citra Satelit Terra Modis. Kemudian data SPL tersebut diekstrak dan dianalisis dengan menggunakan SeaDAS 7.5.3. Untuk mendapatkan daerah dengan intensitas SPL dari citra satelit. Setelah itu akan dilakukan *cropping* citra menggunakan software SeaDAS 7.5.3 yang bertujuan untuk memperjelas data yang sudah diunduh. Hasil dari pengolahan seaDAS akan berbentuk file .tif yang kemudian data diolah kembali menggunakan ArcMap 10.8 dengan *tool* dari MGET yang di kembangkan (Roberts *et al.*, 2010), tim dari Duke Marine Geospatial Ecology Lab, berdasarkan Algoritma (Cayula dan Cornillon, 1992) *Single Image Edge Detection* dengan menggunakan *threshold* 5 yang di artikan sebagai 0.5°C . 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 bujur (sumbu y);



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Nilai threshold yang digunakan untuk menentukan threshold *thermal front* di Teluk Tomini adalah $0,5^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan standar (Cayula dan Cornillon, 1992). Nilai SST gradient dengan nilai dibawah $0,5^{\circ}\text{C}$ diabaikan 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*

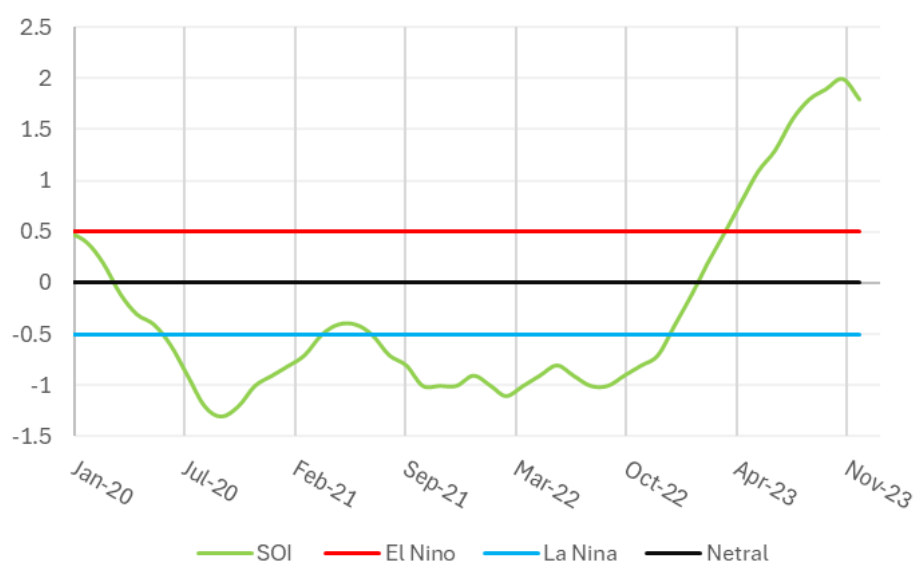
Analisis Data

Data SPL, *thermal front*, dan salinitas, ditampilkan secara spasial dan disajikan dalam musiman selama 4 tahun untuk mengidentifikasi persebaran parameter pada lokasi penelitian. Threshold yang digunakan untuk menentukan daerah *thermal front* adalah $0,5^{\circ}\text{C}$ (Caluya dan Cornillon, 1992). Data salinitas di proyeksikan menggunakan Ocean Data View untuk memproyeksikan sebaran salinitas dan memberikan kontur di tiap perubahan salinitas dan layouting dengan layering shapefile Teluk Tomini. Data SOI menggunakan threshold yang digunakan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. jika anomali suhu permukaan laut (nilai ONI) $> +0,5^{\circ}\text{C}$, Sedangkan jika nilai ONI berada pada rentang threshold maka diklasifikasikan sebagai kondisi normal. Untuk data DMI threshold yang digunakan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengolahan data *Southern Oscillation Indeks*

Pengolahan data ENSO dari Nino 3.4 menghasilkan grafik fluktuasi perubahan SST di Nino 3.4 selama 4 tahun 2020-2023. ENSO selama tahun 2020-2022 di kategorikan sebagai Triple Dip La Nina, dan El Nino pada tahun 2023 yang mempengaruhi suhu Samudra Pasifik di lokasi Nino 3.4. Terlihat garis hijau pada (Gambar 2) menunjukkan fluktuasi terjadi di setiap bulan dengan tipe ENSO berbeda di tahun tertentu, selama tahun 2020-2022 terjadi fenomena La Nina di setiap tahunnya. La Nina berkepanjangan selama 3 Tahun mengartikan bahwa munculnya Triple Dip La Nina dengan indeks di rerata bulanan dalam setiap tahunnya kurang dari $-0,5^{\circ}\text{C}$. Memasuki 2023 perubahan SST di Nino 3.4 menunjukkan peningkatan hingga memasuki fase El Nino dengan indeks di rerata bulanan di tahun 2023 $> +0,5^{\circ}\text{C}$ mulai di bulai Mei hingga desember di tahun 2023.



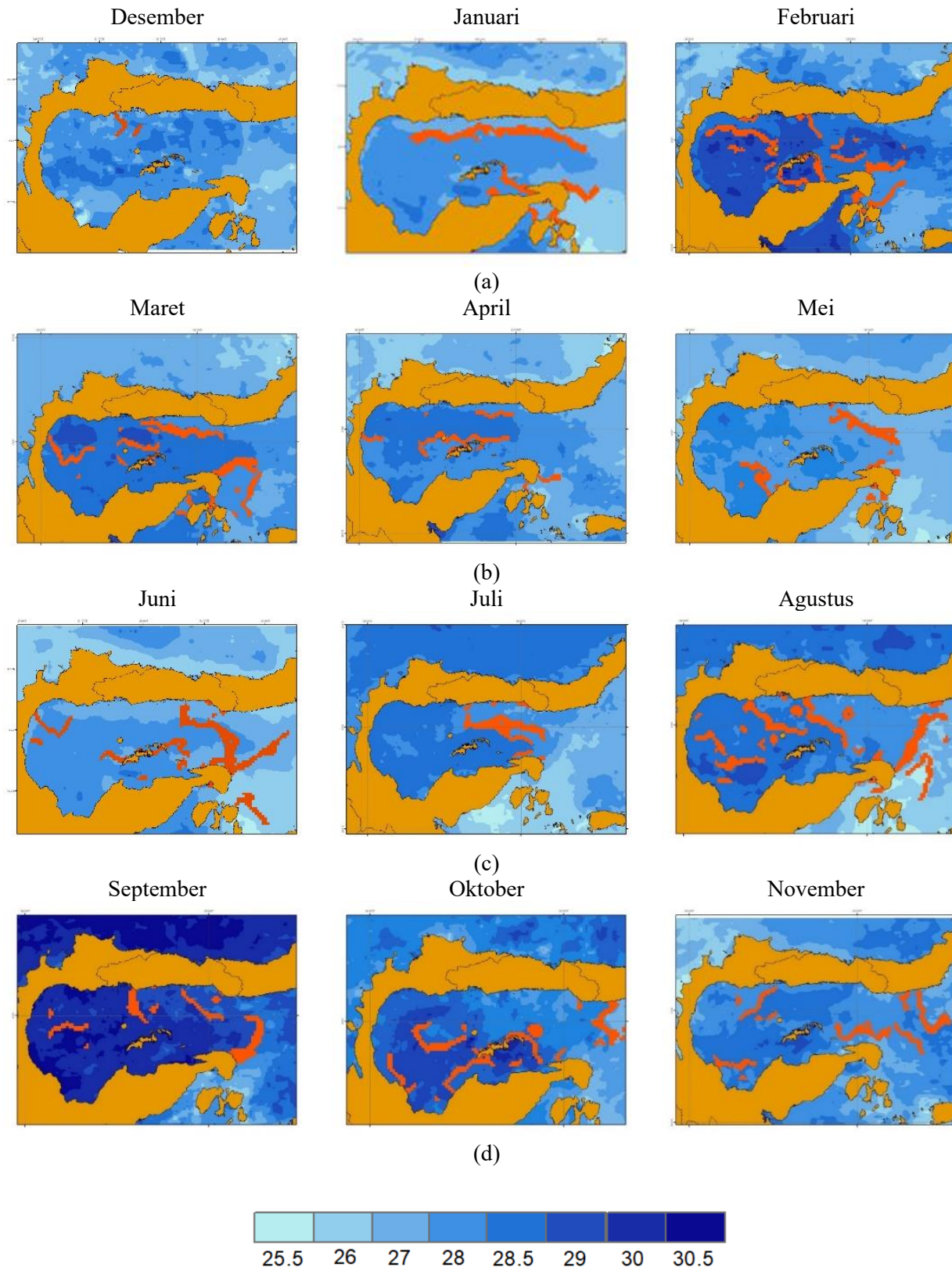
Gambar 2. Grafik *Southern Oscillation Index*

Tabel 1. Kejadian *Thermal Front* selama 4 Tahun

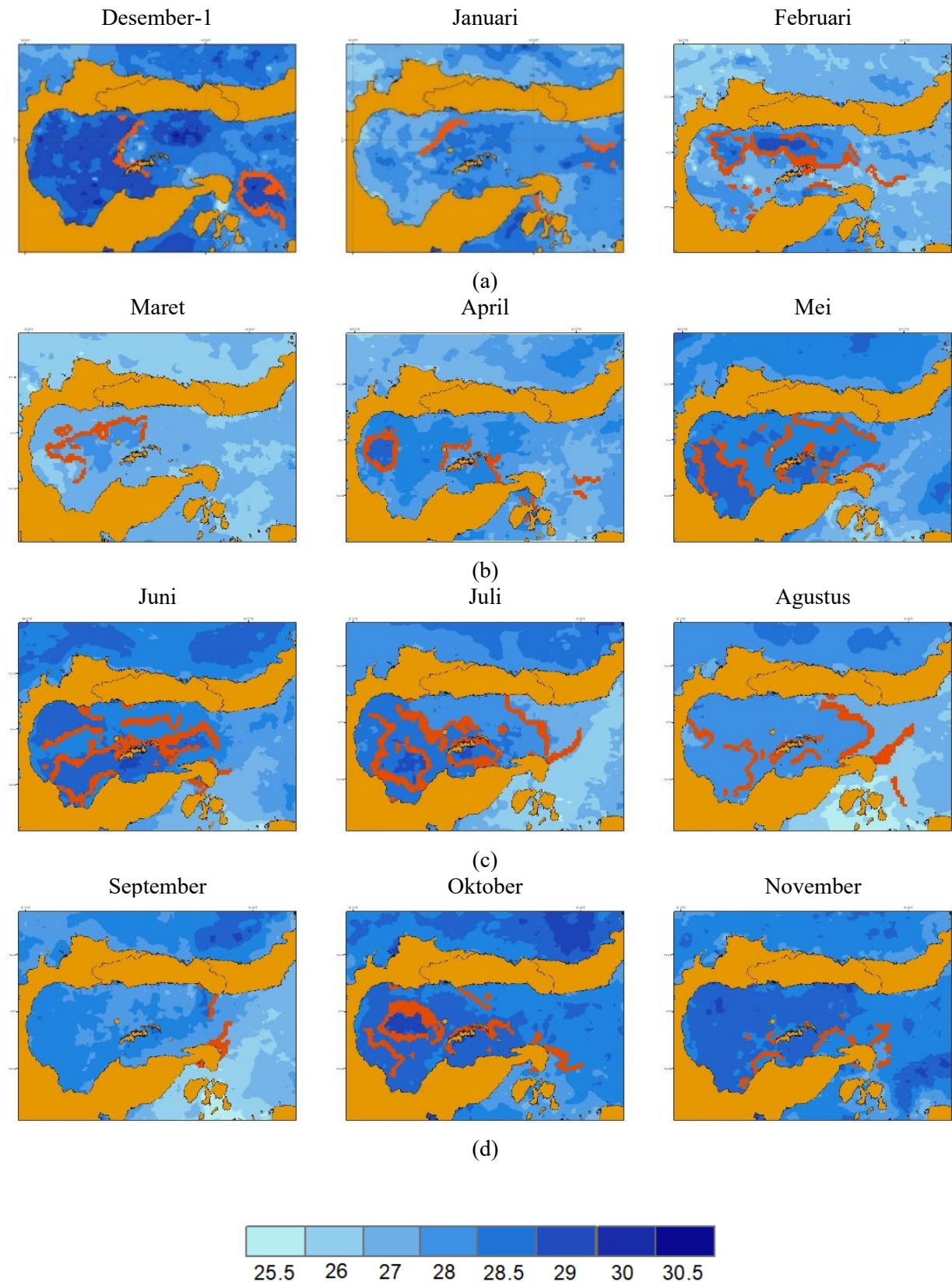
Bulan	Tahun			
	2020	2021	2022	2023
Desember -1	31	225	319	91
Januari	422	139	364	99
Februari	514	454	468	0
Maret	527	250	492	525
April	255	327	464	632
Mei	262	517	379	190
Juni	491	787	274	215
Juli	279	766	538	382
Agustus	589	525	520	353
September	259	116	367	545
Oktober	371	569	215	474
November	353	201	118	219
Rerata	363	406	377	310

Pembentukan *thermal front* terlihat dominan pada area pintu masuk teluk yang berbatasan langsung dengan laut Maluku Gambar 3 bulan Agustus 2020. Pembentukan *thermal front* lainnya di dominasi pada area dalam secara vertikal dari bagian barat laut Teluk Tomini hingga ke tenggara Gambar 4 bulan Juni dan Juli 2021. Pembentukan *thermal front* di tandai oleh kekuatan *cohesion* atau keseragaman suhu muka laut. Terfragmentasinya suhu permukaan laut membuat pembentukan *thermal front* tidak maksimal, hal ini sejalan dengan yang di sampaikan (Wagiyo. 2017), Kondisi arus di Teluk Tomini cenderung berputar arus “Eddys” (arus berputar) menyebabkan adanya pertemuan arus. sehingga menyebabkan *downwelling* akibat penumpukan massa air di permukaan dan terdorong ke lapisan yang lebih dalam. Dalam hal ini Mahagnyana (2017), menjelaskan bahwa *downwelling* dapat terjadi karena adanya pertemuan antara monsun dan arus ARLINDO. Perairan Teluk Tomini sangat dipengaruhi oleh massa air dari Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) yang berasal Samudra Pasifik. bagian selatan (Albasri dan Pratama 2019), Pembentukan *thermal front* dominan pada area pintu teluk, pintu teluk menjadi area pertemuan massa air yang di bawa melalui ARLINDO dan bertemu dengan massa air teluk di area pintu teluk, sehingga membuat terjadinya lapisan suhu yang memisahkan dua massa air dengan karakteristik yang berbeda, juga ditemukan pada area tengah dan barat teluk akibat massa air dari Samudra Pasifik yang mulai masuk dan memenuhi teluk dan kembali keluar pada bulan tertentu. Hal ini sejalan dengan yang di sampaikan Surinati (2017), Letak geografis perairan Indonesia yang berada pada sistem Angin Muson menyebabkan kondisi oseanografi di perairan tersebut dipengaruhi oleh sistem Angin Muson

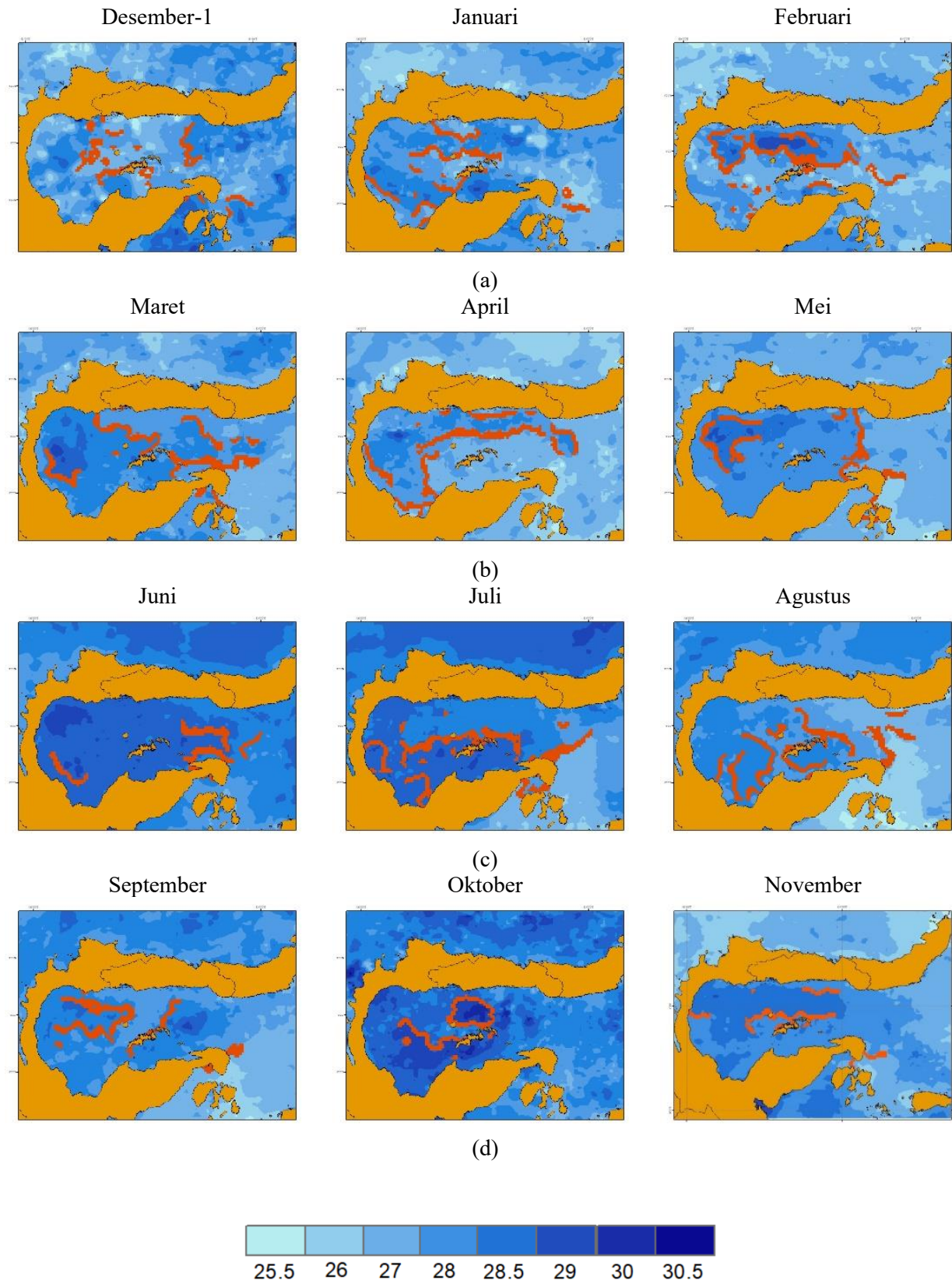
Rerata jumlah kejadian *thermal front* di tahun 2020 adalah 363, di tahun 2021 naik menjadi 406, di tahun 2022 kejadian *thermal front* kembali turun di 377, dan terus menurun di 2023 hingga 310. Pada Bulan Agustus terlihat pada area pintu masuk teluk secara vertikal membentuk lengkungan ke arah timur dan terdapat *thermal front* lainnya di pintu masuk teluk diakibatkan pertemuan arus yang dibangkitkan oleh angin muson timur di permukaan teluk tomini dan Arlindo di permukaan dari Samudra Pasifik yang berkisar di 29-30,5°C dan yang terdeteksi menurun menjadi 353 *thermal front*. Hal ini menunjukkan tidak adanya pola dari munculnya *thermal front* dalam jang waktu 4 tahun. Kenaikan jumlah kejadian front di pengaruhi oleh faktor penggerak massa air yang dapat berubah seiring dengan perubahan musim. Perpindahan massa air dari dalam teluk menuju area luar teluk oleh Angin Muson yang bergerak dari Benua Asia ke Benua Australia. Hal ini sejalan dengan yang di sampaikan Di Angin muson secara bergantian bergerak melintasi wilayah Indonesia pada Oktober hingga Maret (Angin Muson Barat) (Rifai *et al.*, 2020).



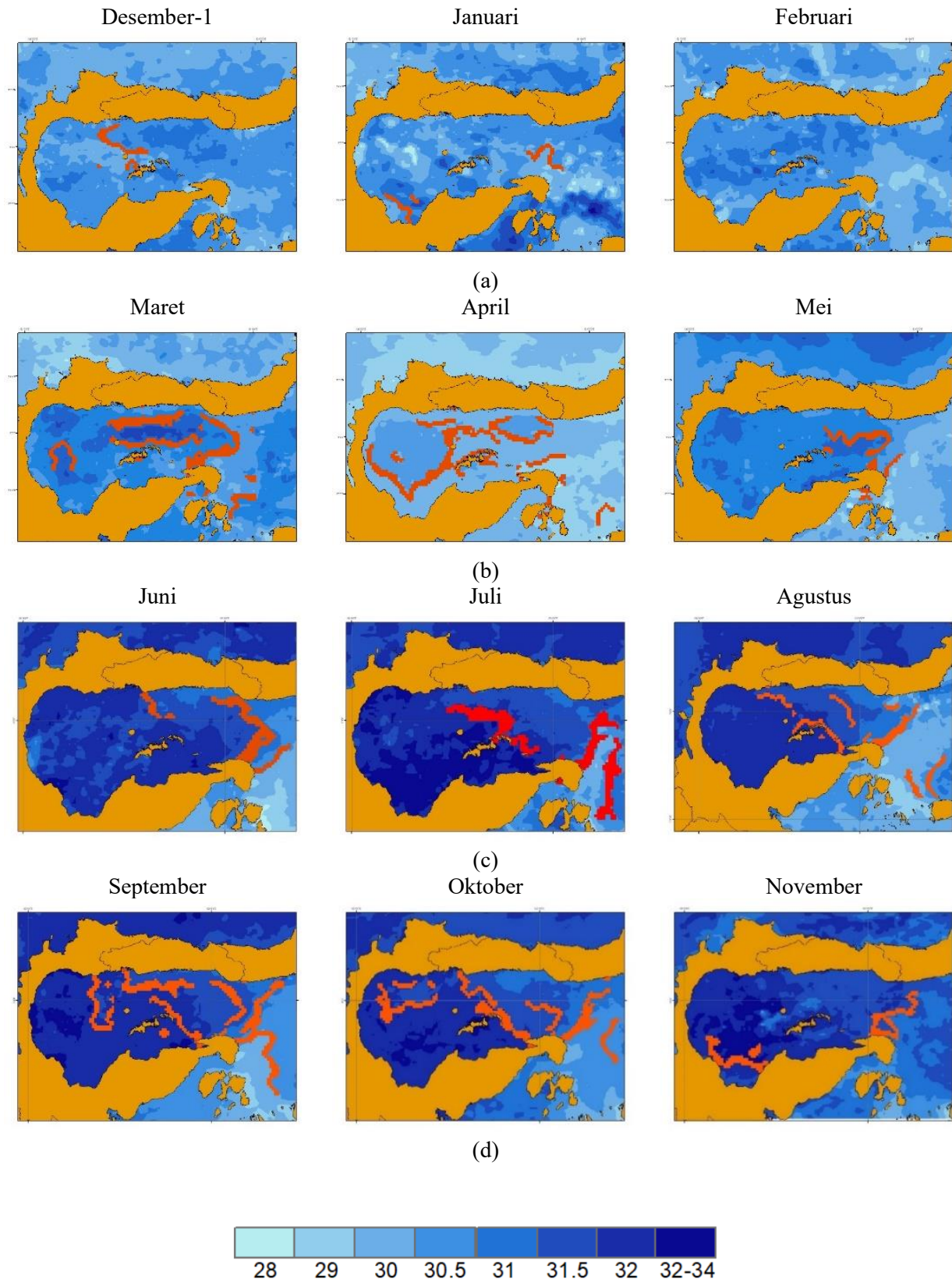
Gambar 3. *Thermal front* (merah) pada Tahun 2020. (a) Musim Barat (Desember¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



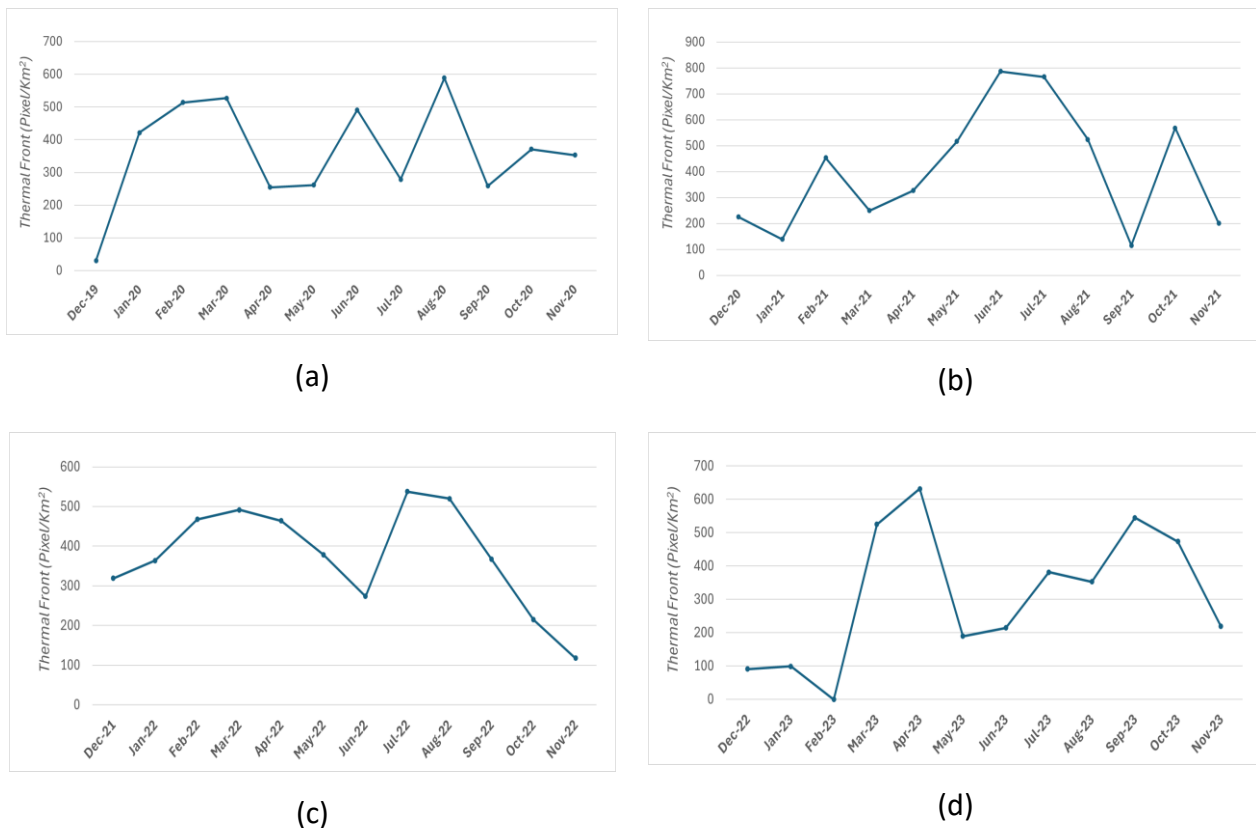
Gambar 4. *Thermal front* (merah) pada Tahun 2021. (a) Musim Barat (Desember¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



Gambar 5. *Thermal front* (merah) pada Tahun 2022. (a) Musim Barat (Desember¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



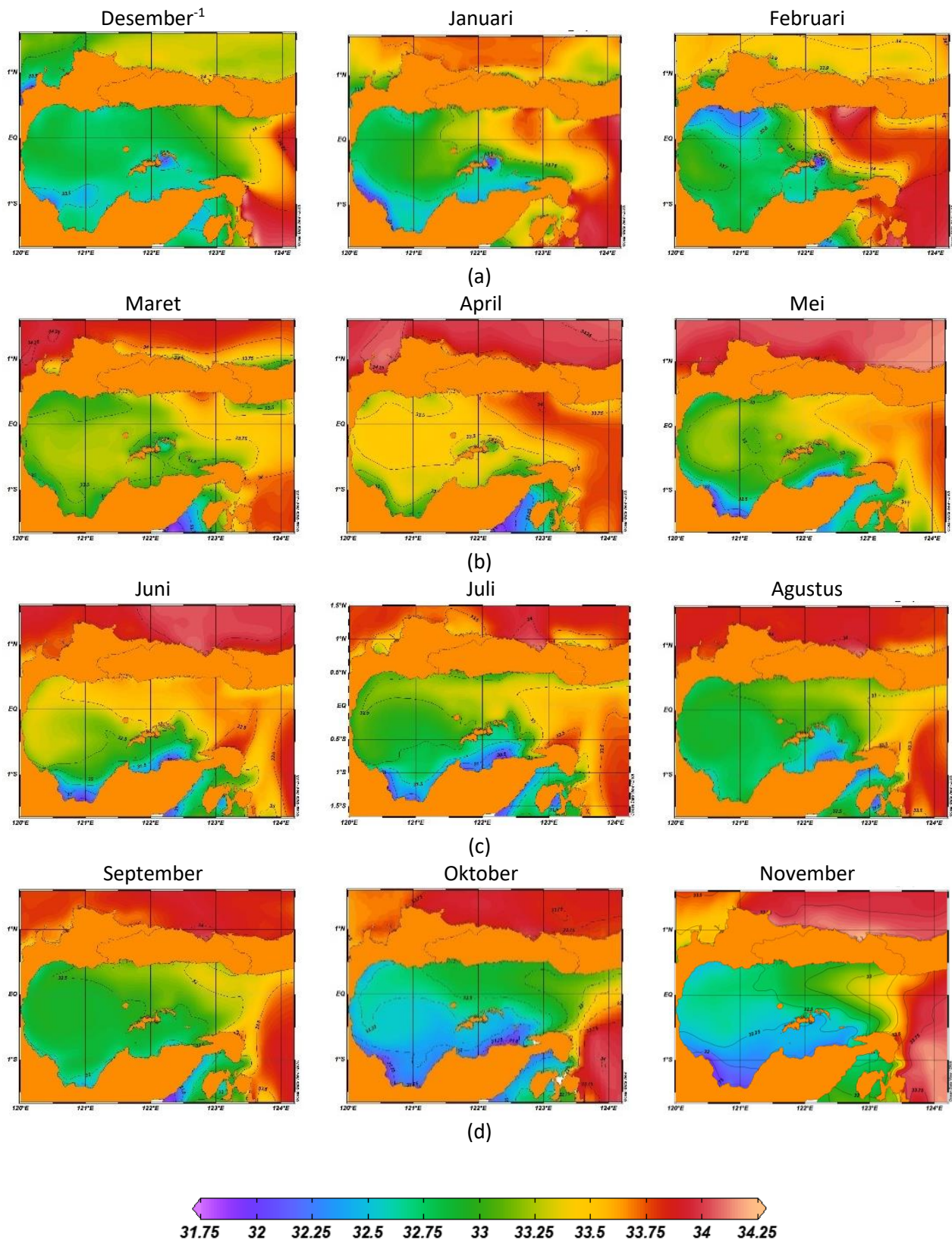
Gambar 6. *Thermal front* (merah) pada Tahun 2023. (a) Musim Barat (Desember⁻¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



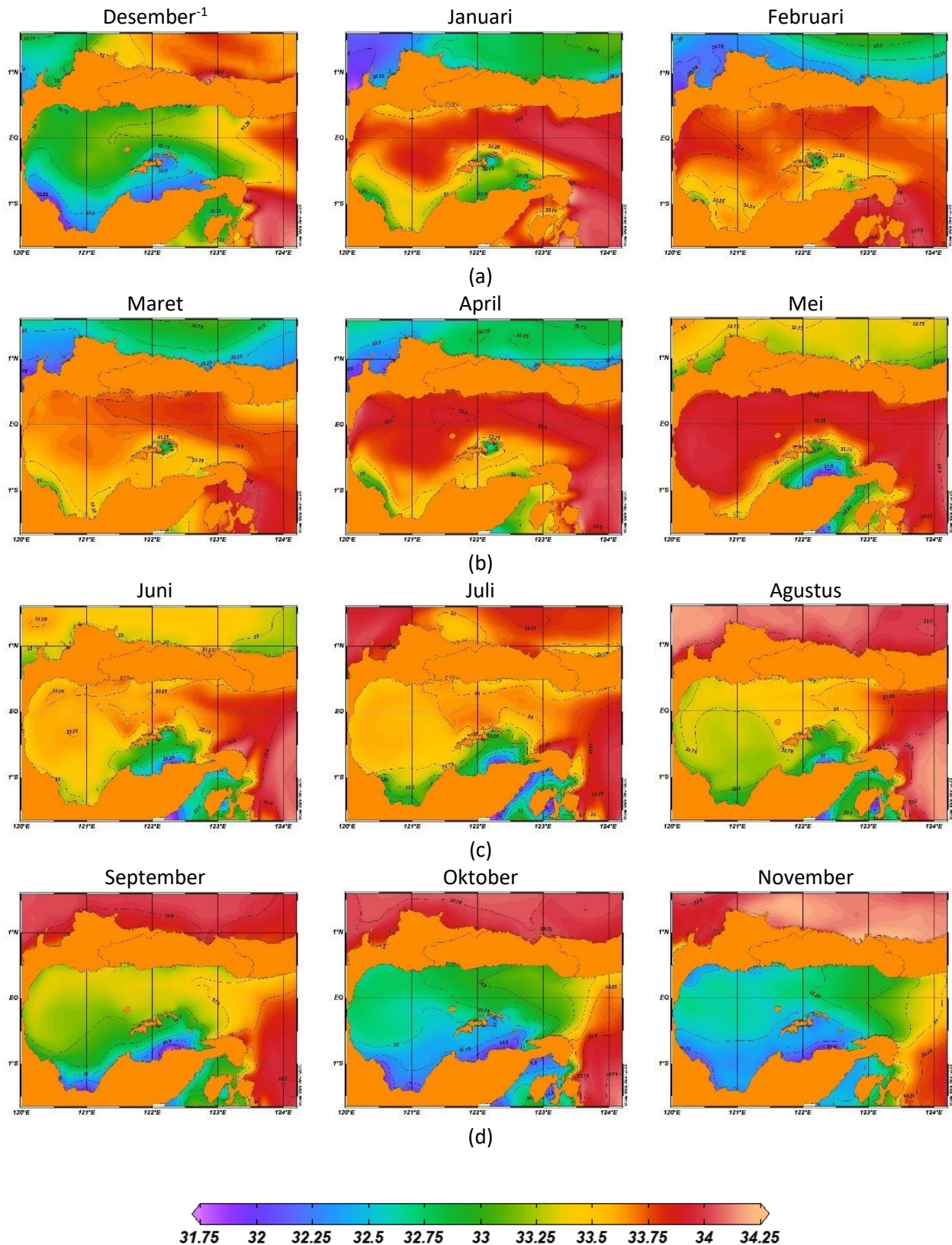
Gambar 6. Grafik Jumlah Kejadian *Thermal Front* Selama 4 Tahun. (a) Tahun 2020, (b) Tahun 2021, (c) Tahun 2022, (d) Tahun 2023.

Dari Gambar 6. terlihat sebuah pola penurunan intensitas terjadinya thermal front selama 4 tahun yaitu penurunan di mulai dari Musim peralihan II dan semakin rendah di Musim barat kemudian akan naik pada Musim berikutnya. Hal ini tetap tidak menunjukkan adanya pola yang signifikan di setiap tahunnya menandakan bahwa pengaruh besar dalam terjadinya *thermal front* adalah pergerakan massa air yang tidak terpengaruh oleh musim secara signifikan di karenakan walaupun di setiap musim pada masing masing tahun menunjukkan penurunan, kejadian thermal front di setiap tahunnya selalu 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. *Thermal front* berperan sebagai salah satu pembentuk ekosistem laut, Shova mengatakan *Thermal front* merupakan zona yang menggambarkan wilayah dengan gradien temperatur baik secara horizontal ataupun vertikal (Lukman *et al.*, 2022).

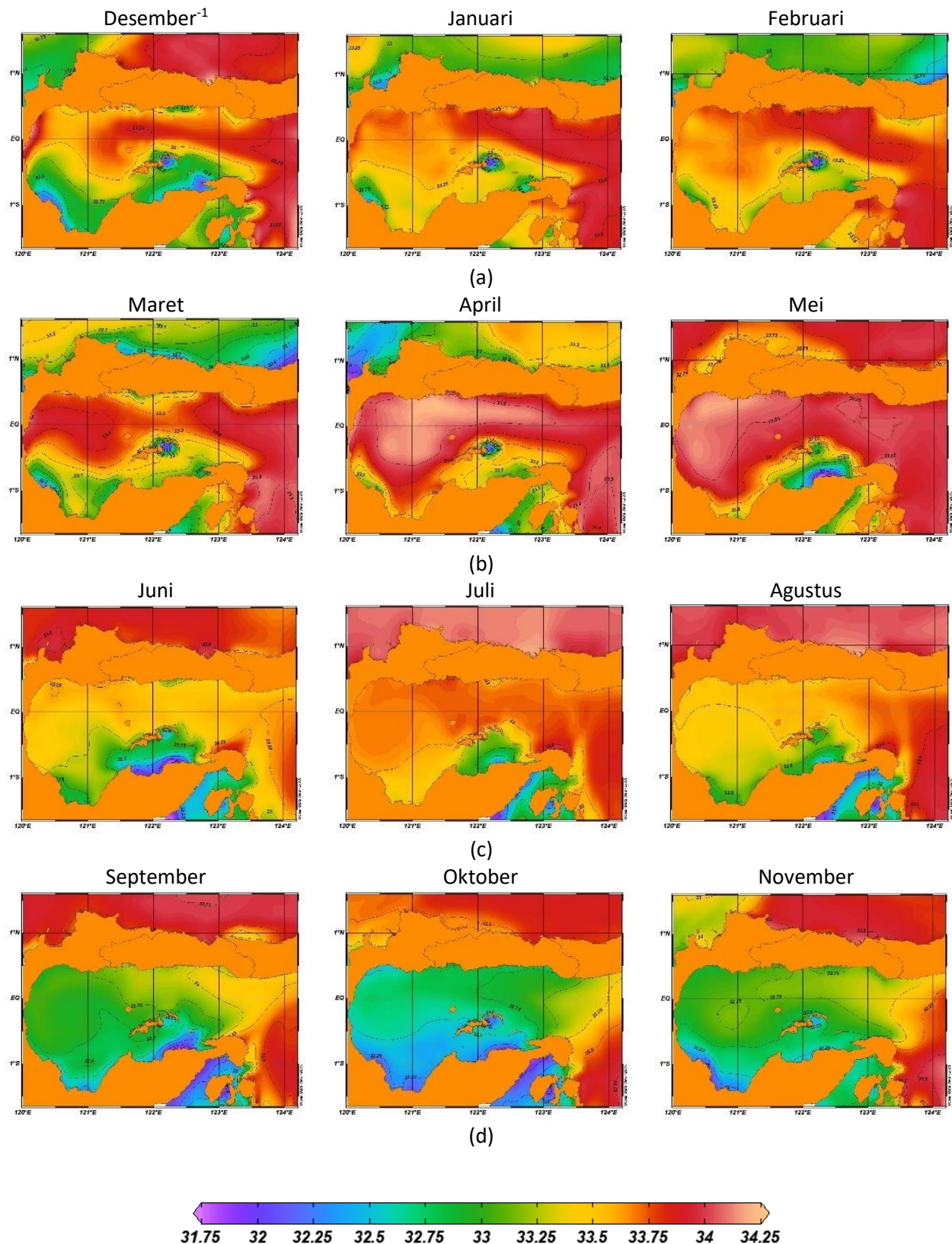
Salinitas menjadi indikator karakteristik dari suatu lautan. Salinitas di Samudra Pasifik lebih tinggi dibandingkan di dalam Teluk Tomini. Kenaikan nilai salinitas berkisar 33,5-34,75‰ terindikasi adanya massa air dari Samudra Pasifik yang masuk ke dalam Teluk Tomini. Kenaikan salinitas tidak berpengaruh langsung terhadap pembentukan *thermal front* di karenakan salinitas di permukaan tidak terpengaruh terhadap suhu. Kenaikan nilai salinitas berperan sebagai variabel untuk melihat adanya massa air dari Samudra Pasifik yang masuk ke dalam Teluk Tomini. Pada setiap tahunnya terlihat menunjukkan pola penurunan nilai salinitas pada musim peralihan II dan Musim Barat dan kembali naik Pada Musim peralihan I (MAM). Gambar 9. Memperlihatkan pola salinitas yang tinggi pada musim peralihan I dan terus menurun hingga ke titik terendah pada musim peralihan II SON, dan pola ini terus berulang di sepanjang tahun menandakan bahwa siklus pergantian massa air di dalam teluk selalu berganti. Hal ini sejalan dengan yang di sampaikan Albasri dan Pratama (2019), Perairan Teluk Tomini sangat dipengaruhi oleh massa air dari Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) yang berasal Samudra Pasifik.bagian selatan.



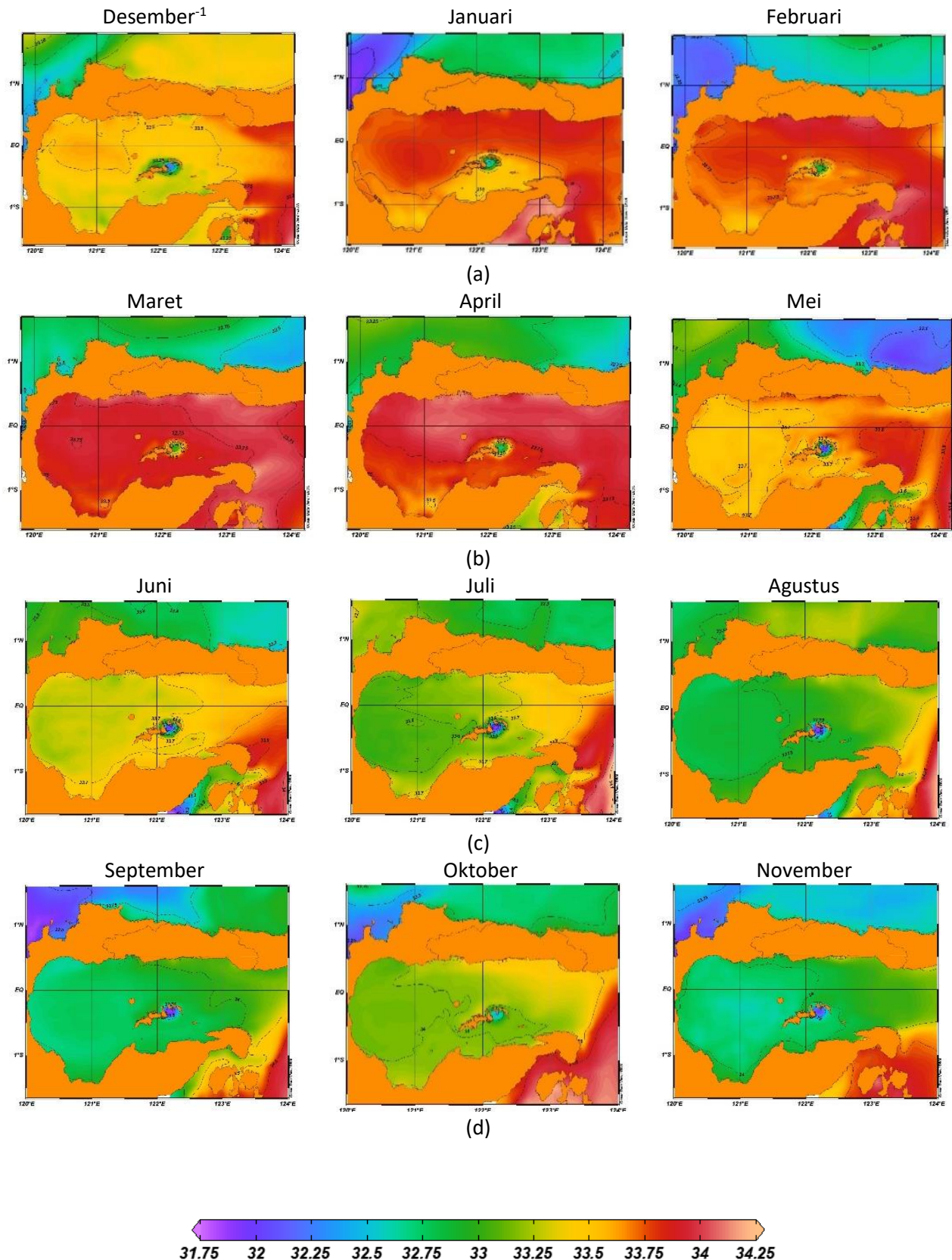
Gambar 7. Peta sebaran salinitas di teluk tomini tahun 2020. (a) Musim Barat (Desember¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



Gambar 8. Peta sebaran salinitas di teluk tomini tahun 2021. (a) Musim Barat (Desember⁻¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



Gambar 9. Peta sebaran salinitas di teluk tomini tahun 2022. (a) Musim Barat (Desember¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)



Gambar 10. Peta sebaran salinitas di teluk tomini tahun 2023. (a) Musim Barat (Desember⁻¹ – Februari), (b) Musim Peralihan I (Maret-Mei), (c) Musim Timur (Juni-Agustus), (d) Musim Peralihan II (September-November)

KESIMPULAN

Pembentukan *thermal front* dominan pada area pintu teluk tomini. Area Timur Teluk tomini yang berbatasan langsung dengan laut maluku menjadi area pertemuan massa air yang di bawa melalui ARLINDO dan bertemu dengan massa air teluk di area pintu teluk tomini, sehingga membuat terjadinya lapisan suhu yang memisahkan dua massa air dengan karakteristik yang berbeda, juga ditemukan pada area tengah dan barat teluk akibat massa air dari Samudra Pasifik yang mulai masuk dan memenuhi teluk dan kembali keluar pada bulan tertentu. Rerata jumlah kejadian *thermal front* di tahun 2020 adalah 363, di tahun 2021 naik menjadi 406, di tahun 2022 kejadian *thermal front* kembali turun di 377, dan terus menurun di 2023 hingga 310. Intensitas ENSO tidak berpengaruh pada kekuatan ARLINDO yang menjadi penyebab utama terbentuknya *thermal front* di Teluk Tomini. Sehingga intensitas ENSO tidak berpengaruh pada suhu air laut, serta salinitas pada Samudra Pasifik. Salinitas menjadi indikator karakteristik perairan dari suatu lautan. Salinitas di Samudra Pasifik lebih tinggi dibandingkan di dalam Teluk Tomini. Kenaikan nilai salinitas berkisar 33,5-34,75‰ terindikasi adanya massa air dari Samudra Pasifik yang masuk ke dalam Teluk Tomini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albastri, H., & Pratama, I. 2019. *Potensi Dan Pengelolaan Budi Daya Laut Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Indonesia* (WPPNRI) 715. Potensi Sumber Daya Kelautan Dan Perikanan WPPNRI 715.
- Amri, K., Suwarso, S., & Awwaludin, A. 2017. Kondisi Hidrologis Dan Kaitannya Dengan Hasil Tangkapan Ikan Malalugis (*Decapferus Macarellus*) Di Perairan Teluk Tomini. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 12(3): 183-193. <https://doi.org/10.15578/jppi.12.3.2006.183-193>
- Aprilia, B., Marzuki, M., & Taufiq, I. 2020. Prediksi El Nino Southern Oscillation (ENSO) Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST)-Backpropagation. *Jurnal Fisika Unand*, 9(4): 421-427. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.4.421-427.2020>
- Cayula, J. F., & Cornillon, P. 1992. Edge Detection Algorithm For SST Images. *Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology*, 9(1): 67-80. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1992\)009<0067:EDAF SI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1992)009<0067:EDAF SI>2.0.CO;2)
- Hidayat, U., Prasetyo, S., Haryanto, Y. D. & Riama, N. F. 2021. Pengaruh ENSO terhadap curah hujan dan kelembapan relatif serta suhu permukaan laut di Sulawesi. *Buletin GAW Bariri*, 2(2): 88-96.
- Ismiati, M. 2022. Implikasi El-Nino dan La-Nina terhadap perubahan iklim wilayah Indonesia. *Journal of Islamic Interdisciplinary Studies*, 1(1): 93-100.
- Jatiandana, A. P. & Nurdjaman, S. 2020. Identification of thermal front in Indonesian waters during 2007-2017. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 618(1): 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012039>
- Lukman, A. A., Tarya, A. & Pranowo, W. S. 2022. Thermal front persisten di perairan Selat Malaka. *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(2): 295-305. <https://doi.org/10.35800/jip.v10i2.40879>
- Mahagnyana, M., Limaran, G. D. & Fadlan, A. 2017. Pengaruh monsun terhadap kesuburan perairan utara Jawa dengan menggunakan satelit Aqua Modis. *Unnes Physics Journal*, 6(1): 37-40.
- Rahmadani, N. A. R. & Jaelani, L. M. 2020. Pemetaan potensi penangkapan ikan menggunakan metode single image (studi kasus: perairan selatan Jawa). *Geoid*, 15(2): 249-255.
- Rifai, A., Rochaddi, B., Fadika, U., Marwoto, J. & Setiyono, H. 2020. Kajian pengaruh angin musim terhadap sebaran suhu permukaan laut (studi kasus: perairan Pangandaran Jawa Barat). *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(1): 98-104.
- Roberts, J. J., Best, B. D., Dunn, D. C., Treml, E. A. & Halpin, P. N. 2010. Marine geospatial ecology tools: An integrated framework for ecological geoprocessing with ArcGIS, Python, R, MATLAB, and C++. *Environmental Modelling & Software*, 25(10): 1197-1207.
- Ryadi, G. Y. I., Sukmono, A. & Sasmito, B. 2019. Pengaruh fenomena El Nino dan La Nina pada persebaran curah hujan dan tingkat kekeringan lahan di Pulau Bali. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(4): 41-49. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2019.25143>
- Surinati, D. & Wijaya, J. H. M. 2017. Arus selatan Jawa. *Oseana*, 42(3): 1-8.
- 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. <https://doi.org/10.14710/jmr.v8i4.24815>

- Ullum, I. T. N. H., Fitria, A. & Widodo, W. 2024. Variasi hasil analisis data hasil El Nino-Southern Oscillation (ENSO) terhadap iklim global. *Jurnal Sains Natural*, 2(2): 40-47.
- Wagiyo, K., Priatna, A. & Herlisman, H. 2019. Kelimpahan, komposisi dan sebaran larva ikan di Laut Seram, Laut Maluku dan Teluk Tomini (WPP 715). *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 11(1): 1-17.
- Zandika, R., Ismunarti, D. H., Kunarso, K., Hatmaja, R. B. & Al Ayubi, M. A. 2024. Variabilitas thermal front dan keterkaitan dengan klorofil-a di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 711. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2): 250-260.