

Dampak Siklon Tropis Rai Terhadap Kondisi Oseanografi di Perairan Kepulauan Talaud

Khoirul Insan^{1)*}, Wilhemina Patty²⁾, Indri S Manembu³⁾, Deiske Sumilat¹⁾

¹⁾Program Studi Ilmu Perairan, Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

²⁾Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

³⁾Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

*Corresponding author: khoirulinsan713@gmail.com

Abstrak. Siklon tropis merupakan fenomena cuaca di lautan tropis yang dapat menyebabkan kondisi cuaca buruk berupa hujan lebat, badai guntur, dan angin kencang di sepanjang lintasannya. Kondisi ini dapat mengancam keselamatan manusia baik nelayan maupun kegiatan pelayaran lainnya. Perairan Kepulauan Talaud terletak berdampingan dengan Samudera Pasifik Bagian Barat dimana siklon tropis kerap melintas. Siklon tropis Rai terbentuk pada tanggal 13 Desember 2021 dan berlangsung selama delapan hari. Walaupun tidak termasuk lintasan siklon tropis, kondisi oseanografi di Perairan Kepulauan Talaud dapat menerima dampak tidak langsung dari fenomena tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak siklon tropis Rai terhadap kondisi oseanografi di Perairan Kepulauan Talaud. Data faktor lingkungan kecepatan angin, suhu perairan, kecepatan arus, dan klorofil-a diambil dari data penginderaan jarak jauh dan pemodelan numerik pada saat dan setelah terjadinya siklon. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan kecepatan angin dan kecepatan arus masing-masing sekitar 6.6 m/s dan 0.7 m/s pada saat siklon tropis mendekat dan berangsur menurun ketika siklon tropis menjauh. Suhu permukaan laut mengalami penurunan hingga 0.7 °C pada saat terjadinya siklon dan semakin menurun sekitar 0.9 °C setelah kejadian siklon. Kondisi klorofil-a meningkat pada kisaran 0.02 – 0.10 mg/m³. Hal ini dapat terjadi karena fenomena Siklon Tropis Rai yang dapat memicu pengadukan vertikal di lautan yang membawa massa air dingin dan kaya nutrisi dari bawah menuju ke lapisan permukaan. Hal ini menyebabkan suhu permukaan laut menurun dan bertambahnya nutrisi mendukung proses fotosintesis oleh fitoplankton sehingga konsentrasi klorofil-a dapat meningkat.

Kata Kunci: siklon; suhu; klorofil-a; Talaud; Sulut

PENDAHULUAN

Siklon tropis merupakan istilah yang digunakan untuk sistem tekanan rendah non frontal pada skala sinoptik yang terjadi di atas lautan daerah tropis dengan struktur awan konvektif yang teratur dan sirkulasi angin yang kencang di sekitarnya (Aldrian, 2008). Sistem tekanan rendah tersebut berkembang di atas lautan luas dan membentuk sirkulasi angin dengan kecepatan maksimum di sekitar pusat siklon sebesar 34 knot atau lebih dan bertahan setidaknya selama enam jam. Sekitar 67% kejadian siklon tropis terdapat di belahan bumi utara (Tjasyono dan Harijono 2006).

Posisi geografis Indonesia yang berada antara 6° LU - 11° LS dan 95° BT - 141° BT bukan merupakan daerah lintasan siklon tropis. Namun keberadaan siklon tropis di sekitar Indonesia, terutama yang terbentuk di Samudera Pasifik Barat Laut dan Samudera Hindia Tenggara memberikan pengaruh tidak langsung pada kondisi cuaca seperti angin kencang dan gelombang pasang yang tinggi (Tjasyono, 1985, seperti dikutip dalam Ningsih *et al.*, 2020). Di wilayah perairan, siklon tropis dapat mengubah kondisi fisik perairan dengan meningkatkan gelombang laut dan arus yang dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem pesisir, termasuk terumbu karang. Selain itu siklon tropis menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya pengadukan vertikal dan upwelling yang dapat meningkatkan kesuburan perairan (Surinati & Kusuma, 2018). Suhu permukaan laut mengalami perubahan karena adanya pencampuran antara air laut yang lebih hangat dan lebih dingin. Hal ini juga dapat mempengaruhi ekosistem laut, terutama organisme plankton yang sensitif terhadap fluktuasi suhu. Beberapa penelitian mengungkapkan adanya korelasi positif antara siklon tropis dan peningkatan konsentrasi klorofil-a melalui upwelling dan pencampuran vertikal (Wang, 2020; Wang *et al.*, 2023; dan Zhao *et al.*, 2015).

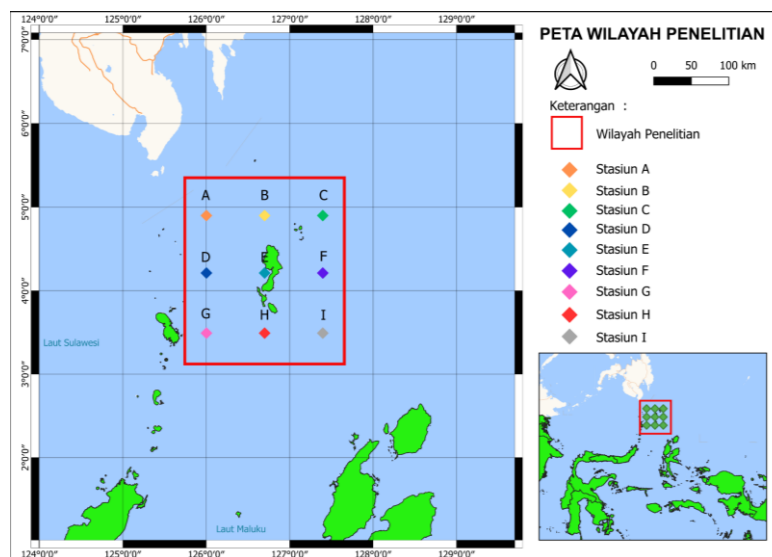
Kepulauan Talaud merupakan sebuah kepulauan di utara Sulawesi Utara yang terletak pada koordinat 3°38' - 5°33' LU dan 126°38' - 127°10' BT. Kepulauan Talaud memiliki luas wilayah 39.051 km² dan

sebanyak 96.8% wilayahnya didominasi oleh perairan atau laut (BPS Kabupaten Kepulauan Talaud, 2021; Pemerintah Kepulauan Talaud, 2024). Letaknya yang dekat dengan Samudera Pasifik bagian barat tidak terhindar dari dampak siklon tropis yang melintasi daerah tersebut. Dampak dari peristiwa ini tidak hanya dirasakan secara langsung di daratan, tetapi juga memiliki implikasi terhadap kondisi angin, suhu permukaan laut, dan klorofil-a serta kehidupan laut di sekitarnya.

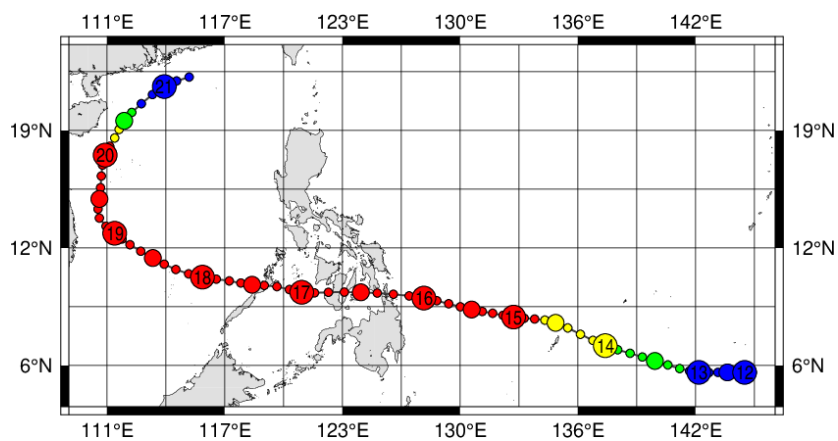
Penelitian ini berfokus pada analisis dampak Siklon Tropis Rai terhadap kondisi oseanografi di Perairan Kepulauan Talaud. Rai mulai terbentuk menjadi depresi tropis di sekitar Samudera Pasifik Barat Laut pada 13 Desember 2021 dan punah pada 21 Desember 2021 di sekitar Laut Cina Selatan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi perubahan yang signifikan pada suhu permukaan laut, konsentrasi klorofil-a, kecepatan angin, dan kecepatan arus sebelum, selama, dan setelah kejadian siklon. Sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan strategi mitigasi dan adaptasi terkait perubahan iklim di sekitar perairan tersebut.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian adalah di sekitar Perairan Kepulauan Talaud, yang berada pada lokasi 3°30' - 4°54' LU dan 126°00' - 127°24' BT (Gambar 1). Trayektori Siklon Tropis Rai yang melewati daerah di dekat wilayah penelitian selanjutnya ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Trayektori Siklon Tropis Rai

Siklon Tropis Rai berawal dari depresi tropis 29W yang merupakan daerah tekanan rendah di Samudera Pasifik Barat dan terjadi pada 11 Desember 2021. Kemudian intensitasnya meningkat dan memiliki kecepatan angin maksimum mencapai 35 knot dan diidentifikasi sebagai Siklon Tropis Rai oleh Japan

Meteorological Agency (JMA). Pada tanggal 14 Desember 2021 pukul 10.00 UTC mulai memasuki daerah Filipina dan diberikan nama lokal sebagai Siklon Tropis Odette oleh PAGASA (Phillippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Service Administration). Ketika siklon tropis mendekati Perairan Laut Cina Selatan tepatnya di sekitar pantai Guangdong, China, tekanan udara mulai meningkat mencapai fase dissipasi (punah) pada tanggal 21 Desember 2021.

Data siklon diperoleh dari *website National Institute of Informatics (NII)* Jepang dengan alamat <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon>. Data yang diambil termasuk waktu evolusi, posisi koordinat lintasan, diameter, dan kecepatan angin maksimum di sekitar pusat siklon. Data kecepatan angin maksimum di dekat pusat siklon digunakan untuk menentukan intensitas dan kategori siklon tersebut.

Data kecepatan angin level-4 dengan resolusi temporal perjam didapatkan dari pemrosesan data satelit dan model yang dilakukan oleh Institut Meteorologi Belanda (KNMI). Observasi *scatterometer* yang digunakan diantaranya yaitu satelit Metop-A, Metop-B, dan Metop-C. Sedangkan data reanalisis pemodelan cuaca ERA5 disediakan oleh *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*. Data kecepatan angin tersebut memiliki resolusi spasial $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ dan dapat diakses melalui *Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)*.

Data suhu permukaan laut harian level-4 hasil reanalisis sistem OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Ice Analysis*) dengan resolusi spasial $0,05^\circ \times 0,05^\circ$. Sumber data diperoleh dari beberapa satelit dan pengamatan in situ seperti data suhu permukaan laut dari kapal, drifter, dan buoy yang telah dikumpulkan oleh GHRSSST (*Group for High-Resolution Sea Surface Temperature*) yang mana tujuan dari organisasi internasional tersebut adalah untuk menghasilkan data suhu permukaan laut yang akurat, konsisten, dan beresolusi tinggi secara global. Data dapat diunduh melalui website CMEMS.

Data arus permukaan laut dalam komponen zonal (u) dan meridional (v) diperoleh dari pemodelan numerik *Mercator global analysis and forecast system* yang dimiliki oleh *Mercator Ocean International*. Data tersebut dapat diakses melalui *website* CMEMS. Resolusi spasialnya $0.083^\circ \times 0.083^\circ$ dan resolusi temporalnya satu harian.

Data klorofil-a diperoleh dari beberapa satelit diantaranya yaitu SeaWiFS, MODIS, dan MERIS. Data diproses oleh ACRI-ST milik Prancis dan dapat diakses melalui *website* CMEMS. Resolusi temporalnya harian dan resolusi spasialnya 4×4 km.

Analisis yang dilakukan meliputi parameter kecepatan angin, suhu permukaan laut, kecepatan arus, dan konsentrasi klorofil-a di sembilan stasiun di sekitar Perairan Kepulauan Talaud. Parameter tersebut dianalisis hingga dua puluh hari setelah terjadinya Siklon Tropis Rai. Data tersebut kemudian di ekstrak sehingga didapatkan nilai parameter dan dibuat diagram garis untuk mengetahui perbandingan semua parameter pada saat terjadi siklon hingga dua puluh hari setelah kejadian Siklon Tropis Rai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Depresi tropis 29W mulai terbentuk pada tanggal 11 Desember 2021 di sekitar Samudera Pasifik dan mulai diidentifikasi sebagai Siklon Tropis Rai pada 13 Desember 2021 oleh Japan Meteorological Agency (JMA). Siklon Tropis Rai punah pada tanggal 21 Desember 2021 di sekitar Laut Cina Selatan. Informasi terkait Siklon Tropis Rai dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Siklon Tropis Rai

Tanggal	Waktu (UTC)	Lon	Lat	Kecepatan Angin Maksimum	Tipe
13 Desember 2021	06 UTC	6.0 LU	141.0 BT	35 knot	Tropical Storm
14 Desember 2021	06 UTC	7.8 LU	135.8 BT	55 knot	Severe Tropical Storm
15 Desember 2021	06 UTC	8.9 LU	131.2 BT	80 knot	Typhoon
16 Desember 2021	06 UTC	9.9 LU	126.0 BT	105 knot	Super Typhoon
17 Desember 2021	06 UTC	10.3 LU	119.9 BT	80 knot	Typhoon
18 Desember 2021	06 UTC	11.2 LU	114.6 BT	95 knot	Typhoon
19 Desember 2021	06 UTC	13.9 LU	110.6 BT	100 knot	Super Typhoon
20 Desember 2021	06 UTC	18.1 LU	111.4 BT	55 knot	Typhoon
21 Desember 2021	12 UTC	19.0 LU	111.9 BT	35 knot	Tropical Depression

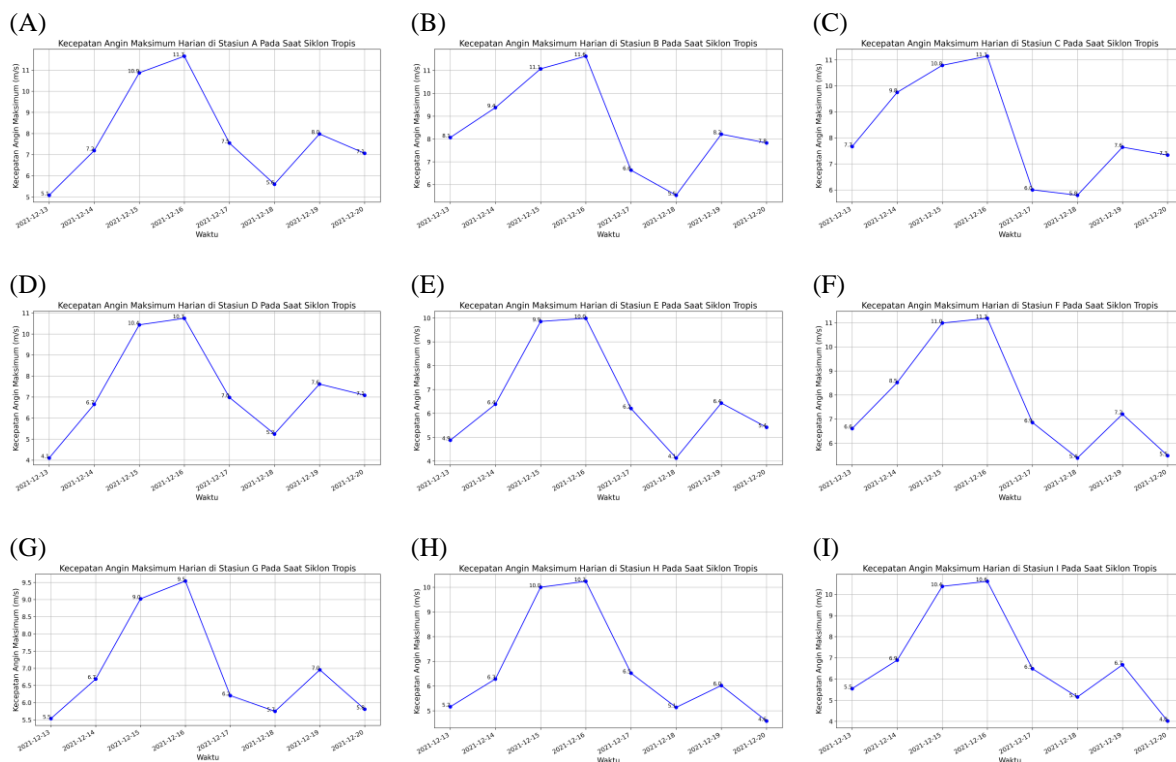
Kecepatan Angin

Angin adalah pergerakan massa udara dari tempat dengan tekanan udara yang lebih tinggi ke tempat yang bertekanan udara lebih rendah. Kecepatan angin merupakan kecepatan menjalarnya arus angin yang dinyatakan dalam satuan knot, kilometer/jam, ataupun meter/detik. Massa udara yang bergerak dengan jumlah yang besar dapat menciptakan kekuatan atau energi angin. Semakin besar perbedaan tekanan pada wilayah yang berbeda maka akan semakin kencang angin yang bertiup. Dalam penelitian ini kondisi kecepatan angin dianalisis pada dua rentang waktu yaitu pada saat terjadinya Siklon Tropis Rai dan setelah terjadinya siklon.

- **Saat Terjadinya Siklon Tropis**

Kondisi kecepatan angin di Perairan Kepulauan Talaud pada saat terjadinya Siklon Tropis Rai pada umumnya mengalami kenaikan sebesar 3.4 - 6.6 m/s. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada tanggal 16 Desember 2021 di semua stasiun. Di stasiun A yang mana letaknya di sebelah Barat Laut Kepulauan Talaud memiliki kecepatan angin tertinggi yaitu sebesar 11.7 m/s seperti terlihat pada Gambar 2(A). Pada tanggal tersebut posisi siklon sedang berada pada jarak yang dekat dengan Talaud. Selain itu, Siklon Tropis Rai juga berada pada intensitas tertingginya yaitu *super typhoon*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kusumawardani *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa Taifun Surigae meningkatkan kecepatan angin di Perairan Sangihe-Talaud ketika berada dekat dengan wilayah tersebut.

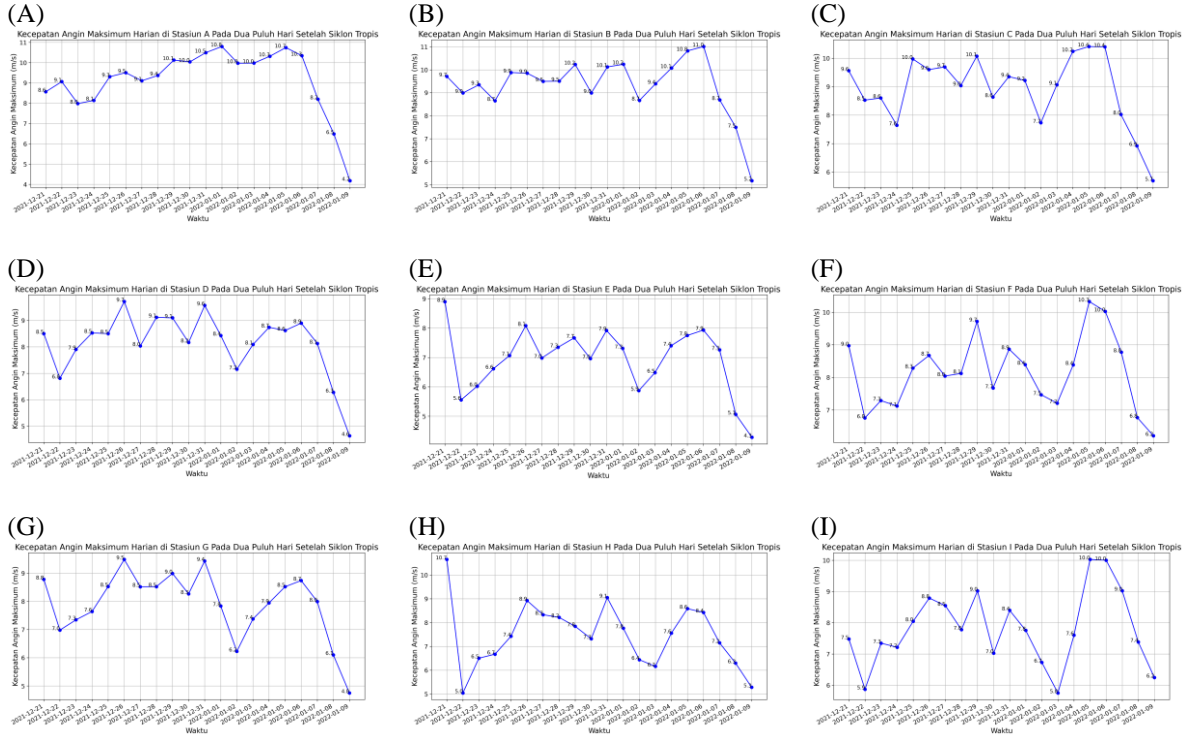
Penurunan kecepatan angin secara signifikan terjadi dua hari setelah mencapai nilai tertingginya. Siklon tropis mulai menjauhi wilayah Perairan Kepulauan Talaud pada periode waktu tersebut. Pada tanggal 19-20 Desember 2021 kecepatan angin kembali meningkat namun tidak setinggi sebelumnya yaitu 0.9 - 3.4 m/s. Hal ini dikarenakan pada tanggal tersebut Siklon Tropis Rai kembali mencapai kecepatan angin tertinggi di sekitar pusatnya yang mana sebelumnya sempat menurun. Namun demikian posisi siklon sudah berada jauh dari Perairan Kepulauan Talaud yaitu di sekitar Laut Cina Selatan sehingga pengaruhnya semakin menurun.



Gambar 3. Kondisi kecepatan angin di tiap stasiun pada saat terjadi siklon tropis

- **Setelah Siklon Tropis Rai Puncak**

Pada rentang waktu tiga hingga empat hari setelah siklon pada tahap puncak, kecepatan angin cenderung menurun. Penurunan kecepatan angin yang paling signifikan pada rentang waktu tersebut terjadi di stasiun H (Gambar 4(H)) yaitu sebesar 5.7 m/s. Stasiun tersebut terletak di sebelah Selatan Kepulauan Talaud yang mana memiliki jarak yang lebih jauh terhadap siklon. Kemudian umumnya nilainya berfluktuasi hingga dua minggu setelahnya. Peningkatan sedikit terjadi pada tanggal 6 Januari 2022 kemudian menurun secara signifikan pada dua puluh hari setelah siklon.



Gambar 4. Kondisi kecepatan angin di tiap stasiun setelah siklon tropis puncak

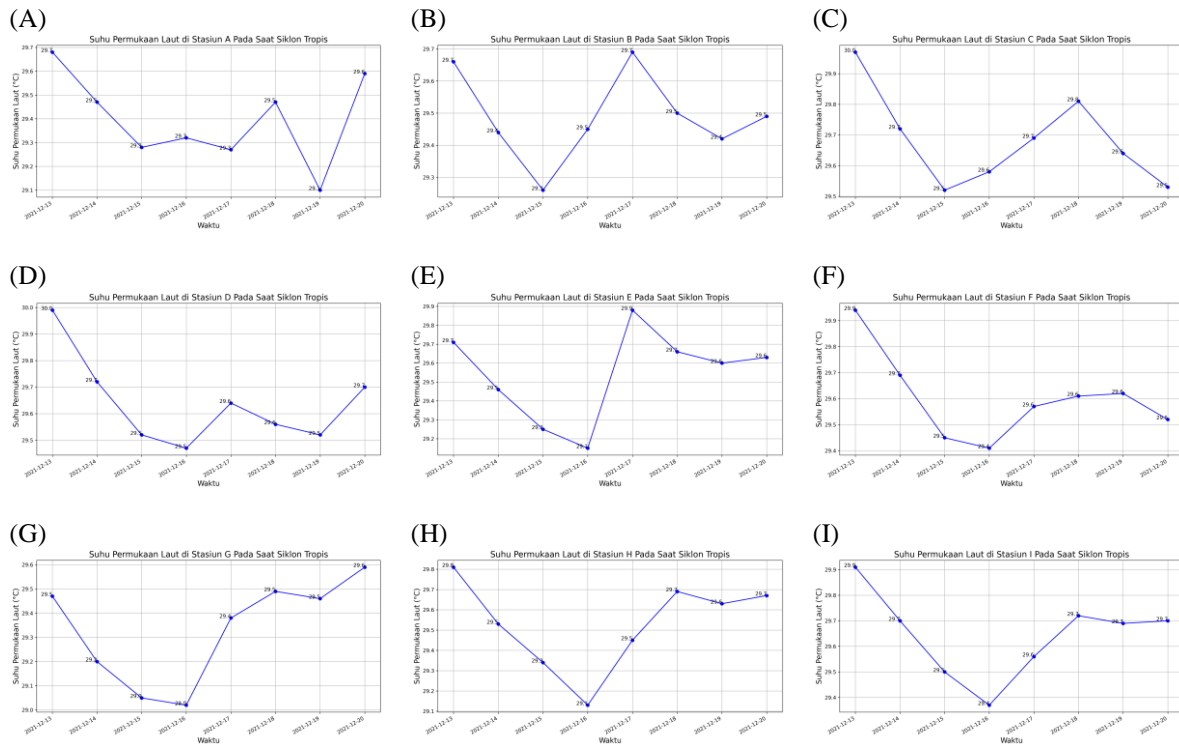
Suhu Permukaan Laut

Suhu permukaan laut merupakan suhu air laut di lapisan teratas dan umumnya pada kedalaman satu meter dibawah permukaan laut. Suhu perairan menjadi salah satu indikasi keberadaan kelompok ikan di suatu wilayah laut (Rahadian *et al.*, 2019). Di lautan, suhu dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti paparan sinar matahari secara langsung, angin, maupun arus. Penelitian ini menganalisis kondisi suhu permukaan laut pada saat terjadinya Siklon Tropis Rai dan setelah terjadinya siklon.

- **Saat Terjadinya Siklon Tropis Rai**

Pada saat Siklon Tropis Rai terjadi, suhu permukaan laut di sekitar lokasi penelitian cenderung mengalami penurunan 0.4 - 0.7 °C. Hal ini terutama ketika siklon tropis melintasi daerah Samudera Pasifik sebelah timur Filipina pada tanggal 15 - 16 Desember 2021. Penurunan suhu permukaan laut tertinggi terjadi di stasiun H dengan nilai penurunan 0.7 °C sebagaimana terlihat pada Gambar 5(H). Kondisi ini mengindikasikan bahwa terdapat massa air dengan suhu yang lebih rendah di lapisan bawah menuju ke permukaan laut sehingga suhu di permukaan menjadi menurun. Tren penurunan suhu permukaan laut serupa juga terjadi di Perairan Kepulauan Sangihe pada saat terjadinya Siklon Tropis Amang (Rachim *et al.*, 2021).

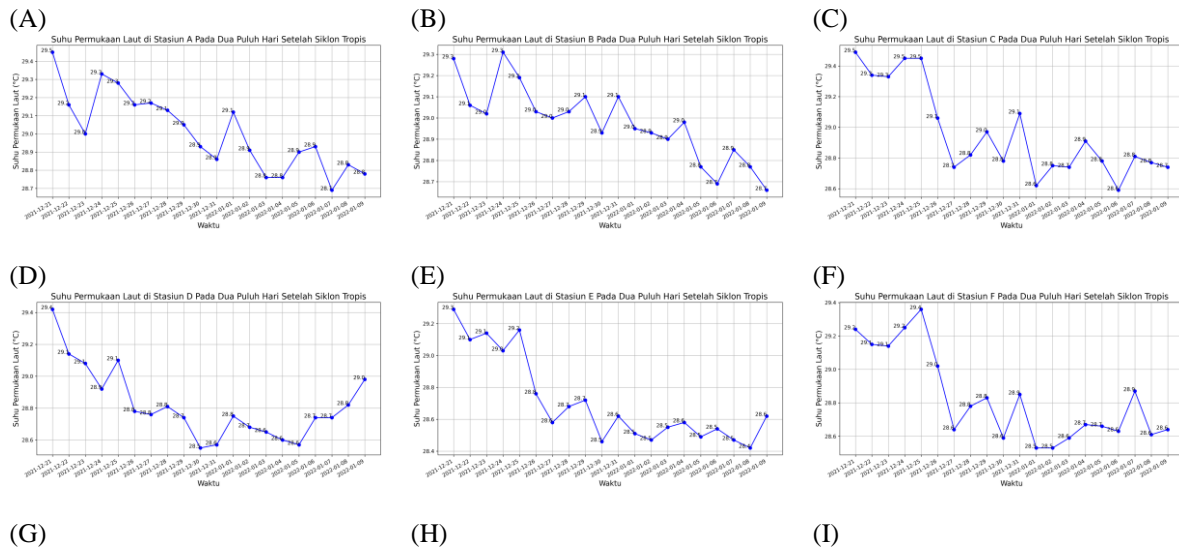
Insan dkk. (2024), Dampak Siklon Tropis...

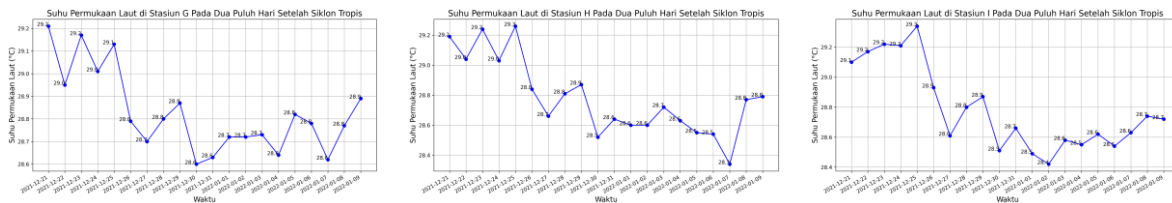


Gambar 5. Kondisi suhu permukaan laut di tiap stasiun pada saat terjadi siklon tropis

- **Setelah Siklon Tropis Rai Punah**

Kondisi suhu permukaan laut di Perairan Kepulauan Talaud pada umumnya menurun pasca kejadian Siklon Tropis Rai. Nilai terendah terjadi sekitar sepuluh hingga dua puluh hari setelah siklon punah. Penurunan bervariasi antara $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Penurunan suhu terbesar terjadi di beberapa stasiun yaitu stasiun C, D, E, dan H seperti terlihat pada Gambar 6. Tren penurunan suhu permukaan laut ini diperkuat oleh penelitian Ridwan *et al.*, (2024) bahwa secara umum kondisi suhu permukaan laut setelah terjadinya Siklon Tropis Paddy akan mengalami penurunan.





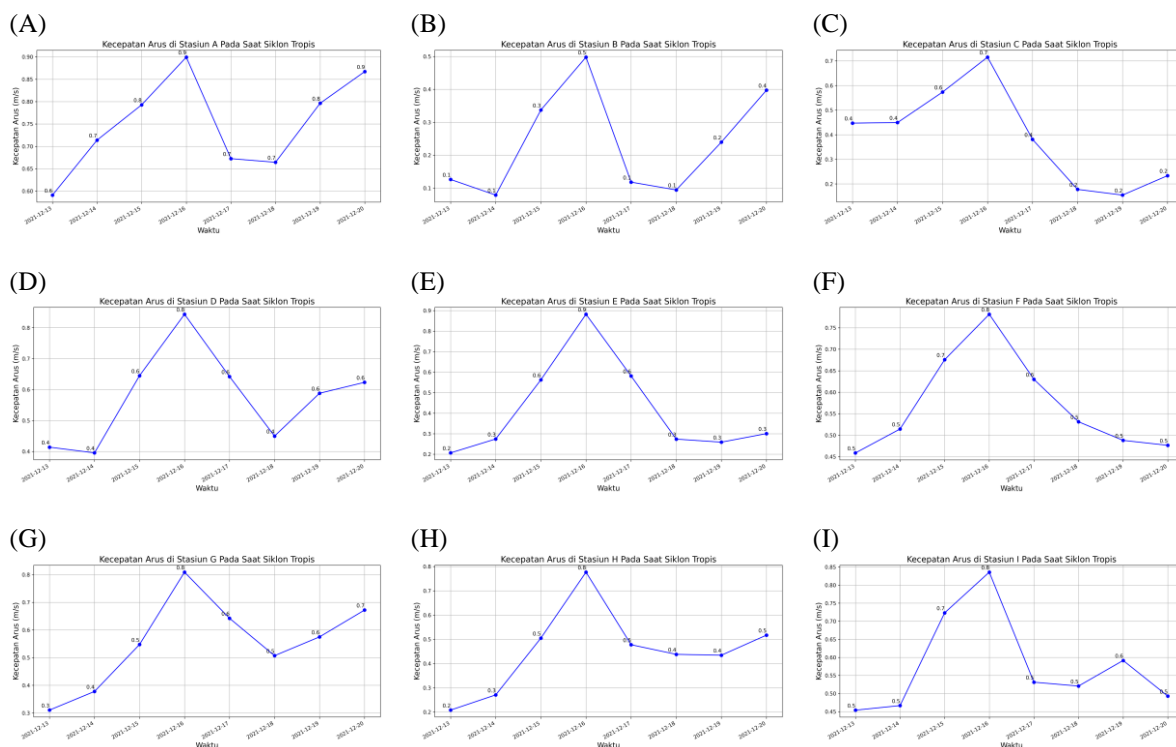
Gambar 6. Kondisi suhu permukaan laut di tiap stasiun setelah siklon tropis punah

Arus Permukaan Laut

Kondisi arus permukaan secara tidak langsung dipengaruhi oleh kondisi angin yang bertiup di atasnya. Meskipun angin hanya memberikan pengaruh sekitar 2% dari besarnya kecepatan arus dan pengaruhnya akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman hingga mencapai 200 meter. Dalam penelitian ini dilakukan analisis kondisi kecepatan arus di permukaan laut. Analisis dilakukan pada saat terjadinya Siklon Tropis Rai hingga pasca siklon atau setelah siklon punah.

• **Saat Terjadinya Siklon Tropis Rai**

Kecepatan arus saat Siklon Tropis Rai berada di Perairan Filipina pada tanggal 15-16 Desember 2021 mengalami peningkatan signifikan hingga 0.3 - 0.7 m/s jika dibandingkan dengan pada saat Siklon Tropis Rai baru terbentuk. Pada umumnya puncak kenaikan kecepatan arus terjadi pada tanggal 16 Desember 2021. Hal ini sejalan dengan tren kenaikan kecepatan angin pada saat terjadi siklon. Kecepatan arus tertinggi terjadi di stasiun A dan E yaitu sebesar 0.9 m/s sebagaimana terlihat pada Gambar 7(A) dan 7(E).

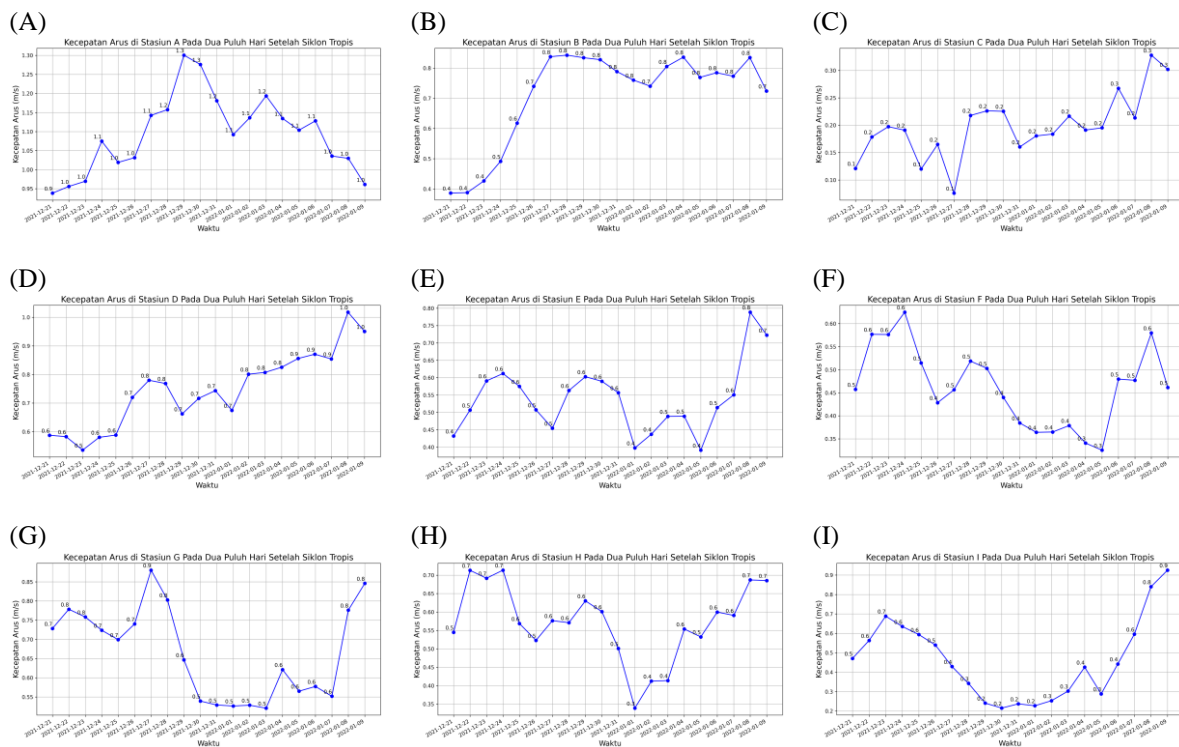


Gambar 7. Kondisi kecepatan arus di tiap stasiun pada saat terjadi siklon tropis

• **Setelah Siklon Tropis Rai Punah**

Setelah Siklon Tropis Rai punah, kecepatan arus permukaan laut di semua titik penelitian umumnya bervariasi. Pada periode waktu tiga hari setelahnya kondisi kecepatan arus umumnya mengalami kenaikan namun tidak signifikan. Tujuh hingga empat belas hari setelah siklon di sebagian besar stasiun kondisi kecepatan arus cenderung menurun sekitar 0.5 m/s kecuali di stasiun A sampai D yang letaknya berada di sebelah utara dan barat Perairan Kepulauan Talaud yang

mengalami kenaikan. Sedangkan pada dua minggu hingga dua puluh hari setelah siklon, pada umumnya arus kembali mengalami kenaikan kecuali di stasiun A dan B.



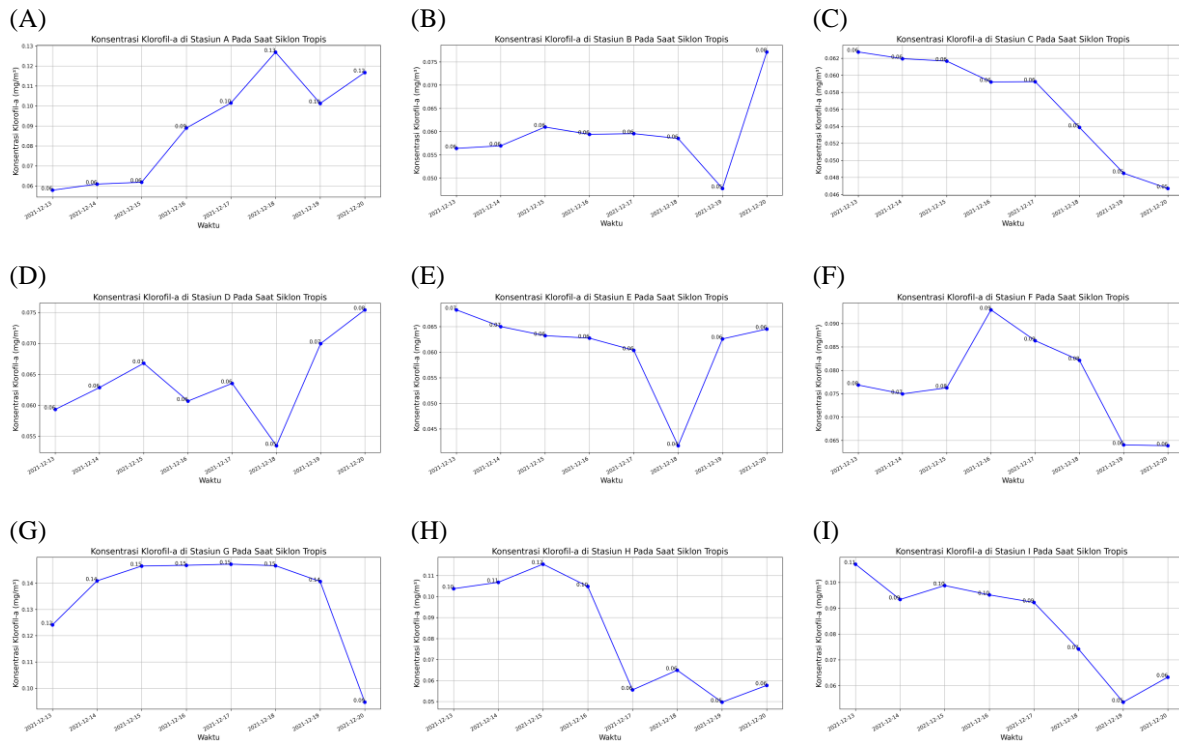
Gambar 8. Kondisi kecepatan arus di tiap stasiun setelah siklon tropis punah

Klorofil-a

Klorofil merupakan pigmen warna hijau yang ada pada tanaman, alga, serta cyanobacteria. Klorofil-a adalah pigmen hijau yang memainkan peran penting pada fitoplankton untuk menyerap sinar matahari dan kemudian mengubahnya menjadi energi kimia. Hal ini sangat penting dalam keberlangsungan kehidupan fitoplankton tersebut. Kelimpahan klorofil-a dapat dijadikan salah satu indikator banyaknya fitoplankton di dalam suatu perairan yang merupakan sumber makanan utama organisme laut terutama ikan. Banyak atau sedikitnya konsentrasi klorofil-a di suatu perairan merupakan salah satu parameter yang menentukan produktivitas primer di laut (Widyatmanti *et al.*, 2021).

- **Saat Terjadi Siklon Tropis Rai**

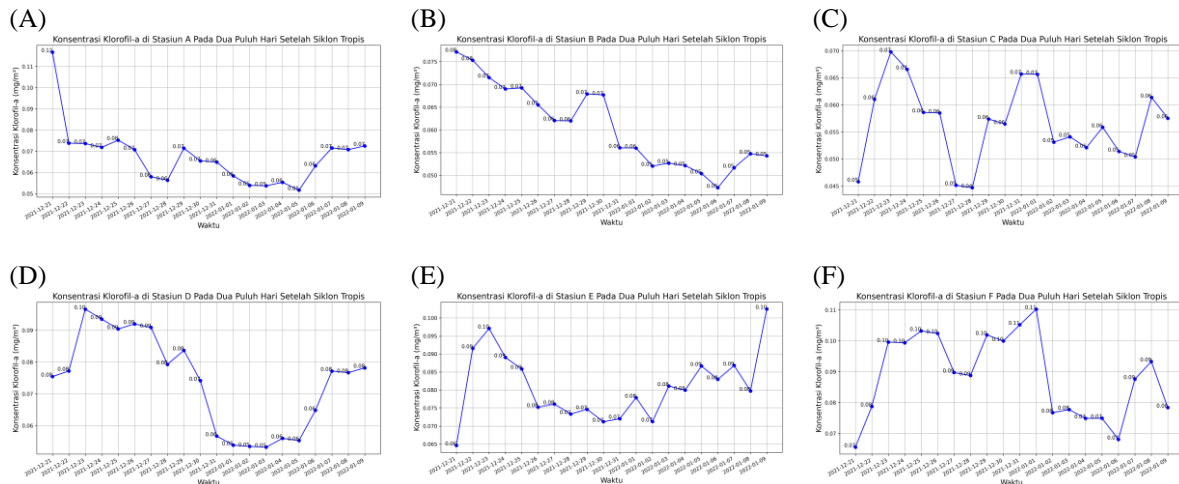
Konsentrasi klorofil-a di Perairan Kepulauan Talaud pada saat terjadinya Siklon Tropis Rai pada umumnya mengalami penurunan 0.01 - 0.06 mg/m³ kecuali di stasiun A yang mana mengalami kenaikan. Penurunan konsentrasi klorofil-a paling besar terjadi di stasiun I seperti terlihat pada Gambar 9(I). Pada umumnya penurunan signifikan terjadi pada dua hingga tiga hari sebelum siklon punah. Kondisi ini bersesuaian dengan hasil penelitian oleh Sagala & Saragih (2021) yang menyatakan bahwa kondisi klorofil-a di Perairan Selatan Jawa cenderung menurun pada saat kejadian siklon tropis Cempaka. Namun demikian menjelang siklon tropis punah, di beberapa stasiun mengalami kenaikan klorofil-a seperti di stasiun B, D, dan E masing-masing sebesar 0.03, 0.03, dan 0.02 mg/m³.

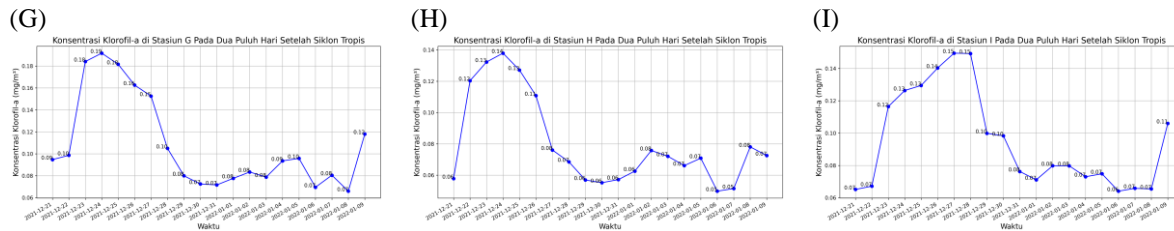


Gambar 9. Kondisi konsentrasi klorofil-a di tiap stasiun pada saat terjadi siklon tropis

● **Setelah Siklon Tropis Rai Puhah**

Setelah kejadian Siklon Tropis Rai, konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan pada tiga hingga tujuh hari pasca siklon yaitu sebesar 0.02 - 0.10 mg/m³. Nilai klorofil-a tertinggi setelah siklon terjadi di stasiun G yaitu 0.19 mg/m³ sebagaimana terlihat pada Gambar 10(G). Kondisi tersebut kemudian dilanjutkan dengan kecenderungan penurunan konsentrasi klorofil-a secara fluktuatif. Nilai terendah terjadi pada rentang waktu sekitar dua minggu setelah kepunahan siklon. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Efendi *et al.* (2018) yang menyebutkan bahwa terdapat peningkatan konsentrasi klorofil-a secara signifikan pada satu minggu setelah kejadian siklon. Hal ini dapat terjadi karena siklon tropis dapat memicu terjadinya pengadukan vertikal dan upwelling di lautan yang membawa massa air dingin dan kaya nutrisi dari bawah menuju ke lapisan permukaan. Bertambahnya nutrisi mendukung proses fotosintesis oleh fitoplankton sehingga konsentrasi klorofil-a dapat meningkat (Wang *et al.*, 2023).





Gambar 8. Kondisi konsentrasi klorofil-a di tiap stasiun setelah siklon tropis purnah

KESIMPULAN

Kejadian Siklon Tropis Rai pada Desember 2021 memberikan dampak terhadap kondisi oseanografi seperti kecepatan angin, suhu permukaan laut, kecepatan arus, dan konsentrasi klorofil-a di Perairan Kepulauan Talaud. Hasilnya menunjukkan bahwa pada saat Siklon Tropis Rai berlangsung kondisi kecepatan angin dan kecepatan arus meningkat hingga 6.6 m/s dan 0.7 m/s. Sedangkan kondisi suhu permukaan laut dan klorofil-a mengalami penurunan hingga 0.7 °C dan 0.06 mg/m³. Kondisi kecepatan angin, kecepatan arus, dan suhu permukaan laut setelah Siklon Tropis Rai pada umumnya mengalami penurunan hingga sebesar 5.7 m/s, 0.5 m/s dan 0.9 °C. Sedangkan kondisi konsentrasi klorofil-a meningkat hingga sebesar 0.10 mg/m³. Hal ini dapat terjadi karena fenomena Siklon Tropis Rai yang dapat memicu pengadukan vertikal di lautan yang membawa massa air dingin dan kaya nutrisi dari bawah menuju ke lapisan permukaan. Hal ini menyebabkan suhu permukaan laut menurun dan bertambahnya nutrisi mendukung proses fotosintesis oleh fitoplankton sehingga konsentrasi klorofil-a dapat meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. (2008). Meteorologi Laut Indonesia. Jakarta: *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 242-243.
- BPS Kabupaten Kepulauan Talaud. (2021). Kabupaten Kepulauan Talaud dalam Angka 2021. BPS Kepulauan Talaud, 38.
- Efendi, U., Fadlan, A., & Hidayat, A. M. (2018). Chlorophyll-A Variability in the Southern Coast of Java Island, Indian Ocean: Corresponding to the Tropical Cyclone of Ernie. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 162(1), 012035.
- Kusumawardani, N., Azani, A. A., & Iklima, C. (2021). Impact of Typhoon Surigae on Oceanographic Parameters in Sangihe-Talaud Waters. *Indonesian Association of Geologists Journal (IAGI Journal)*, 1(3), 143–152.
- Ningsih, N.S., Hanifah, F., Tanjung, T.S., Yani, L.F., & Azhar, M.A. (2020). The Effect of Tropical Cyclone Nicholas (11-20 February 2008) on Sea Level Anomalies in Indonesian Waters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(11), 948. <https://doi.org/10.3390/jmse8110948>.
- Pemerintah Kabupaten Kepulauan Talaud. (2024). Profil Kabupaten. <https://www.talaudkab.go.id/profil-kabupaten/>.
- Rahadian, L. D., Khan, A. M. A., Dewanti, L. P., & Apriliani, I. M. (2019). Analisis Sebaran Suhu Permukaan Laut pada Musim Barat dan Musim Timur Terhadap Produksi Hasil Tangkapan Ikan Lemuru (*Sardinella lemuru*) Di Perairan Selat Bali. *Jurnal Perikanan Kelautan*. 10(2).
- Ridwan, F., Syamsuddin, M. L., Ismail, M. R., & Sari, Q. W. (2024). Pengaruh Siklon Tropis Paddy Terhadap Kondisi Oseanografi di Wilayah Perairan Selatan Jawa Barat. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*. 2(10), 634-653.
- Sagala, E. A., & Saragih, I. J. A. (2021). Kajian Dampak Siklon Tropis Cempaka Terhadap Variabilitas Kejadian Upwelling di Perairan Selatan Jawa. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 1(1), 193–200.
- Surinati, D., & Kusuma, D. A., (2018). Karakteristik dan Dampak Siklon Tropis yang Tumbuh di Sekitar Wilayah Indonesia. *Oseana*. 43(2), 1-12.

- Tjasyono, B., & Harijono, S.W.B. (2006). Meteorologi Indonesia. *Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Wang, J., Guo, B., Ji, Z., Che, Y., & Mantravadi, V. S. (2023). Effects of Typhoon Chanthu on Marine Chlorophyll a, Temperature and Salinity. *Atmosphere*, 14(10), 1505.
- Wang, Y. (2020). Composite of Typhoon-Induced Sea Surface Temperature and Chlorophyll-A Responses in the South China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(10), e2020JC016243.
- Zhao, H., Shao, J., Han, G., Yang, D., & Lv, J. (2015). Influence of Typhoon Matsa on Phytoplankton Chlorophyll-a Off East China. *PLoS One*, 10(9), e0137863.
- Widyatmanti, W., Murti, S. H., Widayani, P. (2021). Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemodelan dan Pemetaan Data Biofisik Lahan. UGM PRESS.