

## Variability of Oceanographic Parameters During and After Tropical Cyclone Kammuri in Talaud Islands Waters

*(Variabilitas Parameter Oseanografi Saat dan Setelah Kejadian Siklon Tropis Kammuri di Perairan Kepulauan Talaud)*

**Khoirul Insan<sup>1\*</sup>, Wilhelmina Patty<sup>2</sup>, Indri S. Manembu<sup>2</sup>, Rignolda Djamaluddin<sup>2</sup>, Diane J. Kusen<sup>2</sup>, James J. H. Paulus<sup>2</sup>, Deiske A. Sumilat<sup>1</sup>, Johannes E. X. Rogi<sup>3</sup>**

1. Program Studi Ilmu Perairan, Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi Manado

2. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Manado

3. Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi Manado

\*Penulis Korespondensi: [khoirulinsan713@gmail.com](mailto:khoirulinsan713@gmail.com)

### ABSTRACT

Tropical cyclones are meteorological phenomena in tropical regions that can bring extreme weather, including heavy rain, thunderstorms, and strong winds along their path. These conditions can pose a threat to human safety, particularly fishermen and other maritime activities. The waters of the Talaud Islands, located near the western Pacific Ocean, are frequently traversed by tropical cyclones. This study aims to analyze the variability of oceanographic parameters spatially and temporally during and after Tropical Cyclone Kammuri in the Talaud Islands waters. The oceanographic parameter data, including wind direction and speed, current direction and speed, sea surface temperature, and chlorophyll-a, are obtained from remote sensing data and numerical modeling, which can be accessed through the CMEMS website. Result of this study shows that During the cyclone, maximum wind speed reached 9.1 m/s, triggering an increase in surface currents up to 0.55 m/s. Sea surface temperature decreased by 0.6 °C due to vertical mixing, while chlorophyll-a concentrations dropped to 0.06 mg/m<sup>3</sup> before rising again to 0.11 mg/m<sup>3</sup>. After the cyclone passed, wind and current speeds declined, while sea surface temperature and chlorophyll-a concentrations increased over the following three weeks.

**Keywords:** Cyclone, Wind; SST, Chlorophyll-a, Talaud

### ABSTRAK

Siklon tropis merupakan fenomena meteorologi di kawasan tropis yang dapat membawa cuaca ekstrem, termasuk hujan deras, badai petir, dan angin kencang di sepanjang jalurnya. Kondisi ini berpotensi membahayakan keselamatan manusia, terutama nelayan dan aktivitas pelayaran lainnya. Perairan Kepulauan Talaud terletak di dekat Samudera Pasifik Bagian Barat dimana pada wilayah tersebut sering menjadi jalur lintasan siklon tropis. 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 variabilitas parameter oseanografi secara spasial dan temporal pada saat dan setelah terjadinya Siklon Tropis Kammuri di perairan Kepulauan Talaud. Data parameter oseanografi berupa arah dan kecepatan angin, arah dan kecepatan arus, suhu permukaan laut, serta klorofil-a diambil dari data penginderaan jarak jauh dan pemodelan numerik yang dapat diakses melalui website CMEMS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat siklon tropis kecepatan angin meningkat yaitu mencapai 9,1 m/s, memicu peningkatan kecepatan arus permukaan hingga 0,55 m/s. Suhu permukaan laut menurun 0,6 °C akibat pencampuran vertikal, sedangkan klorofil-a sempat turun menjadi 0,06 mg/m<sup>3</sup> sebelum kembali naik ke 0,11 mg/m<sup>3</sup>. Setelah siklon berlalu, kecepatan angin dan arus menurun, sementara suhu laut dan klorofil-a meningkat dalam tiga minggu berikutnya.

**Kata kunci:** Siklon; Angin; SPL; Klorofil-a; Talaud

## PENDAHULUAN

Siklon tropis merupakan sistem tekanan rendah non-frontal yang terbentuk di atas lautan tropis, dengan ciri khas struktur awan konvektif yang terorganisir dan sirkulasi angin yang sangat kuat di sekitar pusatnya (Aldrian, 2008). Sistem ini berkembang di perairan luas dan menghasilkan angin kencang dengan kecepatan mencapai 34 knot atau lebih, yang bertahan setidaknya enam jam. Sebagian besar (67%) siklon tropis terjadi di belahan bumi utara (Tjasyono & Harijono, 2006). Posisi Indonesia yang terletak antara 6°LU - 11°LS dan 95°BT - 141°BT tidak berada pada jalur langsung lintasan siklon tropis. Meski demikian, siklon tropis yang terbentuk di Samudera Pasifik Barat Laut dan Samudera Hindia Tenggara tetap memberikan pengaruh tidak langsung, seperti cuaca ekstrem berupa angin kencang dan gelombang tinggi (Ningsih *et al.*, 2020).

Siklon tropis dapat mengubah kondisi fisik perairan dengan meningkatkan gelombang laut dan arus, yang dapat merusak ekosistem pesisir, termasuk terumbu karang. Selain itu, siklon tropis juga memicu proses pengadukan vertikal dan upwelling, yang pada gilirannya meningkatkan kesuburan perairan (Surinati & Kusuma, 2018). Perubahan suhu permukaan laut terjadi akibat pencampuran antara air laut yang lebih dingin dan hangat, yang mempengaruhi ekosistem laut, terutama organisme plankton yang sensitif terhadap fluktuasi suhu. Penelitian menunjukkan adanya hubungan positif antara siklon tropis dan peningkatan konsentrasi klorofil-a melalui upwelling dan pencampuran vertikal (Wang, 2020; Wang *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2015).

Kepulauan Talaud, yang terletak di utara Sulawesi Utara pada koordinat 3°38'

- 5°33' LU dan 126°38' - 127°10' BT, memiliki luas 39.051 km<sup>2</sup>, dengan sebagian besar wilayah (96,8%) terdiri dari perairan (BPS Kabupaten Kepulauan Talaud, 2021). Karena letaknya yang dekat dengan Samudera Pasifik bagian barat, kepulauan ini tidak terhindar dari dampak siklon tropis. Dampaknya terasa tidak hanya di daratan, tetapi juga mempengaruhi kondisi angin, suhu permukaan laut, klorofil-a, dan kehidupan laut di sekitar perairan tersebut.

Bibit siklon tropis Kammuri pertama kali muncul sebagai sistem tekanan rendah di Samudera Pasifik bagian barat pada 25 November 2019. Seiring dengan peningkatan intensitasnya, sistem ini berkembang menjadi badai tropis (*tropical storm*) yang terus bergerak ke arah barat. Tiga hari setelah kemunculannya, tepatnya pada 28 November 2019, badai tersebut menguat dan berubah status menjadi taifun. Memasuki tanggal 1 Desember 2019, taifun ini mulai memasuki wilayah perairan Filipina dan berada cukup dekat dengan perairan Kepulauan Talaud. Puncak kekuatan taifun Kammuri tercatat pada 2 Desember 2019, saat diklasifikasikan sebagai *very strong typhoon* oleh Japan Meteorological Agency (JMA).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis variabilitas parameter oseanografi secara spasial dan temporal di sekitar Perairan Kepulauan Talaud pada saat dan setelah kejadian Siklon Tropis Kammuri. Adapun parameter oseanografi yang dimaksud yaitu arah dan kecepatan angin, arah dan kecepatan arus, suhu permukaan laut, serta konsentrasi klorofil-a. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi atau sumbangan pengetahuan serta pemikiran yang bermanfaat dalam bidang ilmu perairan. Selain itu juga diharapkan memiliki nilai

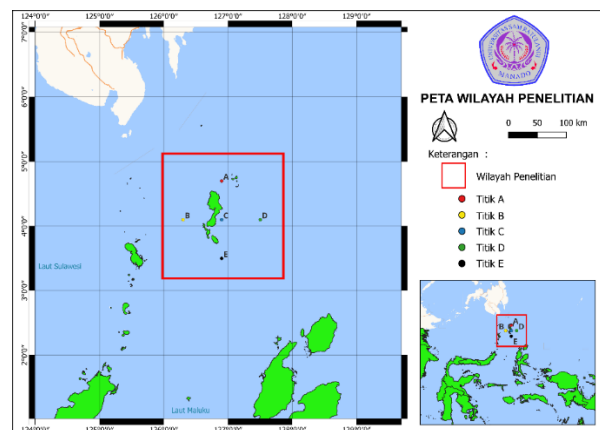
kemanfaatan bagi masyarakat yang berkaitan dengan keselamatan dan penangkapan ikan di Perairan Kepulauan Talaud.

### METODE PENELITIAN

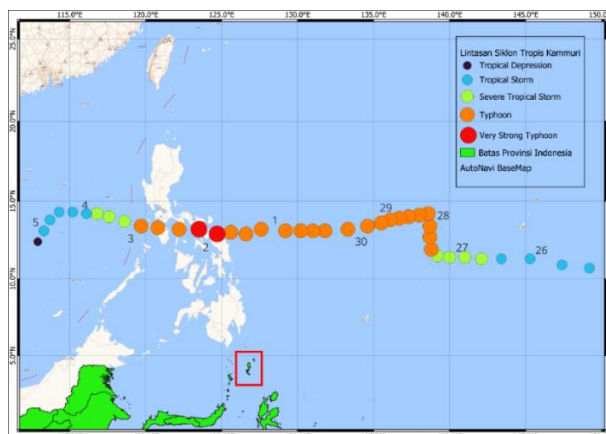
Lokasi penelitian adalah di sekitar Perairan Kepulauan Talaud, yang dibatasi pada koordinat  $3^{\circ}30'$  -  $4^{\circ}42'$  LU dan  $126^{\circ}18'$  -  $127^{\circ}30'$  BT (Gambar 1). Trayektori Siklon Tropis Kammuri yang melewati daerah di dekat wilayah penelitian selanjutnya ditampilkan dalam Gambar 2.

Data terkait siklon diperoleh dari laman resmi National Institute of Informatics (NII) Jepang (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon>). Data arah dan kecepatan angin level-4

dengan resolusi temporal per jam bersumber dari hasil pemrosesan data satelit dan model oleh Institut Meteorologi Belanda (KNMI) menggunakan scatterometer dari satelit Metop-A, Metop-B, dan Metop-C serta reanalisis model ERA5 dari European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) dengan resolusi spasial  $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$ . Data arus laut permukaan, baik komponen zonal (u) maupun meridional (v) diperoleh dari hasil pemodelan numerik Mercator Global Analysis and Forecast System yang disediakan oleh Mercator Ocean International dengan resolusi spasial  $0,083^{\circ} \times 0,083^{\circ}$  dan resolusi temporal harian. Data suhu permukaan laut harian level-4 berasal dari reanalisis OSTIA



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Trayektori siklon tropis Kammuri

(Operational Sea Surface Temperature and Ice Analysis) dengan resolusi  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ , yang dihimpun dari berbagai satelit dan pengamatan in situ (kapal, drifter, dan buoy) oleh GHRSSST. Data klorofil-a diperoleh dari satelit SeaWiFS, MODIS, dan MERIS yang diproses oleh ACRI-ST Prancis, dengan resolusi harian  $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ . Data-data tersebut diperoleh melalui Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)

Analisis dilakukan terhadap parameter arah dan kecepatan angin, arah dan kecepatan arus, suhu permukaan laut, dan konsentrasi klorofil-a di lima titik sekitar perairan Kepulauan Talaud. Keempat parameter ini dianalisis secara spasial dan temporal hingga 20 hari pasca terjadinya Siklon Tropis Kammuri. Untuk melihat perbandingan kondisi oseanografi saat kondisi normal dan periode siklon tropis, dilakukan uji-t untuk melihat signifikansinya.

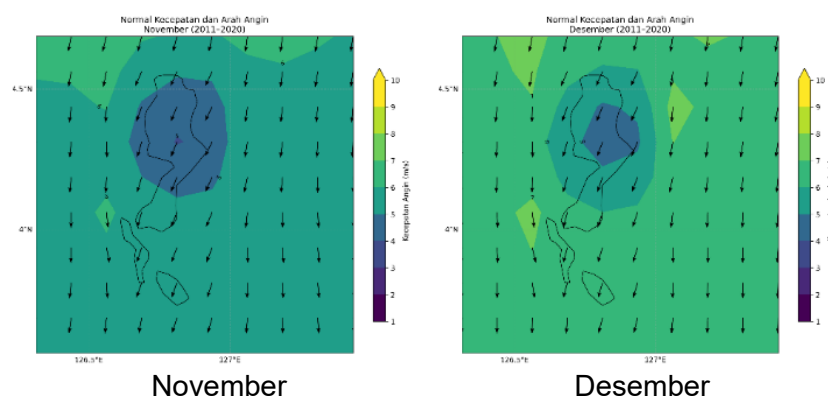
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Angin

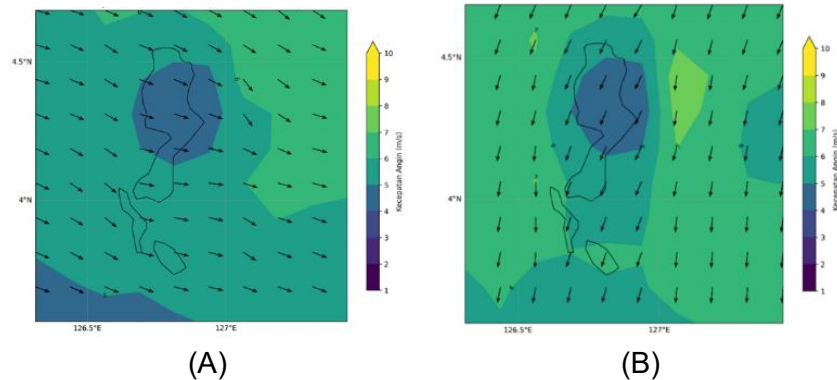
Angin dapat diartikan sebagai pergerakan massa udara dari wilayah dengan tekanan udara tinggi ke wilayah

bertekanan udara rendah. Perbedaan tekanan udara yang besar akan menghasilkan angin yang lebih kencang. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis kondisi normal angin pada bulan saat terjadinya Siklon Tropis Kammuri dan setelahnya seperti terlihat pada Gambar 3.

Distribusi kondisi normal angin selama kurun waktu 10 tahun di Perairan Kepulauan Talaud bulan November dan Desember menunjukkan angin bertiup dari utara – timur laut dengan kecepatan  $2 - 8 \text{ m/s}$  (Gambar 3). Saat siklon terjadi (Gambar 4A), angin di sebagian besar wilayah bertiup dari barat - barat laut dengan kecepatan berkisar antara  $4 - 6 \text{ m/s}$ , dengan pusat wilayah berkecepatan angin lebih rendah ( $4 - 5 \text{ m/s}$ , warna biru tua) berada di tengah. Setelah siklon berlalu (Gambar 4B), angin bertiup dari utara - timur laut dan beberapa wilayah mengalami peningkatan kecepatan angin, mencapai lebih dari  $7 \text{ m/s}$  (warna hijau kekuningan). Hal ini dapat diartikan bahwa setelah siklon, terjadi pemulihan sirkulasi angin yang lebih kuat akibat kembalinya sistem tekanan tinggi regional. Jika dilihat dari variabilitas temporal pada awal terjadinya siklon tropis Kammuri,



Gambar 3. Distribusi kondisi normal angin di Perairan Kep. Talaud



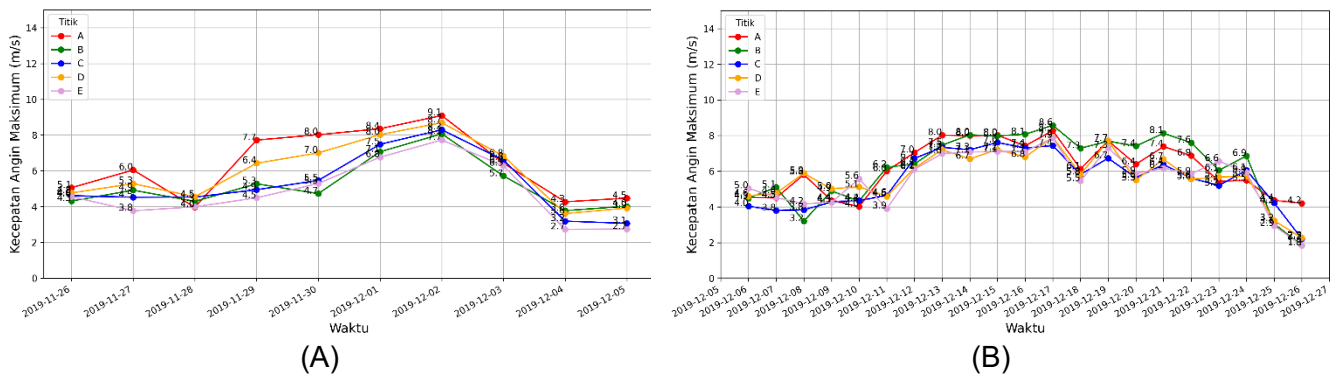
Gambar 4. Distribusi kecepatan angin pada saat (A) dan setelah (B) kejadian Siklon Tropis Kammuri

kecepatan angin terlihat mengalami kenaikan. Puncak kenaikan tertinggi terjadi pada tanggal 2 Desember 2019 yang terjadi di Titik A yaitu sebesar 9.1 m/s. Tren peningkatan kecepatan angin di masing-masing titik umumnya bersesuaian dengan semakin mendekatnya siklon terhadap wilayah perairan Kepulauan Talaud. 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. Serta sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Widyani *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa siklon tropis Dahlia meningkatkan kecepatan angin di Perairan Lampung bagian barat ketika siklon berada dekat dengan wilayah tersebut. Setelah itu kemudian mengalami penurunan di tanggal 4 Desember 2019 seperti yang terdapat dalam Gambar 5(A).

Setelah kejadian Siklon Tropis Kammuri (Gambar 5B), pola kecepatan angin di setiap Titik menunjukkan tren penurunan pada minggu pertama, kemudian mengalami peningkatan pada minggu kedua sebelum akhirnya kembali turun pada minggu ketiga. Titik B mencatat penurunan terbesar yaitu 1,3 m/s,

sekaliigus mencatat kecepatan angin terendah di minggu pertama, yakni 3,2 m/s (Gambar 5B). Pada minggu kedua, seluruh Titik mengalami kenaikan kecepatan angin, dengan Titik B mencatat lonjakan tertinggi sebesar 5,4 m/s dan menjadi Titik dengan kecepatan angin tertinggi, yakni 8,6 m/s. Memasuki minggu ketiga, kecepatan angin di semua Titik kembali turun, di mana Titik B kembali mencatat penurunan terbesar sebesar 6,8 m/s dan menjadi lokasi dengan kecepatan angin paling rendah yaitu 1,8 m/s.

Selanjutnya dilakukan analisis Uji-T terhadap komponen kecepatan angin untuk melihat signifikansi perubahan akibat terjadinya siklon tropis Kammuri seperti yang terdapat dalam Tabel 1. Signifikansi ditentukan dari nilai p-value dimana jika  $p < 0.05$  maka terdapat perbedaan yang signifikan (Islam *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil uji-t pada lima titik pengamatan (A–E), tidak ditemukan perubahan yang signifikan secara statistik pada kecepatan angin antara kondisi normal, saat, dan setelah terjadi siklon tropis Kammuri. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum, kehadiran siklon tropis Kammuri tidak memberikan dampak yang nyata terhadap kecepatan angin di titik penelitian.



Gambar 5. Kecepatan angin di tiap Titik pada saat (A) dan setelah (B) siklon tropis Kammuri

Tabel 1. Hasil Uji-T kecepatan angin

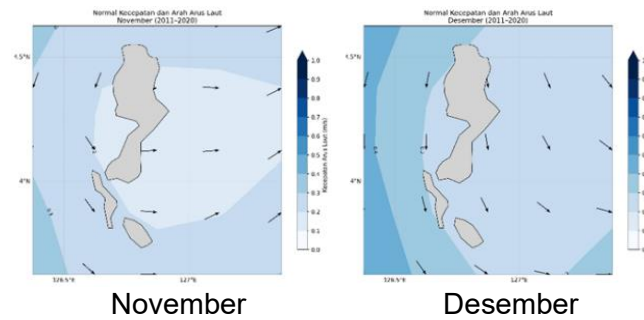
| Titik    | Kecepatan Angin |         |            |                    |         |            |         |            |
|----------|-----------------|---------|------------|--------------------|---------|------------|---------|------------|
|          | Mean            |         |            | Standard Deviation |         |            | p-value |            |
|          | Normal          | Saat TC | Setelah TC | Normal             | Saat TC | Setelah TC | Saat TC | Setelah TC |
| <b>A</b> | 6.3             | 6.4     | 6.3        | 1.7                | 1.8     | 1.4        | 0.741   | 0.487      |
| <b>B</b> | 6.1             | 5.3     | 6.4        | 1.8                | 1.3     | 1.7        | 0.200   | 0.587      |
| <b>C</b> | 5.8             | 5.4     | 5.7        | 1.6                | 1.6     | 1.3        | 0.490   | 0.172      |
| <b>D</b> | 5.9             | 5.9     | 5.8        | 1.7                | 1.7     | 1.2        | 0.993   | 0.206      |
| <b>E</b> | 5.8             | 5.1     | 5.7        | 1.7                | 1.5     | 1.3        | 0.190   | 0.208      |

### Arus

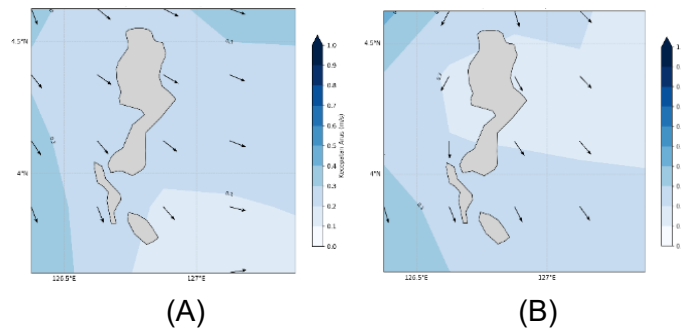
Arus laut merupakan fenomena bergeraknya massa air laut secara vertikal atau horizontal dari satu tempat ke tempat lain sebagai respon yang disebabkan oleh gaya penggerak seperti pola angin dan variasi densitas di laut, gelombang laut, dan pasang surut (Hadi & Radjawane, 2009). Distribusi kondisi normal angin selama kurun waktu 10 tahun di Perairan Kepulauan Talaud bulan November dan Desember menunjukkan arus bergerak ke Timur - Selatan dengan kecepatan 0.1 - 0.5 m/s (Gambar 6).

Pada saat terjadinya Siklon Kammuri (Gambar 7A), kecepatan arus laut berada pada kisaran 0.2 hingga 0.3 m/s, dengan konsentrasi kecepatan yang sedikit lebih tinggi di bagian barat daya dan barat laut wilayah studi. Hal ini terjadi karena letaknya yang lebih terbuka erhadap

pengaruh arus lintas regional seperti Arlindo (Arus Lintas Indonesia) atau arus musiman yang bergerak melintasi Laut Sulawesi dan Laut Maluku. Ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Radjawane & Hadipoetranto (2014) bahwa perairan Sangihe Talaud berperan sebagai pintu gerbang massa air arlindo yang berasal dari Samudra Pasifik Utara melewati jalur barat masuk ke perairan Laut Sulawesi. Setelah siklon (B), distribusi spasial kecepatan arus relatif sama, meskipun di beberapa wilayah khususnya di bagian tengah dan timur terlihat sedikit penurunan kecepatan. Kecepatan arus setelah siklon berkisar antara 0,1 hingga 0,4 m/s, dengan arus tercepat masih terjadi di perairan barat laut pulau. Ini menunjukkan bahwa dampak siklon mulai mereda dan arus laut cenderung kembali ke kondisi normal.



Gambar 6. Distribusi kondisi normal arus di Perairan Kep. Talaud



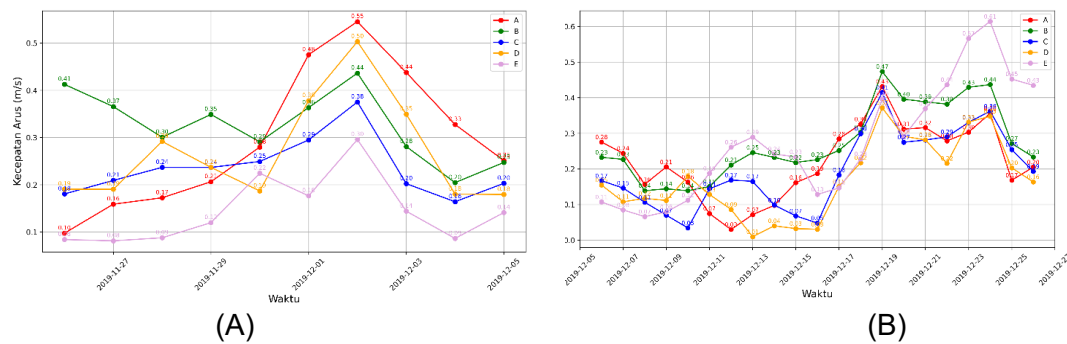
Gambar 7. Distribusi kecepatan arus pada saat (A) dan setelah (B) terjadi Siklon Tropis Kammuri

Secara temporal, selama berlangsungnya Siklon Tropis Kammuri, kecepatan arus di perairan Kepulauan Talaud umumnya terjadi peningkatan. Kecepatan arus maksimum yakni 0,5 m/s tercatat di Titik A dan D, yang letaknya lebih dekat dengan jalur lintasan siklon dibandingkan Titik lainnya (Gambar 8A). Tren peningkatan ini senada dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ridwan *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa kecepatan arus di perairan selatan Jawa Barat meningkat pada saat terjadinya siklon tropis Paddy. Setelah fase peningkatan ini, kecepatan arus di semua Titik mengalami penurunan berkisar antara 0,2 hingga 0,3 m/s, dengan penurunan terbesar terjadi di Titik D (0,3 m/s).

Setelah peristiwa Siklon Tropis Kammuri, kecepatan arus di perairan Kepulauan Talaud umumnya menunjukkan pola fluktuatif. Dalam kurun waktu satu

minggu pasca kejadian, kecepatan arus tercatat menurun di seluruh Titik pengamatan. Namun, memasuki minggu kedua setelah siklon, arus cenderung mengalami peningkatan kembali. Peningkatan paling signifikan terjadi di Titik E, dengan kenaikan sebesar 0,5 m/s. Titik yang sama juga mencatat nilai kecepatan arus tertinggi yakni 0,6 m/s sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Setelah fase peningkatan ini, kecepatan arus di seluruh lokasi kembali mengalami penurunan.

Hasil uji-t menunjukkan bahwa kecepatan arus di beberapa titik mengalami perubahan signifikan akibat siklon tropis Kammuri (Tabel 2). Saat siklon tropis Kammuri, titik B, C, dan E menunjukkan perbedaan signifikan ( $p < 0.05$ ), sementara setelah siklon hampir semua titik (kecuali E) menunjukkan perubahan sangat signifikan ( $p = 0.000$ ). Secara umum kecepatan arus menurun



Gambar 8. Kecepatan arus harian di tiap titik saat (A) dan setelah (B) siklon tropis Kammuri

Tabel 2. Hasil Uji-T Kecepatan Arus

| Titik | Kecepatan Arus |         |            |                    |         |            |         |            |
|-------|----------------|---------|------------|--------------------|---------|------------|---------|------------|
|       | Mean           |         |            | Standard Deviation |         |            | p-value |            |
|       | Normal         | Saat TC | Setelah TC | Normal             | Saat TC | Setelah TC | Saat TC | Setelah TC |
| A     | 0.33           | 0.29    | 0.22       | 0.19               | 0.15    | 0.11       | 0.563   | 0.000*     |
| B     | 0.41           | 0.33    | 0.27       | 0.21               | 0.07    | 0.10       | 0.005*  | 0.000*     |
| C     | 0.18           | 0.24    | 0.20       | 0.11               | 0.06    | 0.11       | 0.040*  | 0.000*     |
| D     | 0.31           | 0.27    | 0.17       | 0.17               | 0.11    | 0.11       | 0.483   | 0.000*     |
| E     | 0.32           | 0.14    | 0.27       | 0.21               | 0.07    | 0.16       | 0.000*  | 0.186      |

setelah TC disertai perubahan variabilitas yang terlihat dari standar deviasi.

### Suhu Permukaan Laut

Kondisi normal suhu permukaan laut pada bulan November dan Desember memiliki nilai yang sama yaitu berkisar antara 29 - 29.5 °C (Gambar 9). Pada saat terjadinya Siklon Tropis Kammuri (Gambar 10) terlihat adanya perubahan pada suhu permukaan laut dimana mencapai kisaran 29.5 °C hingga mendekati 30 °C, yang ditandai dengan gradasi warna oranye kemerahan. Suhu yang hangat ini memberikan energi yang cukup untuk mendukung perkembangan dan penguatan siklon tropis.

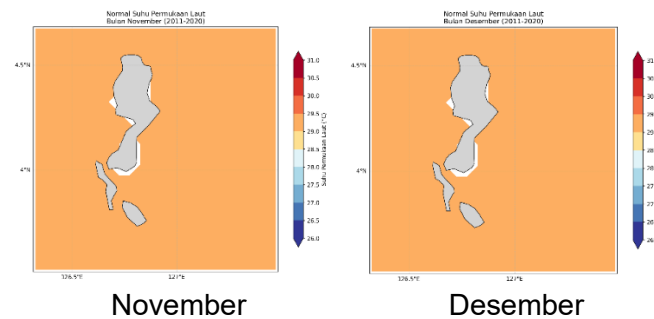
Pasca kejadian siklon tropis Kammuri, terjadi penurunan suhu permukaan laut yang cukup jelas dibanding pada saat siklon. Pendinginan suhu permukaan laut menjadi sekitar 29,5 °C

atau hampir sama dengan kondisi normalnya, ditandai dengan warna oranye muda yang lebih dominan. Pendinginan ini disebabkan oleh pencampuran vertikal air laut akibat angin kencang dan turbulensi yang dibawa oleh siklon, yang menyebabkan air permukaan yang hangat tercampur dengan air lapisan bawah yang lebih dingin. Secara keseluruhan, analisis peta SPL ini menunjukkan bahwa siklon tropis Kammuri berdampak terhadap variabilitas suhu permukaan laut di perairan Kepulauan Talaud.

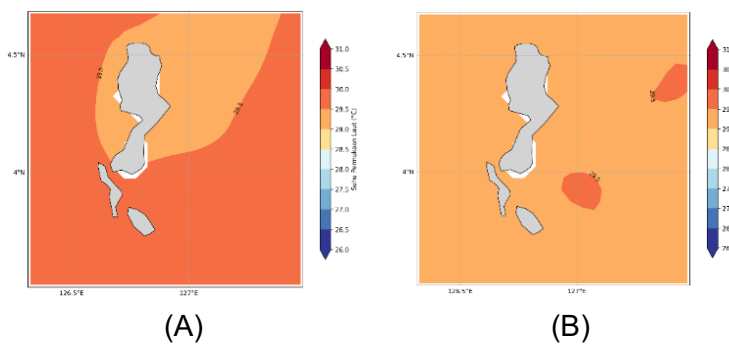
Secara temporal, selama berlangsungnya Siklon Tropis Kammuri terdapat pola fluktuatif suhu permukaan laut di perairan Kepulauan Talaud. Penurunan suhu paling tinggi yang terjadi yaitu pada tanggal 29 November 2019. Tren penurunan suhu permukaan laut serupa juga terjadi di Perairan Kepulauan Sangihe pada saat terjadinya Siklon Tropis

Amang (Rachim *et al.*, 2021). Penurunan suhu terbesar tercatat di Titik D, yaitu mencapai 0,6 °C, sedangkan suhu terendah terjadi pada Titik C yaitu 29,2 °C sebagaimana ditampilkan pada Gambar 11A. Setelah tanggal 29 November, suhu permukaan laut kembali

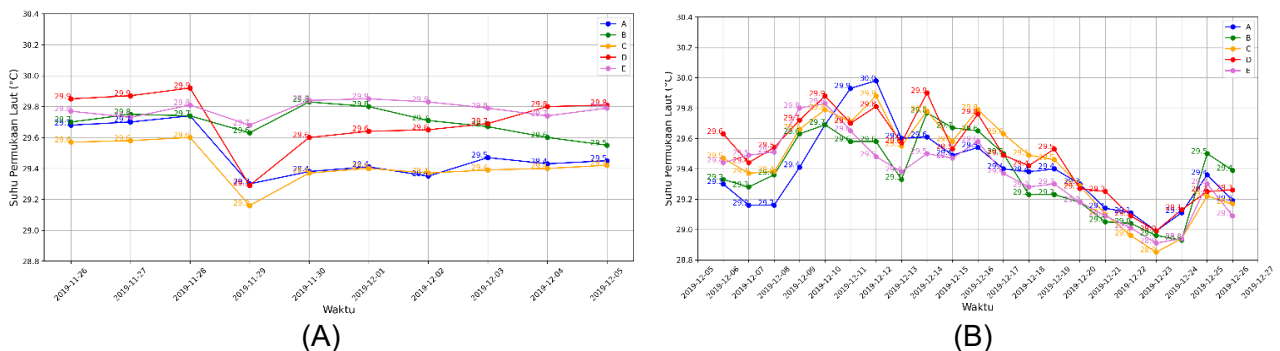
mengalami peningkatan, meskipun masih berfluktuasi hingga akhir periode terjadinya siklon. Penurunan suhu yang terjadi pada tanggal tersebut bertepatan dengan pergerakan Siklon Tropis Kammuri yang mulai mendekati perairan Kepulauan Talaud.



Gambar 9. Distribusi kondisi normal suhu permukaan laut di Perairan Kep. Talaud



Gambar 10. Distribusi suhu permukaan laut pada saat (A) dan setelah (B) terjadi siklon tropis Kammuri



Gambar 11. Suhu permukaan laut di tiap Titik pada saat (A) dan setelah (B) siklon tropis Kammuri

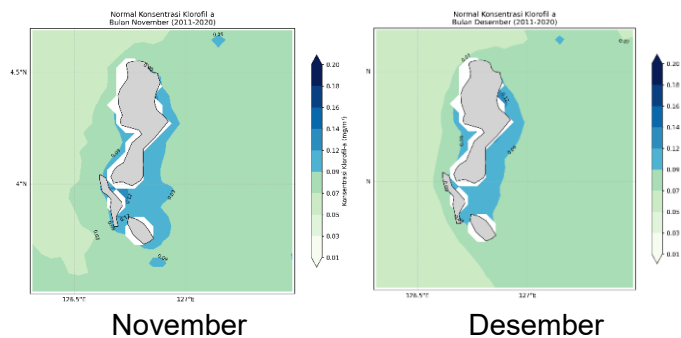
Tabel 3. Hasil Uji-T suhu permukaan laut

| Titik    | Suhu Permukaan Laut |         |            |                    |         |            |         |            |
|----------|---------------------|---------|------------|--------------------|---------|------------|---------|------------|
|          | Mean                |         |            | Standard Deviation |         |            | p-value |            |
|          | Normal              | Saat TC | Setelah TC | Normal             | Saat TC | Setelah TC | Saat TC | Setelah TC |
| <b>A</b> | 29.2                | 29.5    | 29.4       | 0.4                | 0.2     | 0.3        | 0.000*  | 0.000*     |
| <b>B</b> | 29.3                | 29.7    | 29.4       | 0.4                | 0.1     | 0.3        | 0.000*  | 0.001*     |
| <b>C</b> | 29.2                | 29.5    | 29.5       | 0.4                | 0.1     | 0.3        | 0.000*  | 0.001*     |
| <b>D</b> | 29.3                | 29.7    | 29.5       | 0.4                | 0.2     | 0.3        | 0.000*  | 0.000*     |
| <b>E</b> | 29.3                | 29.8    | 29.4       | 0.4                | 0.1     | 0.3        | 0.000*  | 0.000*     |

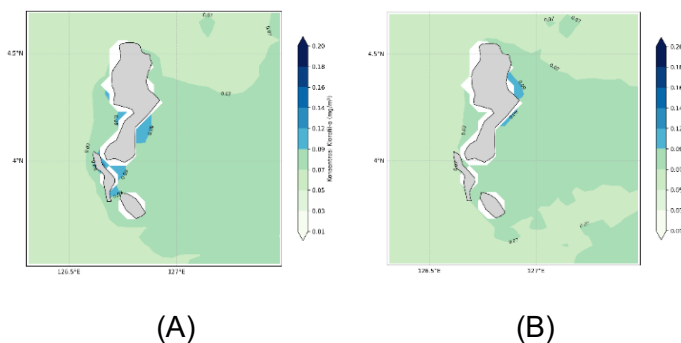
### Klorofil-a

Kondisi normal konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar Kepulauan Talaud pada umumnya berkisar antara 0.06 hingga 0.14 mg/m<sup>3</sup> pada bulan November dan Desember (Gambar 12). Konsentrasi tinggi dominan berada di daerah pesisir pantai. Tingginya sebaran klorofil-a di perairan pesisir pantai disebabkan karena adanya suplai nutrisi melalui aliran sungai yang berasal dari daratan (Lasut *et al.*, 2022).

Saat siklon tropis Kammuri terjadi (Gambar 13A), tampak bahwa konsentrasi klorofil-a secara umum mengalami penurunan, terutama di wilayah dekat pulau dan wilayah bagian utara dan selatan area penelitian. Nilai konsentrasi tertinggi berkisar antara 0.09 hingga 0.10 mg/m<sup>3</sup>, yang tersebar di sekitar sisi barat dan timur pulau utama. Namun sebarannya lebih sempit jika dibandingkan dengan kondisi normalnya.



Gambar 12. Distribusi kondisi normal klorofil-a di perairan Kep. Talaud

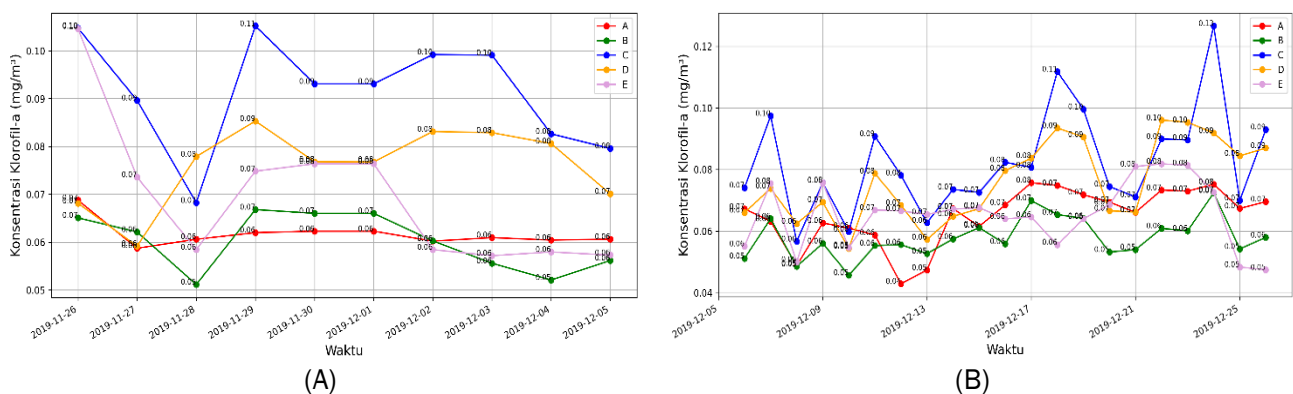


Gambar 13. Distribusi konsentrasi klorofil-a pada saat (A) dan setelah (B) terjadi siklon tropis Kammuri

Setelah siklon berlalu (Gambar 13B), terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a juga mengalami penurunan baik dari segi luas sebaran maupun nilainya. Wilayah dengan konsentrasi tinggi menjadi lebih terbatas dan hanya terkonsentrasi di perairan dekat pulau sebelah timur. Kondisi klorofil-a setelah terjadinya siklon tropis Kammuri secara umum lebih rendah dan sebaran nilai klorofil-a tinggi lebih sempit dibandingkan dengan kondisi normalnya.

Jika dilihat dari grafik temporal pada saat Siklon Tropis Kammuri berlangsung (Gambar 14A), konsentrasi klorofil-a di perairan Kepulauan Talaud umumnya mengalami penurunan dua hingga tiga hari setelah siklon terbentuk, dengan penurunan berkisar antara 0,01 hingga 0,04 mg/m<sup>3</sup>. Penurunan terbesar tercatat di Titik E, yang turun dari nilai 0,1 menjadi 0,06 mg/m<sup>3</sup>. Pada hari keempat setelah terbentuknya siklon, konsentrasi klorofil-a mulai meningkat secara bervariasi di setiap Titik, dengan kenaikan tertinggi terjadi di Titik C, sebesar 0,04 mg/m<sup>3</sup>, sehingga nilainya mencapai 0,11 mg/m<sup>3</sup> pada hari tersebut. Namun, pada hari kelima, umumnya konsentrasi klorofil-a kembali menurun hingga akhir siklon tropis.

Setelah Siklon Tropis Kammuri punah (Gambar 14B), konsentrasi klorofil-a di Perairan Kepulauan Talaud menunjukkan fluktuasi dengan kecenderungan menurun. Namun, pada periode dua hingga delapan belas hari setelah siklon berakhir, konsentrasi klorofil-a mulai meningkat. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Efendi *et al.* (2018) yang menyebutkan bahwa terdapat peningkatan konsentrasi klorofil-a secara 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 (J. Wang *et al.*, 2023). Pada minggu ketiga kenaikan konsentrasi klorofil-a yang terjadi bervariasi di masing-masing Titik, dengan nilai tertinggi tercatat di Titik C sebesar 0,13 mg/m<sup>3</sup>, sementara nilai tertinggi kedua berada di Titik D dengan 0,10 mg/m<sup>3</sup>, seperti yang terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Konsentrasi klorofil-a saat (A) dan setelah (B) siklon tropis Kammuri

Tabel 4. Hasil Uji-T Klorofil-a

| Titik    | Klorofil-a |         |            |                    |         |            |         |            |
|----------|------------|---------|------------|--------------------|---------|------------|---------|------------|
|          | Mean       |         |            | Standard Deviation |         |            | p-value |            |
|          | Normal     | Saat TC | Setelah TC | Normal             | Saat TC | Setelah TC | Saat TC | Setelah TC |
| <b>A</b> | 0.071      | 0.062   | 0.065      | 0.029              | 0.026   | 0.009      | 0.000*  | 0.126      |
| <b>B</b> | 0.067      | 0.059   | 0.058      | 0.029              | 0.006   | 0.007      | 0.429   | 0.000*     |
| <b>C</b> | 0.093      | 0.091   | 0.082      | 0.033              | 0.012   | 0.017      | 0.577   | 0.012*     |
| <b>D</b> | 0.084      | 0.078   | 0.076      | 0.031              | 0.008   | 0.012      | 0.041*  | 0.286      |
| <b>E</b> | 0.079      | 0.070   | 0.065      | 0.034              | 0.016   | 0.010      | 0.376   | 0.000*     |

Hasil uji-t pada Tabel 4 menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a mengalami perubahan signifikan pada titik A dan D saat siklon tropis Kammuri berlangsung ( $p < 0.05$ ), sementara setelah siklon terdapat perubahan signifikan di titik B, C, dan E. Secara umum, konsentrasi klorofil-a cenderung menurun setelah terjadinya siklon tropis Kammuri, disertai penurunan variabilitas yang ditunjukkan oleh standar deviasi yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa siklon tropis memberikan perubahan yang signifikan terhadap dinamika klorofil-a, meskipun responsnya bersifat spasial dan tidak seragam di seluruh titik pengamatan.

### KESIMPULAN

Secara spasial dan temporal, terjadi perubahan kondisi oseanografi saat dan setelah kejadian siklon tropis Kammuri. Dimana kecepatan angin dan arus mengalami peningkatan. Kecepatan angin tertinggi yang terjadi sebesar 9.1 m/s dan arus sebesar 0.55 m/s. Suhu permukaan laut mengalami penurunan hingga 0.6 °C. Terdapat fluktuasi pada konsentrasi klorofil-a dimana terjadi penurunan klorofil-a hingga mencapai 0.06 mg/m<sup>3</sup> kemudian mengalami peningkatan hingga mencapai 0.11 mg/m<sup>3</sup>. Setelah kejadian siklon, kecepatan angin dan arus permukaan cenderung menurun dalam kurun waktu 1

minggu. Suhu permukaan laut mulai mengalami peningkatan hingga mencapai 30 °C dan konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan dalam kurun waktu 3 minggu.

Berdasarkan hasil uji-t, Siklon tropis Kammuri menunjukkan dampak yang signifikan terhadap suhu permukaan laut dan kecepatan arus. Klorofil-a terdapat perubahan yang signifikan di beberapa titik disertai dengan pola spasial yang tidak seragam. Sementara itu, kecepatan angin tidak menunjukkan perubahan signifikan secara statistik, meskipun fluktuasi nilai terlihat secara spasial dan temporal.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. 2008. Meteorologi Laut Indonesia. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- BPS Kabupaten Kepulauan Talaud. 2021. Kabupaten Kepulauan Talaud dalam Angka (BPS Kabupaten Kepulauan Talaud, Ed.). BPS Kabupaten Kepulauan Talaud.
- 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.
- Hadi, S., Radjawane, I. M. 2009. Arus Laut. Institut Teknologi Bandung.
- 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.
- Lasut, A. Y., Siregar, D. C., Ninggar, R. D. 2022. Variabilitas Spasial Parameter Oseanografi di Perairan Sulawesi Utara. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(3), 1–8.
- Ningsih, N. S., Hanifah, F., Tanjung, T. S., Yani, L. F., Azhar, M. Al. 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.
- Rachim, M. H., Schadu, J. N. W., Wantasen, A. S., Patty, W., Ngangi, E. L. A. 2021. Impact of Tropical Cyclone Amang on Variability Of Wind Speed, Salinity, Sea Surface Temperature, and Their Relationship to Chlorophyll-A in Sea Waters of Sangihe Island. *Aquatic Science & Management*, 9(2), 48–54.
- Radjawane, I. M., Hadipoetranto, P. P. 2014. Karakteristik Massa Air di Percabangan Arus Lintas Indonesia Perairan Sangihe Talaud Menggunakan Data Index Satal 2010. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2), 525–536.
- 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(11), 634–653.
- Surinati, D., Kusuma, D. A. 2018. Karakteristik dan Dampak Siklon Tropis Yang Tumbuh di Sekitar Wilayah Indonesia. *Oseana*, 43(2), 1–12.
- Islam, M. T., Kabir, R., Nisha, M. 2021. Learning SPSS without Pain: A Comprehensive Guide for Data Analysis and Interpretation of Outputs (2nd ed.). ASA Publications.
- Tjasyono, B., Harijono, S. W. B. 2006. Meteorologi Indonesia. Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer. Jakarta, Penerbit BMG, Jakarta.
- 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.
- Widayani, A. P., Amalya, A., Adiprabowo, S. R., Suwignyo, T., Ismanto, A., Maslukah, L. 2024. Pengaruh Siklon Tropis Dahlia Terhadap Karakteristik Gelombang Laut di Pesisir Selatan Banten Menggunakan Pemodelan SWAN. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3), 327–340.
- 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.