



Respon Meteorologi dan Oseanografi Perairan Indo-Pasifik terhadap Kejadian Multi Siklon Tropis pada November–Desember 2021

Purwanti Lelly Sabrina^{1*}, Rizki Ramadani², Yahya Darmawan³

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang, Indonesia

²Program Studi Pascasarjana Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Kota Bandung, Indonesia

³ Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang, Indonesia

Abstrak

Indonesia tidak mengalami kondisi siklon tropis secara langsung, namun sering terdampak oleh siklon tropis yang terjadi di Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Hal ini mempengaruhi kondisi atmosfer dan oseanografi seperti angin, curah hujan, gelombang, dan suhu permukaan laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kondisi meteorologi dan oseanografi pada fase bibit dan siklon tropis yang terjadi pada periode November – Desember 2021 serta kaitannya dengan variabilitas iklim regional dan global. Terdapat 4 kejadian yaitu siklon tropis Paddy, Nyatoh, bibit siklon 94 W dan 95 S. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan angin selama kejadian siklon tropis berkisar antara 15 – 29 m/s dengan tinggi gelombang 2,5 – 5 m. Siklon tropis mempengaruhi peningkatan curah hujan beberapa waktu setelah kejadian, dengan curah hujan maksimum mencapai 106 mm/hari pada Siklon Tropis Nyatoh. Indeks ENSO 3.4 menunjukkan kondisi La Niña kuat pada periode penelitian, sementara indeks IOD berada pada fase netral. Suhu permukaan laut di Samudera Pasifik dan perairan Indonesia berkisar 24 – 32 °C, sedangkan di Samudera Hindia 24 – 30 °C. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam peningkatan pemahaman dampak siklon tropis terhadap laut – atmosfer Indonesia, serta mendukung upaya mitigasi dan peringatan dini bencana hidrometeorologi.


Masuk:
31 Oktober 2025
Diterima:
20 Desember 2025
Diterbitkan:
31 Desember 2025


Kata kunci:
siklon tropis,
parameter
meteorologi,
parameter
oseanografi, iklim

PENDAHULUAN

Siklon tropis biasanya terbentuk pada lintang 10° – 20° dari ekuator dengan frekuensi sebesar 65%, 13% terbentuk di atas lintang 20°, dan jarang terbentuk di lintang rendah (Hamid dan Dayana, 2022). Indonesia secara astronomis terletak di 95° - 141°E dan 11°S - 6°N, yang seharusnya tidak mengalami kejadian siklon tropis (Syarifullah, 2015). Hal ini disebabkan karena gaya Coriolis yang kecil, namun wilayah Indonesia mendapat pengaruh

terhadap dinamika atmosfer dan oseanografinya ketika terjadi kejadian siklon tropis di sekitar Indonesia (Mulyana dkk., 2018). Peningkatan suhu permukaan laut akan mempengaruhi terbentuknya siklon tropis dengan suhu $\geq 26,5$ °C (Schade, 2000). Adanya fenomena variabilitas iklim global seperti ENSO akan mempengaruhi interaksi laut-atmosfer (Yustiana dkk., 2023) termasuk peningkatan suhu permukaan laut di sekitar Perairan Indonesia saat terjadi La

***Korespondensi:** Purwanti Lelly Sabrina  purwantilelly.work@stmkg.ac.id

 Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia.

Niña walaupun di Samudera Pasifik tengah – timur menunjukkan suhu yang lebih dingin (Habibie dan Nuraini, 2014). Sedangkan variabilitas iklim regional IOD positif akan meningkatkan suhu permukaan laut di Samudera Hindia timur yang dekat dengan Perairan Indonesia (Khan dkk., 2021).

Siklon tropis Nicholas yang terjadi di barat laut perairan Australia pada 11 - 20 Februari 2008 mempengaruhi peningkatan muka air laut di perairan Indonesia yang dipengaruhi oleh kondisi atmosfer berupa angin dan tekanan udara (Ningsih dkk., 2020). Kondisi siklon tropis Seroja pada awal April 2021 di perairan NTT menyebabkan peningkatan curah hujan selama 5 hari sehingga terjadi banjir bandang di Sungai Kambaniru (Krisnayanti dkk., 2022). Selain menyebabkan banjir di beberapa wilayah, siklon tropis Seroja juga meningkatkan tinggi gelombang laut di perairan sekitar NTT hingga mencapai 6 hingga lebih dari 7 m (Kurniawan dkk., 2021). Siklon tropis Cempaka terjadi pada November 2017 meningkatkan intensitas curah hujan di beberapa wilayah Jawa, dengan intensitas hujan tertinggi di Pacitan dan Wonogiri (Samrin dkk., 2019).

Fenomena siklon tropis diawali dengan kondisi penurunan tekanan udara secara signifikan dari kondisi biasanya (Susilo dan Hadiani, 2015). Penelitian (Mulyana dkk., 2018; Kuleshov dkk., 2010) menyebutkan bahwa ketika terjadi siklon tropis di lintang 0° - 10° tekanan udara di pusat siklon sebesar 960 hPa, sedangkan di daerah lintang 10° - 20° S tekanan di pusat siklonnya berkisar 920 - 960 hPa. Siklon tropis terbentuk di perairan hangat dengan kecepatan angin minimal 34 knots dan memiliki siklus hidup selama 6 jam sampai 18 hari (Sharkov, 2011) dengan radius 150 - 200 km (Uddin dkk., 2021). Pusat siklon tropis mempunyai kecepatan angin yang sangat kencang yaitu lebih dari 63 km/jam (Rautaray dkk., 2014). Arah perputaran siklon tropis di belahan bumi selatan bergerak berlawanan arah jarum jam yaitu ke arah barat daya atau barat (Rakhecha

dkk., 2009), sedangkan di belahan bumi utara siklon tropis bergerak searah jarum jam yaitu barat laut atau barat (Spiridonov dkk., 2021). Karakteristik ini yang menyebabkan perairan Indonesia sekitar Nusa Tenggara, Bali, Jawa, dan Sumatera dipengaruhi oleh siklon tropis dari Samudra Hindia. Perairan Indonesia bagian utara seperti Kalimantan, Sulawesi, Maluku, dan Papua dipengaruhi oleh siklon tropis yang berasal dari sekitar Pasifik dan Filipina.

Bulan November hingga Desember 2021, Indonesia dikelilingi oleh 4 siklon tropis yang terjadi di Samudera Hindia selatan Jawa, Laut Filipina - Samudra Pasifik utara Papua, Teluk Thailand - Teluk Benggala, dan Samudra Hindia barat daya Lampung (Stasiun Meteorologi Kertajati, 2021). Gangguan siklon tropis pada bulan November - Desember 2021 terdapat pada Tabel 1. Fenomena ini sangat langka, karena biasanya kondisi atmosfer dan perairan Indonesia hanya dipengaruhi oleh satu siklon tropis di daerah tertentu dengan jangka waktu yang tidak berurutan. Siklon tropis yang terjadi di sekitar perairan Indonesia secara berurutan pada bulan November hingga Desember 2021 belum pernah dikaji sebelumnya, sehingga dalam penelitian ini akan difokuskan untuk mengetahui bagaimana dinamika atmosfer dan laut ketika terjadi 4 siklon tropis ini.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika atmosfer dan oseanografi yang terjadi akibat empat kejadian siklon tropis yang berlangsung secara berurutan di sekitar wilayah Indonesia pada bulan November – Desember 2021. Penelitian ini mengkaji perubahan parameter meteorologi dan oseanografi meliputi kecepatan angin, curah hujan, suhu permukaan laut, dan gelombang laut, serta menganalisis peran variabilitas iklim global dan regional meliputi ENSO dan IOD terhadap kondisi interaksi laut-atmosfer selama periode kejadian tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan mengkaji dinamika atmosfer dengan parameter berupa tekanan udara, curah hujan, dan angin serta parameter oseanografi berupa tinggi gelombang ketika terjadi siklon tropis di sekitar Samudra Hindia, Samudra Pasifik, dan Teluk Thailand yang mempengaruhi kawasan Indonesia. Waktu penelitian yaitu 16 November hingga 6 Desember 2021, sesuai dengan waktu kejadian TC pada Tabel 1. Penelitian ini akan difokuskan pada daerah yang dapat mewakili dampak saat siklon tropis terjadi yang terdapat pada Gambar 1 dan Tabel 1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa curah hujan, angin, dan tinggi gelombang laut, suhu, dan indeks ENSO dan IOD yang terdapat pada Tabel 2.

Perhitungan resultan kecepatan angin yang bergantung pada komponen angin zonal (u) (timur – barat) dan

meridional (utara – selatan) (v) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

$$u_{norm} = \frac{u}{V} \quad (2)$$

$$v_{norm} = \frac{v}{V} \quad (3)$$

dengan:

V = kecepatan angin resultan (m/s)

u = komponen angin zonal (m/s)

v = komponen angin meridional (m/s)

$(u, v)_{norm}$ = Komponen angin yang Dinormalisasi

Sedangkan arah kecepatan angin merupakan normalisasi dari setiap komponen angin yang ditunjukkan pada persamaan (2) dan (3).

Tabel 1. Siklon tropis pada November - Desember 2021

No	Tanggal	Nama	Tempat Kejadian	Kategori	Kec. Angin maks
1	17 - 25 November 2021	Siklon Tropis Paddy	Samudra Hindia (Perairan Selatan Jawa)	<i>Tropical Storm</i>	74 km/jam
2	28 November - 5 Desember 2021	<i>Typhoon</i> 202121 (Nyatoh)	Perairan Filipina – Samudra Pasifik (Perairan Utara Papua)	<i>Tropical cyclone category 2</i>	167 km/jam
3	29 November - 2 Desember 2021	Bibit siklon tropis 94 W	Teluk Thailand – Teluk Bengal	<i>Tropical depression</i>	46 km/jam
4	30 November - 1 Desember 2021	Bibit siklon tropis 95 S	Samudra Hindia (Perairan barat daya Lampung)	<i>Tropical depression</i>	56 km/jam

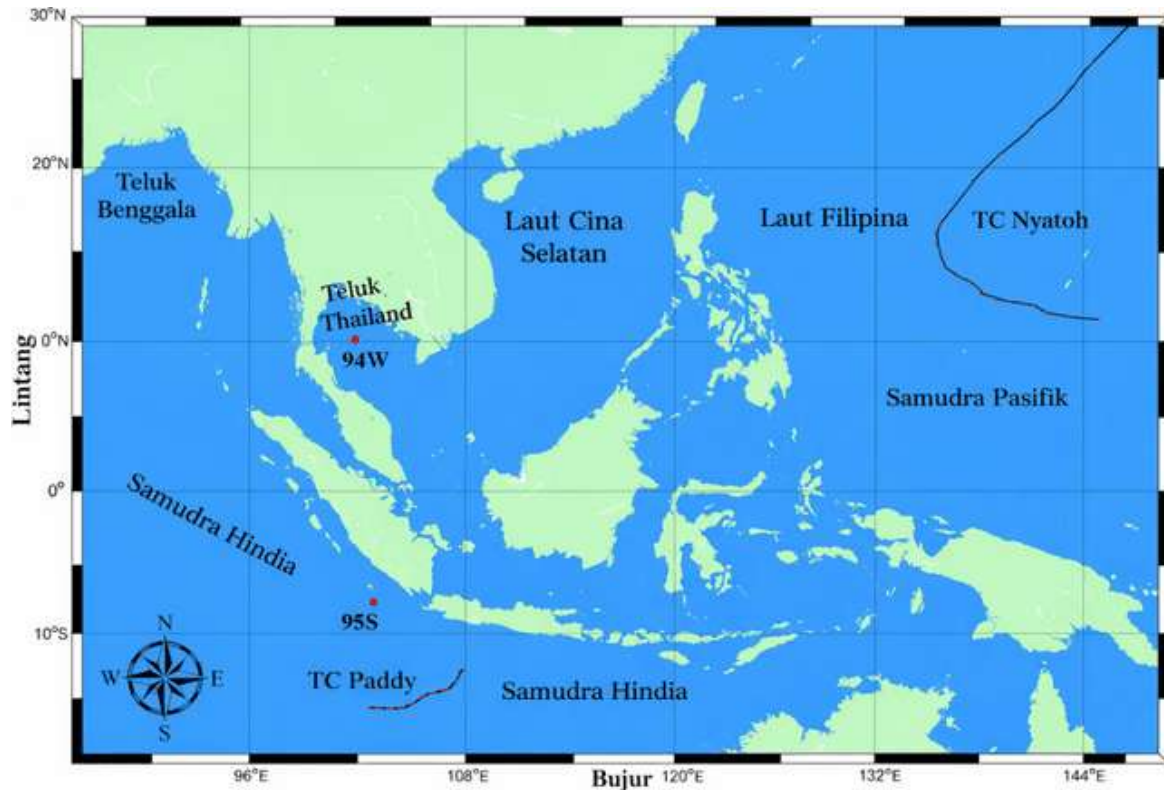
(Sumber: Stasiun Meteorologi Kertajati, 2021; Pattie, 2022)

Penentuan periode analisis dibagi menjadi tiga fase yaitu sebelum, saat, dan sesudah kejadian bibit maupun siklon tropis. Periode sebelum dan sesudah kejadian masing-masing ditetapkan selama dua

hari, dengan tujuan untuk mengidentifikasi perubahan dinamika atmosfer dan oseanografi sebelum dan sesudah kejadian siklon tropis. Penetapan waktu dua hari tersebut berdasarkan pada

hasil analisis awal yang menunjukkan mulai adanya perubahan pada parameter meteorologi dan oseanografi yang terlihat dalam kurun waktu dua hari sebelum

kejadian Siklon Tropis Paddy dan masih berlanjut hingga kejadian bibit dan siklon beruntun sampai dua hari setelah bibit siklon 95 S.



Gambar 1. Daerah penelitian yang dipengaruhi siklon tropis

Tabel 2. Data yang digunakan dalam penelitian

No	Parameter	Data	Resolusi
1	Angin	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>	Spasial (13.875 km x 13.875 km)
2	Tinggi gelombang laut		
3	Curah hujan	Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika	<i>Timeseries</i> (per hari)
4	Suhu	<i>Aqua Modis Ocean Color</i>	Spasial (4 km x 4 km)
5	Indeks ENSO	<i>Physical Sciences Laboratory – National Oceanic and Atmospheric Administration</i>	<i>Timeseries</i> (bulanan)
6	Indeks IOD	<i>Physical Sciences Laboratory – National Oceanic and Atmospheric Administration</i>	<i>Timeseries</i> (bulanan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Meteorologi

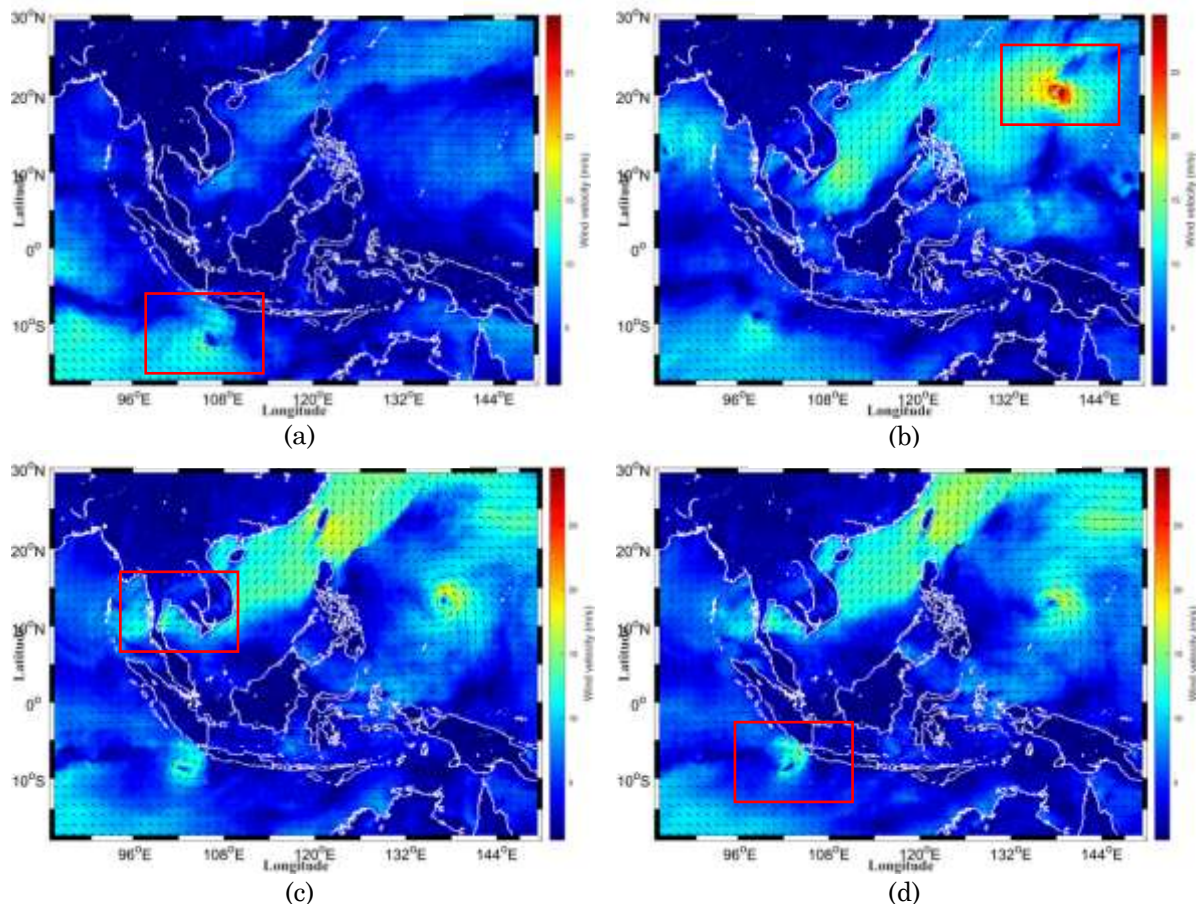
Sepanjang pertengahan November hingga Desember 2021 terjadi fenomena siklon tropis di sekitar Samudra Hindia dan Perairan Filipina hingga menuju Samudra Pasifik. Fenomena ini terjadi secara berturut – turut dan mempengaruhi dinamika interaksi laut – atmosfer di wilayah Indonesia. Pada penelitian ini, parameter meteorologi akan difokuskan pada kondisi angin pada ketinggian 10 m dan curah hujan yang diambil dari stasiun , sedangkan parameter oseanografi yang ditinjau dalam penelitian ini yaitu berupa *significant height of combined wind waves and swell*.

Data angin berupa komponen angin horizontal (u) dan vertikal (v) diukur pada ketinggian 10 m dari permukaan. Pengukuran pada ketinggian ini merupakan standar internasional untuk mengetahui sirkulasi angin yang dipengaruhi oleh proses pergerakan posisi bumi terhadap matahari serta adanya interaksi laut-atmosfer. Parameter angin dengan peningkatan magnitudo secara signifikan dari keadaan normalnya di suatu daerah dan adanya arah angin yang membentuk pusaran atau siklon menunjukkan adanya gangguan atmosfer yang mengindikasikan telah terjadi *Tropical cyclone* (TC). Peristiwa TC yang terjadi di lintang 10° - 20° dari ekuator memberikan dampak terhadap wilayah Indonesia berupa peningkatan intensitas angin.

Siklon tropis Paddy terjadi pada 17 – 25 November 2021 seperti yang terdapat pada Tabel 2. Kondisi angin pada siklon tropis Paddy sehari sebelum kejadian hingga hari pertama kejadian yaitu pada tanggal 17 November 2021 berkisar antara

5 – 10 m/s di Samudra Hindia dan kurang dari 5 m/s di wilayah sepanjang Sumatra hingga Jawa yang berdekatan dengan Samudra Hindia. Kecepatan angin meningkat secara signifikan di Perairan Samudra Hindia pada tanggal 18 November 2021 pukul 01.00, dan kecepatan angin di sekitar perairan Sumatra dan Jawa bagian selatan mulai naik. Arah angin yang bergerak dari Samudra Hindia bergerak ke arah barat laut kemudian berbelok ke sekitar perairan Sumatra, aliran angin lainnya membentuk pusaran di sekitar Selatan Jawa hingga di Selat Sunda magnitudo angin hingga mencapai 11 m/s pada dini hari tanggal 18 November 2021. Magnitudo kecepatan angin di Selatan Jawa meningkat hingga lebih dari 15 m/s pada 20 November malam hingga 22 November namun mengalami penurunan pada 23 November.

Terdapat pusaran angin yang terbentuk di Selatan perairan Jawa hingga bergerak menuju Samudra Hindia. Kecepatan angin sekitar 10 m/s juga bergerak menuju Selat Sunda ke arah perairan Utara Jawa (daerah Banten dan Jakarta). Gambar 2 (a) menunjukkan sirkulasi angin. Saat kondisi bibit siklon 95 S, magnitudo kecepatan angin mulai meningkat di sekitar perairan Sumatra pada 29 November 2021 dan membentuk bibit siklon (pusaran angin) di sekitar perairan Bengkulu. Pusaran angin ini semakin meningkat pada 30 November 2021 dan bergerak ke perairan Lampung. Magnitudo kecepatan angin di Perairan Lampung lebih dari 15 m/s. Angin bergerak ke Samudra Hindia pada sore tanggal 1 Desember 2021.



Gambar 2. Kondisi angin pada saat (a) siklon Paddy , (b) siklon tropis Nyatoh, (c) bibit siklon 94 W (d) bibit siklon 95 S

Angin dengan magnitudo 18 – 20 m/s mulai berhembus dari Samudra Pasifik bagian utara menuju ke perairan Filipina dan Teluk Thailand pada 27 November 2021 dini hari dan terus menyebar ke seluruh wilayah perairan Filipina dan Samudra Pasifik. 30 November 2021 terdapat angin dengan magnitudo 15 – 20 m/s dari arah barat laut Samudra Pasifik menuju ke Samudra Pasifik bagian selatan dan timur laut. Terbentuk pusaran angin pada 1 Desember 2021 di Samudra Pasifik sebelah Laut Filipina. Mata dari siklon memiliki kecepatan angin yang terus meningkat hingga mencapai 25 m/s dan bergerak menuju timur laut Samudra Pasifik. Magnitudo kecepatan angin terus meningkat hingga 29,2 m/s karena mengalami interferensi dengan angin dari bagian barat laut Samudra Pasifik. Gambar 3. menunjukkan grafik curah hujan dari beberapa stasiun BMKG dengan periode kondisi siklon tropis Paddy hingga

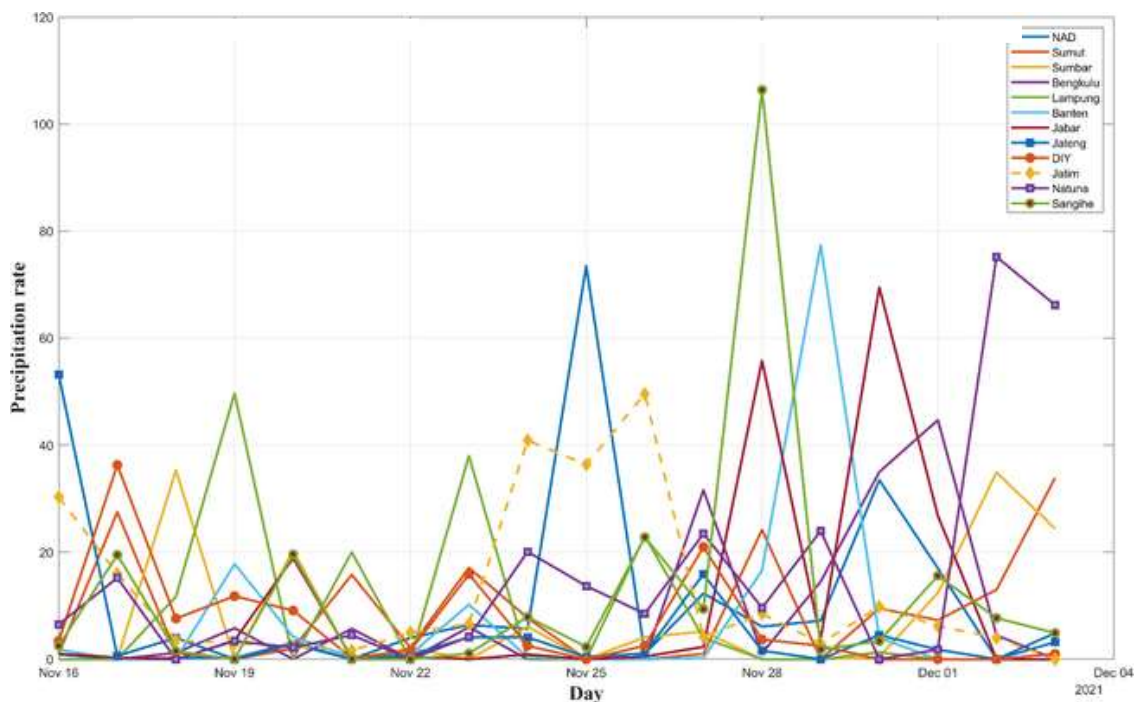
bibit siklon tropis 95 S. Stasiun yang dipilih mewakili daerah terdekat dengan lokasi kejadian siklon tropis. Selama terjadi siklon tropis Paddy, curah hujan di Nanggroe Aceh Darussalam hingga Jawa Timur berkisar 1 – 73,5 mm/hari. Curah hujan tertinggi di NAD pada tanggal 25 November 2021, curah hujan sebesar 49,7 mm/hari terjadi di Lampung pada 19 November kemudian curah hujan di Jawa Timur sebesar 49,6 mm/hari pada 26 November. Curah hujan di daerah lain selama periode siklon tropis Paddy hanya berkisar 20 – 40 mm/hari. Saat kejadian bibit siklon tropis 95 S curah hujan di Banten mencapai 77,4 mm/hari pada 29 November 2021 dan 1 hari kemudian curah hujan di Jabar mencapai 69,5 mm/hari. Kondisi curah hujan pada badai siklon tropis Nyatoh diwakilkan oleh data di stasiun Kepulauan Sangihe sedangkan pada bibit siklon tropis 94 W kondisi curah hujan diwakilkan oleh Pulau Natuna.

Curah hujan di Pulau Natuna berkisar 106 mm/hari pada 29 November 2021 dengan rata – rata hari sebelum kejadian badai siklon tropis Nyatoh berkisar kurang dari 20 mm/hari. Curah hujan di Pulau Natuna tinggi pada 2 – 3 Desember 2021 dengan nilai masing–masing adalah 75 mm/hari dan 66 mm/hari. Bibit siklon tropis 94 W terjadi pada 30 November hingga 1 Desember namun berdasarkan data angin dan gelombang menunjukkan menuju perairan Teluk Benggala sehingga tingginya curah hujan di Natuna bisa dipengaruhi oleh faktor lain.

Pola peningkatan kecepatan angin dan curah hujan selama kondisi siklon tropis dapat dijelaskan melalui mekanisme fisika atmosfer. Peningkatan kecepatan angin tersebut berkaitan dengan konvergensi angin di lapisan bawah atmosfer. Hal ini menyebabkan akumulasi massa udara yang memicu gerakan naik (*uplift*) (Spiridonov dkk., 2025), sehingga meningkatkan pembentukan awan

konvektif dan curah hujan. Saat kondisi Siklon Tropis Paddy dan Nyatoh menunjukkan pola angin yang membentuk sirkulasi siklonal dan diikuti oleh peningkatan curah hujan di wilayah daratan Indonesia beberapa waktu setelah kejadian siklon yang terlihat pada grafik *timeseries* Gambar 3.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian siklon tropis menyebabkan peningkatan kecepatan angin, curah hujan, dan tinggi gelombang laut secara signifikan, hal ini sesuai dengan temuan Ningsih dkk. (2022). Namun demikian, pada penelitian sebelumnya hanya membahas satu kejadian siklon tropis, sedangkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian siklon tropis yang terjadi secara berurutan dapat memberikan dampak kumulatif terhadap dinamika laut-atmosfer di Indonesia, terutama adanya peningkatan curah hujan dan tinggi gelombang laut.



Gambar 3. Curah hujan (milimeter) di beberapa stasiun BMKG selama 16 November – 3 Desember 2021

Parameter Oseanografi

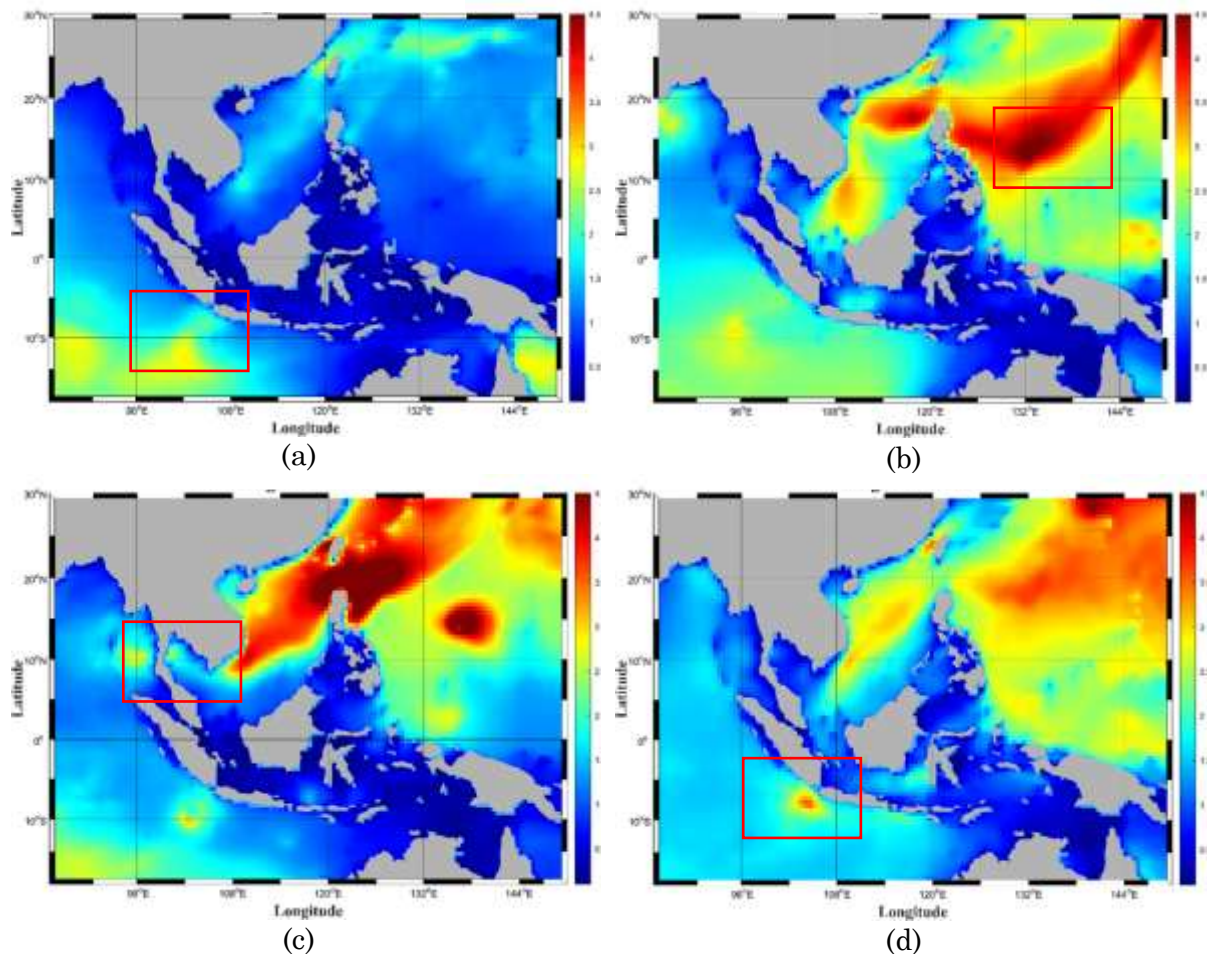
Tinggi gelombang sepanjang perairan Jawa – Sumatra yang terlihat pada Gambar 4.a saat terjadi siklon tropis Paddy mencapai 1,5 m, pada dini hari tanggal 18 November 2021 tinggi gelombang di perairan Banten mencapai 2 m. Gelombang mencapai lebih dari 3 m dari arah barat daya Samudra Hindia pada tanggal 18 November 2021. Di perairan Indonesia tinggi gelombang mencapai 2 – 2,5 m pada tanggal 19 November terutama di Selat Sunda, Perairan Banten dan Lampung. Tinggi gelombang di perairan Jawa Barat mencapai 2,5 m pada tanggal 21 November, sementara pada Samudra Hindia mencapai 3,5 m. Arah gelombang dengan magnitudo sebesar 3,5 m bergerak ke arah selatan menuju Samudra Hindia pada 21 November hingga 22 November.

Tinggi gelombang perairan Banten mencapai 2,5 m pada 23 November kemudian pada hari berikutnya tinggi gelombang perairan NTT sebesar 2,5 m. Gelombang tinggi dari arah barat laut menuju perairan Padang pada 26 November namun gelombang teredam pada perairan Sumatra Selatan. Hari berikutnya gelombang setinggi 2,5 m dari arah barat laut masuk ke Selat Sunda menuju Laut Jawa hingga dekat perairan Kalimantan. Tinggi gelombang perairan Indonesia kurang dari 2 m pada tanggal 28 November 2021. Kondisi ini merupakan kondisi normal yang biasanya terjadi di perairan Indonesia. Tanggal 30 November terjadi bibit siklon tropis 95 S di Samudra Hindia sekitar perairan barat daya Lampung. Sehari sebelumnya pada 29 November dini hari, gelombang dari arah barat daya Samudra Hindia mencapai 2,5 m kemudian pukul 6 gelombang tinggi terjadi di perairan Bengkulu dan pukul 11 di perairan Lampung. Sepanjang kejadian bibit siklon tropis, tinggi gelombang di

perairan Bengkulu, Lampung, dan Banten berkisar 2,5 hingga mendekati 3 m.

Siklon tropis Nyatoh terjadi di Samudra Pasifik pada waktu sesuai Tabel 1 pada tanggal 28 November 2021 tinggi gelombang mencapai 5 m yang terlihat pada Gambar 4.b.. Kemudian pada tanggal 30 November pagi hari gelombang tinggi mulai masuk ke perairan Maluku dan Papua. Tanggal 1 – 2 Desember 2021 gelombang tinggi hanya sampai Laut Cina dan Laut Filipina. Tinggi gelombang di perairan Papua dan Maluku Kembali tinggi hingga 3,5 pada 3-6 Desember 2021. Secara bersamaan terjadi bibit siklon 94 W (Tabel 2.) sehingga pada 25 November 2021 dini hari, tinggi gelombang di Laut Cina dan Laut Filipina tinggi namun pada 30 November gelombang tinggi menuju ke arah Teluk Bengal sehingga tidak mempengaruhi kondisi di perairan Indonesia.

Tinggi gelombang yang meningkat selama siklon tropis dipengaruhi oleh panjang *fetch* dan durasi hembusan angin kuat di permukaan laut (Hwang dan Fan, 2017). *Fetch* merupakan jarak bebas di atas permukaan laut tempat angin berhembus secara terus menerus dengan arah dan kecepatan yang relatif konstan (Koagouw, 2013) . Siklon tropis yang terbentuk di Samudra Hindia dan Samudra Pasifik memiliki lintasan dan durasi yang cukup panjang sehingga memungkinkan transfer energi angin ke laut secara optimal. Hal ini menyebabkan terbentuknya gelombang signifikan yang dapat merambat hingga ke perairan Indonesia, meskipun pusat siklon beda relatif jauh dari wilayah kajian.



Gambar 4. Kondisi gelombang laut di wilayah Indonesia pada saat kejadian siklon, meliputi (a) Siklon Paddy, (b) Siklon Tropis Nyatoh, (c) bibit Siklon 94W, dan (d) bibit Siklon 95S. Area dalam kotak merah menunjukkan wilayah dengan peningkatan tinggi gelombang yang signifikan akibat pengaruh sistem siklon.

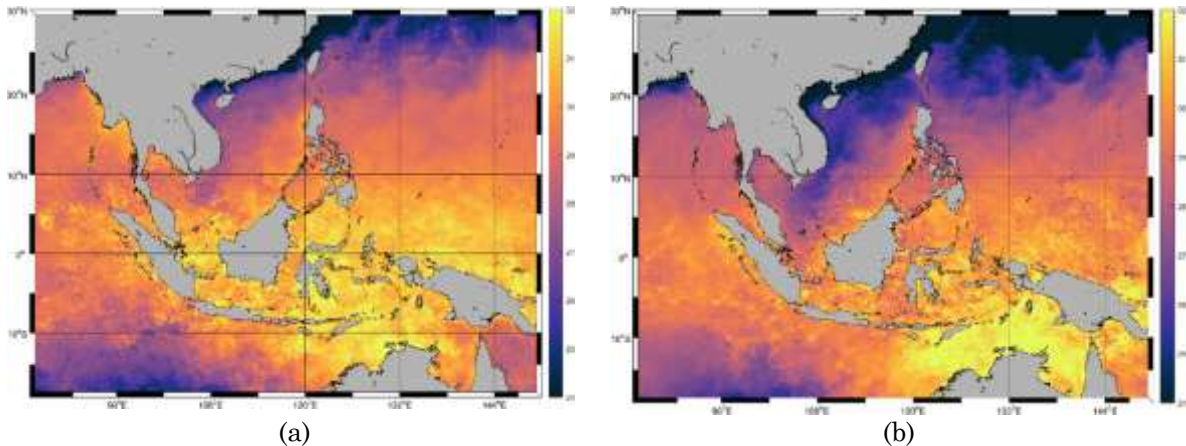
Suhu permukaan laut pada bulan November 2021 pada Gambar 5.a menunjukkan kondisi perairan yang hangat berkisar $28 - 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ terutama di Perairan Indonesia dan sekitarnya hingga di Perairan Pasifik Barat dan Laut Filipina. Sedangkan pada Perairan Samudera Hindia Timur dan bagian utara Laut Cina Selatan menunjukkan suhu yang lebih rendah yaitu $24 - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gambar 5.b menunjukkan distribusi SPL yang lebih rendah di Perairan Indonesia dibandingkan bulan sebelumnya dengan nilai $28 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kondisi sekitar Samudera Pasifik Barat juga menunjukkan penurunan suhu, terdapat distribusi massa air dengan suhu dingin berasal dari Samudera Pasifik berkisar $20 - 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fenomena La Niña yang terjadi hampir

sepanjang tahun 2021 terlihat pada Gambar 6 dengan indeks $\leq -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kondisi La Niña kuat terutama yang terjadi pada bulan November dan Desember 2021 mempengaruhi peningkatan suhu di sekitar Perairan Indonesia, termasuk di wilayah Samudera Pasifik yang dekat dengan Perairan Papua dan Maluku, sekitar perairan Filipina, Teluk Benggala, Teluk Thailand. Perairan di utara Laut Cina menunjukkan adanya distribusi suhu dingin dari Samudera Pasifik timur – tengah hal ini dipengaruhi oleh adanya fenomena La Niña kuat. Sedangkan pada Samudera Hindia suhu permukaan laut cenderung lebih rendah dibandingkan Perairan Indonesia karena fase IOD netral tidak berdampak pada kondisi atmosfer maupun laut di sekitar Samudera Hindia, namun nilainya masih

hangat ada beberapa titik yang menunjukkan suhu lebih dari $26,5^{\circ}\text{C}$ berperan penting dalam menyediakan energi laten yang dibutuhkan untuk mempertahankan dan memperkuat siklon tropis. Hangatnya suhu permukaan laut di perairan Indonesia dan Samudra Pasifik Barat mendukung pertumbuhan konveksi

dan intensifikasi angin (Maharani dkk., 2025). Sebaliknya, SPL yang rendah di Samudra Hindia timur dan Laut Cina Selatan melemahkan pertumbuhan siklon di sekitar daerah tersebut.



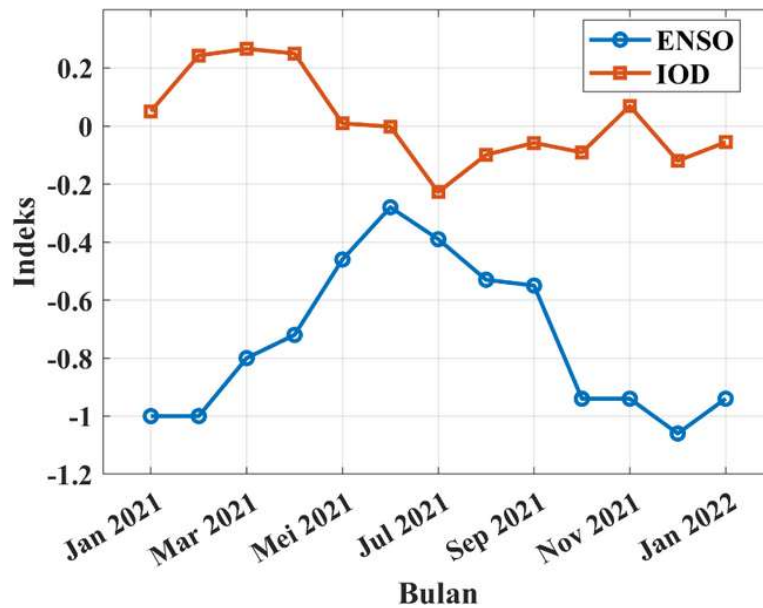
Gambar 5. Distribusi suhu permukaan laut (SST) di wilayah Indonesia dan sekitarnya pada (a) November dan (b) Desember 2021, menunjukkan dominasi perairan hangat di Indonesia dan Pasifik barat yang berpotensi memengaruhi konveksi dan sirkulasi regional

Kondisi ENSO dan IOD

Gambar 6 menunjukkan indeks ENSO dan IOD bulanan dari bulan Januari 2021 – Januari 2022. Nilai indeks ENSO sepanjang tahun 2021 berkisar $-0,3^{\circ}\text{C}$ hingga $-1,06^{\circ}\text{C}$ yang menunjukkan adanya La Niña hampir sepanjang tahun. Awal tahun 2021 terlihat Gambar 6 pada bulan Januari – Februari menunjukkan nilai -1°C yang mengindikasikan adanya La Niña moderat. Intensitas La Niña melemah pada Bulan Mei – Juni dengan indeks $-0,3^{\circ}\text{C}$, namun pada bulan Agustus melemah lagi dan mencapai nilai paling rendah atau La Niña kuat dengan nilai $-1,06^{\circ}\text{C}$ pada bulan Desember. Indeks IOD pada Gambar 6 menunjukkan pada tahun 2021 IOD pada fase positif lemah dengan nilai $+0,2^{\circ}\text{C}$ hingga $+0,25^{\circ}\text{C}$ pada bulan Februari hingga Maret 2021. Bulan Mei 2021 menunjukkan indeks IOD netral $0,009^{\circ}\text{C}$, kemudian menunjukkan fase IOD negatif lemah pada bulan Juli – September 2021 dengan nilai minimum sekitar $-0,2^{\circ}\text{C}$.

Gambar 6 juga menunjukkan fase IOD netral hingga negatif lemah pada bulan Oktober – Desember 2021.

Berdasarkan nilai indeks ENSO dan IOD pada bulan November hingga Desember 2021 menunjukkan adanya fenomena La Niña kuat sehingga akan mempengaruhi parameter oseanografi seperti penurunan suhu di sekitar Samudera Pasifik sedangkan di Perairan Indonesia cenderung lebih hangat saat terjadi La Niña. Kondisi ini menjadi salah satu penyebab pada periode November – Desember 2021 terjadi banyak bibit siklon dan siklon tropis di sekitar Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Kondisi La Niña kuat juga memicu peningkatan intensitas curah hujan di beberapa daerah yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan kondisi IOD netral dan negatif lemah pada akhir tahun 2021 tidak mempengaruhi parameter meteorologi dan oseanografi secara signifikan.



Gambar 6. Deret waktu (time series) indeks ENSO dan IOD periode Januari 2021– Januari 2022 yang menunjukkan dominasi fase ENSO negatif dan IOD netral hingga negatif lemah, dengan implikasi terhadap variabilitas iklim regional.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian siklon tropis di sekitar Samudra Hindia dan Pasifik pada bulan November – Desember 2021 memberikan dampak yang signifikan terhadap dinamika atmosfer dan oseanografi di wilayah Indonesia. Parameter kecepatan angin pada saat kondisi siklon tropis Paddy dan kedua bibit siklon berkisar kurang dari 20 m/s, sedangkan pada kondisi badai siklon tropis Nyatoh hingga mencapai 29 m/s. Tinggi gelombang juga berkisar 2 – 3,5 m pada siklon tropis Paddy dan kedua bibit siklon tropis, namun mencapai 3 – 5 m pada badai siklon tropis Nyatoh. Curah hujan tertinggi berkisar 73,5 mm/hari saat siklon tropis Paddy terjadi di NAD sedangkan saat Nyatoh mencapai 106 mm/hari di Pulau Sangihe. Distribusi suhu permukaan laut lebih hangat pada Perairan Indonesia berkisar 28 – 32 °C pada Bulan November sehingga memicu pembentukan bibit dan siklon lebih banyak. Hal ini dipengaruhi oleh adanya La Niña kuat sehingga juga mempengaruhi peningkatan intensitas curah hujan, sedangkan indeks IOD menunjukkan fase netral hingga negatif lemah yang tidak berpengaruh signifikan.

Implikasi penelitian ini menunjukkan kejadian siklon tropis yang berlangsung memberikan dampak kumulatif terhadap kondisi cuaca dan laut di Indonesia. Oleh karena itu, pemahaman terkait dinamika angin, gelombang, curah hujan, serta variabilitas iklim global sangat penting untuk meningkatkan sistem peringatan dini dan mitigasi bencana hidrometeorologi terutama di daerah pesisir Indonesia yang berbatasan dengan Samudra Pasifik maupun Samudra Indonesia.

REFERENSI

- Habibie, M.N. and Nuraini, T.A. (2014). Karakteristik dan tren perubahan suhu permukaan laut di Indonesia periode 1982-2009. *Jurnal meteorologi dan geofisika*, 15(1).
- Hamid, M dan Dayana, I, (2022): *Meteorologi*, Guepedia, ISBN: 9786233983655, 6233983657, Ebook.
- Hwang, P. A., & Fan, Y. (2017). Effective fetch and duration of tropical cyclone wind fields estimated from simultaneous

- wind and wave measurements: Surface wave and air-sea exchange computation. *Journal of Physical Oceanography*, 47(2), 447-470.
- Khan, S., Piao, S., Zheng, G., Khan, I.U., Bradley, D., Khan, S. and Song, Y. (2021). Sea surface temperature variability over the tropical Indian Ocean during the ENSO and IOD events in 2016 and 2017. *Atmosphere*, 12(5), p.587.
- Koagouw, J. E., Mamuaya, G. E., Tarumingkeng, A. A., & Angmalisang, P. A. (2013). Wind speed data analysis for predictions of sea waves in Bitung Coastal Waters. *Aquatic Science & Management*, 39, 35
- Krisnayanti, D.S., de Rozari, P., Garu, V.C., Damayanti, A.C., Legono, D. and Nurdin, H. (2022). Analysis of flood discharge due to impact of tropical cyclone. *Civil Engineering Journal*, 8(9), pp.1752-1763.
- Kuleshov, Y., Fawcett, R., Qi, L., Trewin, B., Jones, D., McBride, J. and Ramsay, H. (2010). Trends in tropical cyclones in the South Indian Ocean and the South Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D1).
- Kurniawan, R., Harsa, H., Nurrahmat, M.H., Sasmito, A., Florida, N., Makmur, E.E.S., Swarinoto, Y.S., Habibie, M.N., Hutapea, T.F., Sudewi, R.S. and Fitria, W. (2021). The Impact of Tropical Cyclone Seroja to The Rainfall and Sea Wave Height in East Nusa Tenggara. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 925, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- Maharani, S., Ratnawati, H. I., & Lubis, A. M. (2025). Hubungan ENSO-IOD terhadap Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut di perairan Bengkulu. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(2), 284-298.
- Mulyana, E., Prayoga M. B. R., Yananto, A., Wirahma, S., Aldrian E., Harsoyo B., Seto, T. H., Sunarya, Y. (2018): Tropical Cyclone Characteristic in Southern Indonesia and the Impact on Extreme Rainfall Event, In *MATEC Web Conferences*, Vol 229, p. 02007. EDP Sciences.
- Ningsih, N.S., Hanifah, F., Tanjung, T.S., Yani, L.F. and 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), p.948.
- Pattie, L. (2022). Tropical Cyclone Paddy : 17 November - 25 November 2021, Severe Weather Environmental Prediction Services, *Bureau of Meteorology, Australian Government*, Australia.
- Rakhecha, P.R., Singh, V.P., Rakhecha, P.R. and Singh, V.P. (2009). Tropical storms and hurricanes. *Applied Hydrometeorology*, pp.126-162.
- Rautaray, S.K., Panigrahi, P. and Panda, P.K. (2014). Tropical Cyclone and Crop Management Strategies. *Management of Cyclone Disaster in Agriculture Sector in Coastal Areas*, 108(10), p.87.
- Samrin, F., Irwana, I. and Hasanah, N. (2019). Analysis of the Meteorological Condition of Tropical Cyclone Cempaka and Its Effect on Heavy Rainfall in Java Island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 303, No. 1, p. 012065). IOP Publishing.
- Schade, L.R. (2000). Tropical cyclone intensity and sea surface temperature. *Journal of the atmospheric sciences*, 57(18), pp.3122-3130.
- Sharkov, E.A. (2011). Global tropical cyclogenesis. Springer Science & Business Media. Praxis Publishing. Chichester, UK.
- Spiridonov, V., Ćurić, M., Spiridonov, V. and Ćurić, M. (2021). Tropical Storms. *Fundamentals of Meteorology*, pp.275-288.
- Spiridonov, V., Ćurić, M., & Novkovski, N. (2025). Complex Interactions of Air Masses and Atmospheric Systems.

- In Atmospheric Perspectives: Unveiling Earth's Environmental Challenges (pp. 223-270). Cham: *Springer Nature Switzerland*.
- Stasiun Meteorologi Kertajati. (2021). Buletin Informasi Cuaca Tahun 03 No 36, Edition December 2021, Indonesian Agency for Meteorological, Climatological, and Geophysics, Majalengka
- Susilo, E., & Hadiani, S. (2015). Peningkatan Kesuburan Perairan Laut Arafura dan Sekitarnya Pasca Siklon Tropis Lam. *Jurnal Sain dan Teknologi*, 10(1), 1-9.
- Syaifullah, M. D. (2015). Siklon Tropis, Karakteristik dan Pengaruhnya di Wilayah Indonesia pada Tahun 2012, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 16(2), ISSN: 1411-4887, Unit Pelaksana Teknis Hujan Buatan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, DOI: <https://doi.org/10.29122/jstmc.v16i2.1048>
- Uddin, M.J., Nasrin, Z.M. and Li, Y. (2021). Effects of vertical wind shear and storm motion on tropical cyclone rainfall asymmetries over the North Indian Ocean. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93, p.101196.
- Yustiana, M., Zainuri, M., Sugianto, D.N., Batubara, M.P.N. and Hidayat, A.M. (2023). Dampak Variabilitas Iklim Inter-Annual (El Niño, La Niña) Terhadap Curah Hujan dan Anomali Tinggi Muka Laut di Pantai Utara Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), pp.109-124.