Megasains, Vol. 15, No. 2, 38-48
p-ISSN 2086-5589 e-ISSN : 2723-2239
https://megasains.gawbkt.id
© GAW BKT, 2024

ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER KEJADIAN ANGIN PUTING BELIUNG TANJUNG BALAI KARIMUN (STUDI KASUS: 14 MEI 2024)

ANALYSIS OF ATMOSPHERIC DYNAMICS OF THE TORNADO EVENT IN TANJUNG BALAI KARIMUN (CASE STUDY: MAY 14, 2024)

Muhamad Sawal*, Dea Andita Siregar, Younggy H.M Hutabarat
Stasiun Meteorologi Kelas IV Raja Haji Abdullah 1, Bandara Raja Haji Abdullah Jl. Mayjen Sutoyo Km.12, Tanjung Balai, Karimun
**E-mail: muhamad.sawal@stmkg.ac.id*

Naskah masuk:08-06-2024 Naskah diperbaiki: 16-11-2024 Naskah diterima: 29-12-2024

ABSTRAK

Pada tanggal 14 Mei 2024, angin puting beliung melanda Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau, mengakibatkan kerusakan pada 77 rumah warga. Peristiwa ini berlangsung selama sekitar 10 menit, menyebabkan kerugian material yang signifikan. Untuk memahami fenomena ini, berdasarkan kejadian tersebut penelitian dilakukan guna mengidentifikasi kondisi atmosfer yang memengaruhi kejadian tersebut. Metode penelitian mencakup analisis parameter global seperti Madden Julian Oscillation (MJO), Outgoing Longwave Radiation (OLR), Indeks Nino 3.4 SST, dan Indian Ocean Dipole (IOD). Selain itu, data dari citra satelit Himawari-8 dan reanalisis ERA5 ECMWF digunakan untuk mengevaluasi parameter lokal seperti Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN), kelembapan relatif, vortisitas, divergensi, kecepatan vertikal, dan suhu permukaan laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor global memiliki pengaruh terbatas, sementara kondisi lokal seperti konvergensi udara dan aktivitas konveksi yang intens memainkan peran dominan dalam pembentukan awan Cumulonimbus yang menyebabkan angin puting beliung. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung mitigasi risiko bencana serupa di masa depan.

Kata kunci: Cumulonimbus, Himawari-8, ECMWF, ERA 5

ABSTRACT

On May 14, 2024, a tornado struck Tanjung Balai Karimun, Riau Islands, causing damage to 77 houses. The event lasted approximately 10 minutes and resulted in significant material losses. To understand this phenomenon, based on the incident, a study was conducted to identify the atmospheric conditions influencing the event. The research methodology includes analyzing global parameters such as the Madden Julian Oscillation (MJO), Outgoing Longwave Radiation (OLR), Nino 3.4 SST Index, and Indian Ocean Dipole (IOD). Additionally, data from Himawari-8 satellite imagery and ERA5 ECMWF reanalysis were utilized to evaluate local parameters such as Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN), relative humidity, vorticity, divergence, vertical velocity, and sea surface temperature. The results indicate that global factors had limited influence, while local conditions such as air convergence and intense convective activity played a dominant role in the formation of Cumulonimbus clouds that caused the tornado. This study is expected to support future disaster risk mitigation efforts.

***Keywords*:** *Cumulonimbus, Himawari-8, ECMWF, ERA 5*

doi : 10.46824/megasains.v15i2.237

1. Pendahuluan

Angin puting beliung adalah kolom udara yang berputar dengan kuat dan bersentuhan dengan permukaan bumi serta awan cumulonimbus, atau dalam beberapa kasus jarang bisa pada dasar awan cumulus [1]. Angin puting beliung yang umumnya berputar dengan kecepatan melebihi 60-90 km/jam, berlangsung sekitar 5-10 menit, disebabkan oleh perbedaan tekanan yang signifikan di area kecil di sekitar awan Cumulonimbus (Cb) atau dalam istilah sederhananya angin puting beliung terjadi akibat kombinasi beberapa kondisi atmosfer yang tidak stabil [2].

Mekanisme terjadinya angin puting beliung melibatkan interaksi antara udara panas yang naik dengan udara dingin yang turun. Pertemuan ini menciptakan kondisi tidak stabil yang kemudian berkembang menjadi pusaran udara. Indonesia sering mengalami angin puting beliung karena kondisi geografis dan iklim tropis yang lembap, yang mendorong terbentuknya awan cumulonimbus (Cb). Hal ini terutama terjadi pada musim peralihan antara musim hujan dan kemarau [3].

Melihat kondisi Indonesia yang rawan terjadi angin puting beliung tidak lepas dari rawannya Tanjung Balai Karimun terkena fenomena tersebut. Tanjung Balai Karimun, sebuah ibu kota kabupaten di Kepulauan Riau, memiliki profil geografis yang mendukung terjadinya fenomena ini. Terletak di sepanjang Selat Malaka, wilayah ini sering mengalami cuaca ekstrem akibat interaksi antara udara laut yang lembap dan udara daratan yang panas.

Dalam beberapa tahun terakhir, Tanjung Balai Karimun telah mengalami beberapa kejadian angin puting beliung yang merusak, dengan peristiwa terbaru terjadi pada 14 Mei 2024 pada rentang puku 11.45 – 12.00 WIB. Kejadian ini mengakibatkan kerusakan signifikan pada rumah-rumah warga di daerah Batu Lipai dan Baran Timur, serta menimbulkan dampak sosial yang besar [4-7]. Kejadian angin puting beliung lainnya yang tercatat meliputi insiden pada 10 November 2020 yang merusak 77 rumah [6], serta angin kencang yang menyapu enam rumah pada awal tahun 2023 [7].

Sejarah kejadian angin puting beliung di Tanjung Balai Karimun menunjukkan pola kejadian yang meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Peristiwa terbaru menggarisbawahi perlunya analisis mendalam tentang kondisi atmosfer lokal dan global pada saat kejadian. Analisis ini bertujuan untuk memahami dinamika atmosfer yang menyebabkan terjadinya puting beliung pada tanggal tersebut, dengan fokus pada parameter seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan angin [8].

Penelitian ini akan mengacu pada studi sebelumnya yang telah melakukan analisis serupa terhadap kondisi atmosfer saat kejadian angin puting beliung. Seperti, studi oleh Su, Smith, & Villarini menunjukkan hubungan antara parameter atmosfer global dengan kejadian puting beliung [9]. Kajian lain dari Utama et al. [10] dan Saragih [11] juga memberikan gambaran tentang pentingnya analisis data cuaca dan citra satelit dalam memahami dinamika atmosfer pada saat kejadian puting beliung. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diidentifikasi faktor-faktor kunci yang mempengaruhi terjadinya puting beliung di Tanjung Balai Karimun.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola atmosfer pada kejadian angin puting beliung yang terjadi tanggal 14 Mei 2024 di Tanjung Balai Karrimun. Untuk memahami kondisi atmosfer yang memicu terjadinya angin puting beliung, penelitian ini akan melakukan kajian atmosfer dengan menggunakan berbagai skala data, mulai dari global hingga lokal. Analisis akan mencakup data *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO), Indeks Nino 3.4, *Sea Surface Temperature* (SST), *dan Indian Ocean Dipole* (IOD). Selain itu, pengamatan citra satelit Himawari-8 RGB, analisis skala lokal menggunakan data ERA5 ECMWF akan digunakan untuk menilai parameter udara atas seperti *Convective Available Potential Energy* (CAPE), *Convective Inhibition* (CIN).

Data tambahan yang akan dianalisis meliputi streamline, kelembaban relatif, vortisitas, kelembaban spesifik, divergensi, kecepatan vertikal, evaporasi, dan suhu permukaan laut. Analisis ini akan membantu mengidentifikasi hubungan antara berbagai parameter atmosfer dan kejadian angin puting beliung, sehingga dapat ditemukan strategi yang lebih efektif untuk mengurangi kerusakan dan meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap bencana ini di masa mendatang. Studi ini juga akan memberikan wawasan mengenai dinamika atmosfer lokal yang berkontribusi pada pembentukan angin puting beliung, yang bisa digunakan sebagai acuan dalam merumuskan kebijakan mitigasi bencana yang lebih baik.

p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Tanjung Balai Karimun, yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau, Indonesia. Wilayah ini terletak pada koordinat antara 0°44'34" - 0°51'36" Lintang Utara dan 103°21'13" - 103°27'28" Bujur Timur

Gambar 1. Kota Tanjung Balai Karimun
(Sumber : *Google.maps*)

Pemilihan lokasi ini didasarkan pada frekuensi kejadian angin puting beliung yang cukup tinggi dalam beberapa tahun terakhir, sehingga memungkinkan untuk menganalisis dinamika atmosfer yang berperan dalam pembentukan angin puting beliung di daerah tersebut. Data dan metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu.

Data Global Atmosfer Data global atmosfer yang digunakan mencakup.
Madden Julian Oscillation (MJO)

Madden Julian Oscillation Merupakan fenomena iklim tropis utama yang menggambarkan pergerakan gelombang konvektif dari barat ke timur di sekitar ekuator. Ini merupakan osilasi terbesar dalam sistem iklim global yang mempengaruhi sirkulasi atmosfer dan pola curah hujan di wilayah tropis. MJO ditandai dengan pergerakan zona konveksi aktif melintasi Samudra Hindia dan Pasifik dengan siklus 30-60 hari [13].

Outgoing Longwave Radiation (OLR)

Outgoing Longwave Radiation adalah radiasi gelombang panjang yang dipantulkan ke angkasa luar, dimana OLR mengindikasikan tutupan awan yang ada, jika nilai OLR rendah maka dapat diindikasikan banyak terbentuk awan, karena radiasi tersebut terserap oleh awan. Parameter ini mengukur jumlah radiasi panas yang meninggalkan sistem bumi-atmosfer, yang sangat penting untuk memahami keseimbangan energi dan proses iklim. Nilai OLR berbanding terbalik dengan intensitas awan konvektif - semakin rendah nilainya, semakin tebal lapisan awan [11-12].

Indeks Nino 3.4 SST

Indeks Nino 3.4 adalah ukuran anomali suhu permukaan laut di wilayah sentral Pasifik tropis. Ini merupakan indikator utama untuk menentukan kondisi El Niño dan La Niña. Indeks ini dihitung dengan merata-ratakan anomali suhu permukaan laut [14].

Indian Ocean Dipole (IOD)

Indian Ocean Dipole adalah fenomena iklim yang ditandai dengan perbedaan suhu permukaan laut antara wilayah barat dan timur Samudra Hindia. Hal ini mempengaruhi pola cuaca regional, termasuk kekuatan monsun dan distribusi curah hujan. IOD memiliki tiga fase: positif, negatif, dan netral [16].

Sea Surface Temperature (SST)

SST adalah suhu permukaan laut, dimana variabel Ini adalah variabel penting dalam studi iklim dan pola cuaca, termasuk pembentukan dan intensitas badai, monsun, dan fenomena El Niño/La Niña. Suhu permukaan laut berfungsi sebagai pemasok uap air yang mengakibatkan terbentuknya aktivitas konvektif di atmosfer. [15]

Data – data global tersebut diakses dari *http://www.bom.gov.au/climate/mjo* dan *www.noaa.gov* untuk periode 14 Mei 2024.

Data ECMWF (ERA5) Data reanalisis dari European Centre for *Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) periode 14 Mei 2024 dengan resolusi 0.125° x 0.125°, dalam format *Network Common Data Form* (netCDF), diunduh dari *cds.climate.copernicus.eu*. Variabel yang dianalisis meliputi.
Convective Available Potential Energy (CAPE)
CAPE merupakan energi potensial yang tersedia untuk konveksi vertikal di atmosfer. Ini menggambarkan potensi pengembangan awan konvektif dan badai. Nilai CAPE yang tinggi menunjukkan kondisi atmosfer yang tidak stabil dan berpotensi menghasilkan hujan atau badai [15].

Convective Inhibition (CIN)

CIN adalah energi yang menghambat pergerakan vertikal massa udara. Nilai CIN yang tinggi menunjukkan stabilitas atmosfer yang besar dan menghambat pembentukan awan konvektif.

p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239

Ketika CIN rendah, massa udara lebih mudah bergerak ke atas [18].

Streamline

Streamline adalah garis semu arah aliran udara di atmosfer. Dalam meteorologi, streamline membantu memvisualisasikan pola angin dan sirkulasi atmosfer, memberikan informasi tentang pergerakan massa udara [19].

Relative Humidity (RH)

Kelembaban relatif adalah rasio antara kandungan uap air aktual di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu tertentu. RH mempengaruhi pembentukan awan, presipitasi, dan kondisi cuaca [20].

Vortisitas

Vortisitas adalah rotasi udara di atmosfer. Dalam konteks meteorologi, vortisitas positif atau negatif dapat menunjukkan potensi pembentukan sirkulasi atmosfer seperti siklon atau antisiklon [21].

Specific Humidity (SH)

Kelembaban spesifik adalah rasio massa uap air terhadap total massa udara. Parameter ini mengukur kandungan uap air aktual di udara dan penting dalam memahami transportasi kelembaban atmosfer. Ketika tekanan udara tinggi, maka kelembaban spesifik juga akan tinggi dan begitu pula sebaliknya [22].

Vertical Velocity (VV)

Kecepatan vertikal merupakan nilai pengukuran laju gerakan naik atau turun massa udara. Nilai positif menunjukkan gerakan ke atas (updraft), sementara nilai negatif menunjukkan gerakan ke bawah (downdraft) [24].

Divergence

Divergensi mengacu pada laju penyebaran udara dari suatu titik. Divergensi positif menunjukkan udara menyebar, sementara divergensi negatif (konvergensi) mengindikasikan potensi pembentukan awan [23].

Evaporasi

Evaporasi mengukur jumlah air yang menguap dari permukaan bumi, termasuk dari lautan dan transpirasi tumbuhan. Parameter ini penting dalam siklus air atmosfer [26]**.**

Data – data ERA 5 tersebut kemudian diolah menggunakan software *Grid Analysis and Display System* (GrADS).

Data Satelit Himawari-8 Data satelit Himawari-8 kanal IR, I2, dan WV untuk tanggal 14 Mei 2024, diambil dari basis data BMKG dan diolah menggunakan software SATAID dan GrADS untuk menghasilkan beberapa indikator yaitu.

Citra RGB (*Red-Green-Blue Satellite Imagery*)

Citra RGB (*Red-Green-Blue Satellite Imagery*) adalah teknik penafsiran citra satelit yang menggabungkan informasi dari saluran merah, hijau, dan biru untuk menghasilkan gambaran visual yang memungkinkan identifikasi karakteristik awan. Dalam meteorologi, metode ini membantu menganalisis struktur, ketinggian, dan sifat awan dengan memadukan informasi dari berbagai panjang gelombang spektrum elektromagnetik [27].

Time Series (Deret Waktu)

Analisis *time series* suhu puncak awan adalah metode untuk memonitor perubahan suhu puncak awan seiring waktu. Hal ini memungkinkan peneliti untuk melacak perkembangan awan konvektif, menentukan fase pertumbuhan awan (pembentukan, matang, atau melemah), dan mengidentifikasi karakteristik termal awan selama periode waktu tertentu [28].

Contour Awan

Contur suhu awan adalah representasi grafis yang menunjukkan distribusi suhu pada permukaan atau di sekitar awan. Metode ini menggunakan garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan suhu yang sama, membantu visualisasi struktur termal awan, mengidentifikasi pusat dingin (*cold core*) pada awan konvektif, dan menganalisis perkembangan vertikal awan [29].

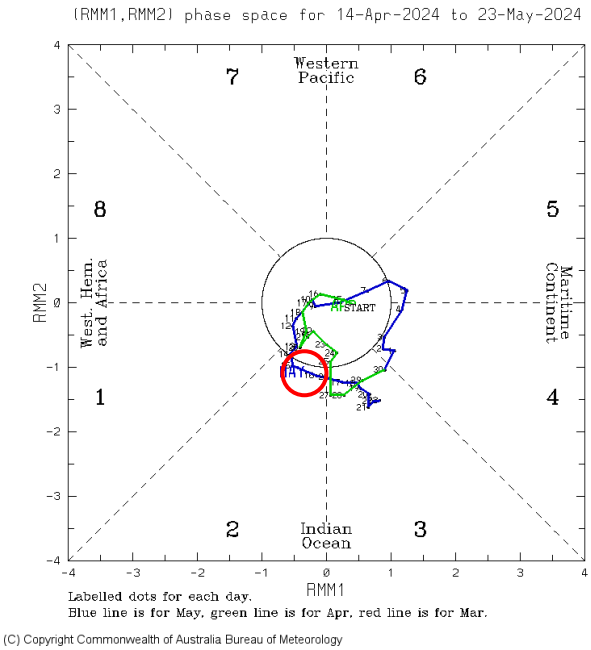
Untuk melakukan analisis diatas, data citra satelit di unduh dalam format SATAID (.z), yang diperoleh dari ftp://202.90.199.64, kemudian data ini dianalisis menggunakan software SATAID.

3. Hasil dan Pembahasan

MJO (*Madden Julian Oscillation*)

Hasil pemantauan aktivitas MJO dari Gambar 4 ditemukan hasil bahwa tanggal 14 Mei 2024 MJO sedang aktif memberi pengaruh ditandai dengan garis tanggal 14 Mei diluar lingkaran, namun dampak MJO tersebut tidak mempengaruhi daerah kejadian Kota Tanjung Balai Karimun karena diagram diatas menunjukan periode tersebut tidak sedang berada pada fase 5 dan 4 di Benua Maritim Indonesia (BMI).

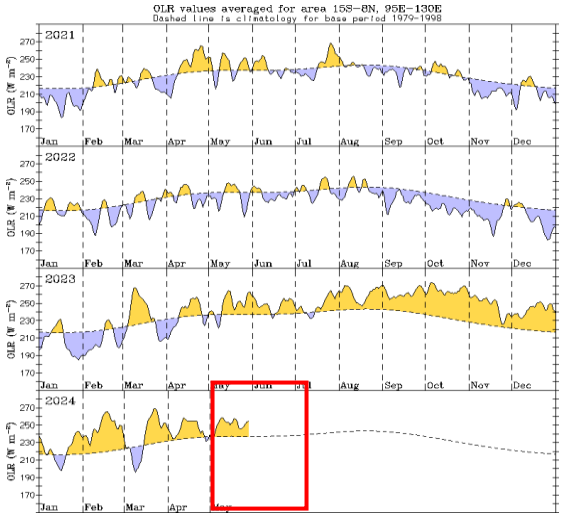
p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239



Gambar 2. Fase MJO 14 April – 23 Mei 2024 (sumber:*http://www.bom.gov.au/)*

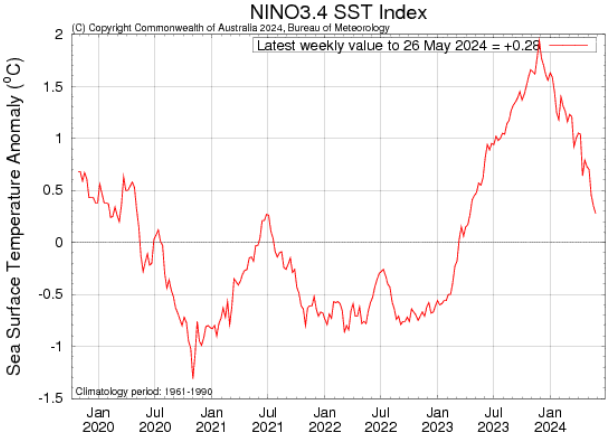
OLR (*Outgoing Longwave Radiation*)

Nilai OLR ditentukan dengan menghitung radiasi gelombang panjang yang diterima oleh sensor satelit meteorologi. Berdasarkan grafik OLR Gambar 3 diketahui bahwa awal bulan Mei 2024 wilayah Indonesia Barat nila OLR di bawah normal menunjukkan kondisi yang lebih merujuk pada pembentukan awan konvektif yang kurang intensif dari di area tersebut, hal tersebut ditunjukkan dengan bayangan kuning pada grafik yang artinya angin puting beliung di wilayah Kota Tanjung Balai Karimun pada periode kejadian 14 Mei 2024 tidak dipengaruhi oleh nilai OLR.



Gambar 3. Grafik OLR Indonesia Barat (sumber: *http://www.bom.gov.au/climate/mjo)*

Indeks Nino 3.4 SST



Gambar 4. Grafik NINO 3.4 Index (sumber:*http://www.bom.gov.au/)*

Tabel 1. Data *index nino* 3.4 (sumber:*http://www.bom.gov.au/)*

Periode	Index
13/05/2024	0.35

Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 1 nilai indeks Nino 3.4 pada 14 Mei 2024 didapatkan bahwa nilai index nino 3.4 sebesar 0.35. Hal tersebut menandakan bahwa pada bulan Mei 2024 aktivitas ENSO berada pada fase El Nino yang netral dalam artian angin puting beliung di Kota Tanjung Balai Karimun sangat sedikit dipengaruhi oleh fenomena tersebut.

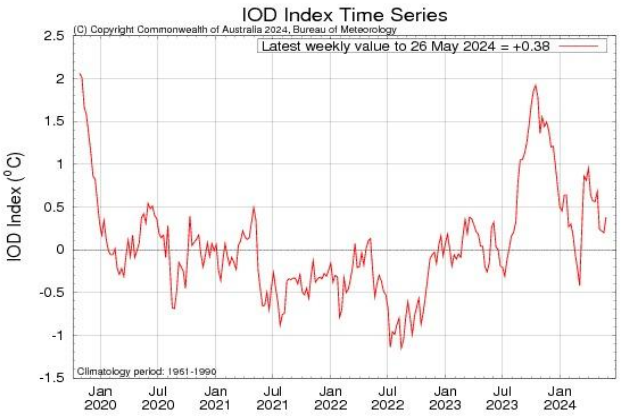
IOD *(Indian Ocean Dipole)*

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 2 nilai indeks IOD 14 Mei 2024 didapatkan bahwa nilai index IOD sebesar 0.20. Hal tersebut menandakan bahwa pada bulan Mei 2024 IOD fase netral yang mengindikasikan bahwa IOD tidak terlalu mempengaruhi aktivitas konveksi di Kota Tanjung Balai Karimun.

Tabel 2. Data *index* IOD (*Indian Ocean Dipole*) (sumber:*http://www.bom.gov.au/)*

Periode	Index
13/05/2024	0.20

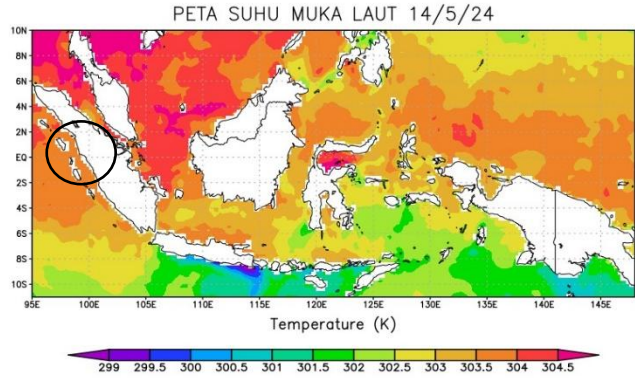
p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239



Gambar 5. Grafik IOD (*Indian Ocean Dipole*) (sumber:*http://www.bom.gov.au/)*

Sea Surface Temperature (SST)

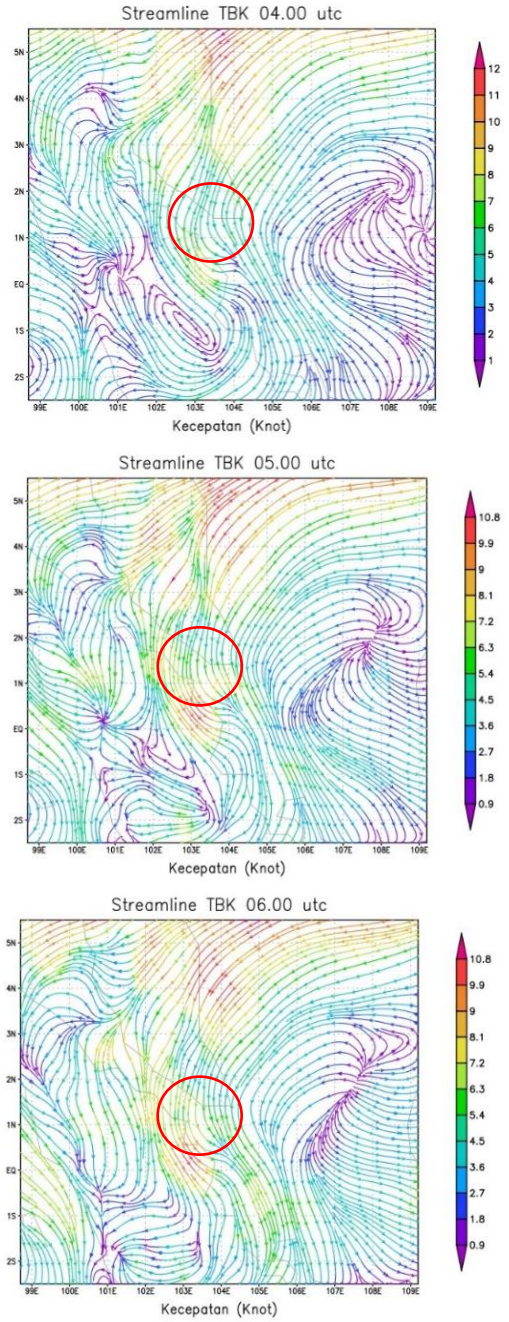
Melihat sebaran suhu permukaan laut sekitar wilayah sulawesi Gambar 6 diatas wilayah perairan Kota Tanjung Balai Karimun berkisar diantara suhu 303.6 K/30.45 derajat celcius yang cenderung lebih tinggi dari daerah sekitarnya, hal tersebut membentuk aktivitas evaporasi yang kuat hingga mampu menghasilkan awan-awan konvektif yang dapat menyebabkan angin puting beliung pada tanggal 14 Mei 2024.



Gambar 6. *Sea Surface Temperature* (SST) 14 Mei 2024

Streamline

Memperhatikan Gambar 7 dapat diketahui bahwa pada rentang pukul 04.00 utc, 05.00 utc, 06.00 utc keadaan angin 1000 mb Kota Tanjung Balai Karimun cenderung lebih rendah dari daerah sekitarnya dengan rentang 2-4 Knot, hal tersebut mengindikasikan adanya pertemuan angin atau pola konvergensi, kemudian pada rentang kejadian putting beliung pada pukul pukul 04.40 – 05.00 utc terlihat sebuah sharline atau garis geser dari angin artinya kondisi udara menjadi tidak stabil akibat terjadinya pertemuan massa udara yang mendorong pertumbuhan awan-awan penyebab putting beliung, khususnya perawanan konvektif.

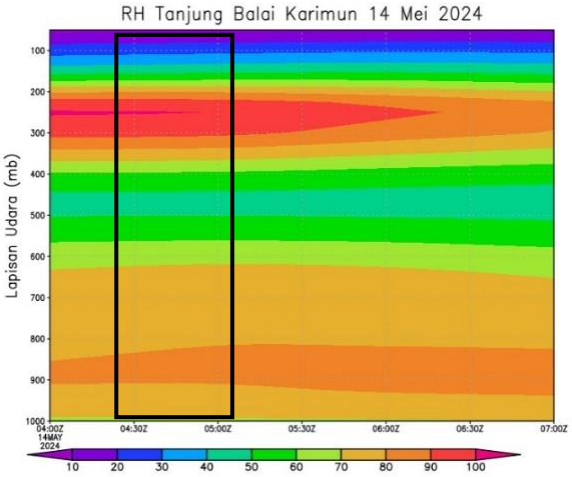


Gambar 7. *Streamline* Kepulauan Riau 14 Mei 2024

Relative Humidity (RH)

Kondisi *Relative Humidity* pada kejadian terlihat pada kotak hitam Gambar 8, dimana kondisi RH Kota Tanjung Balai Karimun pada pukul rentang 04.00 – 05.30 utc pada saat terjadi angin puting beliung, kondisi RH berkisar 90 - 60% di lapisan 1000 - 500 mb. Kemudian tingkat kelembapan terus menigkat hingga lapisan ke 200 mb dengan nilai RH menyentuh 100%. Keadaan tersebut menandakan bahwa kondisi udara sekitar dalam keadaan basah dan terdapat pertumbuhan awan-awan konvektif yang memicu cuaca buruk

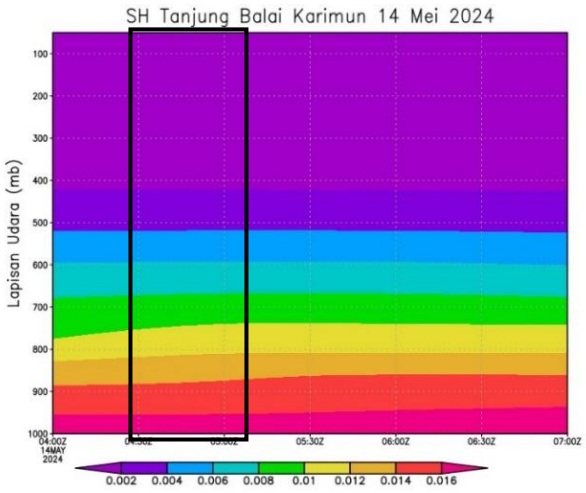
p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239



Gambar 8. RH Tanjung Balai Karimun 14 Mei 2024

Specifik Humidity (SH)

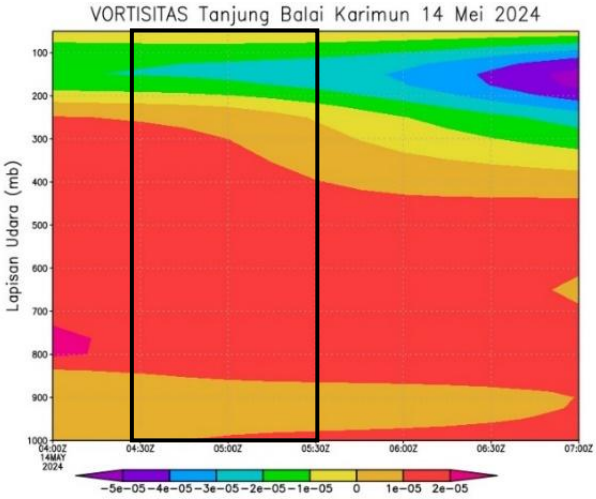
Pada grafik gambar SH di Gambar 9, pada kejadian angin puting beliung ditemukan bahwa pada lapisan 1000 – 600 mb hingga keatas SH secara berangsur-angsur turun terhadap ketinggian (tekanan rendah) dimana pada lapisan tengah dan atas mulai minim uap air dapat disebabkan oleh banyaknya uap air yang mengembun dalam bentuk awan dan jatuh dalam bentuk hujan (presipitasi), dimana hal tersebut memperlihatkan aktivitas konvektif yang kuat mendukung kejadian pada kasus ini.



Gambar 9. Kelembaban Spesifik Tanjung Balai Karimun 14 Mei 2024

Vortisitas

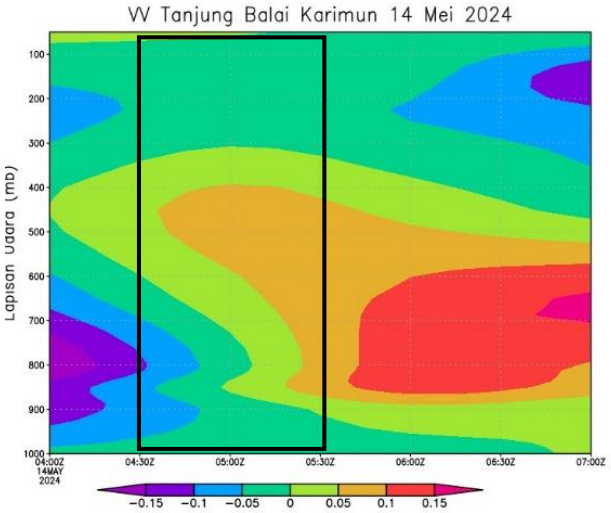
Berdasarkan Gambar 10 Pada pukul 04.00 – 05.30 utc di kotak hitam terlihat pada lapisan 950 mb hingga 600 mb nilai vortisitas bernilai negaitf pada kejadian angin puting beliung. Nilai yang negatif pada gambar diatas memperlihatkan bahwa adanya indikasi massa udara yang membentuk sebuah sirkulasi siklonik, hal tersebut memicu terjadi pertemuan atau konvergensi di atmosfer wilayah Kota Tanjung Balai Karimun yang membentuk awan-awan konvektif pembawa angin puting beliung.



Gambar 10. Vortisitas Tanjung Balai Karimun 14 Mei 2024

Vertical Velocity

Berdasaran hasil olah data ditemukan bahwa kecepatan vertikal 14 Mei 2024 Kota Tanjung Balai Karimun saat kejadian angin puting beliung bernilai negatif pada jam 04.00 – 05.30 utc di lapisan 950 mb hingga 600 mb. Hal ini menunjukan bahwa pada rentang jam tersebut terdapat gerakan ke atas *(updraft*) dari massa udara sehingga mulai terbentuk awan-awan konvektif yang memicu terciptanya angin putting beliung.



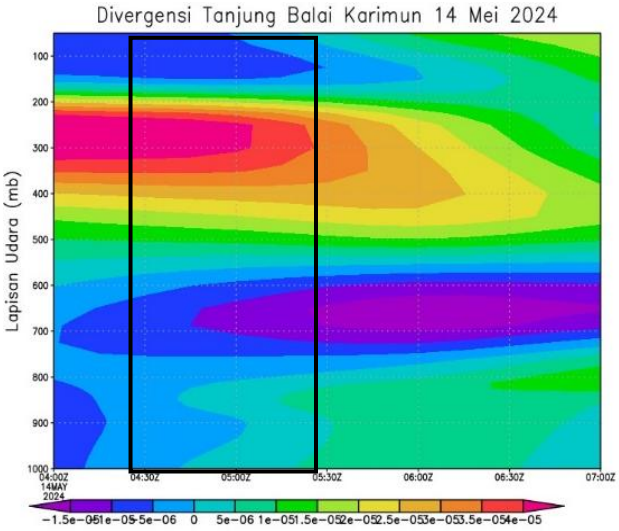
Gambar 11. *Vertical Velocity* Tanjung Balai Karimun 14 Mei 2024

Divergence

Pada Gambar 11 terlihat hasil dari kondisi *Divergence* sekitar pukul 04.45 – 05.30 saat terjadi angin puting beliung, divergensi di wilayah Tanjung Balai Karimun (kotak berwarna hitam) bernilai negatif sebesar 0 sampai dengan -0.1

p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239

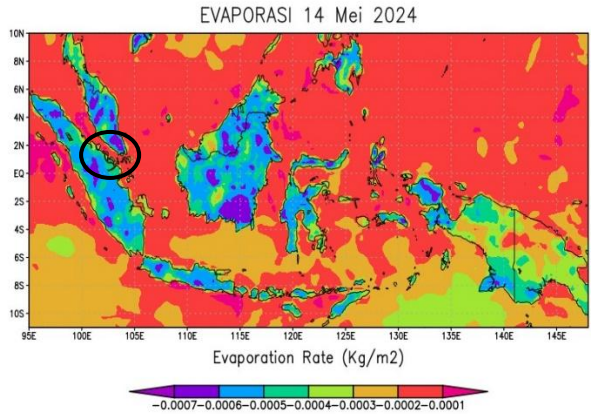
pada lapisan 1000-500 mb. Nilai divergensi yang negatif menandakan kebalikan dari divergensi yaitu konvergensi. Konvergensi menyebabkan potensi pembentukkan awan lebih tinggi pada lapisan ini.



Gambar 12. *Divergence* Tanjung Balai Karimun 14 Mei 2024

Evaporasi

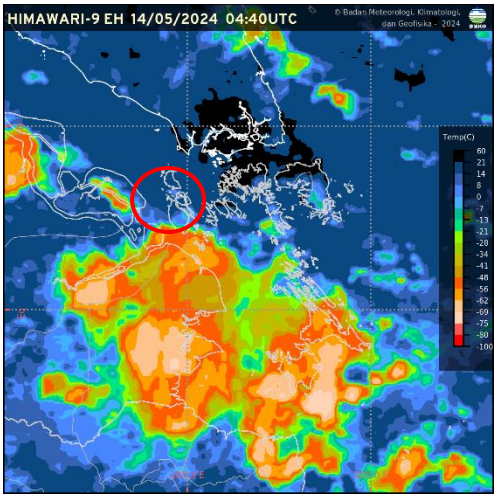
Berdasarkan peta hasil data model kejadian penguapan (evaporasi) pada Gambar 13, di wilayah kejadian Tanjung Balai Karimun, menunjukan tingkat evaporasinya cukup tinggi berkisar 0.0002 – 0.0001 *m of water equivalent*, Dimana nilai tersebut mendukung pembentukan awan di atsmofer pada kejadian angin puting beliung di wilayah Tanjung Balai Karimun.

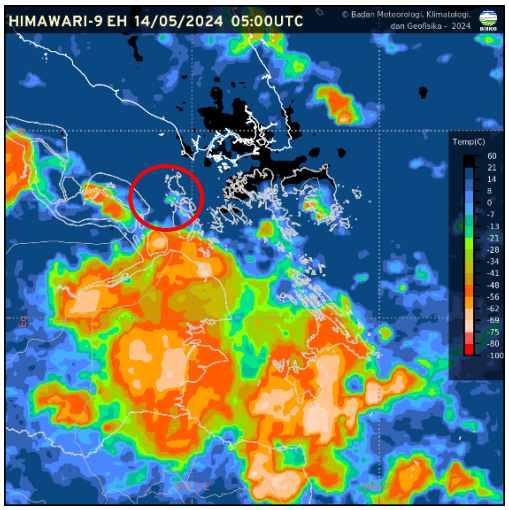


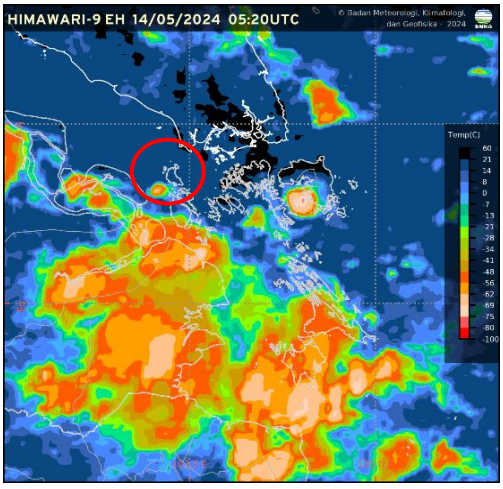
Gambar 13. Evaporasi 14 Mei 2024

Citra RGB Satelit Himawari-8

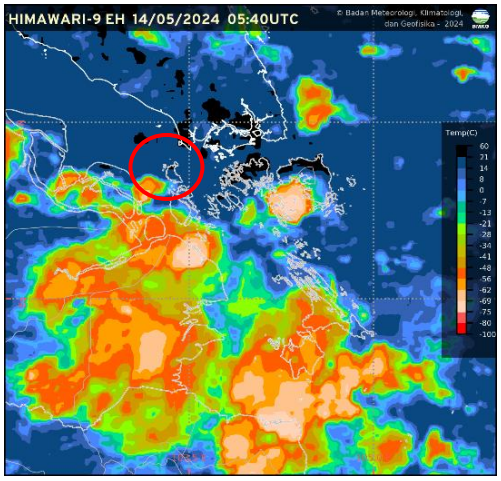
Gambar 14 di bawah adalah gambar atau citra pertumbuhan awan dari tangkapan Satelit Himawari-8 kanal *infrared*. Hasil menunjukan bahwa terdapat pertumbuhan awan konvektif yang sangat cepat menuju fase matang, pada jangka waktu 05.00 – 05.40 utc utc terlihat awan konvektif di Kota Tanjung Balai karimun pertumbuhan awan terlihat bertahan hidup dengan rentang suhu -62°C sampai dengan -100°C. Hal tersebut membuktikan awan-awan tersebut merupakan awan konvektif yang menyebabkan hujan disertai angin puting beliung pada rentang pukul 04.40 – 05.30 utc utc.







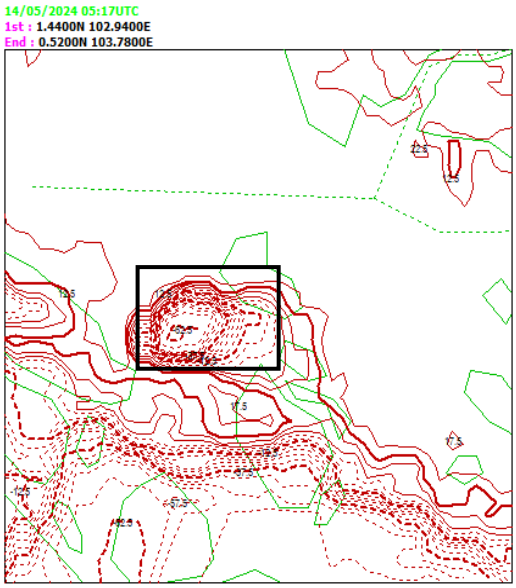
p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239



Gambar 14. Citra RGB Himawari-8

Analisis Kontur Suhu Puncak Awan

Peta Kontur puncak awan Cb terlihat luasan bentangan awan Cb, hal ini karena pengaruh shear yang kuat sehingga terjadi perlambatan yang kemudian terjadinya pengangkatan massa udara ke atas sehingga berkembang menjadi awan-awan hujan di wilayah Tanjung Balai Karimun.



Gambar 15. Kontur suhu puncak awan
(Sumber : data diolah)

Di tunjukan dalam kotak hitam adanya awan dengan suhu puncak dari -62.5 °C, dimana pada kontur terdapat beberapa sel awan Cb dengan suhu puncak sekitar -37.5 °C. di sekitarnya juga terdapat sel awan Cb yang mana sel sel ini dapat bergabung menjadi satu sehingga menjadi awan konvektif yang cukup besar.

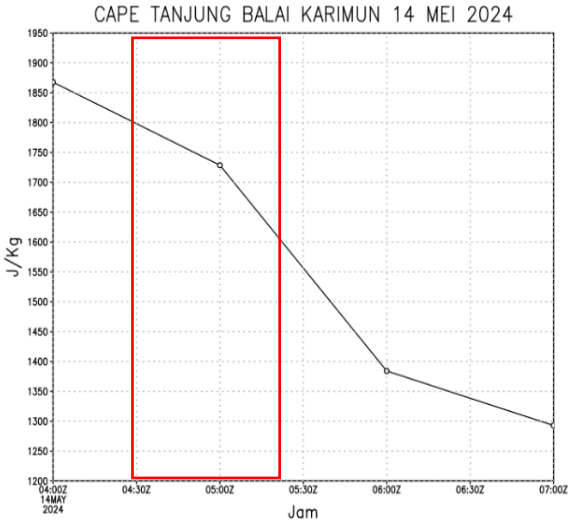
Analisis *Time Series* Suhu Puncak Awan

Time series suhu ini memberikan nilai suhu puncak awan untuk mengetahui fase – fase awan baik saat awan mulai terbentuk, matang maupun saat awan mulai meluruh atau fase punah yang menutupi wilayah Kota Tanjung Balai Karimun Dari data yang didapatkan menunjukkan bahwa suhu puncak awan -62°C menjelang pukul 05.00 utc dimana saat itu terjadi cuaca ekstrem di wilayah Tanjung Balai Karimun.

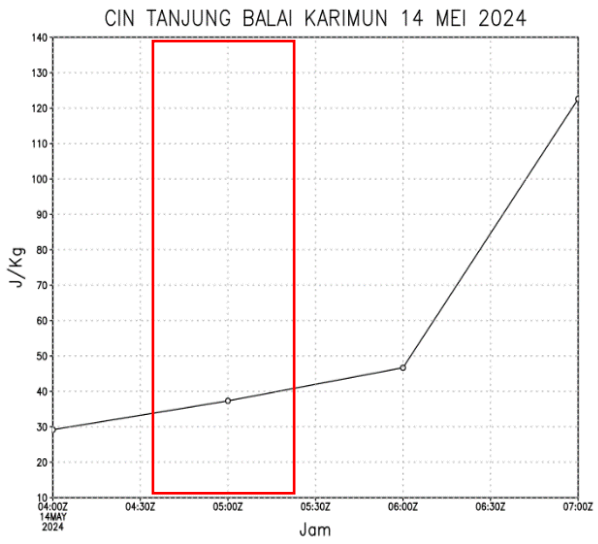
Gambar 16. Grafik *Time Series* suhu puncak awan

Analisis Data Model Udara Atas

Pada Gambar 15 pertama grafik CAPE (*Convective Available Potential Energy)* 14 Mei 2024 Kota Tanjung Balai karimun, terlihat pada rentang pukul 04.30 – 05.00 utc di kotak merah mencapai maksimum 1800 J/kg, hal tersebut menunjukan kondisi badai sedang yang secara kuat menunjukan aktivitas konvektif awan hujan yang turut menghasilkan angin putting beliung.



p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239



Gambar 17. Grafik CAPE dan CIN

Kemudian grafik CIN (*Convective Inhibition)* berbanding terbalik terhadap CAPE dari nilainya dan dimana terlihat bahwa pada jam 04.30 – 05.00 utc nilai CIN cukup rendah dengan rentang nilai 32 - 35 J/Kg, hal tersebut sejalan menggambarkan keadaan atmosfer diatas Kota Tanjung Balai karimun dimana Jika nilai CIN ini terlalu tinggi, maka konveksi lembab yang dalam tidak mungkin terjadi meskipun energi potensial tersedia konvektif atau energi potensial tersedia konvektif besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis kejadian angin puting beliung di Tanjung Balai Karimun pada 14 Mei 202, menunjukkan bahwa faktor global seperti *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *Outgoing Longwave Radiation* (OLR), Indeks Nino 3.4, dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kejadian ini. Sebaliknya, kondisi lokal seperti kelembaban relatif pada rentang 60 - 90%, vortisitas dan kecepatan vertikal yang berada pada nilai negatif dimana hal tersebut semakin mendukung aktivitas konveksi pada saat kejadian angina putting beliung. Adapun analisis skala lokal lainnya seperti divergensi yang bernilai negatif, kelembaban spesifik yang berangsur- angsur turun pada tiap lapisan hingga tingkat evaporasi yang mendukung pembentukan awan cumulonimbus dengan cepat pada kasus ini.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini sejalan dengan temuan oleh Utama et al. [09] dan Saragih [10], yang menekankan pentingnya analisis citra satelit dan kondisi lokal dalam memahami dinamika atmosfer saat kejadian angin puting beliung. Penelitian ini memperkuat argumen bahwa meskipun kondisi global dapat mempengaruhi cuaca, faktor-faktor lokal seperti kelembaban relatif tinggi, vortisitas negatif, dan divergensi memiliki peran dominan dalam memicu fenomena tersebut. Implikasi dari penelitian ini bahwa pemahaman yang lebih mendalam tentang interaksi antara faktor global dan lokal sangat penting untuk merumuskan strategi mitigasi bencana yang lebih efektif.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, kepada kedua orang tua serta terima kasih kepada penulis 2 dan penulis 3 karena telah memberikan kontribusi dalam mengolah dan menganalisa data, serta tidak lupa ucapan terima kasih kepada kepala stasiun meteorologi kelas IV Raja Haji Abdullah – Karimun berserta jajarannya atas dukungan moral, doa dan motivasinya sehingga penulisan jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

[1] Gobato, R., Mitra, A., & Figueroa Valverde, L. (2022). Tornadoes analysis Concordia, Santa Catarina, Southern Brazil, 2022 season. Aeronautics and Aerospace Open Access Journal, 6(4), 184–188. https://doi.org/10.15406/aaoaj.2022.06.00160.

[2] Sudibyakto, H. A. (2018). Manajemen bencana di Indonesia ke mana? UGM PRESS. Google Scholar.

[3] Paul, B. K., & Stimers, M. (2014). Tornado Warning, Preparedness, and Impacts. Weather, Climate, and Society, 6(2), 355–368. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-13-00022.1.

[4] Menenteramkan Hati Warga Korban Angin Puting Beliung. (2020). Retrieved from https://www.tzuchi.or.id.

[5] Puting Beliung Sapu Enam Rumah di Karimun. (2023). Retrieved from https://jurnalterkini.id.

[6] Walters, J. E., Schmidlin, T. W., & Chaney, P. L. (2020). Staying Safe in a Tornado: A Qualitative Inquiry into Public Knowledge, Access, and Response to Tornado Warnings. Weather and Forecasting, 35(1), 12-25. https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0127.1.

[7] Su, Y., Smith, J. A., & Villarini, G. (2019). Historical Analysis of U.S. Tornado Fatalities (1808–2017): Population, Science, and Technology. Weather, Climate, and Society, 11(2), 355–368. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18-0078.1.

[8] Analisis Peristiwa Angin Kencang dengan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Bangkalan, 17 Oktober 2021). Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian. https://doi.org/10.15294/jg.v10i2.26927.

[9] Utama, I. N. W. W., Palguna, D., Mahubessy, R., Aditya, P., & Winarso, P. A. (2018). Kajian Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Puting Beliung di Yogyakarta (Studi Kasus 24 April 2018). Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya). Retrieved from https://jurnal.uns.ac.id.

[10] Saragih, R. W. (2020). Analisis Kondisi Atmosfir, Indeks Labilitas, dan Citra Satelit Saat Kejadian Puting Beliung di Pontianak Kalimantan Barat (Studi Kasus 17 Juli 2020). Jurnal Fisika. https://doi.org/10.15294/jf.v10i2.26927.

p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239

[11] Dewitte, S., & Clerbaux, N. (2018). Decadal changes of Earth's outgoing longwave radiation. Remote Sensing, 10(10), 1539. https://doi.org/10.3390/rs10101539.
[12] Tang, C., Liu, D., Tian, X., Zhao, F., & Dai, C. (2023). The variations of outgoing longwave radiation in East Asia and its influencing factors. Atmosphere, 14(3), 576. https://doi.org/10.3390/atmos14030576.
[13] Zhang, C. (2005). Madden-Julian Oscillation. Reviews of Geophysics, 43(RG2003), 1-36. https://doi.org/10.1029/2004RG000158.
[14] Trenberth, K. E. (1997). The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(12), 2771-2777. https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2771>2.0.CO;2.
[15] Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes D. C., & Wang, W. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate. Journal of Climate, 15(13), 1609-1625. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<160 >2.0.CO;2.
[16] Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. Nature, 401(6751), 360-363. https://doi.org/10.1038/43854.
[17] Moncrieff, M. W., & Miller, M. J. (1976). The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 102(432), 373-394. https://doi.org/10.1002/qj.49710243208.
[18] Doswell, C. A., & Schultz, D. M. (2006). On the use of indices and parameters in forecasting severe storms. Electronic Journal of Severe Storms Meteorology, 1(3), 1-22. Retrieved from https://ejssm.org/ojs/index.php/ejssm/article/view/11.
[19] Stull, R. B. (1988). An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers.
[20] Lawrence, M. G. (2005). The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. Bulletin of the American Meteorological Society, 86(2), 225-234. https://doi.org/10.1175/BAMS-86-2-225.
[21] Holton, J. R. (2004). An Introduction to Dynamic Meteorology. Elsevier Academic Press.
[22] Peixoto, J. P., & Oort, A. H. (1992). Physics of Climate. American Institute of Physics.
[23] Oke, T. R. (1987). Boundary Layer Climates. Routledge.
[24] Emanuel, K. A. (1994). Atmospheric Convection. Oxford University Press.
[25] Brutsaert, W. (1982). Evaporation into the Atmosphere: Theory, History, and Applications. D. Reidel Publishing Company.
[26] Eka Mey Jesiani, Apriansyah Apriansyah, & Riza Adriat. (2019). Model Pendugaan Evaporasi dari Suhu Udara dan Kelembaban Udara Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda di Kota Pontianak. *PRISMA FISIKA*, *7*(1), 46–46. https://doi.org/10.26418/pf.v7i1.32515.
[27] Diniyati, E., Syofyan, D. Q., & Mulya, A. (2021). Pemanfaatan Satelit Himawari-8 dengan Metode NWP dan RGB untuk Menganalisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir di Sidoarjo Tanggal 28 Mei 2020. *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)*, *6*(1), 1–14. https://doi.org/10.21067/jpig.v6i1.5252.
[28] Eka Purnama. (2022). Aplikasi Metode Singular Spectrum Analysis (Ssa) Pada Peramalan Curah Hujan Di Provinsi Gorontalo. *Jambura Journal Of Probability And Statistics*, *3*(2), 161–170. Https://Doi.Org/10.34312/Jjps.V3i2.16537.
[29] Dadi Fadjar Sidik, Bagus Primohadi Syahputra, Akbar, H., & Aditya Mulya. (2021). Pemanfaatan Citra Satelite Himawari-8 Dalam Kejadian Hujan Lebat Di Kabupaten Cianjur (Studi Kasus Cianjur 11, April 2021). *Prosiding : Konferensi Nasional Matematika Dan Ipa Universitas Pgri Banyuwangi*, *2*(1), 275–283. Https://Ejournal.Unibabwi.Ac.Id/Index.Php/Knmipa/Article/View/1753.

p-ISSN: 2086-5589
e-ISSN: 2723-2239