

ANALISIS HUJAN LEBAT DI CILACAP MENGGUNAKAN MODEL ECMWF, CITRA SATELIT, DAN DATA OBSERVASI

I Dewa Gede Loka Maheswara*¹, Muhammad Nur Rizqi¹, Muhammad Fany Nurwibowo¹,
Achmad Zakir², Aditya Mulya³

^{1,2,3}Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia
e-mail*¹: maheswaradewaloka@gmail.com

Diterima 21 November 2025

Dipublikasikan 31 Desember 2025

DOI Artikel: <https://doi.org/10.33369/jkf.8.3.95-104>

ABSTRAK

Kejadian hujan sangat lebat di Kabupaten Cilacap pada 8–9 Oktober 2022 yang memicu banjir pada 9 Oktober 2022 menunjukkan adanya interaksi berbagai skala atmosfer yang kompleks dan belum banyak dibahas dalam studi sebelumnya. Penelitian ini menganalisis mekanisme penguatan konveksi pada skala global, regional, dan lokal dengan mengintegrasikan indeks NINO 3.4, IOD, MJO, suhu permukaan laut, pola aliran angin, data ECMWF, serta citra satelit Himawari-8 band 13. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi La Niña dan IOD negatif yang diikuti anomali suhu permukaan laut positif di selatan Jawa membentuk latar kondisi basah yang signifikan, namun fase 4 MJO yang secara klimatologis cenderung melemahkan konveksi justru tidak menghambat perkembangan awan. Ketidaksesuaian ini dijelaskan oleh adanya penguatan konvergensi regional dan pendinginan suhu puncak awan hingga $-76,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, yang menandakan pertumbuhan awan konvektif secara intensif. Pada skala lokal, indeks stabilitas atmosfer menunjukkan kondisi labil yang memicu terbentuknya hujan sangat lebat pada 8 Oktober 2022 antara pukul 18.00–21.00 UTC. Temuan ini menegaskan bahwa hujan ekstrem di Cilacap bukan hanya dipicu oleh kondisi global yang basah, tetapi oleh hubungan antara anomali termal regional dan ketidakstabilan lokal yang mampu meniadakan efek pelemahan konveksi dari MJO fase 4. Studi ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika berbagai skala pemicu hujan ekstrem di pesisir selatan Jawa dan dapat berkontribusi pada peningkatan akurasi peringatan dini banjir berbasis kondisi atmosfer aktual.

Kata kunci : Hujan Lebat, Ecmwf, Citra Satelit, Observasi, Cilacap

ABSTRACT

The extreme rainfall event in Cilacap Regency on 8–9 October 2022, which triggered flooding on 9 October 2022 reflects the interaction of complex atmospheric processes across multiple scales and that has not been extensively explored in previous studies. This research investigates the mechanisms that enhanced convection at global, regional, and local scales by integrating the NINO 3.4 index, IOD, MJO, sea surface temperature, wind patterns, ECMWF data, and Himawari-8 band 13 satellite imagery. The analysis shows that the combination of La Niña and a negative IOD accompanied by positive sea surface temperature anomalies south of Java established a markedly moist background environment. However, despite the climatological tendency of MJO phase 4 to suppress convection, it did not inhibit cloud development during this event. This apparent inconsistency is explained by strengthened regional scale convergence and cloud top cooling reaching $-76.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, indicating vigorous convective growth. At the local scale, atmospheric stability indices reveal highly unstable conditions that triggered the very heavy rainfall observed on 8 October 2022 between 18.00–21.00 UTC. These findings demonstrate that the extreme rainfall in Cilacap was driven not only by moist global conditions but also by the interplay between regional thermal anomalies and local instability, which effectively counteracted the convective suppression typically associated with MJO phase 4. This study provides a more comprehensive understanding of the multiscale dynamics that trigger extreme rainfall along the southern coast of Java and contributes to improving the accuracy of flood early-warning systems based on real-time atmospheric conditions.

Keywords : Heavy Rainfall, Ecmwf, Satellite Imagery, Observation, Cilacap

I. PENDAHULUAN

Curah hujan berintensitas tinggi merupakan salah satu pemicu utama bencana hidrometeorologis seperti banjir dan tanah longsor (1). Di kawasan tropis, termasuk Indonesia, kejadian hujan lebat kerap dipengaruhi oleh interaksi fenomena atmosfer pada berbagai skala, sehingga wilayah pesisir selatan Pulau Jawa, termasuk Kabupaten Cilacap menjadi salah satu wilayah yang memiliki risiko tinggi terhadap kejadian tersebut. Data statistik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menunjukkan sepanjang tahun 2022 Cilacap mengalami curah hujan bulanan yang relatif tinggi, menandakan adanya kondisi atmosfer yang basah sebelum kejadian ekstrem berlangsung. Dalam hal ini, fenomena seperti ENSO, IOD, MJO, dan monsun tidak hanya berperan secara individual, tetapi juga dapat saling berinteraksi sehingga memperkuat atau melemahkan potensi terbentuknya konveksi (2). Oleh sebab itu, analisis yang terintegrasi diperlukan untuk memahami mekanisme penguatan konveksi yang memicu hujan lebat.

Kemajuan dalam penginderaan jauh melalui pemanfaatan satelit cuaca dan model numerik, seperti European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), memungkinkan dilakukannya analisis yang komprehensif terhadap fenomena cuaca ekstrem (3). Satelit cuaca menyediakan data observasi dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi, sedangkan ECMWF menghasilkan data pemodelan atmosfer beresolusi tinggi dan prakiraan yang akurat (4). Integrasi data satelit cuaca dan ECMWF dalam analisis kejadian hujan lebat meningkatkan pemahaman terhadap pengaruh fenomena atmosfer pada skala global, regional, dan lokal, serta kondisi ketidakstabilan atmosfer (5).

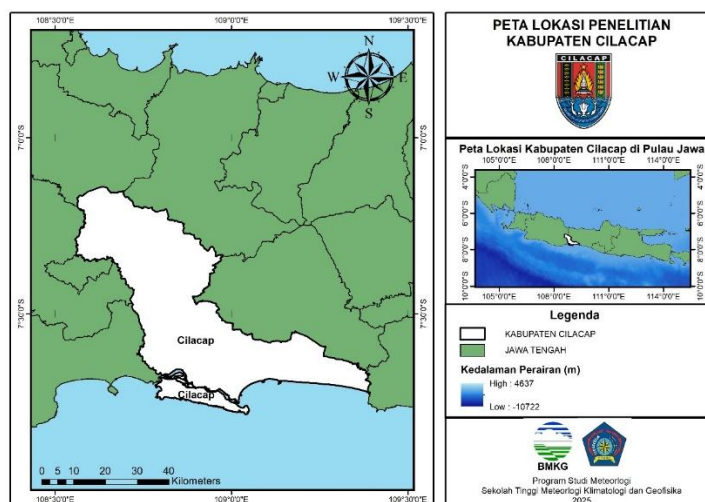
Penelitian mengenai dinamika atmosfer saat kejadian hujan lebat telah dilakukan oleh sejumlah peneliti. Di Kabupaten Sintang, (6) menganalisis dinamika atmosfer pada skala global, regional, dan lokal. Hasil penelitian pada 30 September 2021 menunjukkan adanya aktivitas fenomena atmosfer pada ketiga skala tersebut yang memicu pertumbuhan awan konvektif. (7) menganalisis indeks stabilitas atmosfer selama kejadian hujan lebat di Kabupaten Bogor. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat tutupan awan konvektif selama kejadian hujan lebat dan terjadi variasi indeks stabilitas atmosfer yang berbanding lurus dengan peningkatan curah hujan harian. Pada lokasi yang berbeda, (8) mengidentifikasi bahwa kontribusi skala global dapat memperkuat respon konveksi lokal dan regional selama kejadian ekstrem. Walaupun demikian, studi mengenai dinamika berbagai skala untuk wilayah Cilacap, khususnya pada peristiwa hujan sangat lebat pada 8–9 Oktober 2022 yang memicu banjir pada 9 Oktober belum didukung analisis integratif berbasis satelit dan model numerik.

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan sinergis antara fenomena atmosfer pada skala global, regional, dan lokal serta kondisi ketidakstabilan atmosfer selama kejadian hujan lebat di Kabupaten Cilacap pada 8–9 Oktober 2022. Dengan menggabungkan data model ECMWF dan satelit Himawari-8, penelitian ini berupaya memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme pembentukan hujan ekstrem yang berdampak signifikan terhadap masyarakat. Temuan penelitian diharapkan dapat meningkatkan efektivitas strategi mitigasi bencana, khususnya dalam meningkatkan ketepatan sistem peringatan dini (*early warning system*) di wilayah rawan banjir seperti Cilacap.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Data dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini bertempat di Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah, yang terletak di pesisir selatan Pulau Jawa. Secara geografis, wilayah Kabupaten Cilacap berada pada koordinat $7^{\circ}30'$ LS - $7^{\circ}45'$ LS dan $108^{\circ}45'$ BT - $109^{\circ}30'$ BT, dengan luas area mencapai 2.252,5 km². Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada kejadian hujan lebat di wilayah tersebut pada 8-9 Oktober 2022, yang berdampak terhadap kejadian banjir pada 9 oktober 2022. Data meteorologi didapatkan dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tunggul Wulung, yang berlokasi di Kabupaten Cilacap.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (Sumber: Hasil penelitian, 2025)

Gambar 1 menunjukkan peta lokasi penelitian di wilayah Kabupaten Cilacap untuk memberikan gambaran geografis terkait wilayah Kabupaten Cilacap. Pada penelitian ini data yang digunakan, diantaranya:

1. Data Faktor Cuaca Skala Global: Data indeks Nino 3.4, indeks IOD (Indian Ocean Dipole), dan MJO (Madden-Julian Oscillation) pada bulan Oktober 2022 yang diakses melalui Bureau of Meteorology Australia (<http://www.bom.gov.au/>). Data rata-rata suhu permukaan laut pada 8 Oktober 2022 yang diperoleh dari data reanalisis ECMWF dalam format netCDF (*.nc), dapat diakses melalui laman Climate Reanalysis Copernicus Era 5 ECMWF (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>) dengan menggunakan akun yang sudah terdaftar sebelumnya. Data rata-rata anomali suhu permukaan laut pada 8 Oktober 2022 yang diperoleh dari laman Coral Reef Watch NOAA (<https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/>).
2. Data Faktor Cuaca Skala Regional: Data streamline angin pada tanggal 8 Oktober 2022, yang diperoleh melalui data reanalisis ECMWF dalam format netCDF (*.nc), dapat diakses melalui laman Climate Reanalysis Copernicus Era 5 ECMWF (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>). Data citra infrared satelit Himawari-8, rentang waktu suhu puncak awan dan kontur suhu puncak awan yang diperoleh dari BMKG Pusat Subbidang Pengelolaan Citra Satelit.
3. Data Faktor Cuaca Skala Lokal: Data indeks stabilitas atmosfer, diantaranya CAPE (Convective Available Potential Energy), SSI (Showalter Stability Index), LI (Lifted Index), KI (K Index), SWEAT (Severe Weather Threat Index), dan TT (Total Totals) pada tanggal 8-9 Oktober 2022 yang diperoleh melalui data reanalisis ECMWF dalam format netCDF (*.nc), dapat diakses melalui laman Climate Reanalysis Copernicus Era 5 ECMWF (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>).
4. Data Pengamatan Udara Permukaan: Data curah hujan per tiga jam pada tanggal 8-9 Oktober 2022 yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tunggal Wulung.

Tabel 1. Kategori Curah Hujan Menurut BMKG (Sumber: Probabilistik Curah Hujan 24 Jam BMKG)

Kategori	Intensitas Curah Hujan (mm)	
	1 jam	24 jam
Sangat Ringan	<1	<5
Ringan	1-5	5-20
Sedang	5-10	20-50
Lebat	10-20	50-100
Sangat Lebat	>20	>100

2.2. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Langkah-langkah pengolahan dan analisis data dijelaskan sebagai berikut:

1. Data indeks Nino 3.4, Indian Ocean Dipole (IOD), dan Madden-Julian Oscillation (MJO) pada tanggal 8 Oktober 2022 diakses melalui website Bureau of Meteorology (BoM) Australia. Data ini dianalisis untuk mengidentifikasi gangguan cuaca skala global yang memengaruhi kejadian hujan lebat.

2. Data rata-rata anomali suhu permukaan laut pada tanggal 8 Oktober 2022 diperoleh dari NOAA. Sementara itu, data rata-rata suhu permukaan laut dan streamline angin pada tanggal 8 Oktober 2022 diperoleh dari Copernicus Climate Data Store. Data rata-rata suhu permukaan laut dan streamline angin diolah menggunakan perangkat lunak Grid Analysis and Display System (GrADS). Data rata-rata suhu permukaan laut dan rata-rata anomali suhu permukaan laut digunakan untuk mengidentifikasi potensi peningkatan proses penguapan yang menyebabkan pertumbuhan awan konvektif. Data streamline angin digunakan untuk mengidentifikasi gangguan cuaca seperti shearline atau konvergensi yang meningkatkan ketidakstabilan atmosfer.
3. Citra satelit Himawari-8 pada tanggal 8-9 Oktober 2022 diolah menggunakan aplikasi Satellite Animation and Interactive Diagnosis (SATAID). Kanal Infrared (IR) digunakan untuk mendeteksi keberadaan awan konvektif, menganalisis suhu puncak awan, serta memvisualisasikan kontur suhu puncak awan di wilayah Kabupaten Cilacap selama kejadian hujan lebat. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk gambar dan tabel untuk memudahkan interpretasi.
4. Data indeks stabilitas atmosfer, seperti CAPE (Convective Available Potential Energy), SSI (Showalter Stability Index), LI (Lifted Index), KI (K Index), SWEAT (Severe Weather Threat Index), dan TT (Total Totals) diolah menggunakan fitur NWP (Numerical Weather Prediction) pada aplikasi Satellite Animation and Interactive Diagnosis (SATAID). Data indeks stabilitas atmosfer digunakan untuk melihat dinamika stabilitas atmosfer saat kejadian hujan lebat.
5. Data pengamatan udara permukaan, berupa curah hujan per tiga jam pada tanggal 8-9 Oktober 2022, dikumpulkan dalam bentuk tabel kemudian digunakan untuk menganalisis pola curah hujan di Kabupaten Cilacap.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Skala Global

A. Indeks Nino 3.4

Gambar 2 menunjukkan penyimpangan suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dari kondisi normal yang direpresentasikan menggunakan indeks Nino 3.4. Pada Oktober 2022, nilai indeks Nino 3.4 mencapai $-1,05$ (kotak merah). Gambar 2 menggambarkan bahwa pada bulan Oktober 2022, indeks Nino 3.4 mencapai $-1,05$, yang menunjukkan terjadinya fenomena La Niña lemah. La Niña terjadi ketika suhu permukaan laut di wilayah barat Samudra Pasifik menjadi relatif lebih dingin. Suhu permukaan laut yang lebih dingin di bagian barat Samudra Pasifik (dekat wilayah Indonesia) meningkatkan penguapan dan kandungan uap air di atmosfer (9). Kondisi ini berpotensi meningkatkan pertumbuhan awan konvektif yang memicu terjadinya hujan di wilayah Indonesia.

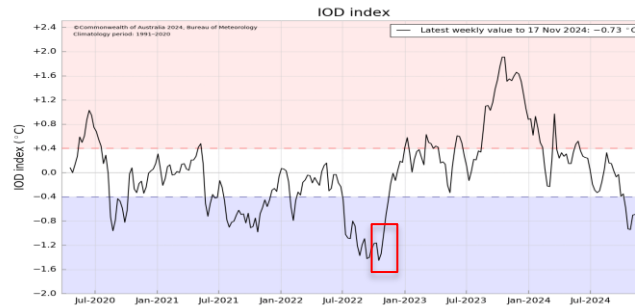


Gambar 2. Indeks Nino 3.4 (Sumber: Australian Bureau of Meteorology)

B. Indian Ocean Dipole (IOD)

Gambar 3 merupakan grafik yang menunjukkan perbedaan suhu permukaan laut di Samudra Hindia antara bagian barat dan timur, yang direpresentasikan menggunakan indeks IOD. Pada Oktober 2022, nilai indeks IOD mencapai $-1,45$ (kotak merah). Gambar 3 menunjukkan bahwa pada bulan Oktober 2022, indeks IOD mencapai $-1,45$, yang menandakan kondisi IOD negatif. Fenomena ini ditandai dengan meningkatnya suhu permukaan laut di bagian timur Samudra Hindia, yang meningkatkan penguapan air laut serta kandungan uap air di atmosfer (10). Peningkatan suhu permukaan laut di wilayah timur Samudra Hindia ini menyebabkan peningkatan kelembapan atmosfer lokal, yang mendukung pembentukan awan konvektif dan pada akhirnya meningkatkan

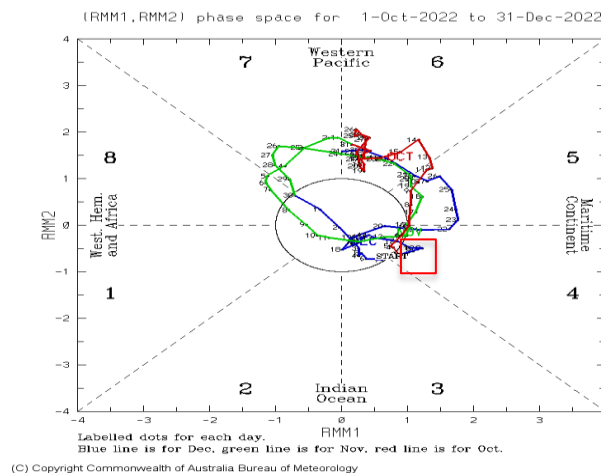
curah hujan di Indonesia, khususnya di wilayah bagian barat dan tengah (13).



Gambar 3. Indeks *Indian Ocean Dipole* (Sumber: Australian Bureau of Meteorology)

C. *Madden-Julian Oscillation* (MJO)

Gambar 4 menunjukkan diagram fase *Madden Julian Oscillation* (MJO) yang menggambarkan propagasi gangguan konvektif dari Samudra Hindia menuju kawasan Pasifik. Pada 8 Oktober 2022, MJO berada pada fase 4 (*Maritime Continent*) dengan amplitudo yang cukup kuat (kotak merah). Secara klimatologis, fase 4 biasanya tidak memberikan penguatan signifikan terhadap konveksi di sebagian besar wilayah Indonesia karena pusat anomali konvektif MJO berada di sebelah barat wilayah penelitian (12). Dengan demikian, kontribusi MJO pada periode kejadian ini tidak menjadi pemicu utama perkembangan awan konvektif. Namun, keberadaan MJO beramplitudo kuat tetap berperan sebagai latar dinamis yang memodulasi pola sirkulasi regional.

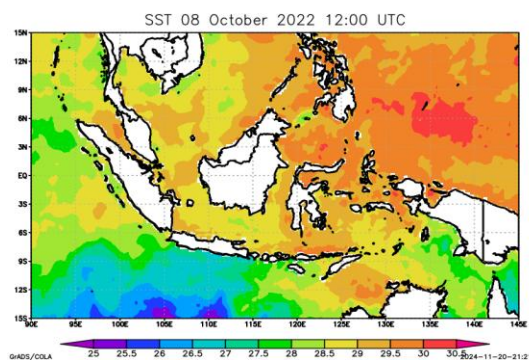


Gambar 4. Diagram fase *Madden-Julian Oscillation* (Sumber: Australian Bureau of Meteorology)

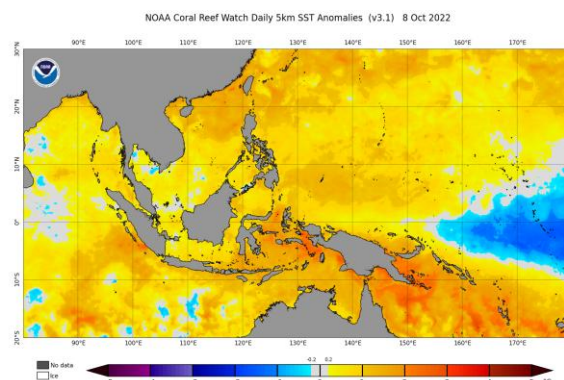
D. *Sea Surface Temperature*

Gambar 5a menunjukkan bahwa pada 8 Oktober 2022 pukul 12.00 UTC, suhu permukaan laut di bagian selatan Pulau Jawa berada pada kisaran 25°C hingga 27,5°C. Suhu permukaan laut yang relatif hangat tersebut dapat meningkatkan proses penguapan, sehingga memperbesar jumlah uap air di atmosfer (14). Uap air hasil penguapan ini berperan sebagai sumber pembentukan awan konvektif yang berpotensi meningkatkan curah hujan di wilayah selatan Pulau Jawa, khususnya di Kabupaten Cilacap.

Gambar 5b menunjukkan anomali suhu permukaan laut pada 8 Oktober 2022 di bagian selatan Pulau Jawa yang berkisar antara 0,2°C hingga 2°C. Anomali positif tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kandungan uap air di wilayah selatan Jawa (11). Kondisi ini berpotensi memperkuat pembentukan awan konvektif yang dapat memicu peningkatan curah hujan di wilayah tersebut, khususnya di Kabupaten Cilacap.



Gambar 5a. Rata-rata *sea surface temperature* (Sumber: Hasil penelitian, 2025)

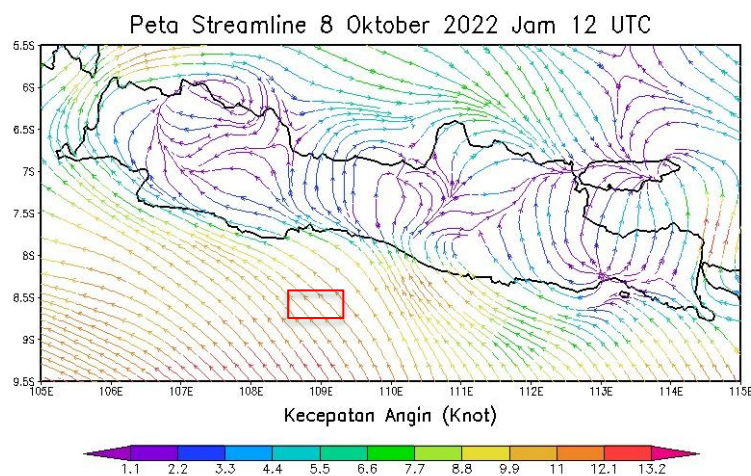


Gambar 5b. Rata-rata anomali *Sea Surface Temperature* (Sumber: NOAA)

3.2. Analisis Skala Regional

A. *Streamline* Angin

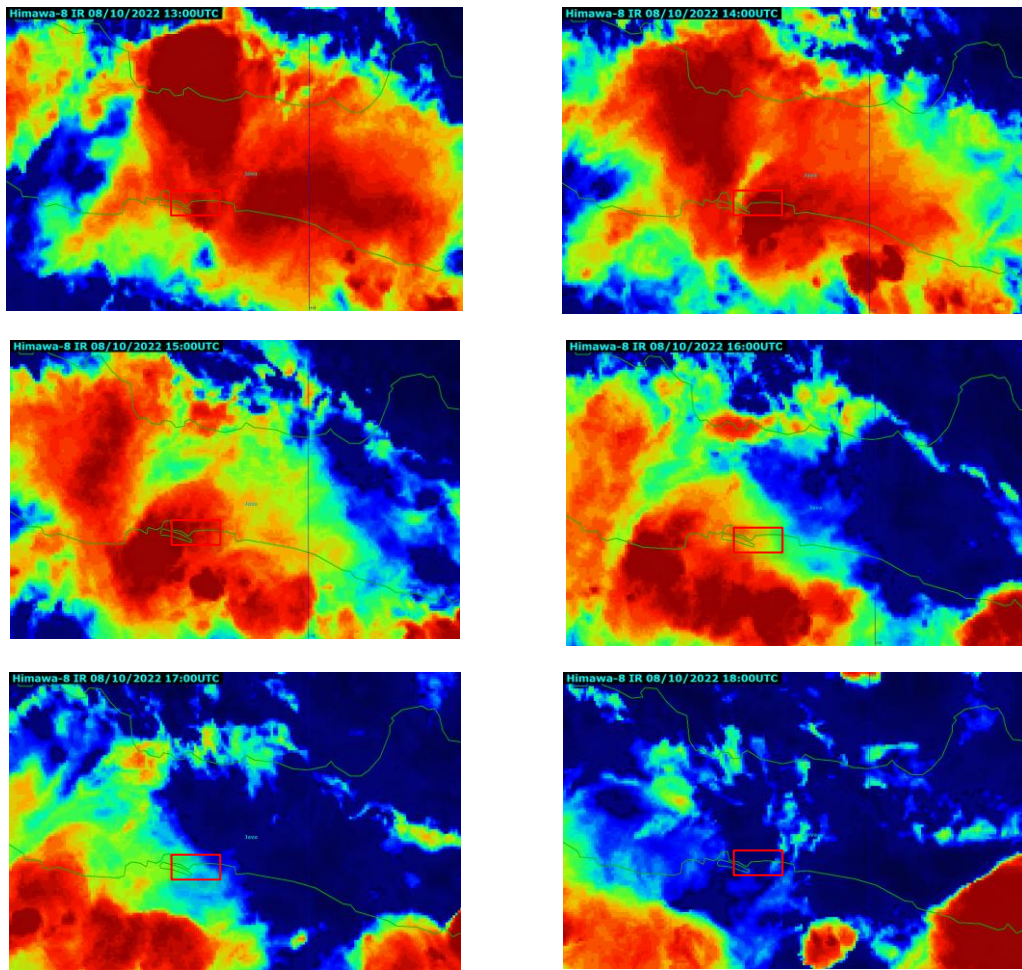
Gambar 6 memperlihatkan peta streamline pada tanggal 8 Oktober 2022 yang mencakup wilayah sekitar Kabupaten Cilacap (kotak merah). Pola angin yang tampak menunjukkan dominasi aliran angin dari tenggara menuju barat laut yang mengindikasikan keberadaan aliran monsun timur. Namun, terlihat pula adanya konvergensi di wilayah sekitar Kabupaten Cilacap. Fenomena konvergensi ditandai oleh pola aliran angin saling mendekat di sekitar Cilacap, sehingga membentuk zona konvergensi lokal. Zona konvergensi lokal di sekitar Cilacap berperan sebagai area akumulasi massa udara yang memicu gerakan naik (*uplift*)(15). Kondisi ini apabila bersamaan dengan atmosfer yang tidak stabil dapat memperkuat pembentukan awan konvektif yang berkontribusi terhadap kejadian hujan lebat di wilayah Kabupaten Cilacap.



Gambar 6. Peta streamline angin pada 8 Oktober 2022 (Sumber: Hasil penelitian, 2025)

B. Citra Satelit

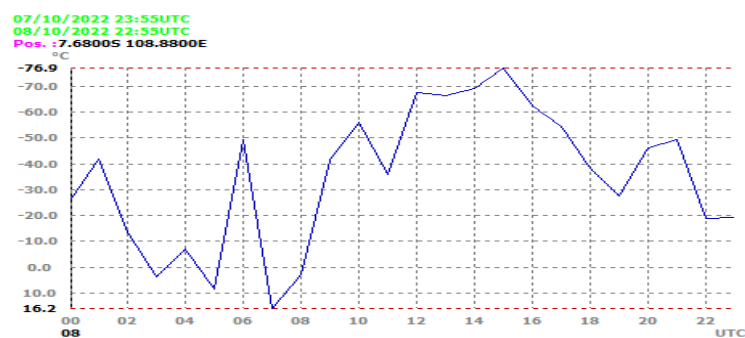
Gambar 7 menampilkan citra Satelit Himawari pada kanal IR (Band 13) untuk tanggal 8 Oktober 2022 dari pukul 13.00 hingga 18.00 UTC. Citra tersebut menunjukkan keberadaan awan konvektif yang cukup signifikan di wilayah Kabupaten Cilacap (ditandai dengan kotak merah), yang tampak dalam bentuk rona merah dan oranye. Selama periode pengamatan, awan tebal terus berkembang dan bergerak, menandakan aktivitas konveksi yang intens yang berkontribusi terhadap terjadinya hujan lebat di wilayah Kabupaten Cilacap.



Gambar 7. Citra Satelit *Infrared* (Band 13) (Sumber: Hasil penelitian, 2025)

C. *Time Series* Suhu Puncak Awan

Gambar 8 menyajikan visualisasi deret waktu suhu puncak awan pada 8 Oktober 2022 di wilayah Kabupaten Cilacap, dengan rentang nilai antara $-76,9^{\circ}\text{C}$ hingga $16,2^{\circ}\text{C}$. Pada rentang waktu 00.00 UTC hingga 08.00 UTC, suhu puncak awan menunjukkan pola fluktuatif, dengan nilai terendah mencapai -50°C , yang merupakan kondisi yang mendukung pertumbuhan awan konvektif. Selanjutnya, pada periode 08.00 UTC hingga 15.00 UTC, suhu puncak awan minimum menurun lebih jauh hingga $-76,9^{\circ}\text{C}$, menunjukkan keberadaan awan dengan puncak yang sangat tinggi, seperti Cumulonimbus, berkaitan dengan kejadian hujan lebat di wilayah Kabupaten Cilacap (16).



Gambar 8. Visualisasi *time series* suhu puncak awan (Sumber: Hasil penelitian, 2025)

D. Kontur Suhu Puncak Awan

Gambar 9 merupakan peta kontur yang menunjukkan pola suhu puncak awan di wilayah sekitar

08/10/2022 14:56UTC
 Lat: 6.36005 108.3200E
 Long: 8.65005 109.7200E

Tabel 2. Indeks Stabilitas Atmosfer di Kabupaten Cilacap pada 8 Oktober 2022

Tabel 3 menunjukkan intensitas curah hujan di Kabupaten Cilacap pada 8–9 Oktober 2022, dengan fluktuasi yang cukup signifikan selama periode pemantauan. Pada 8 Oktober pukul 00.00 UTC, curah hujan tercatat sebesar 18 mm, kemudian menurun secara bertahap hingga pukul 06.00 UTC. Setelah itu, terjadi peningkatan kembali pada malam hari, dengan curah hujan mencapai 10 mm pada pukul 12.00 UTC. Puncak curah hujan terjadi pada 8 Oktober 2022 pukul 21.00 UTC (9 Oktober 2022 dini hari) sebesar 39 mm. Berdasarkan Tabel 1, ini menunjukkan adanya kejadian hujan kategori sangat lebat di wilayah Kabupaten Cilacap dan menyebabkan terjadinya banjir pada pagi hari.

Tabel 3. Kondisi Curah Hujan di Kabupaten Cilacap pada 8-9 Oktober 2022

Tanggal	Waktu (UTC)	Curah Hujan (mm)
8 Oktober 2022	00:00	18
	03:00	0
	06:00	0
	09:00	8
	12:00	10
	15:00	7
	18:00	32
	21:00	39
9 Oktober 2022	00:00	18
Total		132

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Kejadian hujan sangat lebat yang memicu banjir di Kabupaten Cilacap pada 9 Oktober 2022 merupakan hasil dari interaksi dinamis fenomena atmosfer pada berbagai skala. Pada skala global, kombinasi La Niña, IOD negatif, dan anomali suhu permukaan laut positif di selatan Jawa membentuk kondisi dasar yang basah dan meningkatkan suplai uap air, sementara MJO fase 4 tidak cukup kuat untuk menekan perkembangan konveksi. Pada skala regional, keberadaan zona konvergensi dan suhu puncak awan yang sangat rendah hingga $-76,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ menunjukkan aktivitas konveksi mendalam yang memperkuat pertumbuhan awan konvektif. Pada skala lokal, kondisi atmosfer yang sangat labil antara pukul 18.00–21.00 UTC mendukung pertumbuhan awan secara cepat, menghasilkan akumulasi curah hujan yang tinggi dalam waktu singkat. Temuan ini menegaskan bahwa hujan ekstrem di Cilacap dipicu oleh sinergi antara kondisi global yang basah, penguatan konveksi regional, dan ketidakstabilan lokal yang saling memperkuat sehingga menghasilkan intensitas hujan yang cukup besar untuk menyebabkan banjir.

4.2 Saran

Dapat menggunakan data observasi curah hujan dari beberapa titik lokasi pengamatan untuk meningkatkan akurasi analisis spasial dan mendukung mitigasi banjir secara efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) atas dukungan dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dolojan NLJ, Moriguchi S, Hashimoto M, Tinh NX, Tanaka H, Terada K. Hydrologic-geotechnical modelling of shallow landslide and flood hazards caused by heavy rainfall. *Engineering Geology*. 2023;323:107184. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107184>.
2. Yadav M. South Asian Monsoon Extremes and Climate Change. In: Saxena P, Shukla A, Gupta AK, editor. *Extremes in Atmospheric Processes and Phenomenon: Assessment, Impacts and Mitigation*. Singapore: Springer Nature; 2022. p. 59–86. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7727-4_4.
3. Hasan MM. Regional Analysis Of Extreme Weather Events Using Deep Learning. *Frontiers in Applied Engineering and Technology*. 2024;1(01):235–251. <https://doi.org/10.70937/faet.v1i01.38>.

4. Li J, Santek D, Li Z, Lim A, Di D, Min M, Velden C, Menzel WP. Tracking atmospheric motions for obtaining wind estimates using satellite observations – from 2D to 3D. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2025. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0027.1>.
5. Asmita A, Malago JD, Subaer S. Perbandingan Profil Vertikal Divergensi dan Vortisitas Model ECMWF dan Luaran SATAID saat Kejadian Hujan di Mamuju. *Jurnal Fisika Unand*. 2023;12(4):658–665. <https://doi.org/10.25077/jftu.12.4.658-665.2023>.
6. Purwanti SD, Weyai SL, Haryanto YD, Mulya A. Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat di Sintang Menggunakan Satelit Cuaca dan Model ECMWF (Kasus: 30 September 2021). *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*. 2023;8(1):63–74. <https://doi.org/10.21067/jpig.v8i1.8141>.
7. Ariyanto ADP, Samsuri HH, Nugraheni IR, dkk. Kajian Indeks Stabilitas Atmosfer Terhadap Kejadian Hujan Lebat di Wilayah Bogor. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*. 2021;3:163–172. <https://doi.org/10.20961/prosidingsnfa.v3i0.28538>.
8. Arrashid H, Sucahyono D, Haryanto YD, Qomariyatuazzamzami LN. Kondisi dinamika atmosfer saat hujan lebat di Kalimantan Selatan (Periode 12–17 Januari 2021). *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*. 2023;3(4):32–44. https://balai2bmkg.id/index.php/buletin_mkg/article/view/63.
9. Beliyana E, Ningsih NS, Gunawan SR, Tarya A. Characteristics of Marine Heatwaves in the Indonesian Waters during the PDO, ENSO, and IOD Phases and Their Relationships to Net Surface Heat Flux. *Atmosphere*. 2023;14(6). <https://doi.org/10.3390/atmos14061035>.
10. Wang G, Cai W, Santoso A, Abram N, Ng B, Yang K, Geng T, dkk. The Indian Ocean Dipole in a warming world. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2024;5(8):588–604. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00573-7>.
11. Mulyani AS. Antisipasi terjadinya pemanasan global dengan deteksi dini suhu permukaan air menggunakan data satelit. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan – CENTECH*. 2021;2(1):22–29. <https://doi.org/10.33541/cen.v2i1.2807>.
12. Batubara MPN, Zainuri M, Kunarso K, Puryajati AD. Diagnosa perilaku MJO aktif pada saat La Nina kuat (2011/2012) di perairan tropis. *Buletin Oseanografi Marina*. 2022;11(2):193–205.
13. Asyam AMD, Rochaddi B, Widiaratih R. Hubungan ENSO dan IOD terhadap Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan di Selatan Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*. 2024;6(2):165–172.
14. Anwar IP, Setiawan A, Herho SH, Atmojo AT, Khadami F. Analisis Parameter Laut-Atmosfer terhadap Anomali Tinggi Muka Air di Laut Jawa. *Indonesian Journal of Oceanography*. 2024;6(4):306–315.
15. Prasetyo, S., Kurniawan, W., & Rumahorbo, I. R. (2021). Synoptic and Mesoscale Analysis of Extreme Rainfall Event in Cilacap Meteorological Station, Indonesia on December 7, 2018. *JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 5(2), 121-131.
16. Prasetyo S, Kurniawan W, Rumahorbo IR. Synoptic and Mesoscale Analysis of Extreme Rainfall Event in Cilacap Meteorological Station, Indonesia on December 7, 2018. *JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*. 2021;5(2):121–131.
17. BMKG. Probabilistik Curah Hujan 24 Jam. 2025 [diakses 21 November 2025]. Tersedia pada: <https://www.bmkg.go.id/cuaca/probabilistikcurahhujan.bmkg?mm=20&hour=24&gen=uxhn08oymx4otepx7e>.