

Identifikasi Kondisi Atmosfer Kejadian Hujan Lebat Berdasarkan Data Observasi, Satelit, dan Model ERA-5 (Studi Kasus Jakarta Selatan, 11 November 2024)

Krisna Dwi Oktabrian¹, Yahya Darmawan^{2*}, Nuzula Elfa Rahma³, Rizky Franchitika⁴

¹ Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia

² Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia

³Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Indonesia

⁴Program Studi Diploma 3 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 14 April 2015

Revisi diterima: 22 Juni 2025

Diterima: 31 Agustus 2025

Tersedia Online: 24 Oktober 2025

Corresponding author:

yahya.darmawan@bmk.go.id

ABSTRAK

tercatat sebesar 94,6 mm di wilayah Jakarta Selatan yang menyebabkan terjadinya banjir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor atmosferik yang berkontribusi terhadap kejadian tersebut serta menekankan pentingnya integrasi data satelit, model numerik, dan data observasi dalam memahami fenomena cuaca ekstrem. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data reanalisis ERA-5 dari ECMWF, citra satelit Himawari-9, dan observasi dari alat penakar curah hujan otomatis (ARG). Hasil analisis menunjukkan bahwa hujan lebat tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain adanya transport kelembapan yang signifikan dari Samudra Hindia, konvergensi lapisan bawah yang kuat, dan kondisi atmosfer yang tidak stabil. Nilai energi potensial konvektif (CAPE) yang mendekati 900 J/kg serta kelembapan relatif yang mencapai 90% turut mendukung terbentuknya awan konvektif yang dalam. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi data dari berbagai sumber dalam mendiagnosis dan memahami mekanisme di balik kejadian hujan ekstrem di wilayah tropis perkotaan.

Kata kunci: Hujan lebat, Transfer Kelembapan, Konvergensi, Kestabilan Atmosfer

ABSTRACT

On November 11, 2024, a heavy rainfall event with a recorded precipitation of 94.6 mm occurred in South Jakarta, leading to flooding in the area. This study aims to analyze the atmospheric factors that contributed to the event and emphasize the importance of integrating satellite data, numerical models, and observational data in understanding extreme weather phenomena. The data used in this study include ERA-5 reanalysis data from ECMWF, satellite imagery from Himawari-9, and observations from automatic rain gauges (ARG). The analysis results indicate that the heavy rainfall was influenced by several key factors, including significant moisture transport from the Indian Ocean, strong low-level convergence, and unstable atmospheric conditions. The convective available potential energy (CAPE) value approached 900 J/kg, and the relative humidity reached 90%, both supporting the development of deep convective clouds. These findings highlight the importance of integrating data from various sources in diagnosing and understanding the mechanisms behind extreme rainfall events in tropical urban regions.

Keywords: Heavy rainfall, Moisture Transport, Convergence, Atmospheric Stability

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada wilayah tropis atau ekuator. Tingkat penguapan dan pembentukan awan yang ada di Indonesia sangat masif yang mana hal ini disebabkan wilayah Indonesia yang terdiri dari lautan yang luas serta memiliki intensitas radiasi yang tinggi. Hal ini menyebabkan kondisi atmosfer di Indonesia memiliki kandungan uap air yang tinggi hingga 50 g/cm³ sehingga proses pembentukan awan mudah terjadi di Indonesia [1]. Massa Udara yang memiliki kandungan uap air yang tinggi akan menyebabkan tumbuhnya jenis awan-awan konvektif yang masif [2]. Selain itu pertumbuhan awan konvektif yang masif seperti Cumulonimbus dapat menyebabkan terjadinya hujan dengan intensitas yang tinggi [3].

Pertumbuhan awan konvektif dapat didukung oleh beberapa faktor yakni faktor cuaca skala global, regional, dan lokal [4],[5]. Faktor skala global yang dapat memengaruhi proses pembentukan awan di Indonesia adalah El Nino Southern Oscillation (ENSO), Madden Julian Oscillation (MJO), dan Indian Ocean Dipole (IOD), sedangkan skala regional yang turut mempengaruhi pembentukan awan-awan konvektif adalah Sirkulasi Monsun [6]. Adapun faktor cuaca skala lokal yang turut berpengaruh adalah

tingkat kelembapan, indeks kestabilan atmosfer, dan divergensi [7]. Dengan mengidentifikasi kondisi kestabilan atmosfer, proses pertumbuhan awan dijelaskan. Kondisi atmosfer yang tidak stabil sangat mendukung proses pertumbuhan awan [8]. Beberapa parameter mikrofisika digunakan untuk mengidentifikasi kondisi kestabilan seperti Convective Available Potensial Energy (CAPE), Convective Inhibitions (CIN), Lifted Index (LI), K Index (KI), dan Total Totals Index (TT) [9].

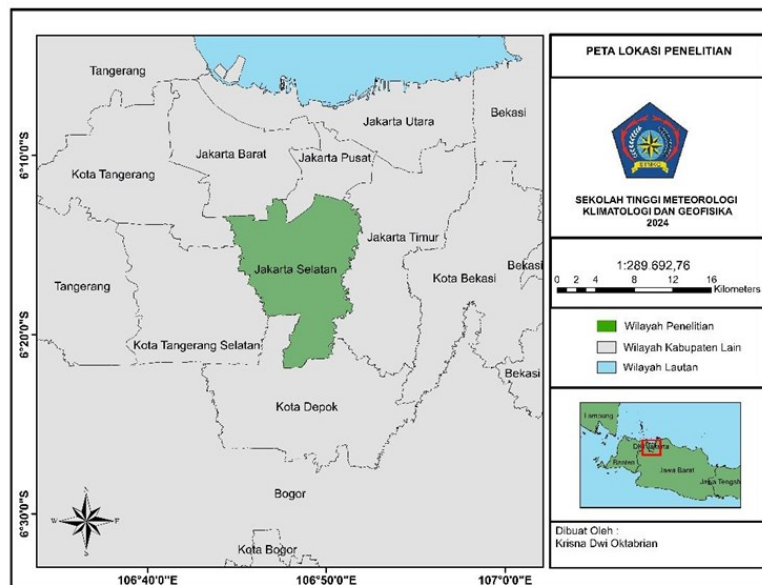
Analisis ini mengintegrasikan data observasi permukaan, citra satelit, dan data reanalisis untuk menganalisis cuaca ekstrem. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis kejadian cuaca ekstrem dapat dilakukan menggunakan satelit HIMAWARI 8/9 [10], selain itu penggunaan data model dan observasi akan membantu untuk menjelaskan kondisi atmosfer yang dapat menjadi penyebab terjadinya fenomena cuaca ekstrem [11].

Penelitian ini dilakukan guna menemukan faktor-faktor yang menyebabkan peristiwa hujan lebat di Jakarta Selatan tanggal 11 November 2024. Dengan menggunakan data satelit, observasi, dan data model European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis 5th generation kondisi atmosfer pada saat kejadian dapat diidentifikasi, sehingga penyebab dari kejadian tersebut dapat diketahui. Adanya analisis terkait kondisi atmosfer saat kejadian sangat diperlukan, sebab dengan adanya analisis kondisi atmosfer penyebab terjadinya suatu fenomena meteorologi dapat diketahui. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman terkait kondisi atmosfer yang dapat menyebabkan terjadi cuaca ekstrem.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Wilayah yang dikaji dalam penelitian ini adalah daerah Jakarta Selatan, letak astronomis wilayah yang diteliti adalah 6.202874° LS hingga 6.365996° LS dan 106.737177° BT hingga 106.866619° BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian. Sesuai dengan berita yang dikutip dalam laman Pikachu BMKG (<https://pikachu.bmkg.go.id>) dimana hujan terjadi pada tanggal 11 November 2024.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data

a. Data Satelit HIMAWARI-9

Data satelit yang digunakan untuk melihat kenampakan atau citra awan dari atas awan. Pada penelitian ini data satelit yang digunakan adalah data citra satelit HIMAWARI-9, data citra satelit yang digunakan memiliki format NetCDF dengan jeda waktu pada setiap data selama 10 menit dan band yang digunakan adalah band 8, band 13, dan band 15 pada jam 08 UTC hingga 11 UTC pada tanggal 11 November 2024. Data satelit digunakan untuk menjelaskan proses pertumbuhan awan, perubahan suhu puncak awan, dan identifikasi jenis awan. Data satelit pada penelitian ini diperoleh dari Sub Bidang Satelit BMKG. Adapun dalam penelitian ini citra satelit HIMAWARI-9 yang ditampilkan adalah dalam rentang waktu setiap jam. Pemilihan interval analisis citra satelit per jam dalam penelitian ini bertujuan untuk menyederhanakan visualisasi proses pertumbuhan awan. Sebab dalam rentang per jam cukup representatif untuk menunjukkan proses pertumbuhan dari fase pertumbuhan hingga luruh.

b. Data Model ERA-5 ECMWF

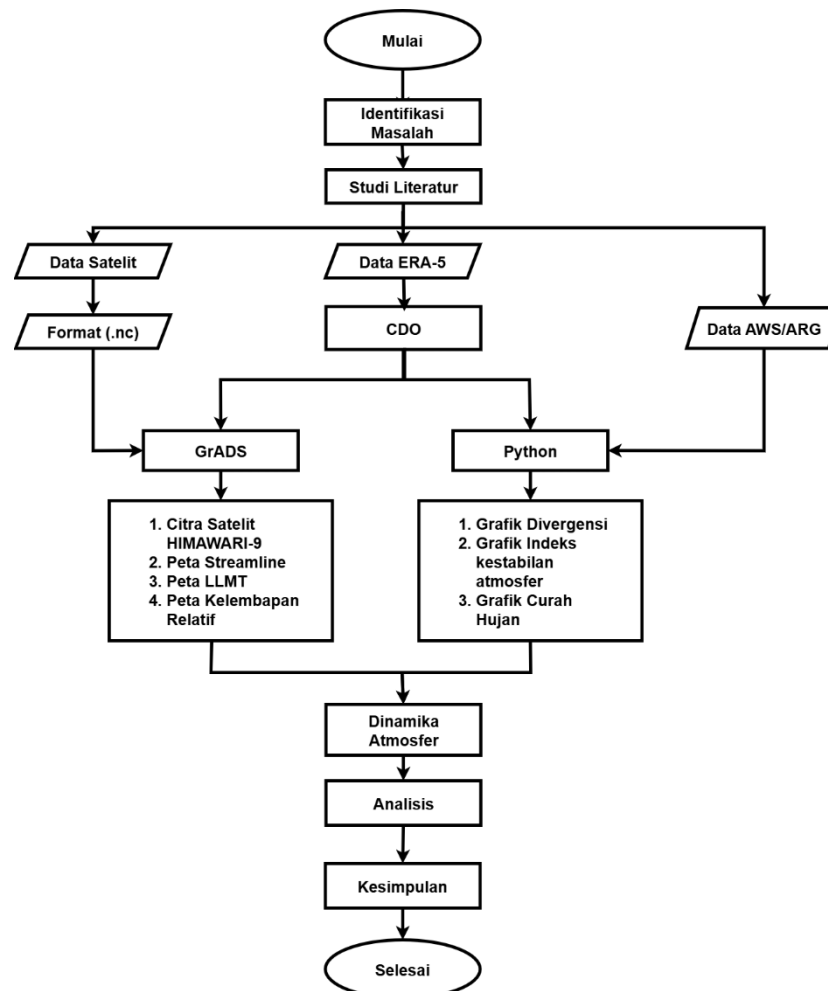
ERA-5 data model yang dapat menggambarkan kondisi iklim Bumi selama 8 dekade ini. ERA-5 menyediakan jenis data reanalisis. ERA-5 menggabungkan data model dengan pengamatan dari seluruh dunia ke dalam dataset global yang lengkap dan konsisten menggunakan hukum fisika. Data yang digunakan dalam penelitian ini memiliki resolusi spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ untuk data atmosfer, dan $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ untuk data ocean waves. Adapun data penelitian yang digunakan adalah selama beberapa jam dari 08 UTC hingga 11 UTC pada tanggal 11 November 2024 dengan format NetCDF yang diunduh dari laman *Climate Data Store* [12]. Adapun data model yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Model Era 5 ECMWF

NO	Data	Parameter
1	ERA5 Hourly Data on Single Levels from 1940 to Present [13]	- Indeks Kestabilan Atmosfer (CAPE, CIN, K-INDEX)
2	ERA5 Hourly Data on Pressure Levels from 1940 to Present [14]	- Komponen Angin U dan V - Divergensi - Kelembapan Relatif - Kelembapan Spesifik

c. Data Curah Hujan AWS/ARG Jakarta Selatan

Data Curah Hujan AWS/ARG Jakarta Selatan pada saat kejadian pada tanggal 11 November 2024 yang digunakan untuk memverifikasi kejadian hujan. Data curah hujan AWS/ARG di Jakarta Selatan diunduh pada laman AWS Center BMKG (<https://awscenter.bmkg.go.id/>) dengan user/akses yang diberikan oleh BMKG.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengolahan

a. Pengolahan Data Satelit HIMAWARI-9

Pengolahan data satelit HIMAWARI-9 yang memiliki format NetCDF dilakukan menggunakan *software* Grid Analysis and Display System (GrADS), GrADS merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk membuat visualisasi dari suatu data berupa peta spasial ataupun grafik. Visualisasi yang dihasilkan dari proses ini berupa interpretasi citra satelit HIMAWARI-9 yang menunjukkan proses pertumbuhan awan di Jakarta Selatan pada tanggal 11 November 2024.

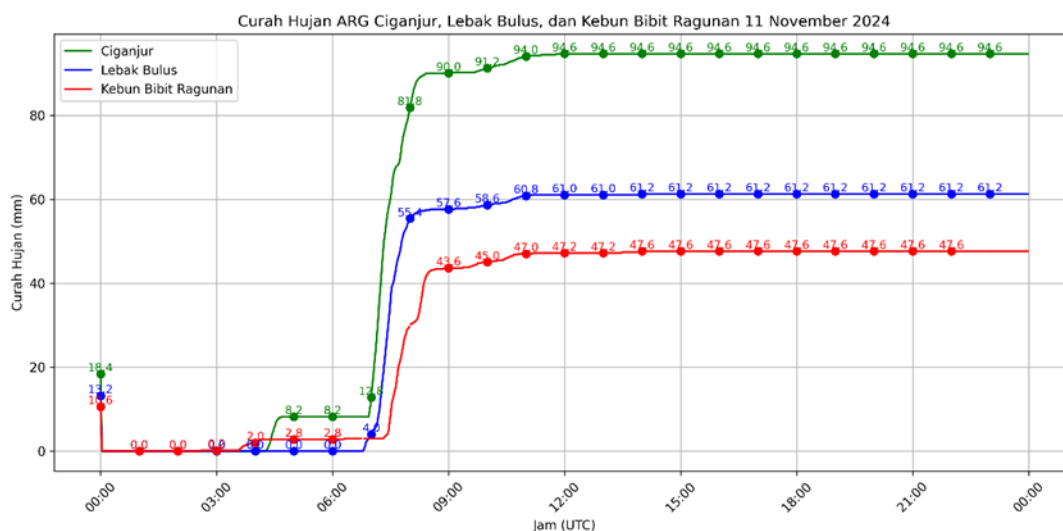
b. Pengolahan data Model ERA-5 ECMWF

Pengolahan dan interpretasi data model ERA-5 melalui beberapa tahap pengolahan, pada tahap pertama adalah mencari nilai yang mewakili lokasi penelitian, sebab data yang digunakan memiliki resolusi yang rendah yakni $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, sedangkan lokasi penelitian yang kecil membuat penggunaan koordinat pada interpretasi kurang mewakili lokasi sebenarnya. Dengan menggunakan *software* Climate Data Operator nilai pada setiap titik koordinat pada batas *rectangle* pada koordinat 6.202874° LS hingga 6.365996° LS dan 106.737177° BT hingga 106.866619° BT dapat dirata-ratakan sehingga diperoleh satu nilai yang mewakili. Adapun perintah yang digunakan dalam CDO adalah **fldmean** atau *field mean*, perintah ini memiliki fungsi untuk merata-ratakan seluruh nilai pada setiap titik koordinat pada batas yang telah ditentukan. Data yang diinterpretasikan dalam bentuk grafik di *plot* menggunakan *python*, sedangkan data yang diinterpretasikan dalam bentuk peta spasial di *plot* menggunakan GrADS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah Hujan

Gambar 3 menunjukkan pengukuran curah hujan menggunakan *Automatic Rain Gauge* (ARG), dengan nilai yang diambil merupakan akumulasi curah hujan harian. Terdapat tiga lokasi pemasangan instrumen pengukur curah hujan, dan hasil pengukuran dari ketiga lokasi tersebut menunjukkan pola yang serupa. Hal ini mengindikasikan bahwa hujan terjadi dalam cakupan wilayah yang luas. Presipitasi mulai terdeteksi sejak pukul 05.00 UTC, dengan intensitas yang meningkat signifikan mulai pukul 07.00 UTC dan mencapai puncaknya pada pukul 09.00 UTC. Setelah pukul 09.00 UTC, intensitas hujan mulai menurun secara drastis, yang terlihat dari penambahan akumulasi curah hujan yang semakin sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa hujan mulai mereda setelah pukul 09.00 UTC. ARG Kebun Bibit Ragunan mencatat curah hujan terendah, yaitu sebesar 47,2 mm, sedangkan curah hujan tertinggi tercatat di ARG Ciganjur sebesar 94,6 mm. Berdasarkan klasifikasi curah hujan dari BMKG, curah hujan harian dengan nilai 20–50 mm tergolong dalam kategori hujan sedang, sedangkan curah hujan dengan nilai 50–100 mm tergolong dalam kategori hujan lebat. Oleh karena itu, hujan yang terjadi di wilayah Jakarta Selatan pada kejadian tersebut dikategorikan sebagai hujan lebat.



Gambar 3. Grafik Curah Hujan ARG Ciganjur, ARG Lebak Bulus Tanggal, dan ARG Kebun Bibit Ragunan 11 November 2024

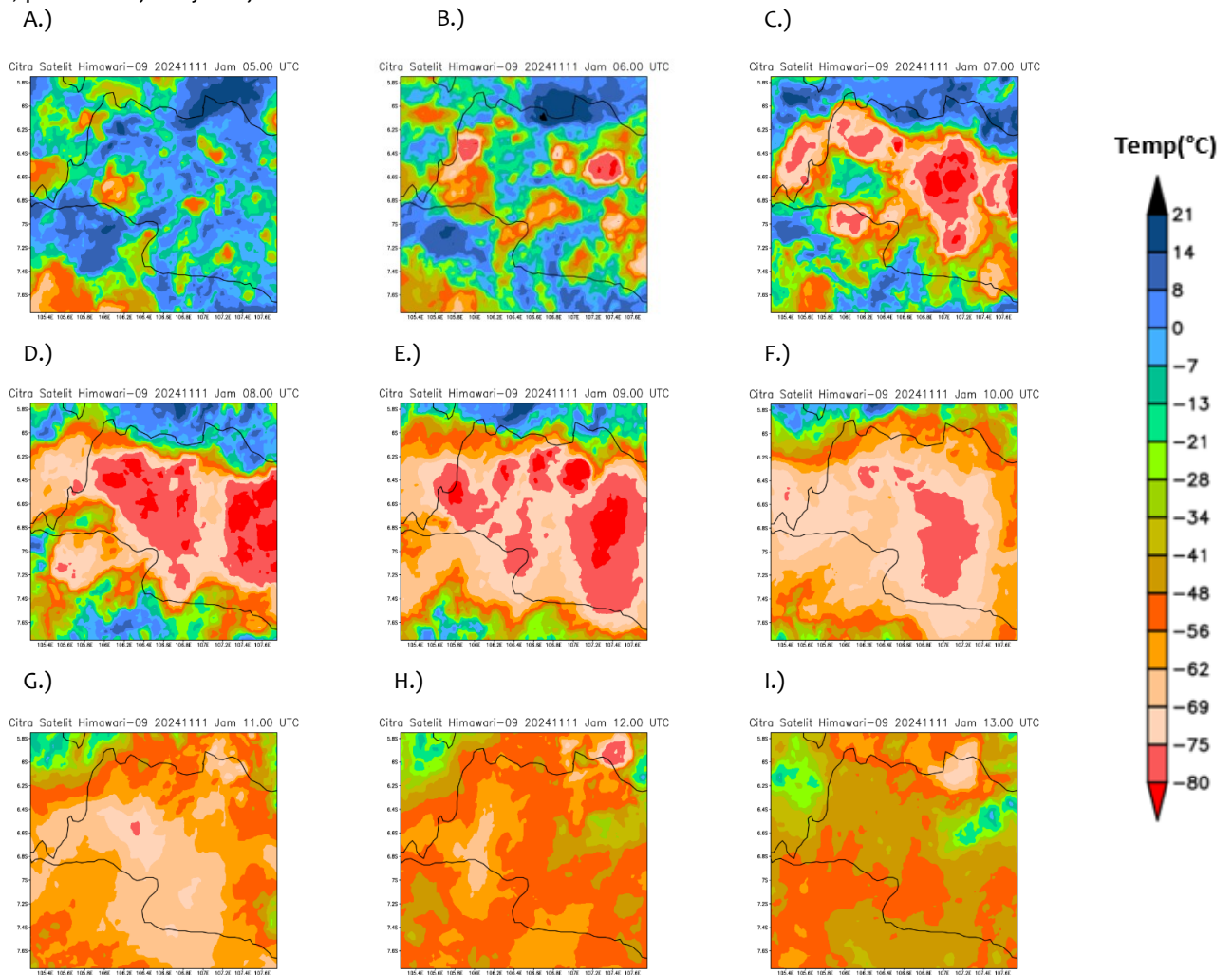
Pertumbuhan Awan

Penelitian yang dilakukan [15] menunjukkan bahwa satelit mampu menunjukkan proses pertumbuhan awan dengan baik. Adapun dalam penelitian ini diperoleh hasil interpretasi citra satelit HIMAWARI-9 band IR yang ditunjukkan pada Gambar 4, Menunjukkan fase pertumbuhan awan dari fase pertumbuhan, fase matang, dan fase luruh. Fase inisiasi dimulai pukul 06 UTC,

awan terus berkembang hingga matang pada pukul 07 hingga 09 UTC kemudian mulai luruh pada pukul 10 UTC. Warna merah menunjukkan suhu puncak awan yang sangat rendah. Adapun dengan melihat suhu puncak awan fase fase perkembangan awan dapat diketahui.

Selama fase pertumbuhan, suhu puncak awan akan cenderung menurun. Pada fase pertumbuhan ditandai dengan suhu yang cukup tinggi, sedangkan menurunnya suhu dengan ditandai warna yang menjadi merah menandakan awan mulai berkembang menuju tahap matang. Adapun suhu puncak awan akan mulai meningkat disertai luruhnya awan pada fase luruh (disipasi).

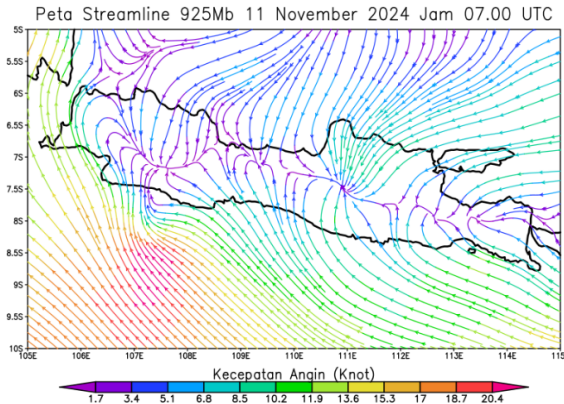
Suhu puncak awan pada pukul 07 hingga 09 UTC berkisar lebih rendah dari 80°C menunjukkan jenis awan yang tumbuh merupakan awan Cumulonimbus yang sudah memiliki puncak atau sudah berada dalam fase matang. Keberadaan awan CB secara langsung berkaitan dengan adanya curah hujan yang tinggi. Berdasarkan waktu dan karakteristik pertumbuhan awan pada citra satelit, dapat dilihat bahwa fase matang dari awan CB terjadi sekitar 2 hingga 3 jam sebelum waktu nilai curah hujan tertinggi tercatat pada pukul 12 UTC. Korelasi waktu ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan awan CB dengan suhu puncak awan yang sangat rendah, pemicu terjadinya hujan lebat di Jakarta Selatan.



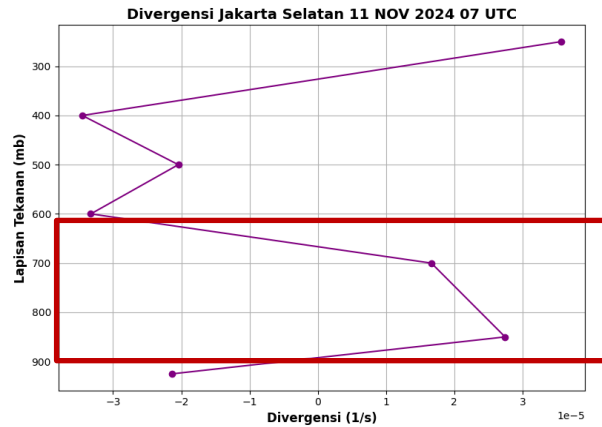
Gambar 4. Interpretasi Citra Satelit Himawari 9 untuk menunjukkan fase pertumbuhan awan

Stabilitas Atmosfer

Peta streamline pada Gambar 5 menunjukkan pola angin pada pukul 07.00 UTC di lapisan 925 mb, yang merepresentasikan aliran angin di dekat permukaan. Terlihat bahwa di perairan utara Jakarta terjadi pertemuan arah angin dari berbagai penjuru, yang menandakan adanya zona konvergensi permukaan. Di wilayah Jakarta Selatan, kecepatan angin mengalami penurunan dari sekitar 5,1 knot menjadi 3,4 knot. Penurunan ini memperkuat indikasi adanya konvergensi horizontal, yaitu penumpukan massa udara yang berpotensi menyebabkan gerakan udara ke atas (*uplift*), yang selanjutnya mendukung proses pembentukan awan konvektif.



Gambar 5. Peta Streamline



Gambar 6. Grafik Divergensi Jakarta Selatan 11 November 2024

Lebih lanjut, distribusi nilai divergensi dari lapisan bawah hingga atas atmosfer Gambar 6 memperlihatkan dinamika vertikal yang mendukung konveksi. Pada lapisan 925 mb hingga 700 mb, nilai divergensi berkisar positif (divergen), yang mengindikasikan adanya penyebaran massa udara di lapisan bawah. Namun pada lapisan menengah, khususnya pada 600 mb, nilai divergensi kembali negatif (konvergen) dan berlangsung hingga sekitar 300 mb. Konvergensi di lapisan menengah ini penting karena mengindikasikan adanya *uplift* (gerakan udara ke atas) yang mendukung pertumbuhan vertikal awan konvektif. Pada lapisan 250 mb, nilai divergensi kembali positif, menandakan bahwa awan yang terbentuk tidak menembus tropopause, dan udara menyebar secara horizontal di lapisan atas — konsisten dengan tipe awan Cumulonimbus yang tinggi namun dibatasi oleh inversi tropopause.

Grafik nilai indeks kestabilan atmosfer selama satu hari dari 00.00 UTC hingga 23.00 UTC pada tanggal 11 November yang ditunjukkan pada Gambar 7, dimana indeks kestabilan atmosfer yang digunakan adalah CAPE, CIN, dan K-Indeks. CAPE (*Convective Available Potensial Energy*) merupakan indeks yang menunjukkan tingkat ketersediaan energi di atmosfer untuk memulai proses konveksi atau pertumbuhan awan, semakin banyak energi yang tersedia menunjukkan peluang yang tinggi terhadap jenis awan konvektif yang masif seperti awan cumulonimbus.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai CAPE [16]

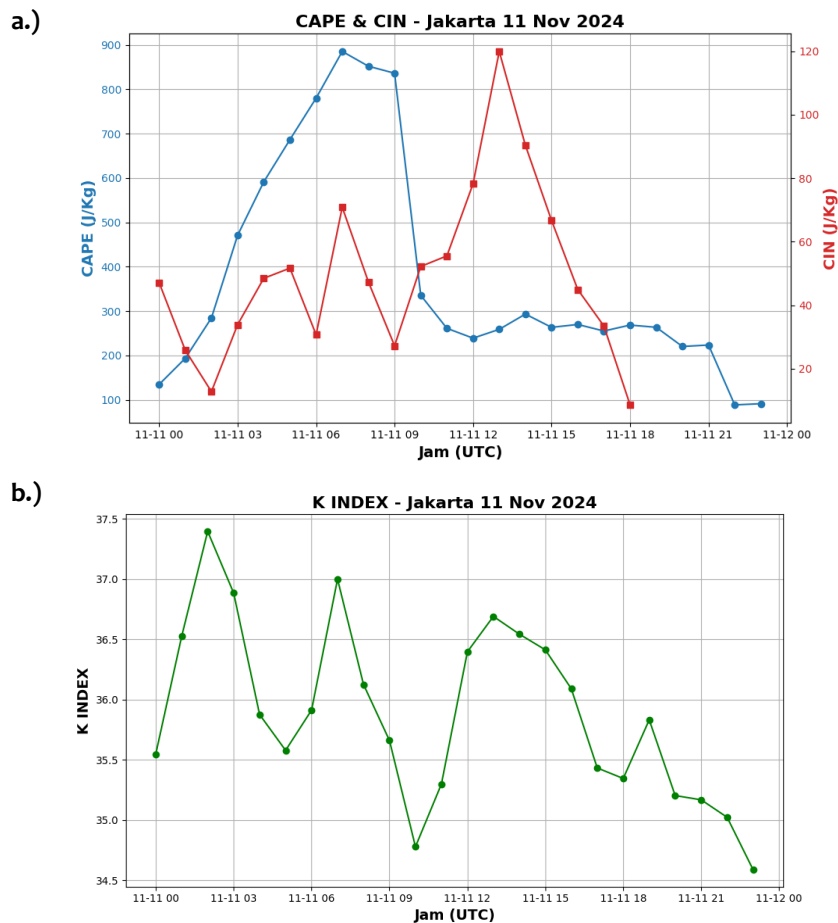
Nilai Cape	Kondisi Stabilitas
0	Stabil
0 – 1000	Sedikit tidak stabil
1000-2500	Cukup tidak stabil
2500-3500	Sangat tidak stabil
>3500	Tidak stabil ekstrem

Pada Gambar 5a dapat dilihat nilai CAPE yang terukur pada 07.00 UTC pada fase pertumbuhan adalah mencapai hingga hampir 900 J/Kg, Berdasarkan klasifikasi nilai CAPE kondisi atmosfer berada dalam kondisi cukup tidak stabil, hal ini berarti kondisi atmosfer mendukung terjadinya proses pertumbuhan awan. Di samping itu, pada Gambar 7a dapat ditemukan kaitan erat antara CIN dan CAPE. CIN merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memulai proses konveksi atau pertumbuhan awan, semakin rendah nilai CIN maka proses inisiasi pertumbuhan awan konvektif menjadi lebih mudah terjadi [17]. Pada 07.00 UTC nilai CIN yang terukur adalah sekitar 70 J/Kg, dibandingkan dengan Energi yang tersedia (CAPE) energi yang dibutuhkan untuk memulai proses konveksi cenderung kecil artinya energi yang tersedia sudah sangat mencukupi untuk memulai proses pertumbuhan awan atau konvektif.

Tabel 3. Klasifikasi Nilai K-Index [16]

Nilai K-Index	Potensi Badai
<0	Rendah
>35	Tinggi

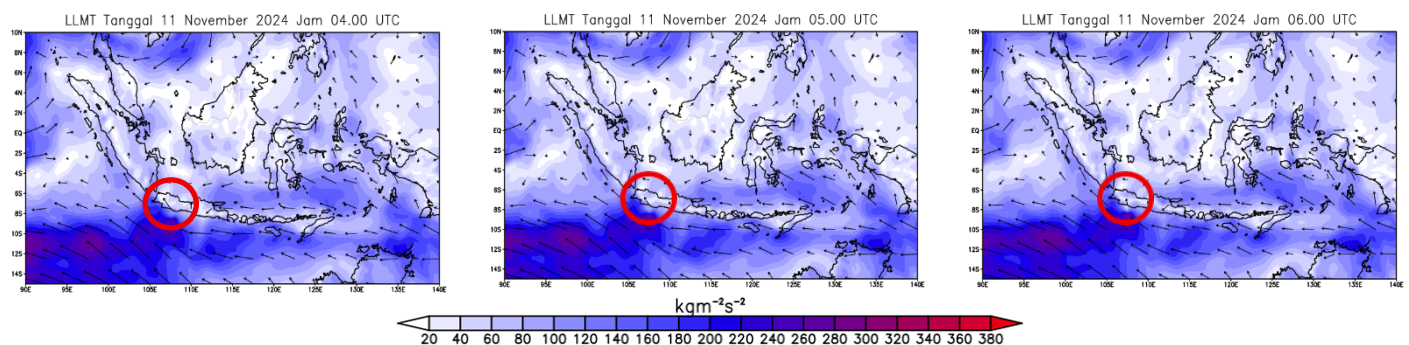
Kondisi ini diperkuat dengan nilai K-Index pada Gambar 7b yang menunjukkan nilai dalam satu hari pada tanggal 11 November 2024 rata-rata berada diatas 35, yang menurut klasifikasi menunjukkan potensi kuat terhadap terjadinya badai . Hal ini memiliki hubungan erat terhadap tingginya curah hujan yang terjadi.



Gambar 7. Grafik Indeks Kestabilan Atmosfer (a. CAPE dan CIN; b. K-Index)

Tingkat Kelembapan Atmosfer

Berdasarkan peta transfer kelembapan pada lapisan rendah yang ditampilkan pada Gambar 8 dapat diketahui asal kelembapan yang terjadi. Kelembapan spesifik berasal dari Samudra Hindia sebesar $40 - 120 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-2}$. Akibat adanya perlambatan angin yang terlihat pada peta *streamline* pada gambar 5 menyebabkan pergerakan massa uap air turut melambat, sehingga masa uap air terkumpul diatas bagian barat Pulau Jawa. Selain itu, adanya konvergensi mendukung massa uap air terangkat. Terlihat bahwa kelembapan mulai terangkat dari Samudra Hindia menuju wilayah barat Jawa, termasuk Jakarta Selatan. Pola ini menunjukkan adanya akumulasi kelembapan di lapisan bawah sebelum fase pertumbuhan awan konvektif yang signifikan pada pukul 04.00–06.00 UTC.

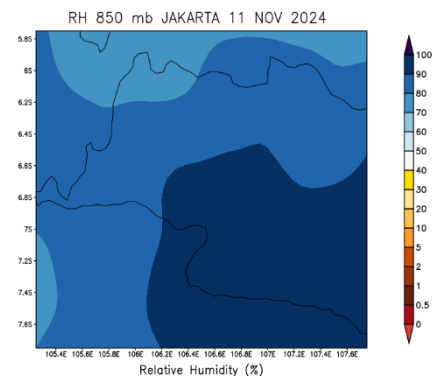
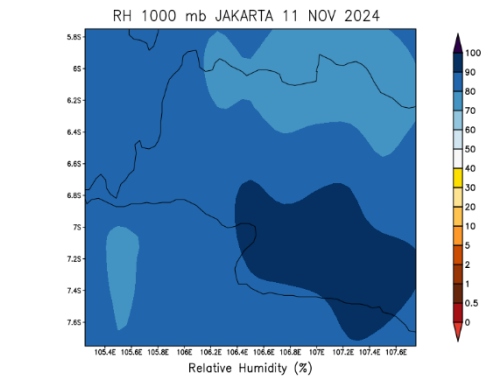


Gambar 8. Peta Low Level Moisture Transport

Gambar 9a menunjukkan rata rata kelembapan pada fase matang pada pukul 08.00 UTC hingga 10.00 UTC. Terlihat pada lapisan 1000 mb atau lapisan permukaan nilai kelembapan relatif yang terukur berada pada rentang 70% - 80% yang mana hal ini menunjukkan bahwa massa udara pada lapisan permukaan cenderung lembab. Kelembapan relatif cenderung meningkat pada lapisan 850 mb, pada gambar 9b dapat dilihat bahwa nilai kelembapan relatif meningkat hingga 80% - 90 %. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi massa udara pada lapisan 850 mb sudah cukup jenuh hingga mencapai *super saturation*, dengan mencapai kondisi jenuh maka presipitasi dapat terjadi. Selanjutnya tingkat kelembapan cenderung menurun pada lapisan atas yang mana hal ini menjadi indikasi bahwa awan yang tumbuh tidak mencapai lapisan atas, terlihat pada gambar 9c dan gambar 9d kelembapan relatif cenderung menurun hingga berada pada rentang 60% - 70% pada lapisan 250mb yang menandakan pada lapisan atas kondisi atmosfer cenderung kering, yang menandakan awan tidak tumbuh mencapai lapisan atas.

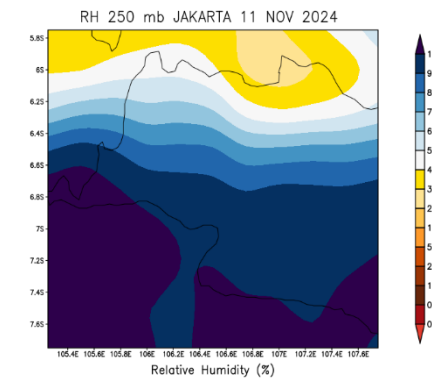
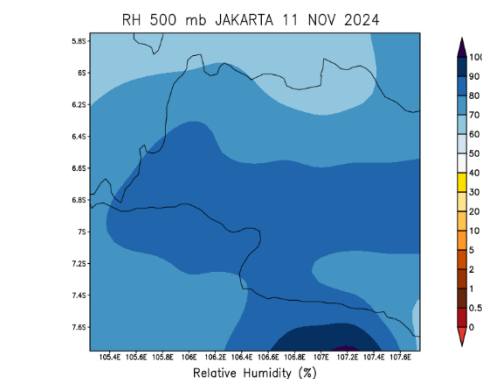
a.)

b.)



c.)

d.)



gambar 9. peta kelembapan relatif jakarta selatan 11 november 2024 (a. 1000mb; b. 850mb; c. 500mb; d. 250mb)

4. KESIMPULAN

Hujan lebat terjadi di Jakarta Selatan pada tanggal 11 November 2024 pada pukul 07.00 UTC hingga 10.00 UTC, hujan yang terjadi memiliki intensitas yang cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan banjir seperti yang diberitakan. Berdasarkan data satelit dapat diketahui bahwa proses inisiasi pertumbuhan awan dimulai pada 06.00 UTC dan matang pada pukul 07.00 UTC hingga 10.00 UTC. Proses pertumbuhan awan juga dipengaruhi oleh adanya konvergensi yang kuat dan kondisi atmosfer yang cenderung labil (tidak stabil). Dari pengukuran nilai kelembapan menunjukan pertumbuhan awan hanya mencapai lapisan menengah sebab nilai yang terukur pada lapisan atas menunjukkan nilai kelembapan yang rendah yang artinya massa udara yang ada dilapisan atas cenderung kering. Berdasarkan data curah hujan yang terukur pada pukul 12.00 UTC nilai curah hujan tertinggi berada pada daerah Ciganjur dengan nilai 94,6 mm yang mana klasifikasi curah hujan BMKG, hujan yang terjadi di Jakarta Selatan termasuk dalam kategori hujan lebat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima penulis ucapkan kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) yang telah mendukung dalam pelaksanaan penelitian ini. Kami mengucapkan terimakasih ke Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang telah memberikan data satelit Himawari dan data curah hujan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

6. REFERENSI

- [1] F. S. Pandia, B. Sasmito, and A. Sukmono, "Analisis Pengaruh Angin Monsun terhadap Perubahan Curah Hujan dengan Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Provinsi Jawa Tengah)," *Jurnal Geodesi Undip*, Vol. 8, No. 1, 2019
- [2] N. D. Ulhaq and Y. D. Haryanto, "Pemanfaatan Data Satelit Cuaca Himawari-8 dan Radiosonde dalam Analisis Hujan Lebat (Studi Kasus: Cilacap, 13 Januari 2021)," *J. Penelit. Sains*, vol. 24, no. 2, p. 69, Aug. 2022, doi: 10.56064/jps.v24i2.671.
- [3] F. M. J. Abay and Y. D. Haryanto, "Analisis Dinamika Atmosfer dan Distribusi Awan Konvektif Menggunakan Teknik Red Green Blue (RGB) pada Citra Satelit Himawari-8: Studi Kasus Banjir Jakarta 30 Desember 2019 - 1 Januari 2020," *Megasains*, vol. 12, no. 1, pp. 34–39, Apr. 2021, doi: 10.46824/megasains.v12i1.42.
- [4] S. D. Purwanti, S. L. Weyai, Y. D. Haryanto, and A. Mulya, "Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat di Sintang Menggunakan Satelit Cuaca dan Model ECMWF (Kasus: 30 September 2021)," [Online]. Available: <http://ejournal.unikama.ac.id/index.php/JPIG/>
- [5] R. M. Putra, P. Widodo, and P. Meteorologi Penerbangan BMKG, "Studi Profil Awan Konvektif Penyebab Hujan Es di Jakarta dengan Menggunakan Radar Cuaca (Studi Kasus Hujan Es di Jakarta 17 Desember 2022)," *PENDIPA J. Sci. Educ.*, vol. 2024, no. 2, pp. 210–216, doi: 10.33369/pendipa.8.2.210-216.
- [6] D. A. S. Pertiwi and J. A. I. Paski, "Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Ekstrem (Studi Kasus Banjir di Tangerang Selatan 7 November 2021)," *JANUARI*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10.
- [7] J. A. I. Paski, "Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Banjir di Bengkulu 21 Agustus 2022," *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, Vol. 2, No. 6, 2022
- [8] H. Arrashid, D. Sucahyono, Y. D. Haryanto, and L. N. Qomariyatzuzamzami, "Kondisi Dinamika Atmosfer Saat Hujan Lebat di Kalimantan Selatan (Periode 12 – 17 Januari 2021)." *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, Vol. 4 No. 4, 2023
- [9] E. A. Sagala, E. Bangun, A. Subiyanto, and A. S. Asmita, "Pemanfaatan SATAID untuk Analisis Kondisi Atmosfer saat Banjir di Kalukku Menggunakan Metode Numerical Weather Prediction," *J. Kewarganegaraan*, vol. 7, no. 2, 2023.
- [10] A. Destantyo Nugroho, A. FADLAN, "Analisis Kejadian Hujan Es Berdasarkan Kondisi Atmosfer Dan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Magelang, 24 Januari 2018)," *JlIF*, Vol. 2, No. 2 (2018)
- [11] A. Dzaky, H. C. Army, S. Yudha, N. Yosafat, and D. Haryanto, "Pemanfaatan Data Radiosonde Dan Satelit Cuaca Himawari-8 Pada Analisis Kejadian Hujan Lebat," *DIJITAC*, Vol. 4 No. 1, Oktober 2023
- [12] ECMWF, "Climate Data Store," Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/>
- [13] Climate Data Store, "ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present," Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
- [14] Climate Data Store, "ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present," Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview>
- [15] A. R. Anam dan S. Amri, "Analisis Kejadian Angin Puting Beliung Menggunakan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus Kota Bogor, Jawa Barat 21 September 2021)," *SLJIL*, vol. 6, no. 2, hlm. 1456, Des 2021, doi: 10.36418/syntax-literate.v6i2.5276.
- [16] B. P. Syahputra dan A. Mulya, "Analisis Korelasi Rank Spearman & Regresi Linear Nilai Indeks Stabilitas Atmosfer Dan Suhu Puncak Awan Citra Satelit Himawari-8 Ir (Studi Kasus Banjir Pekanbaru 22 April 2021)," *Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIBA*, Vol. 2 No. 1, 2022.
- [17] M. Hermansyah, A. Saikhu, dan B. Amaliah, "Pemodelan Data Radiosonde Menggunakan Stacking Ensemble Untuk Klasifikasi Hujan," *JlPI*, vol. 10, no. 2, 2025.