



Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Es di Sidoarjo 4 November 2024

Analysis of Atmospheric Conditions During the Hailstorm Event in Sidoarjo on 4 November 2024

Muhammad Subhan An-Nizami^{1*}, Muhammad Fathurrachman Alghazali², Yosafat Donni Haryanto³
^{1,2,3} Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia

*Corresponding author: Email: muhammadsubhanannizami@gmail.com

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 17 Jul, 2025

Revised: 25 Aug, 2025

Accepted: 15 Sept, 2025

Kata Kunci:

Hujan Es, Dinamika
Atmosfer, Satelit

Keywords:

*Hail, atmospheric dynamics,
satellite*

DOI: [10.56338/jks.v8i9.8107](https://doi.org/10.56338/jks.v8i9.8107)

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis kejadian hujan es di Kabupaten Sidoarjo pada 4 November 2024 dengan pendekatan komprehensif, meliputi anomali suhu muka laut (SST), profil vertikal udara, parameter ketidakstabilan atmosfer, dan fase pertumbuhan awan. Data yang digunakan mencakup pengamatan lokal, data sounding atmosfer, dan data suhu muka laut dari NOAA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa anomali suhu muka laut positif mendukung peningkatan energi laten di atmosfer, yang memicu pertumbuhan awan cumulonimbus. Profil vertikal menunjukkan divergensi di lapisan atas yang mendukung ventilasi awan, serta kelembapan tinggi di lapisan bawah hingga tengah. Ketidakstabilan atmosfer tertinggi terjadi pada fase matang, dengan nilai Lifted Index -3,0 dan CAPE 911 J/kg, menandakan atmosfer sangat mendukung aktivitas konvektif intensif. Studi fase pertumbuhan awan mengonfirmasi intensitas maksimum awan cumulonimbus terjadi pada pukul 07.50 UTC.

ABSTRACT

This study analyzes the occurrence of hail in Sidoarjo Regency on November 4, 2024 with a comprehensive approach, including sea level temperature (SST) anomalies, air vertical profiles, atmospheric instability parameters, and cloud growth phases. The data used includes local observations, atmospheric sounding data, and sea surface temperature data from NOAA. The results showed that positive sea surface temperature anomalies favor an increase in latent energy in the atmosphere, which triggers cumulonimbus cloud growth. The vertical profile shows divergence in the upper layer that supports cloud ventilation, as well as high humidity in the lower to middle layer. The highest atmospheric instability occurs in the mature phase, with Lifted Index values of -3.0 and CAPE of 911 J/kg, indicating the atmosphere is highly favorable for intensive convective activity. The cloud growth phase study confirmed the maximum intensity of cumulonimbus clouds occurred at 07:50 UTC.

PENDAHULUAN

Selama musim peralihan antara musim kemarau dan musim hujan, sebagian daerah di Indonesia mengalami cuaca dan fenomena ekstrem (Prasetyo et al., 2020). Salah satu fenomena ekstrem yang sering terjadi adalah hujan es. Hujan es merupakan salah satu fenomena cuaca ekstrem yang terjadi akibat proses dinamis di atmosfer (Nugroho & Fadlan, 2018). Fenomena ini biasanya ditandai oleh kemunculan awan *cumulonimbus* (cb) yang sangat aktif, disertai perubahan cepat dalam kondisi atmosfer (Kholiviana et al., 2022). Di wilayah tropis seperti Indonesia, hujan es tergolong jarang terjadi, sehingga setiap kemunculannya menarik perhatian untuk diteliti lebih mendalam. Beberapa waktu yang lalu kejadian hujan es baru saja melanda Kabupaten Sidoarjo pada 4 November 2024. Kejadian ini

menimbulkan berbagai dampak terhadap aktivitas masyarakat dan menjadi contoh penting untuk memahami fenomena cuaca ekstrem di wilayah tropis (Suhardi et al., 2020).

Hujan es adalah presipitasi berupa potongan, bola, atau serpihan es berdiameter 5-50 mm, bahkan lebih besar dalam kondisi ekstrem. Hujan es bisa jatuh sebagai butiran terpisah atau membentuk gumpalan tak beraturan (Fadholi, 2012). Hujan es terbentuk karena adanya *updraft* kuat dalam proses pembentukan awan cb (Auliya & Mulya, 2022). Awan cb yang matang dapat menyebabkan *downdraft* yang kuat sehingga kristal es tumbuh lebih cepat daripada tetesan air, menambah massa partikel es di dalam awan (Widodo, 2019).

Fenomena hujan es dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk anomali suhu muka laut (SST). Perubahan pada suhu muka laut dapat memengaruhi sirkulasi atmosfer global dan lokal, sehingga memicu ketidakstabilan atmosfer (Ariwibowo et al., 2018). Ketidakstabilan ini, yang berperan penting dalam pembentukan hujan es, dapat diukur melalui berbagai indikator seperti *Showalter Stability Index* (SSI), *Lifted Index* (LI), *K-Index* (KI), *Total Totals* (TT), *Severe Weather Threat Index* (SWEAT), *Convective Available Potential Energy* (CAPE), dan *Convective Inhibition* (CIN). Indikator-indikator tersebut memberikan gambaran rinci tentang kondisi atmosfer sebelum dan selama kejadian hujan es (Gottlieb, 2009).

Selain itu, profil vertikal udara, termasuk divergensi angin dan distribusi suhu pada berbagai lapisan atmosfer, memainkan peranan penting dalam memahami mekanisme pembentukan awan cb (Kholiviana et al., 2022) (Kristianto & Rani, 2019). Divergensi udara di lapisan atas dapat mendukung proses pengangkatan massa udara yang lebih hangat dan lembap dari permukaan, yang kemudian menghasilkan awan-awan yang berpotensi menyebabkan hujan es (Ayasha, 2022). Analisis fase pertumbuhan awan juga menjadi elemen penting dalam studi ini, mengingat proses pertumbuhan awan secara langsung memengaruhi intensitas hujan es.

Fenomena hujan es dapat diteliti dengan menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh, yaitu dengan menggunakan citra satelit cuaca (Haryani & Zubaidah, 2012). Dalam penggunaan citra satelit dapat menyesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya sehingga hasil sesuai dan akurat. Dalam melakukan analisis terhadap fenomena hujan es terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, diantaranya adalah metode RGB (*Red Green Blue*). Metode RGB memanfaatkan beberapa gambar spektral dengan menugaskan warna merah, hijau, biru yang disebut dengan tiga warna primer Cahaya (Paski et al., 2019). Metode RGB digunakan dengan cara menggabungkan beberapa kanal menjadi satu output agar mendapatkan hasil yang maksimal memudahkan saat melakukan interpretasi (Setiawan, 2022).

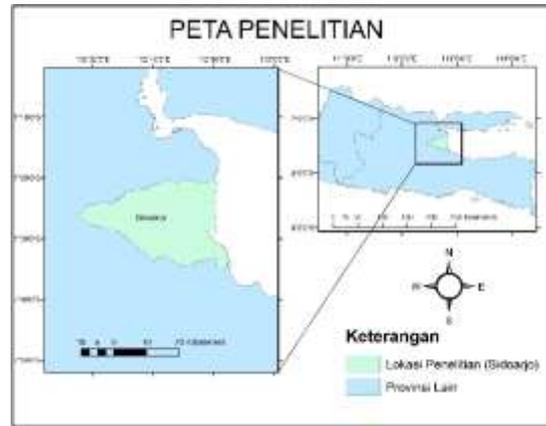
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komprehensif terhadap berbagai faktor yang memengaruhi hujan es di Sidoarjo pada 4 November 2024. Analisis meliputi identifikasi anomali suhu muka laut, pengkajian profil vertikal udara, evaluasi parameter ketidakstabilan atmosfer, dan studi fase pertumbuhan awan (Ayasha, 2022). Data yang digunakan mencakup observasi lokal, data *sounding* atmosfer, dan data suhu muka laut dari sumber terpercaya.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap ilmu meteorologi tropis, khususnya dalam memahami mekanisme kejadian cuaca ekstrem seperti hujan es. Selain itu, penelitian ini juga berpotensi meningkatkan akurasi prediksi cuaca ekstrem dan mendukung pengembangan sistem peringatan dini.

METODE PENELITIAN

Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Kota Sidoarjo dengan letak astronomis pada koordinat antara 7°21' hingga 7°45' Lintang Selatan (LS) dan 112°36' hingga 112°54' Bujur Timur (BT). Secara geografis, Kota Sidoarjo terletak di kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan Selat Madura di sebelah timur.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Data

Penelitian ini menggunakan beberapa jenis data yang akan diolah dan dianalisis. Data pertama berupa anomali suhu muka laut, yang diperoleh dari situs resmi NOAA di <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html>. Data ini menyediakan informasi penting untuk mendeteksi perubahan suhu permukaan laut yang berkontribusi pada dinamika atmosfer. Data kedua adalah data reanalisis atmosfer ERA 5 dengan resolusi temporal per jam, yang diunduh melalui situs <https://cds.climate.copernicus.eu/>. Data ini digunakan untuk menganalisis profil vertikal udara, memberikan wawasan tentang struktur atmosfer yang diperlukan dalam memahami proses dinamika vertikal. Data ketiga adalah data citra satelit Himawari-9, yang mencakup kanal-kanal spektral 8, 11, 13, dan 15. Data ini digunakan untuk menganalisis indeks stabilitas atmosfer serta mempelajari proses pertumbuhan awan, yang menjadi indikator penting dalam studi atmosfer dan meteorologi.

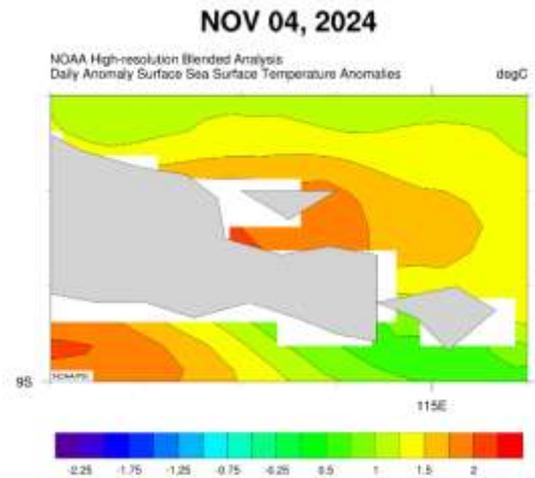
Metode

Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data sekunder. Pendekatan ini dipilih karena efisien, memanfaatkan data kredibel, dan memungkinkan analisis komprehensif terhadap kondisi atmosfer yang memicu kejadian hujan es.

HASIL

Analisis Anomali Suhu Muka Laut

Gambar 2 menunjukkan anomali suhu muka laut positif yang relatif tinggi (oranye hingga merah). Nilai ini mengindikasikan bahwa suhu laut di sekitar wilayah tersebut lebih hangat dibandingkan rata-rata klimatologisnya. Anomali positif seperti ini sering kali diasosiasikan dengan peningkatan energi laten di atmosfer. Ketika energi ini dilepaskan, dapat terjadi pertumbuhan awan yang sangat cepat dan kuat, sehingga memicu hujan es.

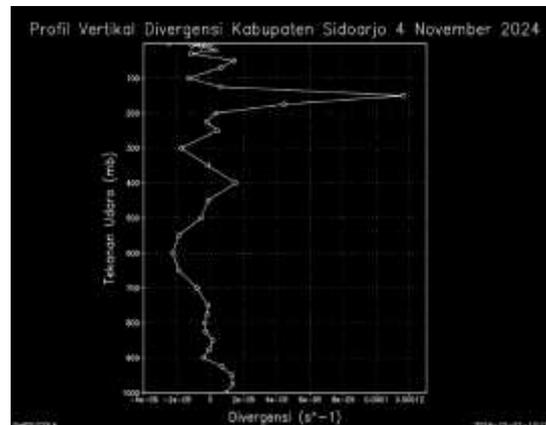


Gambar 2. Anomali suhu muka laut

Kondisi suhu muka laut yang hangat di sekitar lokus penelitian mengindikasikan terjadinya peningkatan penguapan air laut, yang akan menghasilkan uap air yang lebih banyak di atmosfer. Hal ini berpotensi meningkatkan intensitas curah hujan lokal, termasuk hujan es yang terjadi.

Analisis Profil Vertikal Udara

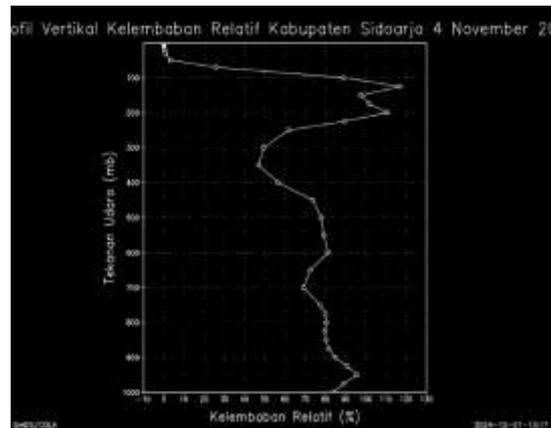
Pada gambar 3 terlihat bahwa divergensi di lapisan bawah (800-900 mb) menunjukkan adanya pertemuan massa udara yang mendukung pengangkatan udara ke atas. Pengangkatan ini dapat mempercepat pembentukan awan konvektif seperti cb. Divergensi positif di lapisan atas (200-400 mb) menunjukkan aliran udara keluar, yang mengindikasikan adanya ventilasi di puncak awan. Ini merupakan ciri khas awan konvektif kuat yang memungkinkan pertumbuhan vertikal awan menjadi sangat tinggi.



Gambar 3. Profil vertikal divergensi

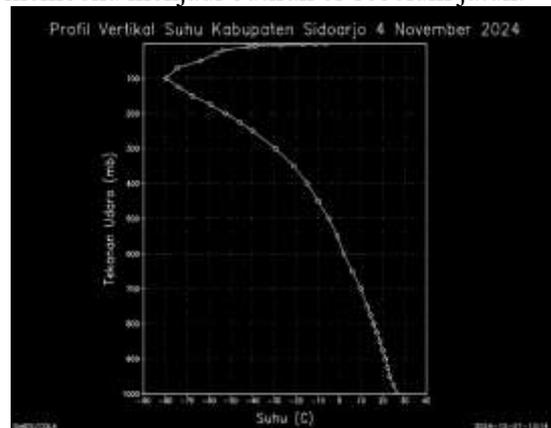
Pada gambar 4 terlihat bahwa kelembaban relatif yang tinggi di lapisan atmosfer bawah (80-100% pada tekanan 900-700 mb) menunjukkan udara yang jenuh dengan uap air, mendukung proses kondensasi. Penurunan kelembaban relatif di lapisan tengah (700-300 mb) menunjukkan udara yang lebih kering, yang bisa memengaruhi stabilitas atmosfer dan mendukung pertumbuhan awan jenis cb.

Kelembaban tinggi kembali muncul di lapisan atas (200-300 mb), yang sering menunjukkan keberadaan awan-awan tinggi seperti *cirrus* dan aktivitas konveksi intensif, yang biasa terjadi sebelum atau selama hujan es.



Gambar 4. Profil vertikal kelembaban relatif

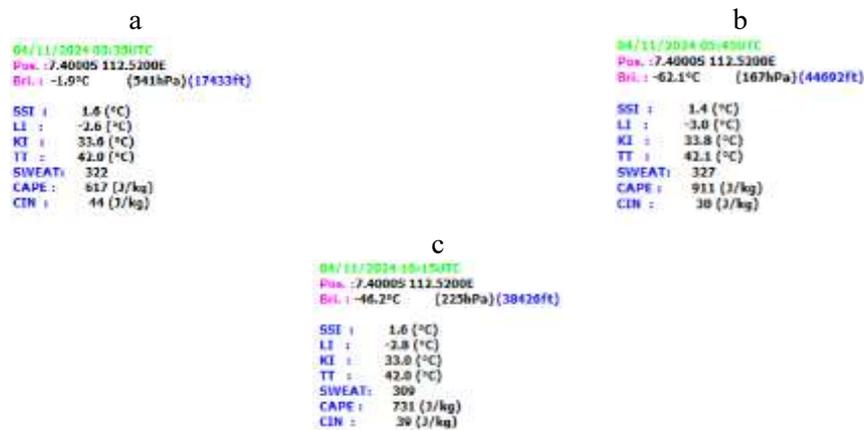
Pada gambar 5 terlihat bahwa Suhu menurun dengan ketinggian, sesuai dengan lapse rate normal, namun perhatikan potensi adanya lapisan isothermal atau inversi di lapisan tertentu (bila ada dataran suhu mendatar). Lapisan inversi dapat memperkuat konveksi di bawahnya. Suhu di lapisan tinggi sangat dingin, mendekati atau di bawah 0°C , yang penting untuk pembentukan es. Ketika tetes air dari awan naik ke lapisan ini, mereka membeku menjadi butiran es sebelum jatuh.



Gambar 5. Profil vertikal suhu

Analisis Indeks Stabilitas Udara

Gambar 6 menunjukkan indeks stabilitas udara di 3 fase pertumbuhan awan. Pada fase tumbuh, atmosfer menunjukkan ketidakstabilan moderat dengan nilai Lifted Index (LI) sebesar -2.6 dan CAPE 617 J/kg. Kondisi ini menandakan bahwa udara memiliki cukup energi untuk memulai proses konveksi dan pembentukan awan konvektif. Nilai Showalter Stability Index (SSI) yang positif (1.6) menunjukkan atmosfer relatif stabil, tetapi masih mendukung perkembangan awan. Indeks KI dan TT yang masing-masing bernilai 33.6 dan 42.0 mengindikasikan adanya potensi hujan lebat, didukung oleh kelembapan atmosfer yang cukup tinggi. Meskipun demikian, hambatan konveksi (CIN) tetap rendah pada fase ini (44 J/kg), memungkinkan udara naik dengan mudah.



Gambar 6. Indeks Stabilitas Udara: a. Fase Tumbuh; b. Fase Matang; dan c. Fase Luruh

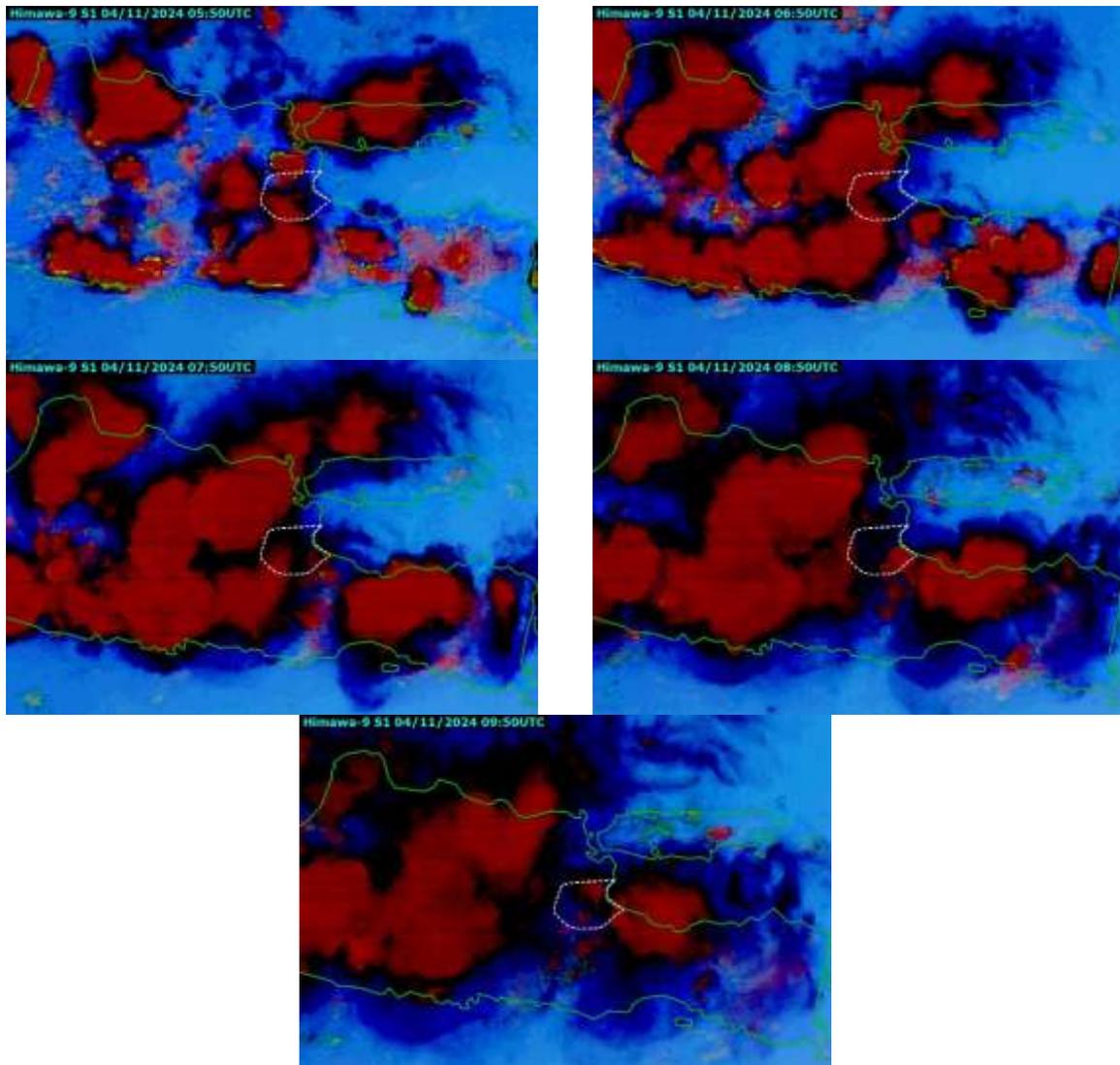
Memasuki fase matang, ketidakstabilan atmosfer meningkat secara signifikan. Nilai LI mencapai -3.0, menandakan atmosfer sangat tidak stabil, dengan CAPE yang naik menjadi 911 J/kg, menunjukkan energi potensial yang sangat besar untuk konveksi. Pada fase ini, aktivitas badai petir intensif dapat terjadi, sebagaimana diindikasikan oleh nilai SWEAT sebesar 327, yang mencerminkan adanya dinamika atmosfer yang mendukung badai kuat. Meskipun nilai KI (33.8) dan TT (42.1) tetap stabil, nilai-nilai tersebut cukup tinggi untuk mendukung potensi hujan deras dan badai guntur. Hambatan konveksi (CIN) juga semakin kecil (30 J/kg), memungkinkan pembentukan awan yang cepat dan aktivitas konveksi maksimum.

Pada fase luruh, ketidakstabilan atmosfer mulai menurun. Nilai LI meningkat sedikit menjadi -2.8, sementara CAPE turun menjadi 731 J/kg, menunjukkan pelemahan energi potensial di atmosfer. Hambatan terhadap konveksi (CIN) meningkat kembali menjadi 39 J/kg, menandakan bahwa proses konveksi mulai terhambat. Meskipun nilai KI dan TT tetap relatif tinggi (33.0 dan 42.0), SWEAT yang menurun menjadi 309 mencerminkan melemahnya dinamika atmosfer. Pada fase ini, aktivitas badai mulai mereda, dan awan bertransisi menuju fase penghentian aktivitas.

Ketiga fase ini menunjukkan dinamika atmosfer yang sangat mendukung pertumbuhan awan konvektif, khususnya pada fase matang di mana ketidakstabilan dan energi potensial mencapai puncaknya. Pada fase luruh, aktivitas atmosfer mulai berkurang seiring dengan penurunan ketidakstabilan dan energi konveksi. Indeks-indeks ini memberikan gambaran yang jelas mengenai proses pembentukan dan pelemahan awan konvektif dalam siklus hidupnya.

Analisis Pertumbuhan Awan

Gambar 7 menunjukkan fase pertumbuhan awan cb di daerah Kabupaten Sidoarjo pada tanggal 4 November 2024. Kondisi awal, pada pukul 05.50 UTC terlihat adanya aktivitas konvektif awal yang sedang berkembang. Warna merah menunjukkan bahwa puncak awan mulai mendingin, namun intensitasnya belum terlalu kuat dibandingkan dengan daerah di sekitarnya. Potensi awan konvektif di wilayah ini sedang tumbuh, menandakan awal fase pertumbuhan.



Gambar 7. Fase pertumbuhan awan

Pada pukul 06.50 UTC, di daerah Sidoarjo mulai menunjukkan perkembangan awan yang lebih signifikan. Warna merah di area ini menjadi lebih pekat, menandakan bahwa puncak awan mencapai ketinggian yang lebih besar. Hal ini menunjukkan adanya pendinginan puncak awan yang signifikan, sehingga potensi pertumbuhan awan menjadi lebih kuat. Aktivitas konvektif di wilayah ini mulai aktif.

Wilayah Sidoarjo menunjukkan intensitas konvektif yang maksimal pada pukul 07.50 UTC. Warna merah gelap mendominasi daerah ini, mengindikasikan awan cumulonimbus yang sudah berkembang dengan puncak yang sangat tinggi. Pada tahap ini, kemungkinan curah hujan lebat atau badai petir sangat tinggi di wilayah ini.

Pada pukul 08.50 UTC, warna merah di wilayah Sidoarjo masih dominan, namun cenderung tidak mengalami perluasan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa fase tumbuh sudah mulai mencapai puncaknya, dan awan mulai memasuki fase matang. Potensi curah hujan tetap tinggi pada fase ini. Aktivitas awan di wilayah Sidoarjo mulai melemah pada pukul 09.50 UTC, dengan intensitas warna merah yang sedikit memudar dibandingkan dengan jam-jam sebelumnya. Ini mengindikasikan transisi

ke fase matang atau awal fase luruh. Meskipun demikian, potensi curah hujan masih ada, namun tidak sekuat fase puncak pada jam sebelumnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kejadian hujan es di Kabupaten Sidoarjo pada 4 November 2024 dipengaruhi oleh berbagai faktor atmosfer yang saling berinteraksi. Ketidakstabilan atmosfer tertinggi terjadi pada fase matang awan cumulonimbus, dengan nilai Lifted Index sebesar -3,0 dan CAPE mencapai 911 J/kg, yang menandakan atmosfer sangat mendukung aktivitas konvektif intensif. Terlihat pada analisis anomali suhu muka laut bahwa anomali positif SST mendukung peningkatan energi laten di atmosfer, yang memicu pertumbuhan awan konvektif.

Pada profil vertikal udara, divergensi udara di lapisan atas memberikan ventilasi yang mendukung perkembangan awan cumulonimbus, sementara kelembapan tinggi di lapisan bawah hingga tengah menjadi faktor utama dalam proses kondensasi. Hal ini sejalan dengan fase pertumbuhan awan yang menunjukkan intensitas maksimum awan cumulonimbus pada pukul 07.50 UTC.

REKOMENDASI

Disarankan untuk meningkatkan jaringan pengamatan cuaca di wilayah tropis, terutama dengan memanfaatkan teknologi satelit guna mendeteksi anomali atmosfer secara real-time. Langkah ini penting untuk mempercepat respons terhadap potensi kejadian cuaca ekstrem. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan sistem peringatan dini yang lebih efektif dalam mengantisipasi fenomena seperti hujan es, sehingga dampaknya terhadap masyarakat dapat diminimalkan. Lebih lanjut, diperlukan studi lanjutan untuk memahami interaksi antara berbagai parameter atmosfer, terutama dalam konteks perubahan iklim, guna meningkatkan akurasi prediksi cuaca ekstrem dan mendukung kesiapsiagaan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariwibowo, F. S., Nur, A. A. K., & Indra. (2018). IDENTIFIKASI FENOMENA HUJAN ES BERBASIS ANALISIS FAKTOR CUACA MENGGUNAKAN CITRA SATELIT HIMAWARI-8 DAN DATA UPPER AIR SOUNDING (STUDI KASUS : KEJADIAN HUJAN ES TANGGAL 20 MARET 2018 DI DEPOK). *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(2). <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19729>
- Auliya, M. N., & Mulya, A. (2022). Hail Identification Based on Weather Factor Analysis and Himawari 8 Satellite Imagery (Case Study of Hail On 2nd March 2021 in Malang Indonesia). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 18(2), 217–228.
- Ayasha, N. (2022). Kajian Analisis Parameter Vertical Velocity dan Kaitannya dengan Kondisi Parameter Cuaca saat Kejadian Hujan ES. *Buletin GAW Bariri*, 3(1), 17–24. <https://doi.org/10.31172/bgb.v3i1.64>
- Fadholi, A. (2012). Analisa Kondisi Atmosfer pada Kejadian Cuaca Ekstrem Hujan Es (Hail). *J. Ilmu Fisika Indonesia*, 1(2).
- Gottlieb, R. (2009). Analysis of Stability Indices for Severe Thunderstorms in the Northeastern United States. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54911117>
- Haryani, N. S., & Zubaidah, A. (2012). Dinamika siklon tropis di Asia Tenggara menggunakan data penginderaan jauh. *Jurnal Ilmiah Widya*, 218654.
- Kholiviana, P. A., Ruhiat, Y., & Saefullah, A. (2022). ANALISIS VERTICAL WIND SHEAR PADA PERTUMBUHAN AWAN CUMULONIMBUS DI WILAYAH KABUPATEN TANGERANG. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(1), 17–23. <https://doi.org/10.33369/nmj.v3i1.21080>
- Kristianto, A., & Rani, A. P. (2019). KAITAN KETINGGIAN LAPISAN BATAS ATMOSFER DENGAN KONDISI CUACA BERDASARKAN PROFIL ANGIN VERTIKAL BERBASIS

- PENGAMATAN RADISONDE, RADAR CUACA DAN KELUARAN MODEL WRF-ARW. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v5i1.62>
- Nugroho, A. D., & Fadlan, A. (2018). ANALISIS KEJADIAN HUJAN ES BERDASARKAN KONDISI ATMOSFER DAN CITRA SATELIT HIMAWARI-8 (STUDI KASUS: MAGELANG, 24 JANUARI 2018). *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(2). <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19711>
- Paski, J. A. I., Sepriando, A., & Pertiwi, D. A. S. (2019). PEMANFAATAN TEKNIK RGB PADA CITRA SATELIT HIMAWARI-8 UNTUK ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER KEJADIAN BANJIR LAMPUNG 20 - 21 FEBRUARI 2017. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 4(3), 8–15. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v4i3.48>
- Prasetyo, S., Rumahorbo, I., Hidayat, U., & Sagita, N. (2020). Analisis Kondisi Atmosfer pada Kejadian Hujan Es (Studi kasus: Bogor, 23 September 2020). *Seminar Nasional Kahuripan*, 295–300.
- Setiawan, A. (2022). KAJIAN KONDISI ATMOSFER SAAT KEJADIAN HUJAN LEBAT PENYEBAB BANJIR DI KOTA PALEMBANG (Studi Kasus Tanggal 13 September 2021). *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 11(2), 69. <https://doi.org/10.24198/jme.v11i2.37887>
- Suhardi, B., Adiputra, A., & Reeve Avrian. (2020). Kajian Dampak Cuaca Ekstrem Saat Siklon Tropis Cempaka dan Dahlia di Wilayah Jawa Barat. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 4(2), 61–67. <https://doi.org/10.29405/jgel.v4i2.4354>
- Widodo, J. (2019). ANALISIS KEJADIAN ANGIN KENCANG DI DESA SITUGEDE BOGOR BARAT TANGGAL 28 MARET 2017. *Seminar Nasional Geomatika*, 3, 1157. <https://doi.org/10.24895/SNG.2018.3-0.1039>