



Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Es (Studi Kasus: Kejadian Hujan Es Tanggal 29 November 2023 di Kabupaten Timor Tengah Selatan)

Maulidianto^{1*}, Neil Farel Rindra Tempo¹, dan Yosafat Donni Haryanto¹

¹*Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*

Email: maulidianto2021@gmail.com

**Corresponding Author*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi atmosfer saat terjadi hujan es di wilayah Kapan pada 29 November 2023. Metode penelitian meliputi analisis data observasi lapangan, data reanalisis ECMWF ERA5, dan data citra satelit cuaca Himawari-9. Berdasarkan data observasi, hujan es terjadi dalam kondisi atmosfer yang tidak stabil, seperti penurunan suhu, kelembapan yang tinggi, dan penurunan tekanan atmosfer yang signifikan sebelum kejadian. Data reanalisis ERA5 menunjukkan profil divergensi, kecepatan vertikal, dan kelembapan relatif mendukung pembentukan awan-awan konvektif. Citra satelit menunjukkan adanya tutupan awan kumulonimbus saat terjadi hujan es dengan suhu puncak awan yang sangat rendah mencapai $-75,8^{\circ}\text{C}$. Ketiga metode dapat dengan baik menggambarkan kondisi atmosfer saat kejadian hujan es, hasil ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai faktor-faktor atmosfer yang berkontribusi terhadap terjadinya hujan es di wilayah tropis seperti Indonesia yang bisa digunakan untuk lebih memahami dalam mitigasi dampak negatif dari peristiwa hujan es kedepannya.

Kata kunci: ECMWF; Himawari-9, Hujan Es; Stabilitas Atmosfer.

Abstract

This study aims to analyze atmospheric conditions when hail occurs in the Kapan region on November 29, 2023. The research method includes analyzing field observation data, ECMWF ERA5 reanalysis data, and Himawari-9 weather satellite image data. Based on observational data, hail occurred under unstable atmospheric conditions, such as a decrease in temperature, high humidity, and a significant decrease in atmospheric pressure before the event. ERA5 reanalysis data showed that the divergence profile, vertical velocity, and relative humidity were favorable for the formation of convective clouds. Satellite images showed cumulonimbus cloud cover during the hailstorm with very low cloud top temperatures reaching -75.8°C . These results are expected to provide insight into the atmospheric factors that contribute to the occurrence of hail in tropical regions such as Indonesia that can be used to better understand in mitigating the negative impacts of hail events in the future.

Keywords: ECMWF; Himawari-9, Hail; Atmospheric Stability.

1. PENDAHULUAN

Secara definitif, hujan es merupakan salah satu kejadian cuaca ekstrim yang disebabkan oleh anomali cuaca berupa jatuhnya *hidrometeor* padat (butiran es/salju) ke permukaan bumi dan memiliki diameter antara 5-50 mm [1]. Hujan es atau yang biasa disebut *Hail* merupakan fenomena meteorologi yang cukup langka terjadi di Indonesia. *Hail* hanya akan terbentuk pada awan cumulonimbus (Cb) yang puncaknya melewati *freezing level* (ketinggian dimana suhu udaranya 0°C atau sekitar 16.000 kaki di wilayah Indonesia) sehingga untuk terjadinya Cb kondisi udara (cuaca) harus mendukung dengan labilnya lapisan udara sehingga mudah terjadi proses konveksi, ditambah harus ada suplai uap air yang cukup sehingga massa udara yang terangkat oleh proses konveksi mengandung uap air yang banyak dan akan mempermudah terbentuknya awan cumulus yang berkembang menjadi awan Cb [2]. *Freezing level* pada wilayah tropis lebih tinggi dibanding dengan wilayah ekstra-tropis akibat suhu permukaan wilayah tropis lebih tinggi [3]. *Hail* juga dapat terjadi di wilayah tropis seperti Indonesia yang memiliki suhu udara permukaan yang hangat dan kelembaban udara yang cukup tinggi meskipun pada musim kemarau [2].

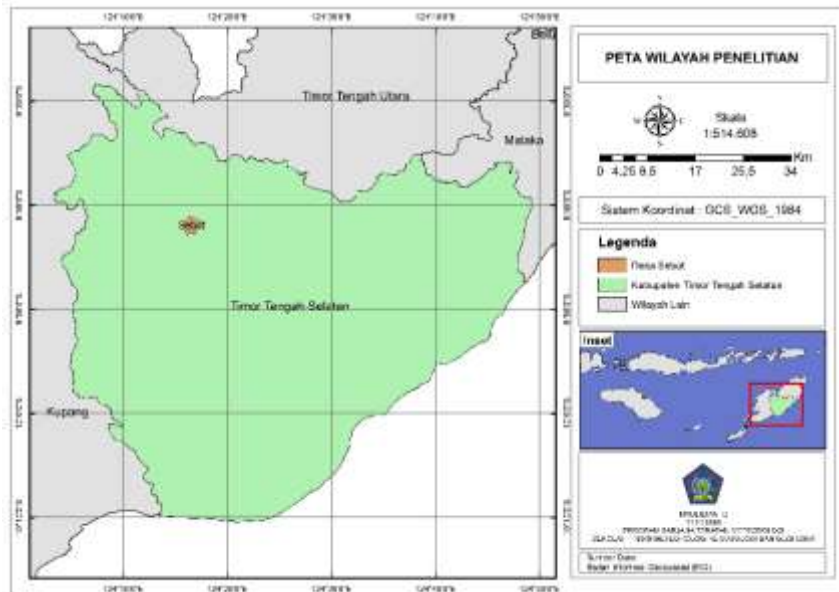
Menurut perka BMKG tahun 2010 No. 9 [4] hujan es termasuk dalam kategori cuaca ekstrim, dimana fenomena ini harus dilaporkan dan diantisipasi dengan segera ketika terjadi. Pada musim peralihan musim dari musim kemarau ke musim hujan atau sebaliknya, biasanya sebagian wilayah di Indonesia mengalami kondisi cuaca ekstrim [5]. Seperti hujan es yang terjadi di wilayah Kapan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur pada Rabu 29 November 2023. Hujan lebat yang berakhir dengan terjadinya hujan es itu dimulai pada siang hari sekitar pukul 13.30 WITA (06.30 UTC) dan berlangsung sekitar 5 menit [6], [7].

Analisis suatu kejadian fenomena cuaca ekstrem perlu dilakukan sebagai langkah awal dalam memprediksi cuaca ekstrem tersebut kedepannya, sehingga dapat mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan [8]. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui kondisi atmosfer termasuk labilitas atmosfer pada kejadian hujan es di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur pada Rabu 29 November 2023. Analisis kondisi saat kejadian hujan es di Kabupaten Timor Tengah Selatan dilakukan menggunakan tiga metode, yaitu analisis data observasi, analisis data reanalisis, dan analisis data citra satelit.

Pengamatan (observasi) meteorologi adalah kegiatan penilaian suatu jenis atau beberapa unsur meteorologi yang menggambarkan keadaan udara baik di permukaan maupun udara atas [9]. ERA5 merupakan data reanalisis atmosfer ECMWF generasi kelima untuk iklim dan cuaca global yang diproduksi oleh Copernicus Climate Change Service (C3S). [10]. Reanalisis menggabungkan data model dengan data pengamatan. Satelit Himawari-9 merupakan satelit penginderaan jauh cuaca generasi terbaru yang dimiliki Badan Meteorologi Jepang (JMA) dengan daerah cakupan meliputi Asia Timur hingga Australia serta sebagian kutub, Samudra Hindia hingga Pasifik Barat. Satelit ini memiliki 16 kanal dengan intensitas pengamatan setiap 10 menit sekali untuk pengamatan global [11].

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di wilayah Kapan, tepatnya di Desa Sebot, Kecamatan Mollo Utara, Kabupaten Timor Tengah Selatan. Secara astronomi, Kabupaten Timor Tengah Selatan terletak pada $9^{\circ}26' - 10^{\circ}10'$ Lintang Selatan dan $124^{\circ}49'01'' - 124^{\circ}04'00''$ Bujur Timur. Secara geografis, kabupaten ini berbatasan dengan Kabupaten Timor Tengah Utara di sebelah utara, Kabupaten Malaka di sebelah timur, Kabupaten Kupang di sebelah barat berbatasan dan Laut Timor di bagian selatan [12].



Gambar 1. Peta Kabupaten Timor Tengah Selatan

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif terhadap hasil pengolahan data observasi permukaan, data reanalisis ECMWF ERA5, dan data citra satelit cuaca [1]. Data observasi permukaan meliputi suhu, kelembapan, dan tekanan udara dari Stasiun Meteorologi El Tari Kupang pada tanggal 29 November 2023 pukul 00.00 – 23.00 UTC. Selain itu, dilakukan juga analisis data hasil observasi radiosonde tanggal 29 November 2023 pukul 00.00 UTC yang diolah menggunakan RAOB untuk mengetahui keadaan atmosfer. Data reanalisis ECMWF ERA5 digunakan untuk menganalisis *streamline* dan profil vertikal atmosfer meliputi divergensi, *vertical velocity*, kelembapan relatif, dan *specific cloud ice water content* pada tanggal 29 November 2024 pukul 00.00 – 23.00 UTC dan diolah menggunakan aplikasi GrADS.

Data satelit cuaca Himawari-9 diolah menggunakan aplikasi SATAID GMLSPD (*SATelite Animation and Interactive Diagnosis*) dengan produk berupa *time series* suhu puncak awan, peta kontur suhu puncak awan dan citra RGB [13]. Selain itu, dilakukan juga analisis *Convective Cloud Overlay* (CCO) yang diolah menggunakan GrADS [14]. Data yang digunakan untuk produk *time series* adalah data tanggal 29 November 2024 pukul 00.00 – 23.00 UTC, sedangkan untuk produk peta kontur suhu puncak awan, RGB, dan CCO

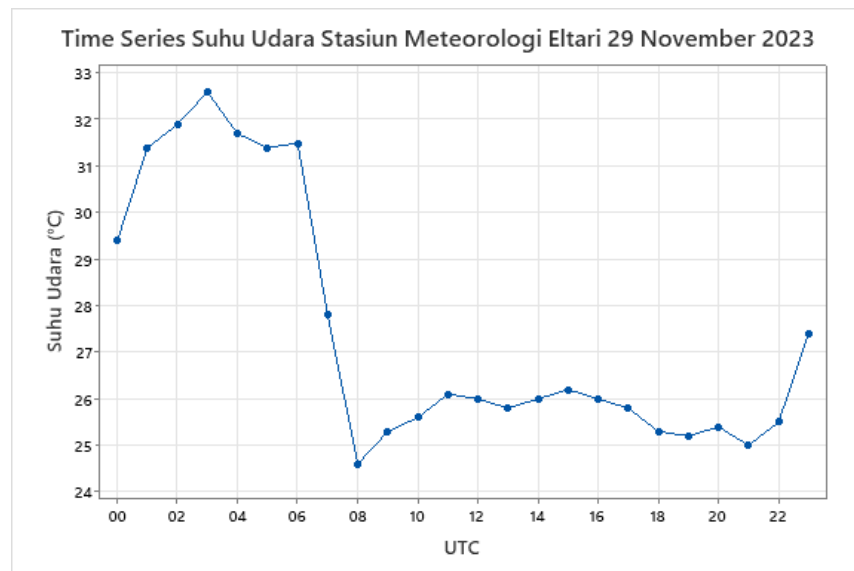
menggunakan data sebelum, saat dan setelah kejadian hujan es yaitu 05.20 UTC, 06.30 UTC, dan 08.40 UTC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Pengamatan Udara Permukaan

3.1.1 Suhu Permukaan

Time series suhu udara permukaan di Stasiun Meteorologi Eltari Kupang saat kejadian hujan es di Kabupaten Timor Tengah Selatan ditunjukkan oleh Gambar 2. Data yang digunakan adalah data hasil observasi pada tanggal 29 November 2023 pukul 00.00 UTC sampai 23.00 UTC untuk melihat pola perubahan suhu.

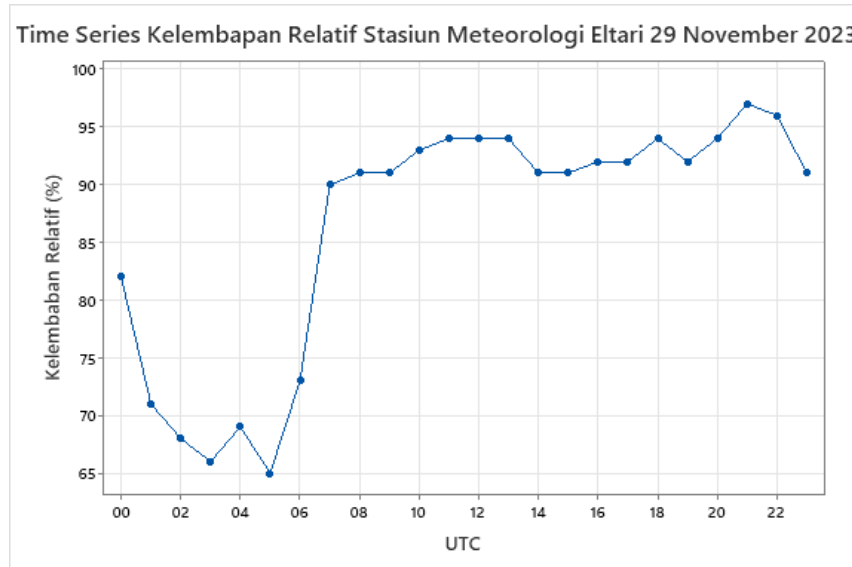


Gambar 2. *Time series* suhu udara pada Stasiun Meteorologi Eltari tanggal 29 November 2023

Time series suhu menunjukkan bahwa pada saat kejadian hujan es berlangsung yaitu pada 29 November 2023 pukul 06.30 UTC grafik suhu terlihat semakin menurun, dimana sebelumnya pada pukul 00.00 UTC hingga 03.00 UTC grafik suhu permukaan terus meningkat secara signifikan hingga mencapai suhu sekitar 32° - 33°C. Namun setelah pukul 03.00 UTC dapat dilihat grafik semakin menurun, bahkan menurun drastis pada pukul 06.00 UTC hingga 08.00 UTC yaitu sekitar 6°C yang menjadikannya suhu terendah dengan kisaran suhu terendah pada saat kejadian 24° - 25°C. Lalu, setelah grafik menurun secara drastis, pada jam selanjutnya grafik suhu permukaan berfluktuasi pada rentang 25° - 28°C. Suhu permukaan yang menurun secara drastis tersebutlah yang tetap menjaga butiran es yang jatuh agar tetap menjaga suhunya dan mampu turun menyentuh permukaan.

3.1.2 Kelembaban Relatif

Gambar 3 menunjukkan grafik *time series* kelembaban relatif tanggal 29 November 2023 pukul 00.00 - 23.00 UTC berdasarkan data pengamatan di Stasiun Meteorologi Eltari Kupang. Grafik *time series* digunakan untuk melihat pola perubahan kelembaban relatif saat kejadian.



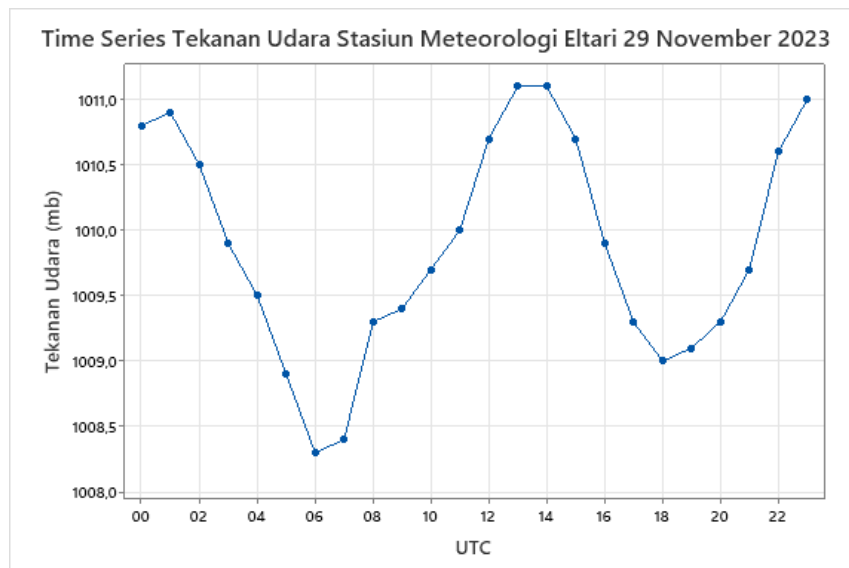
Gambar 3. *Time series* kelembaban relatif pada Stasiun Meteorologi Eltari tanggal 29 November 2023

Time series kelembaban relatif menunjukkan bahwa pada saat kejadian berlangsung yaitu pada 29 November 2023 pukul 06.30 UTC grafik RH terlihat semakin naik. Dimana sebelumnya pada pukul 00.00 UTC hingga 05.00 UTC grafik kelembaban relatif terus menurun secara signifikan hingga mencapai RH sekitar 65%. Namun setelah pukul 05.00 UTC dapat dilihat grafik semakin naik, bahkan melonjak drastis pada pukul 06.00 UTC hingga 07.00 UTC dengan kisaran kenaikan RH pada saat kejadian 25% dari sebelumnya. Setelah itu, dapat dilihat bahwa RH berfluktuasi antara 90%-98%.

Keadaan atmosfer yang sangat basah yaitu sekitar 90% menjadi faktor penyebab pembentukan hujan es. Keadaan kelembaban udara tinggi tersebutlah yang mendukung pembentukan hujan es pada Kabupaten Timor Tengah Selatan.

3.1.3 Tekanan

Pola perubahan tekanan udara di Stasiun Meteorologi Elatri Kupang saat kejadian hujan es di Kabupaten Timor Tengah Selatan ditunjukkan oleh grafik *time series* tekanan udara pada Gambar 3.



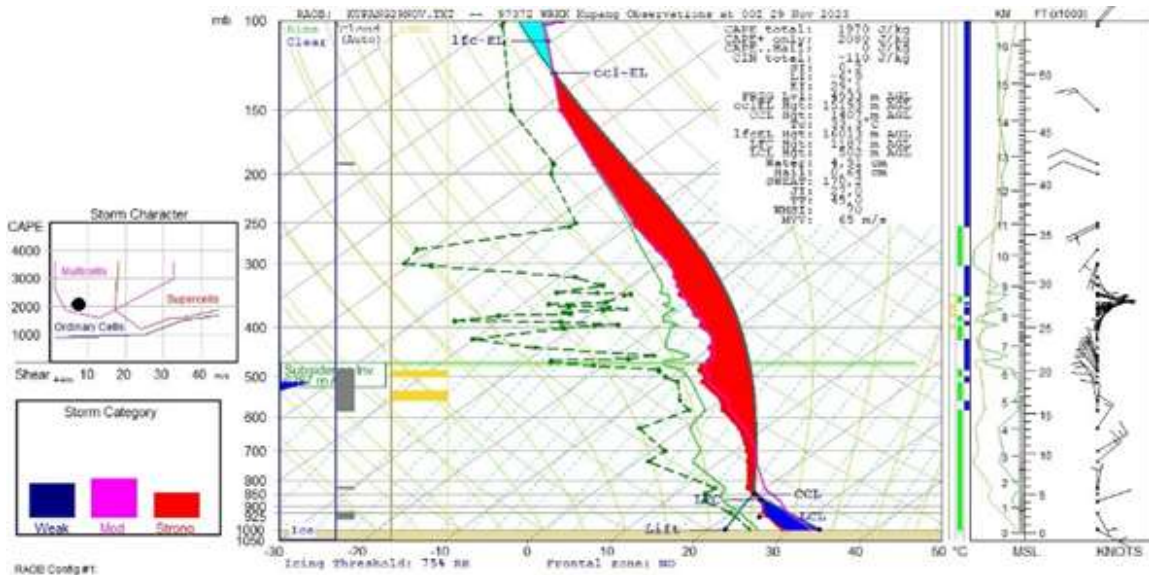
Gambar 4. *Time series* tekanan udara pada Stasiun Meteorologi Eltari tanggal 29 November 2023

Grafik menunjukkan perubahan tekanan yang cukup drastis sehingga dapat terlihat perbedaan yang signifikan antara tekanan sebelum, saat, dan sesudah kejadian hujan es. Dimulai dari pukul 00.00 UTC hingga 06.00 UTC yang memperlihatkan grafik tekanan udara turun hingga mencapai titik terendahnya sekitar 1008,4 mb. Kemudian grafik melonjak naik pada pukul 07.00 UTC hingga 14.00 UTC yang menunjukkan puncak terjadinya fenomena hujan es. Pada pukul 14.00 UTC merupakan jam terjadinya tekanan udara tertinggi yaitu sekitar 1011,2 mb yang kemudian menurun hingga pukul 18.00 dan kembali naik hingga pukul 23.00.

Tekanan udara yang terus merosot pada stasiun meteorologi atau dapat dikatakan bahwa pusat tekanan rendah merupakan salah satu indikasi akan terjadinya badai bahkan hujan es. Kemudian pada saat terjadinya badai atau hujan es, tekanan udara akan signifikan naik dikarenakan suhu udara yang terus turun. Menurunnya suhu pada permukaan mengakibatkan densitas udara yang mengalami peningkatan.

3.2 Analisis Pengamatan Udara Atas Radiosonde

Selain melakukan analisis terhadap parameter udara permukaan seperti suhu, kelembaban relatif dan tekanan udara, analisis juga dilakukan untuk hasil pengamatan udara atas radiosonde. Plotting data hasil pengamatan radiosonde tanggal 29 November 2023 pukul 00.00 UTC (sebelum kejadian) ditunjukkan oleh gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengolahan Radiosonde Tanggal 29 November 2023 jam 00.00 UTC

Berdasarkan data pengamatan radiosonde yang dilakukan di Stasiun Meteorologi El Tari Kupang pada tanggal 29 November 2023 pukul 00.00 UTC (Gambar 5), parameter cuaca buruk menunjukkan potensi badai didominasi kategori moderat dengan karakteristik multisel. Berdasarkan indeks stabilitas atmosfer (Tabel 1), nilai *Convective Available Potential Energy* (CAPE) total berada pada kategori moderat dengan nilai 1970 J/kg menandakan energi yang tersedia untuk pembentukan awan-awan konvektif cukup besar. Indeks *Showalter Index* (SI) dan *Lifted Index* (LI) masing-masing bernilai 0,2 dan -6,9, dimana indeks SI masuk dalam kategori moderat dan LI masuk dalam kategori kuat. Indeks SI dan LI yang masuk dalam kategori kuat dan moderat menandakan kondisi atmosfer yang labil. Nilai K Indeks (KI) 29,1 yang masuk dalam kategori moderat menandakan potensi terjadinya badai Guntur cukup besar. Lalu, untuk nilai SWEAT dan Total-Total Index (TT) juga masuk dalam kategori moderat dengan nilai 170,2 dan 45,0 mengindikasikan potensi yang cukup besar untuk terjadinya cuaca buruk.

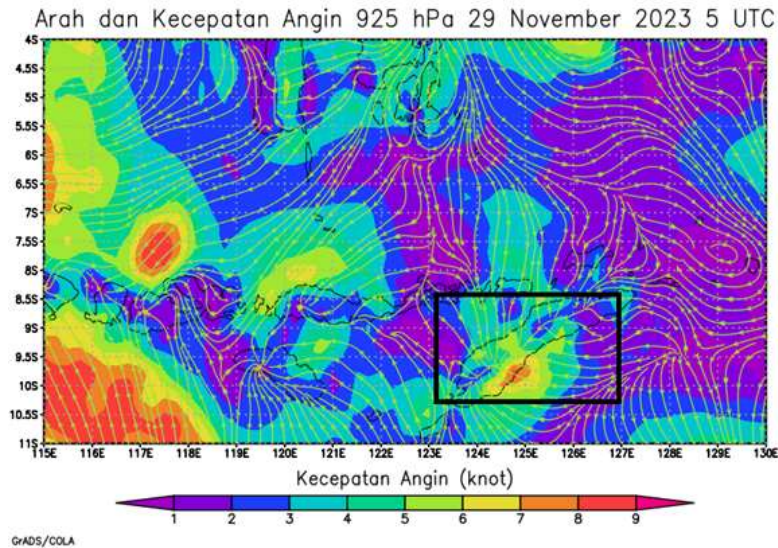
Tabel 1. Kriteria Nilai Indeks Stabilitas Atmosfer [5], [15], [16].

Indeks	Lemah	Moderate	Kuat
TT Indeks	<42	42 – 46	>46
K Indeks	<29	29 – 37	>37
SWEAT	<135	135 – 239	>239
CAPE	<1000	1000 – 2500	>2500
LI Indeks	> -2	-2 s/d -6	< -6
Showalter Indeks	>4	4 s/d -4	< -4

3.3 Analisis Kondisi Atmosfer Menggunakan Data Reanalisis ECMWF

3.3.1 Streamline

Gambar 6 merupakan hasil plotting peta streamline dari data reanalisis ECMWF ERA5. Streamline digunakan untuk melihat pola pergerakan angin di sekitar lokasi kejadian hujan es.

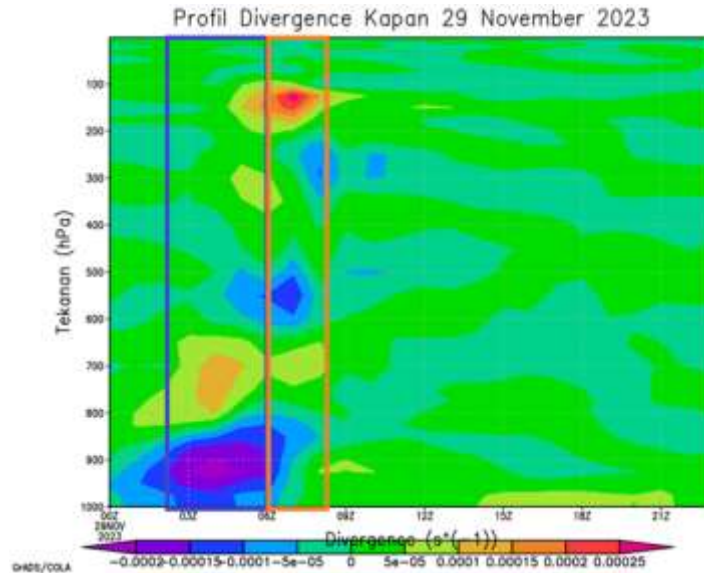


Gambar 6. Peta Streamline Wilayah Nusa Tenggara Timur dan Sekitarnya Tanggal 29 November 2023 Pukul 05.00 UTC

Berdasarkan streamline lapisan 925 mb (Gambar 6), pada pukul 5.00 UTC (1,5 jam sebelum kejadian hujan es) di Kabupaten Timor Tengah Selatan dan sepanjang Pulau Timor terdapat daerah belokan dan pertemuan angin. Adanya belokan dan pertemuan angin tersebut menyebabkan penumpukan massa udara dan potensi terbentuknya awan semakin besar [17].

3.3.2 Divergensi

Gambar 7 merupakan profil vertikal divergensi di wilayah Kapan pada tanggal 29 November 2023. Divergensi digunakan untuk melihat laju sebaran udara secara horizontal di suatu titik, nilai positif mengindikasikan adanya divergensi sedangkan nilai negatif mengindikasikan adanya konvergensi [18].

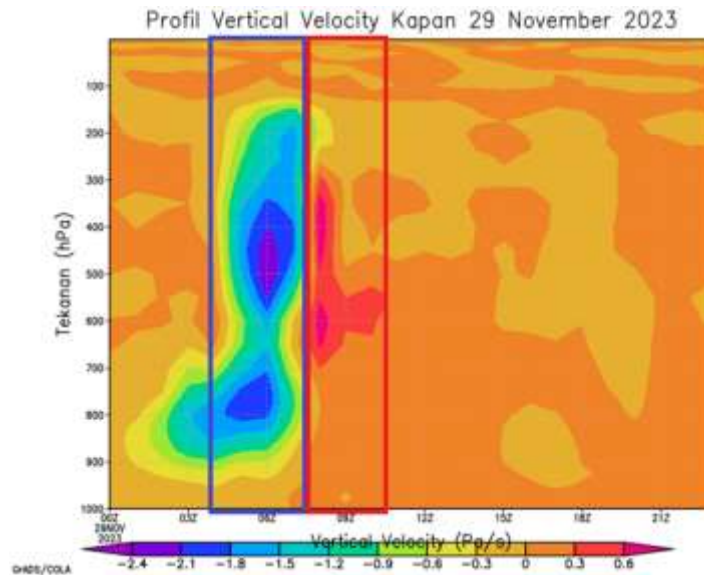


Gambar 7. Profil Divergensi Wilayah Kapan Tanggal 29 November 2023

Berdasarkan profil divergensi wilayah Kapan pada tanggal 29 November 2023 (Gambar 7), terlihat pada pukul 03.00 UTC – 06.00 UTC nilai divergensi negatif pada lapisan 1000 sampai 850 mb dengan rentang -5×10^{-5} hingga $-0,0002/s$. Nilai divergensi negatif mengindikasikan adanya konvergensi dan pengangkatan massa udara di lapisan permukaan yang memperbesar potensi terbentuknya awan-awan konvektif [19]. Sedangkan pada pukul 06.00 – 08.00 UTC, terlihat divergensi bernilai positif pada lapisan 200 – 100 mb yang mengindikasikan adanya massa udara yang menyebar di puncak awan.

3.3.3 Vertical Velocity

Profil *vertical velocity* digunakan untuk melihat kecepatan gerak udara ke atas atau ke bawah. *Integrated Forecasting System* (IFS) ECMWF menggunakan sistem koordinat vertikal berbasis tekanan, dimana tekanan berkurang seiring ketinggian. Oleh karena itu, nilai *vertical velocity* yang negatif mengindikasikan gerakan udara ke atas [18].

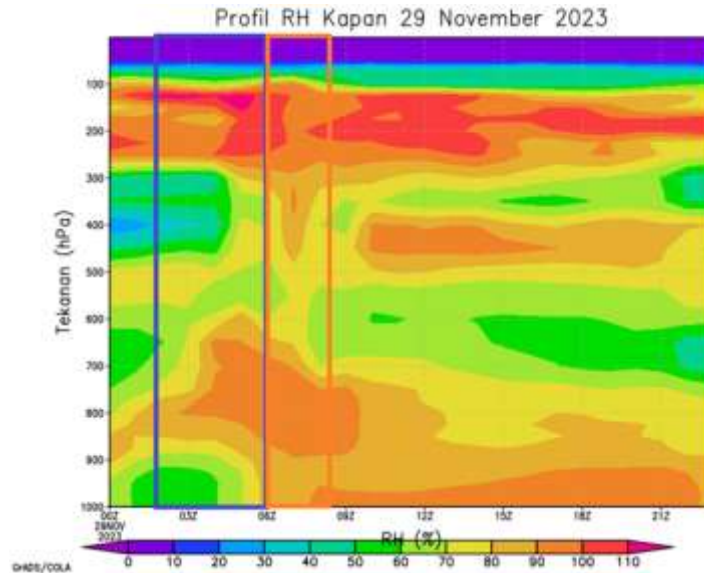


Gambar 8. Profil vertical velocity wilayah Kapan 29 November 2023

Berdasarkan profil *vertical velocity* pada lapisan 100 -1000 mb (Gambar 8), *vertical velocity* pada pukul 06.00 UTC bernilai -1,5 – -2,4 Pa/s. Nilai negatif pada *vertical velocity* sebelum kejadian hujan es, mengindikasikan adanya *updraft* yang kuat khususnya pada lapisan 900 hingga 200 mb yang meningkatkan potensi terbentuknya awan-awan konvektif yang mengandung es. Lalu sekitar pukul 06.30 -09.00 UTC, *vertical velocity* bernilai positif yang menandakan adanya aliran arus ke bawah (*downdraft*). *Downdraft* terlihat hampir terjadi di seluruh lapisan, dengan nilai paling besar di lapisan 700-300 mb dengan nilai *vertical velocity* 0,3-0,6 Pa/s yang menandakan pada saat itu terjadi hujan. *Downdraft* yang kuat menyebabkan partikel es yang ada pada awan tetap dalam bentuk es ketika sampai di permukaan bumi.

3.3.4 Kelembaban Udara

Gambar 9 merupakan profil vertikal kelembaban relatif di wilayah Kapan pada tanggal 29 November 2023.

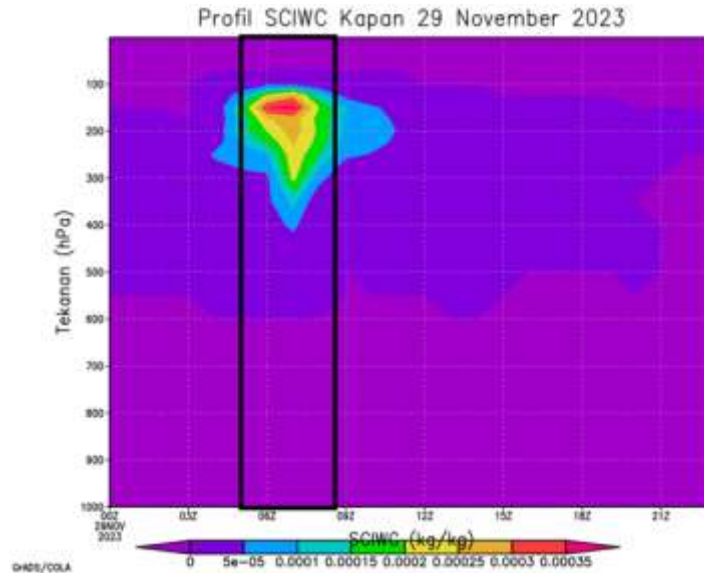


Gambar 9. Profil vertikal Kelembapan Relatif wilayah Kapan 29 November 2023

Berdasarkan profil kelembapan vertikal (Gambar 9), pada pukul 03.00 sampai 06.00 UTC, terlihat kelembapan yang cukup tinggi pada lapisan 850 – 600 mb berkisar 80 -90 %, dan pada lapisan 200-100 mb kelembapan mencapai dari 110 % (supersaturasi). Lalu, mulai pukul 06.00 UTC terlihat kelembapan yang cukup tinggi berkisar 80-90% di lapisan permukaan. Nilai kelembapan yang tinggi ini mendukung pembentukan awan-awan konvektif dan mengindikasikan potensi terjadinya hujan lebat. Selain itu, kondisi supersaturasi yang terjadi diperlukan untuk proses pengintian es.

3.3.5 Specific Cloud Ice Water Content

Gambar 10 merupakan profil vertikal *Specific Cloud Ice Water Content* di wilayah Kapan pada tanggal 29 November 2023. *Specific Cloud Ice Water Content* (SCIWC) digunakan untuk menganalisis massa partikel es per kilogram massa udara lembab di atmosfer [20].



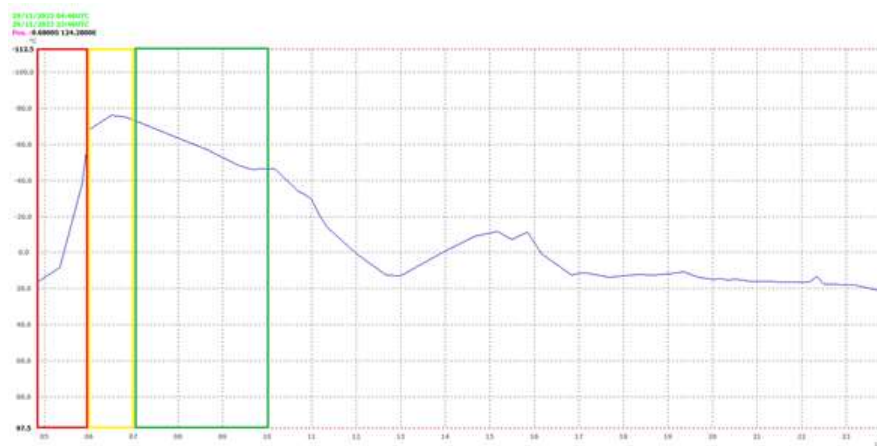
Gambar 10. Profil SCIWC wilayah kapan 29 November 2023

Berdasarkan profil vertikal *specific cloud ice water content* (SCIWC), nilai SCIWC paling tinggi terlihat pada saat kejadian hujan es pukul 06.30 UTC di lapisan 150 mb dengan SCIWC mencapai 0,00035 kg/kg atau 350 mg/kg. Hal ini mengindikasikan adanya kandungan es pada lapisan tersebut saat kejadian hujan es.

3.4 Analisis Awan Menggunakan Citra Satelit

3.4.1 Time Series Suhu Puncak Awan

Gambar 11 menunjukkan *time series* suhu puncak awan di wilayah di wilayah Kapan, Kabupaten Timor Tengah Selatan pada tanggal 29 November 2023. Grafik *time series* digunakan untuk melihat perubahan suhu puncak awan sebelum, saat dan setelah kejadian hujan es.



Gambar 11. Time series suhu puncak awan wilayah Kapan

Berdasarkan grafik *time series* suhu puncak awan, fase tumbuh awan (kotak merah) diindikasikan terjadi pada pukul 4.50 UTC hingga 6.00 UTC yang ditandai dengan adanya penurunan suhu yang signifikan dari $16,7^{\circ}\text{C}$ ke $-67,5^{\circ}\text{C}$, menunjukkan adanya arus konvektif kuat pada jam tersebut. Kemudian, fase matang ditandai dengan kotak warna kuning yang terjadi pada pukul 6.00 UTC hingga 7.00 UTC. Suhu puncak awan pada fase matang mencapai suhu terendah pada pukul 6.30 UTC dengan suhu mencapai $-75,8^{\circ}\text{C}$, hal ini mengindikasikan adanya awan konvektif (cumulonimbus) yang sangat dingin dan pada waktu inilah terjadi hujan es di wilayah Kapan. Lalu, fase purnah ditandai dengan kotak berwarna hijau, dimana suhu terlihat meningkat mulai pukul 7.00 UTC. Pada pukul 8.40 UTC suhu puncak awan menjadi $-56,5^{\circ}\text{C}$ dan terus meningkat hingga mencapai $1,1^{\circ}\text{C}$ pada pukul 12.00 UTC yang menandakan awan mengalami fase purnah.

3.4.2 Analisis Kontur Suhu Puncak Awan

Gambar 12 merupakan peta kontur suhu puncak awan konvektif di wilayah Kapan dan sekitarnya saat fase tumbuh, matang, dan luruh.



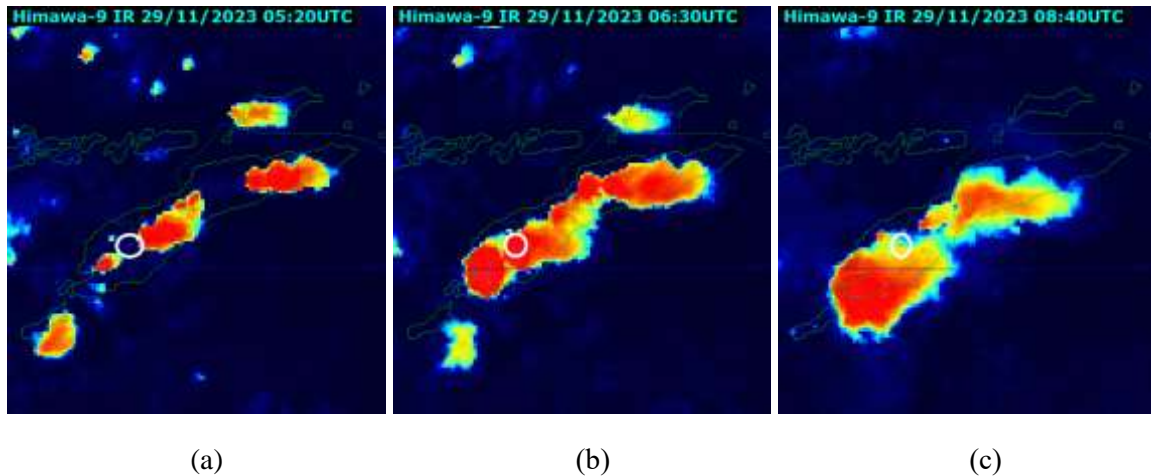
Gambar 12. Peta kontur suhu puncak awan (a) fase tumbuh, (b) fase matang, (c) fase luruh

Berdasarkan peta kontur suhu puncak awan, terlihat bahwa pada pukul 5.20 UTC (fase tumbuh) wilayah Kapan (kotak biru) memiliki suhu yang relatif masih lebih tinggi dari wilayah di sekitarnya yaitu sekitar $7,5^{\circ}\text{C}$. Di bagian timur laut dan barat daya wilayah Kapan terlihat adanya suhu puncak awan yang sangat rendah dengan inti mencapai $-72,5^{\circ}\text{C}$ dan $-77,5^{\circ}\text{C}$. Pada pukul 06.30 UTC yaitu saat fase matang, terlihat terdapat puncak awan dengan inti yang sangat dingin yaitu $-77,5^{\circ}\text{C}$ tepat di wilayah Kapan. Lalu, pada pukul 8.40 UTC terlihat kontur suhu puncak awan di wilayah Kapan mulai naik menjadi $-57,5^{\circ}\text{C}$ yang mengindikasikan awan konvektif mulai meluruh.

3.4.3 RGB

3.4.3.1 Enhanced IR

Gambar 13 merupakan Enhanced IR yang merupakan salah satu teknik interpretasi citra satelit menggunakan kanal inframerah.

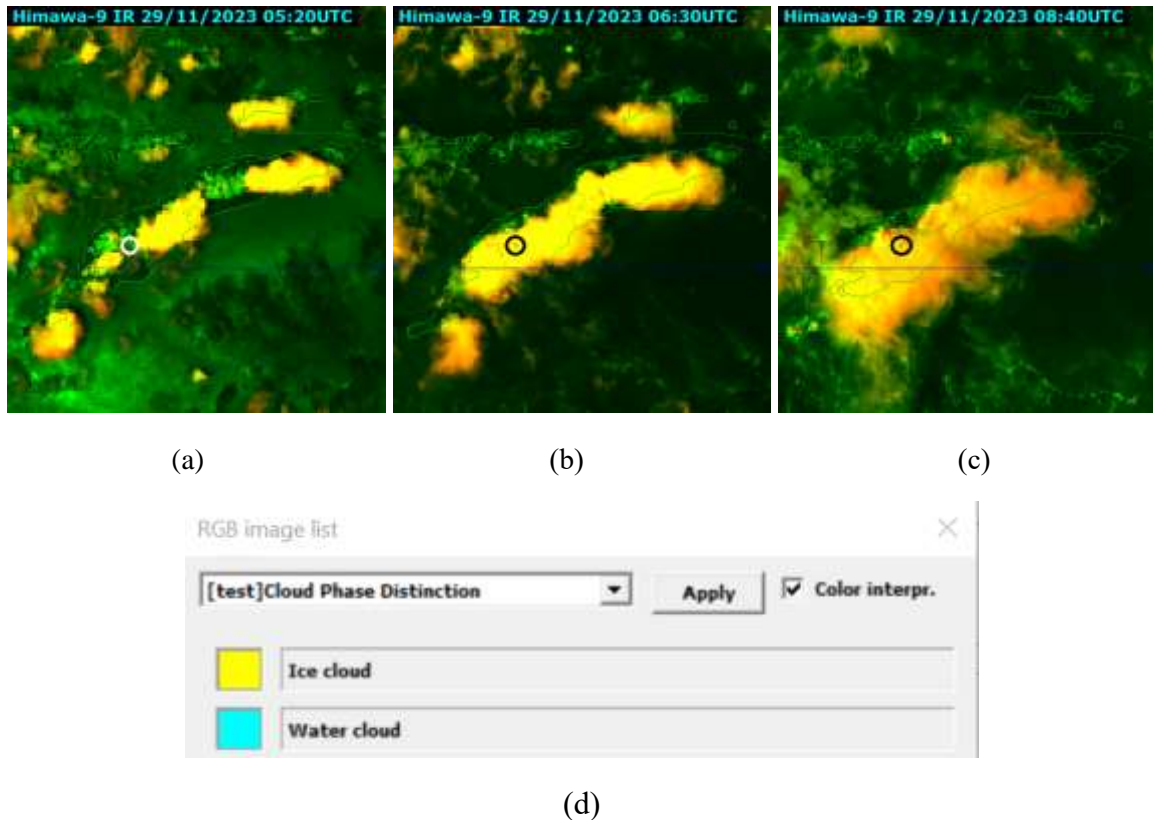


Gambar 13. Enhanced IR (a) fase tumbuh, (b) fase matang, (c) fase luruh

Berdasarkan metode RGB Enhanced IR, tidak terlihat tutupan awan di wilayah Kapan pada pukul 5.20 UTC, namun terlihat adanya pertumbuhan awan konvektif di sekitar wilayah Kapan yang ditandai dengan warna merah. Kemudian pada pukul 6.30 UTC yaitu fase matang, awan-awan konvektif tebal (cumulonimbus) terlihat menutupi hampir seluruh Pulau Timor, termasuk wilayah Kapan (lingkaran putih) yang ditandai dengan warna merah. Pada pukul 8.40 UTC, awan konvektif tebal yang tadinya menutupi wilayah Kapan terlihat mulai meluruh, ditandai dengan warna merah yang mulai memudar dan cenderung berubah menjadi kuning hingga hijau.

3.4.3.2 Cloud Phase Distinction

Cloud Phase Distinction RGB adalah salah satu teknik RGB yang digunakan untuk memudahkan dalam menginterpretasi citra satelit. Pada *Cloud Phase Distinction* RGB, awan yang mengandung es diigambarkan dengan warna kuning. Gambar 14 menunjukkan gambaran *Cloud Phase Distinction* RGB di wilayah Kapan dan sekitarnya saat kejadian hujan es.

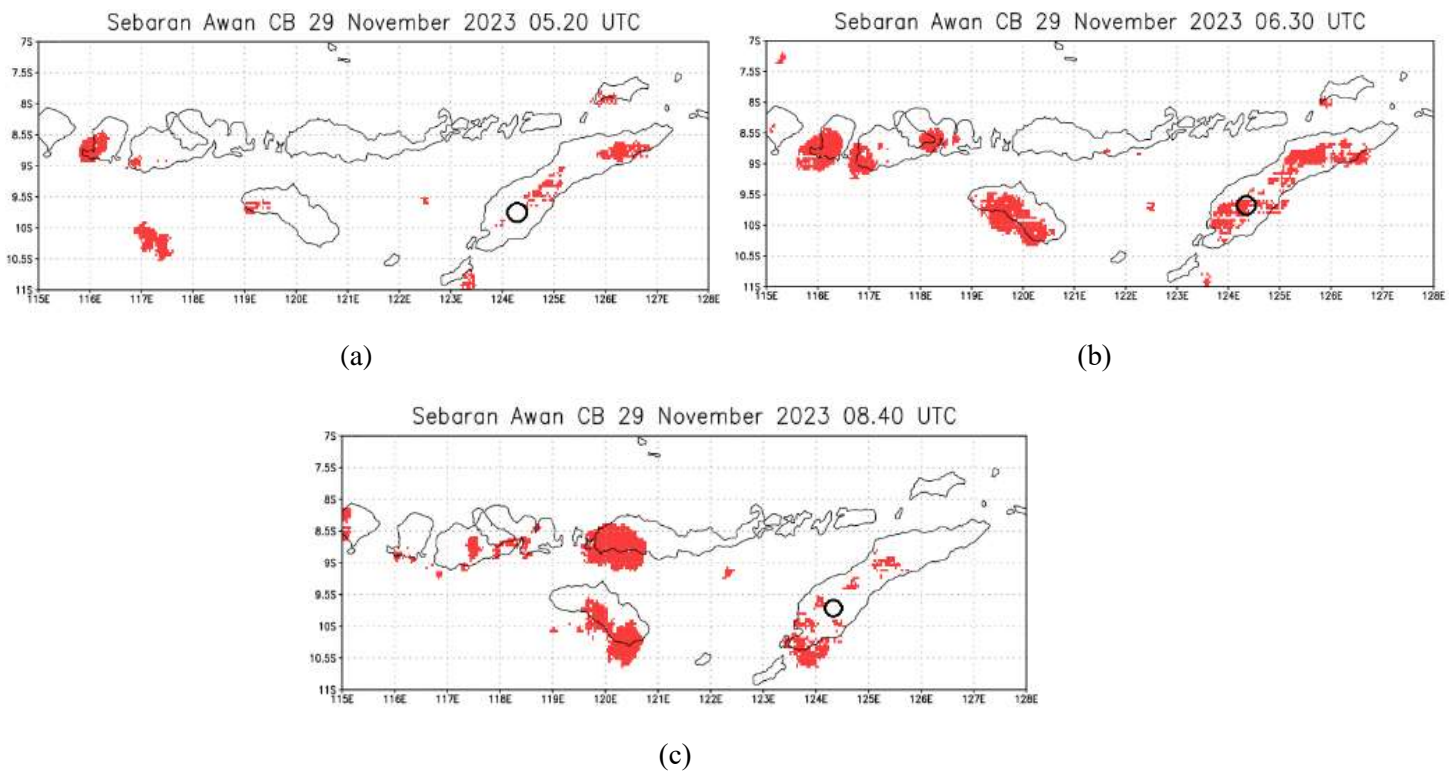


Gambar 14. RGB Cloud Phase Distinction (a) fase tumbuh, (b) fase matang, (c) fase luruh, (d) Interpretasi

Berdasarkan RGB Cloud Phase Distinction, tutupan awan di wilayah Kapan pada pukul 5.20 UTC terlihat masih sedikit. Awan yang diindikasikan mengandung es terlihat menutupi wilayah Kapan pada pukul 6.30 UTC yang ditandai dengan warna kuning cerah. Pada pukul 8.40 UTC, awan es yang berwarna kuning tadi terlihat mulai meluruh, ditandai dengan warna yang memudar menjadi warna oranye.

3.5 CCO

Convective Cloud Overlay (CCO) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis sebaran awan cumulonimbus. Gambar 15 menunjukkan sebaran awan cumulonimbus di wilayah Kapan dan sekitarnya pada sebelum, saat dan setelah kejadian hujan es tanggal 29 November 2023 menggunakan metode CCO.



Gambar 15. CCO (a) fase tumbuh, (b) fase matang, (c) fase luruh

Berdasarkan metode, dapat dilihat bahwa pada pukul 5.20 UTC yaitu tahap pertumbuhan tidak ada awan cumulonimbus yang menutupi wilayah Kapan (lingkaran hitam). Pada pukul 6.30 UTC, yaitu saat fase matang dan juga saat kejadian hujan es, terlihat adanya tutupan awan cumulonimbus yang menutupi wilayah Kapan. Lalu, pada pukul 8.40 UTC saat tahap luruh, tutupan awan cumulonimbus di wilayah Kapan terlihat sudah menghilang.

4. SIMPULAN

Data pengamatan dari Stasiun Meteorologi terdekat menunjukkan kondisi kelembapan yang tinggi serta terjadi penurunan suhu dan tekanan udara yang signifikan sebelum kejadian hujan es. Indeks stabilitas atmosfer dari hasil pengamatan radiosonde pukul 00.00 UTC menunjukkan udara dalam kondisi labil dan potensi cuaca buruk yang cukup besar. Analisis data reanalisis ERA5 menunjukkan bahwa kondisi *streamline*, profil divergensi, kecepatan vertikal, dan kelembapan relatif mendukung pembentukan awan-awan konvektif sebelum kejadian hujan es. Profil SCIWC mengindikasikan adanya kandungan partikel es pada lapisan 150 mb sekitar pukul 06.30 UTC. Citra satelit menunjukkan adanya tutupan awan kumulonimbus saat terjadi hujan es dengan suhu puncak awan yang sangat rendah mencapai $-75,8^{\circ}\text{C}$. Sehingga berdasarkan analisis kondisi atmosfer, hujan es yang terjadi di wilayah Kapan, Kabupaten Timor Tengah Selatan disebabkan adanya awan-awan

konvektif (cumulonimbus) yang mengandung es serta kondisi atmosfer yang mendukung terjadinya hujan es.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu pada kegiatan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Hidayat, U. Efendi, and H. N. Rahmadini, "Identifikasi Kejadian Hujan Es Berbasis Analisis Faktor Cuaca, Citra Satelit dan Model Numerik dengan Aplikasi GrADS (Studi Kasus: Kejadian Hujan Es Tanggal 19 dan 23 April 2017 di Bandung)," in *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 2017, pp. 429–440.
- [2] M. Karmini, "Hujan Es (Hail) Di Jakarta, 20 April 2000 (Karmini) Hujan Es (Hail) Di Jakarta, 20 April 2000," *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, vol. 1, no. 1, pp. 27–32, 2000.
- [3] R. Hidayati, T. R. Ramalis, and M. I. Mujtahiddin, "Analisis Kejadian Hujan Es di Wilayah Bandung Berdasarkan Kondisi Atmosfer dan Citra Satelit Analysis of Hailstone at Territorial Bandung Bases Atmospheric Condition and Satellite Image," *Jurnal Online Fisika*, vol. 3, no. 1, Apr. 2015, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/359193146>
- [4] BMKG, *Perka BMKG No. KEP.9 Tahun 2010*. 2010.
- [5] S. Prasetyo, I. Rumahorbo, U. Hidayat, and N. Sagita, "Analisis Kondisiatmosfer Pada Kejadian Hujan Es (Studi Kasus: Bogor, 23 September 2020)," in *Prosiding Seminar Nasional Kahuripan I*, 2020, pp. 295–300.
- [6] Y. Bria, "Heboh Fenomena Hujan Es di Timor Tengah Selatan, Bupati: Sering Terjadi ," *detikBali*, Nov. 29, 2023. Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.detik.com/bali/nusra/d-7063463/heboh-fenomena-hujan-es-di-timor-tengah-selatan-bupati-sering-terjadi>
- [7] S. M. Bere and A. G. AE, "Viral, Video Hujan Es Landa Wilayah NTT," *Kompas.com*, Nov. 29, 2023. Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://regional.kompas.com/read/2023/11/29/204334078/viral-video-hujan-es-landa-wilayah-ntt>
- [8] A. Kristianto, I. J. A. S. Saragih, G. Larasati, and K. Akib, "Identifikasi Kejadian Hujan Es Menggunakan Citra Radar Dan Satelit Cuaca," 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327815934>
- [9] BMG, *Peraturan Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika Nomor: SK.38/KT.104/KB/BMG-06 Tentang Tata Cara Tetap Pelaksanaan Pengamatan, Penyandian, Pelaporan dan Pengarsipan Data Meteorologi Permukaan*. 2006.

- [10] ECMWF, “ECMWF Reanalysis v5 (ERA5).” Accessed: Jan. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
- [11] D. Kushardono, “Kajian Satelit Penginderaan Jauh Cuaca Generasi Baru Himawari 8 dan 9,” *INDERAJA*, vol. 3, no. 5, pp. 41–49, 2012.
- [12] Pemerintah Kabupaten Timor Tengah Selatan, “Letak Geografis.” Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://ttskab.go.id/profil-daerah/letak-geografis/>
- [13] S. Akihiro, “Introduction to Himawari-8 RGB composite imagery,” *Meteorological Satellite Center Technical Note*, Oct. 2020.
- [14] I. J. A. Saragih, A. L. Gaol, A. Kristianto, and A. L. Panjaitan, “Convective cloud distribution monitoring using Cloud Convective Overlays and Red-Green-Blue Convective Storms methods on Himawari-8 satellite imagery on the Eastern Coast of North Sumatra,” in *The 9th Asia-Oceania Meteorological Satellite User’s Conference*,
- [15] S. Wirjohamidjojo and Y. S. Swarinoto, “Indeks dan peredaran atmosfer tropik,” 2014.
- [16] E. Fibriantika and D. Mayangwulan, “Analisis Spasial Indek Stabilitas Udara di Indonesia,” *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, vol. 21, no. 1, pp. 1–12, Dec. 2020, doi: 10.29122/jstmc.v21i1.4005.
- [17] J. A. I. Paski, “Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Banjir Di Bengkulu 21 Agustus 2022,” vol. 3, no. 5, pp. 10–19, 2022.
- [18] Copernicus, “ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present.” Accessed: Jul. 24, 2024. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview>
- [19] A. M. Dewi and A. Kristianto, “Analisis Transport Uap Air di Kupang Saat Terjadi Siklon Tropis Narelle (Studi Kasus Tanggal 6 Januari 2013),” *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [20] M. Frystine, A. Mulya, A. Kristianto, and M. P. Maulidyah, “Analysis Of Atmospheric Condition On Hail Event At Pelalawan (Case Study: September 23rd, 2019),” *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, pp. 45–56, 2022.