

Analisis Awan Cumulonimbus pada Kejadian Angin Kencang di Kabupaten Tulang Bawang, Lampung (Studi Kasus 20 Mei 2020)

Aditya Mulya^{1*}, Selviana Pratiwi², Yosafat Donni Haryanto¹, dan Achmad Zakir¹

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia; e-mail: aditya.mulya@stmkg.ac.id

²Stasiun Meteorologi Kelas III Nangapinoh, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Indonesia

ABSTRAK

Awan Cumulonimbus dapat menyebabkan terjadinya cuaca ekstrem seperti hujan lebat, badai petir dan angin kencang. Penelitian ini bertujuan menganalisis Awan Cumulonimbus yang berasosiasi dengan angin kencang di Kabupaten Tulang Bawang, Lampung, pada 20 Mei 2020. Data yang digunakan meliputi data Radar Cuaca (produk CMAX, VSHEAR, PPI, dan VIL), citra Satelit Himawari-8 kanal IR, dan data reanalisis ERA5 untuk mengetahui kondisi atmosfer yang menyebabkan terbentuknya awan Cumulonimbus. Hasil penelitian menunjukkan perkembangan awan Cumulonimbus dari fase tumbuh, matang, hingga meluruh. Suhu puncak awan dari citra IR mencapai sekitar -80°C di wilayah penelitian. Nilai reflektivitas produk CMAX meningkat dari 32-45 dBZ pada fase tumbuh menjadi 53 dBZ pada fase matang, kemudian menurun pada fase peluruhan. Produk VSHEAR menunjukkan kondisi kuat (strong) pada seluruh tahap, sedangkan pola *inbound* pada produk PPI mengindikasikan adanya angin yang menuju radar. Hasil reanalisis ERA5 menunjukkan adanya massa udara terangkat sehingga memicu pertumbuhan awan Cumulonimbus. Kombinasi radar, satelit, dan reanalisis ERA5 menunjukkan bahwa kejadian angin kencang di Tulang Bawang, Lampung berasosiasi kuat dengan adanya awan Cumulonimbus. Kondisi ini menguatkan pentingnya integrasi penginderaan jauh untuk mendukung analisis dan peringatan dini cuaca ekstrem khususnya angin kencang di Tulang Bawang, Lampung.

Kata kunci: Awan Cumulonimbus, Angin Kencang, Hujan Lebat, Radar, Satelit Himawari-8

ABSTRACT

Cumulonimbus clouds can produce severe weather events such as heavy rainfall, thunderstorms, and strong winds. This study aims to analyze cumulonimbus clouds associated with a strong wind event in Tulang Bawang Regency, Lampung, on 20 May 2020. The data used in this study include weather radar products (CMAX, VSHEAR, PPI, and VIL), Himawari-8 infrared (IR) satellite imagery, and ERA5 reanalysis data to examine the atmospheric conditions that contributed to cumulonimbus cloud formation. The results show that the cumulonimbus system developed from the growing stage to maturity and then dissipated. Cloud-top temperatures in the IR imagery reached approximately -80°C over the study area. Radar reflectivity increased from 32-45 dBZ during the growing stage to 53 dBZ during the mature stage and then decreased during the dissipation stage. The VSHEAR product indicated strong conditions throughout all stages, while the inbound pattern in the PPI product suggested air movement toward the radar. The ERA5 reanalysis indicated that air mass ascent supported the growth of the cumulonimbus cloud. The combined analysis of radar, satellite, and ERA5 reanalysis data shows that the strong wind event in Tulang Bawang was strongly associated with the presence of cumulonimbus clouds. These findings highlight the importance of integrating remote sensing data to support the analysis and early warning of severe weather, particularly strong winds in Tulang Bawang, Lampung.

Keywords: Cumulonimbus Cloud, Strong Wind, Heavy Rain, Radar, Satellite Himawari-8

Citation: Mulya, A., Pratiwi, S., Haryanto, Y. D., dan Zakir, A. (2026). Analisis Awan Cumulonimbus pada Kejadian Angin Kencang di Kabupaten Tulang Bawang, Lampung (Studi Kasus 20 Mei 2020). Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(2), 365-370, doi:10.14710/jil.24.2.365-370

1. PENDAHULUAN

Awan cumulonimbus merupakan awan tebal dan padat, dengan luas vertikal yang cukup besar, yang berbentuk seperti gunung atau menara besar. Awan

cumulonimbus dapat menyebabkan terjadinya cuaca ekstrem seperti hujan lebat, badai petir dan angin kencang (Sucahyono and Ribudiyanto, 2013). Kondisi atmosfer yang labil dapat mendukung dalam

pertumbuhan awan cumulonimbus (Ahrens and Henson, 2022). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa angin kencang sangat dipengaruhi oleh dinamika atmosfer skala lokal dan meso dibandingkan parameter iklim global (Ismanto and Mahron, 2023).

Radar cuaca merupakan instrumen penginderaan jauh yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi adanya awan cumulonimbus (Bringi et al., 2024). Struktur dan sistem awan cumulonimbus dapat dideteksi dengan baik menggunakan Radar cuaca (Mulya and Maulana, 2022). Selain Radar, Satelit juga dapat digunakan dalam menginterpretasi awan cumulonimbus. Satelit Himawari-8 merupakan Satelit Japan Meteorological Agency (JMA) bertipe geostasioner yang dilengkapi dengan 16 kanal (Tan, 2014). Satelit ini memiliki resolusi temporal, spektral dan spasial yang lebih baik dari seri sebelumnya (Shimizu, 2020). Hal ini dapat membantu dalam menggabungkan beberapa kanal agar mendapatkan hasil visual yang lebih baik (Bessho et al., 2016). Satelit dapat digunakan untuk mengetahui suhu puncak awan (Afriyanti and Darmawan, 2025) namun memiliki keterbatasan dalam menganalisis struktur awan secara detail (Muzaki et al., 2021). Sehingga penggunaan data radar sangat penting untuk melengkapi keterbatasan satelit dalam mengamati awan cumulonimbus secara *real-time* yang dapat berasosiasi dengan angin kencang.

Pada tanggal 20 Mei 2020 terdapat angin kencang yang terjadi di kabupaten Tulang Bawang, Lampung. Bencana ini menyebabkan satu warga meninggal dan puluhan rumah diperkirakan rusak akibat kejadian tersebut (OKTAVIA, 2020). Kajian mengenai angin kencang di Lampung yang secara spesifik mengkaji keterkaitannya dengan pertumbuhan awan Cumulonimbus masih terbatas. Sehingga penulis bertujuan menganalisis perkembangan awan Cumulonimbus pada kejadian angin kencang di Tulang Bawang, Lampung dengan menggunakan Radar Cuaca dan Satelit Himawari-8.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 20 Mei 2020 dan berlokasi di Kabupaten Tulang Bawang Lampung (koordinat 103°48' - 105°45' BT dan 3°45' - 6°45' LS) pada saat terjadinya angin kencang pada siang hari yang menyebabkan satu warga meninggal dan puluhan rumah diperkirakan rusak (OKTAVIA, 2020).

2.2. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode sebagai berikut:

1. Data Satelit Himawari-8 kanal IR1 dengan resolusi spasial 2 km dan temporal 10 menit didapatkan dari Direktorat Meteorologi Publik BMKG. Data ini diolah dengan menggunakan Satellite Animation and Interactive Diagnosis (SATAID) yang dikembangkan oleh Japan Meteorological Agency

(JMA) untuk menampilkan suhu dan kontur awan (Pratama and Mulya, 2022).

2. Data Radar cuaca dengan format (.vol) yang didapatkan dari Stasiun Meteorologi Kelas I Radin Inten II Bandar Lampung dengan radius mencapai 100 km. Pengolahan data Radar cuaca menggunakan aplikasi RainDART untuk menghasilkan produk radar berupa *Column Maximum* (CMAX), *Vertical Shear* (VSHEAR), *Plan Position Indicator* (PPI), dan *Vertical Integrated Liquid* (VIL). Produk CMAX digunakan untuk mengetahui nilai reflektivitas yang merupakan besaran intensitas pantulan/hamburan energi yang kembali dari objek (Rauber and Nesbitt, 2018). Produk VSHEAR digunakan untuk mendeteksi shear antara dua lapisan. Produk PPI untuk memberikan informasi kecepatan suatu objek pada sudut elevasi yang dipilih. Produk VIL untuk memberikan perkiraan tentang estimasi kandungan air cair (Rauber and Nesbitt, 2018).
3. Data reanalysis ERA5 ECMWF (Hersbach et al., 2020) dengan format (.nc) yang diunduh dari <https://cds.climate.copernicus.eu> dengan resolusi spasial 0,25° x 0,25°.

2.3. Prosedur Pengolahan

Penelitian ini menggunakan metode sebagai berikut:

1. Data Satelit Himawari-8 kanal IR1 diolah dengan ketentuan menurut (Yasuhiko et al., 2017) yaitu mengidentifikasi area yang memiliki suhu puncak awan lebih dingin daripada lingkungan sekitarnya untuk mengidentifikasi adanya updraft yang kuat menggunakan *Brightness Temperature* (BT). Suhu puncak awan $\leq -38^{\circ}\text{C}$ diidentifikasi sebagai awan konvektif dan $\leq -63^{\circ}\text{C}$ sebagai awan konveksi yang kuat (Liu et al., 2007).
2. Data Radar produk CMAX diolah menggunakan aplikasi RainDART dengan jangkauan radar 150 km. Nilai top dan bottom ditetapkan 15 km dan 0,3 km untuk merepresentasikan profil vertikal awan Cumulonimbus serta meminimalkan gangguan *ground clutter* pada data radar. Nilai Reflektivitas ≥ 40 dBZ digunakan untuk indikator awan Cumulonimbus yang berasosiasi dengan awan konvektif kuat menurut Steiner et al. (1995) dalam Kumar and Bhat (2016).
3. Produk VSHEAR diolah dengan RainDART ditetapkan Nilai top dan bottom 3,1 km dan 1,5 km sesuai penelitian (Basu and Mondal, 2002). Berdasarkan Chaudhari et al. (2010) kategori intensitas VWS lemah (*weak*) dalam rentang nilai $< 0,003 \text{ s}^{-1}$ atau 3 m/s/km , sedang (*moderate*) dalam rentang nilai $0,003 - 0,005 \text{ s}^{-1}$ atau $3 - 5 \text{ m/s/km}$, dan kuat (*strong*) $> 0,005 \text{ s}^{-1}$ atau 5 m/s/km .
4. Pengolahan produk VIL dengan RainDART juga ditetapkan dengan nilai top dan bottom 10 km dan 0 km, sedangkan Elevasi $1,0^{\circ}$ pada produk PPI.
5. Data reanalysis ERA5 ECMWF diolah dengan menggunakan aplikasi GrADS untuk menghasilkan

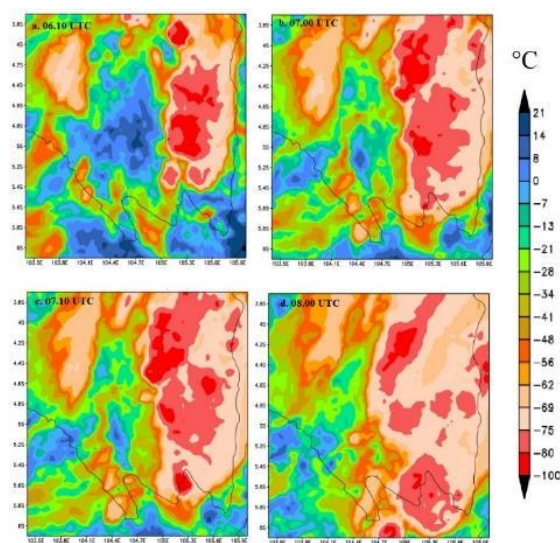
data divergensi lapisan 850, 700, dan 500 mb dalam mengetahui potensi adanya daerah konvergen dan divergen kaitannya dengan pergerakan massa udara (Purwanti et al., 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Citra Satelit Himawari-8

Sebaran suhu puncak awan secara spasial terlihat pada Gambar 1 dengan melakukan pengolahan data satelit Himawari-8 kanal IR tanggal 20 Mei 2020. Pada pukul 06.10 UTC terlihat awan Cumulonimbus di lokasi penelitian mulai tumbuh. Pukul 07.00 UTC hingga 08.00 UTC terlihat bahwa awan Cumulonimbus menyebar dan bergeser ke arah selatan hingga barat daya dengan suhu berkisar antara -69°C hingga -80°C .

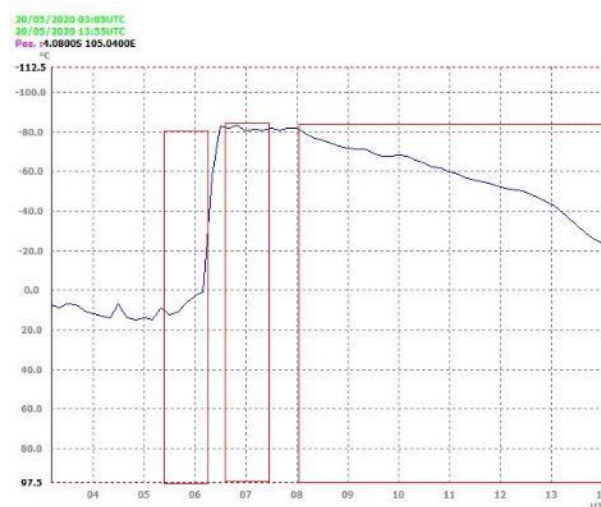
Sebaran suhu puncak awan menunjukkan bahwa inti awan dengan suhu paling rendah terpusat pada area tertentu yang dikelilingi oleh suhu yang lebih hangat di sekitarnya. Sebaran ini sama dengan sebaran awan yang terjadi di Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau saat terjadinya puting beliung yang dianalisis oleh Sawal et al. (2025). Kondisi ini mengindikasikan adanya awan Cumulonimbus yang tumbuh dan berpotensi menimbulkan cuaca ekstrem seperti angin kencang (Ahrens and Henson, 2022).



Gambar 1. Nilai Suhu Puncak Awan Kanal IR pada Tanggal 20 Mei 2020 pukul (a) 06.10 UTC, (b) 07.00 UTC, (c) 07.10 UTC, dan (d) 08.00 UTC

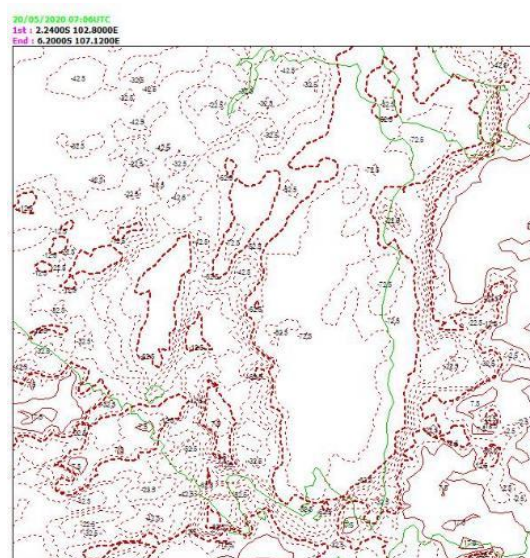
Pada lokasi penelitian Grafik Time Series suhu puncak awan Gambar 2 menunjukkan time series suhu puncak awan kanal IR di lokasi penelitian untuk mengetahui perkembangan suhu puncak awan dari fase tumbuh, dewasa atau matang, dan peluruhan. Pada fase tumbuh pukul 06.10 UTC terlihat bahwa suhu puncak awan mengalami penurunan yang sangat signifikan hingga mencapai -80°C saat fase matang. Suhu puncak awan saat fase matang ini jauh lebih rendah dibandingkan awan konveksi yang kuat sebesar -63°C (Liu et al., 2007) dan awan konvektif saat angin kencang di Bangkalan sebesar -58°C

(Asfahanif and Amri, 2022), saat puting beliung di Tanjungpandan Kabupaten Belitung sebesar $-57,4^{\circ}\text{C}$ (Afriyanti and Darmawan, 2025) serta saat hujan lebat dan angin kencang di Probolinggo sebesar $-73,1^{\circ}\text{C}$ (Diniyati et al., 2021)



Gambar 2. Time Series Suhu Puncak Awan Kanal IR pada tanggal 20 Mei 2020

Gambar 3 menunjukkan bahwa kontur suhu puncak awan di lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan dengan daerah di sekitarnya. Suhu puncak awan di lokasi penelitian mencapai -80°C sedangkan di sekitarnya berkisar $-2,5^{\circ}\text{C}$ hingga $-7,5^{\circ}\text{C}$. Perbedaan suhu yang signifikan ini menunjukkan bahwa di lokasi penelitian terdapat adanya updraft yang kuat menurut Liu et al. (2007) dalam mendukung pertumbuhan awan Cumulonimbus.

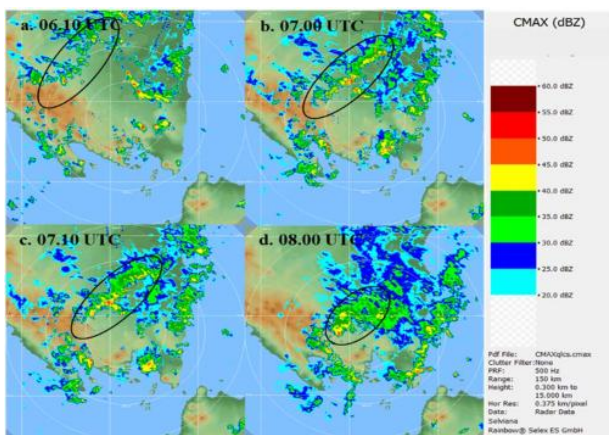


Gambar 3. Kontur Suhu Puncak Awan Kanal IR pada Tanggal 20 Mei 2020

3.2. Analisis Radar Cuaca Produk CMAX

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa awan Cumulonimbus pada fase tumbuh terjadi pada pukul 06.10 UTC dengan nilai reflektivitas sistem sebesar 32

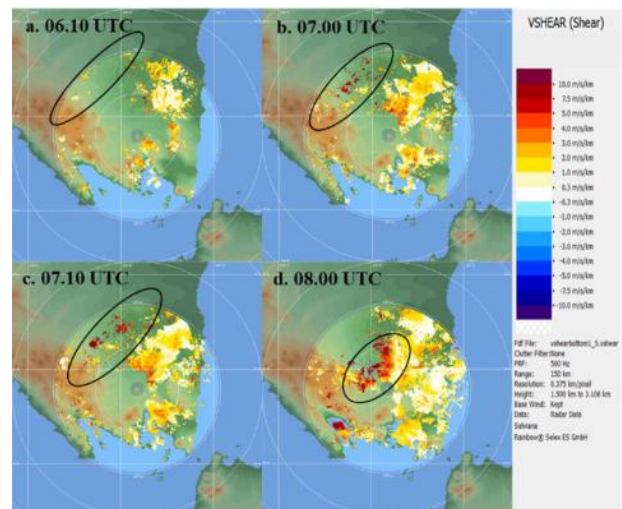
– 45 dBZ. Fase dewasa atau matang terjadi pada pukul 07.00 UTC ditandai dengan nilai bagian inti sistem sebesar 53 dBZ. Nilai tersebut lebih besar dari 40 dBZ yang digunakan sebagai indikator awan konveksi kuat Kumar and Bhat (2016). Nilai ini juga lebih besar dibandingkan saat kejadian hujan lebat dan angin kencang di Probolinggo sebesar 43 dBZ (Muzaki et al., 2021). Awan Cumulonimbus berbentuk linier (memanjang) dengan panjang sistem mencapai 100 km serta lebar sistem 20 km. Pada pukul 07.10 UTC awan Cumulonimbus masih berada pada fase dewasa atau matang dengan bentuknya yang masih linier dengan panjang sistem sebesar 97 km, dan nilai reflektivitas sebesar 38 – 53 dBZ. Fase peluruhan terjadi pada pukul 08.00 UTC yang ditandai dengan meluruhnya sistem awan, nilai reflektivitas sistem sebesar 30 – 43 dBZ, dan sel awan yang mulai terpisah.



Gambar 4. Nilai CMAX pada Tanggal 20 Mei 2020 pukul (a) 06.10 UTC, (b) 07.00 UTC, (c) 07.10 UTC, dan (d) 08.00 UTC

3.3. Analisis Radar Cuaca Produk VSHEAR

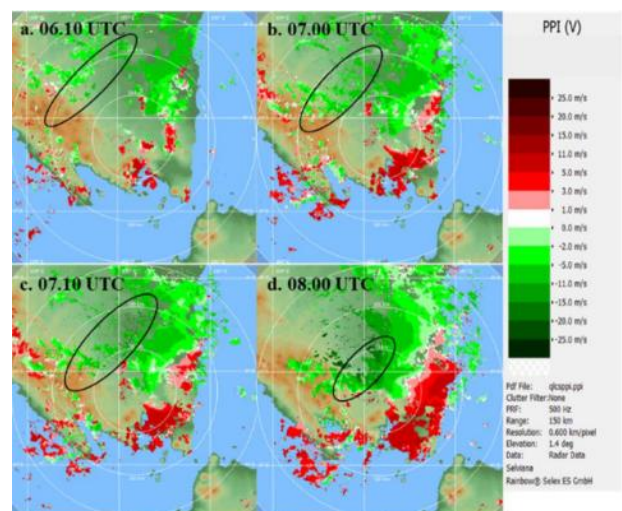
Analisis *Vertical Wind Shear* (VWS) dilakukan dengan menggunakan produk VSHEAR yang dikategorikan menjadi *weak*, *moderate*, *strong* untuk mendeteksi shear antara dua lapisan. Nilai kecepatan VWS pada Gambar 5 menunjukkan saat fase tumbuh pukul 06.10 UTC bernilai 7,3 m/s/km, fase dewasa atau matang pukul 07.00 UTC bernilai 11 m/s/km, fase dewasa atau matang pukul 07.10 UTC bernilai 10 m/s/km, dan fase peluruhan pukul 08.00 UTC bernilai 10 m/s/km. Hal ini menunjukkan bahwa *Vertical Wind Shear* (VWS) pada semua fase termasuk dalam kategori Strong berdasarkan kriteria Chaudhari et al. (2010).



Gambar 5. Nilai VWS pada Tanggal 20 Mei 2020 pukul (a) 06.10 UTC, (b) 07.00 UTC, (c) 07.10 UTC, dan (d) 08.00 UTC

3.4. Analisis Radar Cuaca Produk PPI

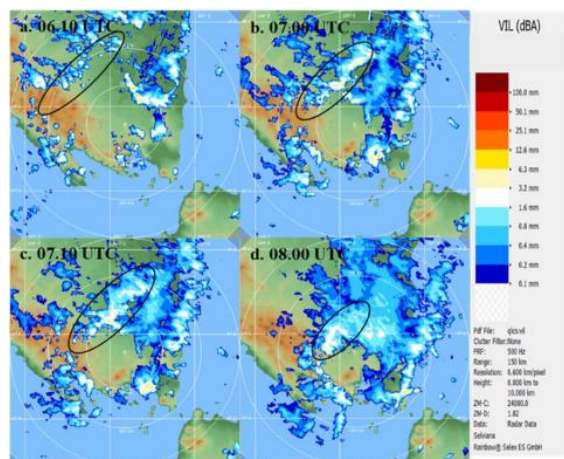
Analisis produk PPI tidak dapat digunakan untuk langsung mengidentifikasi adanya angin kencang seperti *downdraft* melainkan hanya mengidentifikasi pola kecepatan radial terkait adanya pola *inbound* dan *outbound* objek yang diamati. Pada Gambar 6 pola *inbound* menunjukkan angin bergerak mendekati radar (warna hijau), sedangkan pola *outbound* menunjukkan angin bergerak menjauhi radar (warna merah). Pola *inbound* dengan kecepatan *inbound* maksimum 5,5 m/s terlihat saat fase tumbuh pukul 06.10 UTC. Saat fase dewasa atau matang pukul 07.00 UTC terlihat kecepatan *inbound* meningkat dengan kecepatan maksimum 14 m/s dan masih terlihat pada fase dewasa atau matang pukul 07.10 UTC. Pada fase peluruhan kecepatan *inbound* meningkat dengan kecepatan maksimum 20 m/s. Peningkatan kecepatan radial ini mengindikasikan sirkulasi udara yang menguat dan berasosiasi dengan perkembangan sistem konvektif awan Cumulonimbus.



Gambar 6. Nilai PPI pada Tanggal 20 Mei 2020 pukul (a) 06.10 UTC, (b) 07.00 UTC, (c) 07.10 UTC, dan (d) 08.00 UTC

3.5. Analisis Radar Cuaca Produk VIL

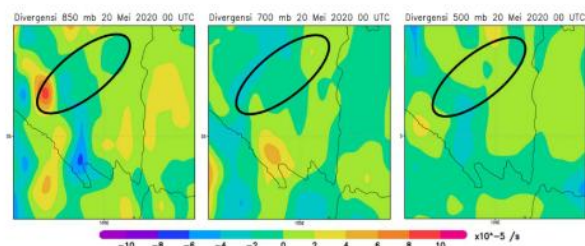
Produk VIL digunakan untuk mengetahui estimasi kandungan air cair pada objek yang diamati. Berdasarkan Gambar 7, pada fase tumbuh pukul 06.10 UTC diketahui nilai VIL yaitu 2,8 mm. Pada fase dewasa atau matang pukul 07.00 UTC dan 07.10 UTC nilai VIL meningkat mencapai 6 mm yang menunjukkan bertambahnya estimasi kandungan air cair pada awan. Sedangkan pada fase peluruhan pukul 08.00 UTC nilai VIL menurun dengan nilai 2 mm yang mengindikasikan berkurangnya estimasi kandungan air cair seiring melemahnya sistem konveksi pada awan tersebut.



Gambar 7. Nilai VIL pada Tanggal 20 Mei 2020 pukul (a) 06.10 UTC, (b) 07.00 UTC, (c) 07.10 UTC, dan (d) 08.00 UTC

3.6. Analisis Reanalysis ECMWF

Gambar 8 menunjukkan nilai divergensi secara spasial pada lapisan 850 mb, 700 mb, dan 500 mb dengan mengolah data ECMWF ERA-5 menggunakan aplikasi GrADS. Pada lapisan 850 mb divergensi bernilai negatif ($-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ hingga $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) dan lapisan 700 mb divergensi juga bernilai negatif ($-2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ – $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$). Kondisi ini menunjukkan adanya konvergensi di lapisan bawah, sehingga akumulasi massa udara terangkat. Sedangkan pada lapisan 500 mb divergensi bernilai mendekati 0 hingga positif lemah yang mengindikasikan adanya massa udara yang menyebar. Massa udara yang konvergen di lapisan bawah dan menyebar lemah di lapisan atas mendukung awan Cumulonimbus dapat tumbuh dan berkembang (Ahrens and Henson, 2022).



Gambar 8. Divergensi Lapisan 850 mb, 700 mb dan 500 mb pada Tanggal 20 Mei 2020

4. KESIMPULAN

Secara umum kejadian angin kencang yang menyebabkan satu warga meninggal dan puluhan rumah diperkirakan rusak di Kabupaten Tulang Bawang Lampung berasosiasi dengan perkembangan awan Cumulonimbus. Suhu puncak awan mencapai -80°C saat fase matang dengan sebaran spasial menuju ke arah selatan hingga barat daya. Produk CMAX menunjukkan adanya sistem konvektif yang berkembang saat fase tumbuh dan matang dengan nilai reflektivitas bagian inti sistem sebesar 53 dBZ, kemudian melemah saat fase peluruhan. Kondisi ini juga didukung Vertical Wind Shear (VWS) dengan kategori kuat, peningkatan VIL saat matang, serta pola PPI yang menunjukkan pola *inbound*, yaitu angin bergerak mendekati radar pada semua fase pertumbuhan awan Cumulonimbus. Penelitian ini belum menggunakan data angin permukaan maupun analisis struktur awan secara vertikal sehingga belum dapat dijelaskan secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ke depannya disarankan mengidentifikasi data observasi serta pengaruh adanya *downdraft* atau *microburst*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, Darmawan, Y., 2025. Analisis Pertumbuhan Awan Konvektif Berbasis Data Citra Satelit pada Kejadian Puting Beliung Tanjungpandan Kabupaten Belitung (Studi Kasus 17 Mei 2023) 8.
- Ahrens, C.D., Henson, R., 2022. Meteorology today: an introduction to weather, climate and the environment, 13th edition, Student edition. ed. Cengage, Boston, MA.
- Asfahanif, F., Amri, S., 2022. Analisis Peristiwa Angin Kencang dengan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Bangkalan, 17 Oktober 2021). Jurnal Geografi 19, 83–91. <https://doi.org/10.15294/jg.v19i2.34826>
- Basu, G.C., Mondal, D.K., 2002. A forecasting aspect of thundersquall over Calcutta and its parameterisation during pre-monsoon season. MAUSAM 53, 271–280. <https://doi.org/10.54302/mausam.v53i3.1644>
- Bessho, K., Date, K., Hayashi, M., Ikeda, A., Imai, T., Inoue, H., Kumagai, Y., Miyakawa, T., Murata, H., Ohno, T., Okuyama, A., Oyama, R., Sasaki, Y., Shimazu, Y., Shimoji, K., Sumida, Y., Suzuki, M., Taniguchi, H., Tsuchiyama, H., Uesawa, D., Yokota, H., Yoshida, R., 2016. An Introduction to Himawari-8/9—Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites. Journal of the Meteorological Society of Japan 94, 151–183. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2016-009>
- Bringi, V.N., Mishra, K.V., Thurai, M. (Eds.), 2024. Advances in weather radar: volume 1: precipitation sensing platforms, Radar, Sonar and Navigation Series. The Institution of Engineering and Technology, Hertfordshire.
- Chaudhari, H.S., Sawaisarje, G.K., Ranalkar, M.R., Sen, P.N., 2010. Thunderstorms over a tropical Indian station, Minicoy: Role of vertical wind shear. J Earth Syst Sci 119, 603–615. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0044-3>

- Diniyati, E., Syofyan, D.Q., Mulya, A., 2021. Pemanfaatan Satelit Himawari-8 dengan Metode NWP dan RGB untuk Menganalisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir di Sidoarjo Tanggal 28 Mei 2020. *JPIG* 6, 1–14. <https://doi.org/10.21067/jpig.v6i1.5252>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., De Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut, J., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quart J Royal Meteor Soc* 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Ismanto, H., Mahron, H.N., 2023. Analisis Angin Kencang dari Awan Cumulonimbus Dengan Wrf-Arw: Studi Kasus Daerah Istimewa Yogyakarta Februari 2020.
- Kumar, S., Bhat, G.S., 2016. Vertical Profiles of Radar Reflectivity Factor in Intense Convective Clouds in the Tropics. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 55, 1277–1286. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0110.1>
- Liu, C., Zipser, E.J., Nesbitt, S.W., 2007. Global Distribution of Tropical Deep Convection: Different Perspectives from TRMM Infrared and Radar Data. *Journal of Climate* 20, 489–503. <https://doi.org/10.1175/JCLI4023.1>
- Mulya, A., Maulana, R.F., 2022. Karakteristik Quasi-Linear Convective System Menggunakan Radar Cuaca di Pontianak Tahun 2019. *JFU* 11, 104–112. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.1.104-112.2022>
- Muzaki, N.H., Diniyati, E., Pratama, R.R., Mulya, A., 2021. Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat dan Angin Kencang di Probolinggo Berdasarkan Citra Satelit dan Citra Radar. *JlIF* 5, 142–156. <https://doi.org/10.24198/jiif.v5i2.31333>
- OKTAVIA, V., 2020. Satu Warga Tulang Bawang Meninggal, Puluhan Rumah Rusak. <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2020/05/20/satu-warga-tulang-bawang-meninggal-puluhan-rumah-rusak>.
- Pratama, M.J., Mulya, A., 2022. Pemanfaatan Data Citra Satelit Himawari-8 untuk Menganalisis Kejadian Hujan Es dan Kejadian Angin Puting Beliung (Studi Kasus : Jangkat, Kabupaten Merangin dan Bencah, Kabupaten Bangka Selatan). *JTS* 1, 111–120. <https://doi.org/10.51135/jts.v1i02.22>
- Purwanti, S.D., Weyai, S.L., Haryanto, Y.D., Mulya, A., 2023. Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat di Sintang Menggunakan Satelit Cuaca dan Model ECMWF (Kasus: 30 September 2021). *JPIG* 8, 63–74. <https://doi.org/10.21067/jpig.v8i1.8141>
- Rauber, R.M., Nesbitt, S.W., 2018. Radar meteorology: a first course, First edition. ed, Advancing weather and climate science series. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Sawal, M., Siregar, D.A., Hutabarat, Y.H.M., 2025. Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Angin Puting Beliung Tanjung Balai Karimun (Studi Kasus: 14 Mei 2024). *Bulletin of Meteorology, Climatology, Air Quality, Geophysics, and Environment* 15, 38–48. <https://doi.org/10.46824/megasains.v15i2.237>
- Shimizu, A., 2020. Introduction to Himawari-8 RGB composite imagery. *Meteorological Satellite Center Technical Note* 65, 42.
- Steiner, M., Houze, R.A., Yuter, S.E., 1995. Climatological Characterization of Three-Dimensional Storm Structure from Operational Radar and Rain Gauge Data. *J. Appl. Meteor.* 34, 1978–2007. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1995\)034%3C1978:CCOTDS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1995)034%3C1978:CCOTDS%3E2.0.CO;2)
- Sucahyono, D., Ribudiyanto, K., 2013. Cuaca dan iklim ekstrim di Indonesia. Penerbit Puslitbang, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Tan, S.-Y., 2014. Meteorological satellite systems, Springer briefs in space development. Springer, New York, NY Heidelberg.
- Yasuhiko, S., Hiroshi, S., Takahito, I., Akira, S., 2017. Convective Cloud Information derived from Himawari-8 data.