



Studi Profil Awan Konvektif Penyebab Hujan Es Di Jakarta Dengan Menggunakan Radar Cuaca (Studi Kasus Hujan Es Di Jakarta 17 Desember 2022)



Haryadi ^{1,*}, Richard Mahendra Putra ², Pujo Widodo ¹

¹ Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Jakarta

² Pusat Meteorologi Penerbangan BMKG, Jakarta

*Email: haryadiwadas@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.8.2.210-216>

ABSTRACT

On December 17th 2022 there was hail in the Jakarta area. This phenomenon is unique and rarely occurs in the Equator region. This research was carried out by analyzing the profile of the convective clouds that produce hail using weather radar data. Data analysis was carried out by looking at factors from global, regional and local atmospheric conditions that caused the convective system to occur in Jakarta on that date. Then analyze the convective cloud structure that causes hail and estimate the probability of hail events based on ZHAIL products from weather radar. The hail that occurred in Jakarta was caused by convective clouds which occurred due to fairly unstable atmospheric conditions and was supported by weather factors on a global and regional scale. This results in the formation of cumulonimbus clouds with a strong updraft mechanism, characterized by the presence of a weak echo region (WER) and overhang echo (OE) during the cloud growth phase. Then, in the mature phase, the ice particles contained in the cumulonimbus cloud are quite large as indicated by the three body scatter spike (TBSS) pattern. The ZHAIL product shows that there is a chance of hail that is detected since the growth phase of the convective cloud and this condition consistently persists until just before the convective cloud produces hail. When hail occurs, the probability value of the hail event based on the ZHAIL product in this case study actually decreases and disappears in the radar image at a later time.

Keywords: *hail; weather radar; convective cloud.*

ABSTRAK

Pada 17 Desember 2022 terjadi hujan es di wilayah Jakarta. Fenomena ini tergolong unik dan jarang terjadi di wilayah Equator. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis profil dari awan konvektif yang menghasilkan hujan es tersebut dengan menggunakan data radar cuaca. Dalam analisis data dilakukan dengan melihat faktor dari kondisi atmosfer secara global, regional, hingga lokal yang menyebabkan terjadinya sistem konvektif di Jakarta pada tanggal tersebut. Kemudian analisis dari struktur awan konvektif penyebab hujan es serta estimasi dari peluang kejadian hujan es berdasarkan produk ZHAIL dari radar cuaca. Hujan es yang terjadi di Jakarta disebabkan oleh adanya awan konvektif yang terjadi akibat kondisi atmosfer yang cukup labil dan didukung oleh faktor cuaca skala global maupun regional. Hal tersebut mengakibatkan terbentuknya awan cumulonimbus dengan mekanisme updraft yang kuat, ditandai dengan adanya weak echo region (WER) dan overhang echo (OE) ketika fase pertumbuhan awan. Kemudian pada fase matang, partikel es yang terkandung di dalam awan cumulonimbus berukuran cukup besar yang ditunjukkan oleh pola three body scatter spike (TBSS). Produk ZHAIL menunjukkan adanya peluang terjadinya hujan es yang terdeteksi sejak fase pertumbuhan awan konvektif dan kondisi tersebut konsisten bertahan hingga menjelang awan konvektif tersebut menghasilkan hujan es. Ketika hujan es terjadi, nilai peluang dari kejadian hujan es berdasarkan produk ZHAIL pada studi kasus ini justru menurun dan hilang di citra radar di waktu selanjutnya.

Kata kunci: hujan es, radar cuaca, awan konvektif.

PENDAHULUAN

Hujan es merupakan fenomena meteorologis yang terjadi ketika butiran es jatuh dari awan ke permukaan bumi. Fenomena ini jarang terjadi di wilayah tropis seperti Indonesia, namun dapat menyebabkan kerusakan signifikan terhadap infrastruktur dan juga berbahaya bagi masyarakat yang beraktivitas di luar ruangan. Salah satu kejadian hujan es yang menarik perhatian adalah hujan es di Jakarta pada 17 Desember 2022.

Kejadian hujan es biasanya dipicu oleh pola konvektivitas atmosfer dalam skala lokal, yang ditandai dengan pembentukan awan konvektif yang kuat. Awan konvektif ini terbentuk akibat adanya pemanasan yang intens di permukaan bumi yang menyebabkan udara hangat naik ke atmosfer, membawa uap air yang kemudian mengkondensasi dan membentuk awan. Proses ini dapat diidentifikasi dan dipelajari lebih lanjut menggunakan radar cuaca doppler (DWR) yang mampu memberikan data tentang struktur dan dinamika awan.

Dalam proses pembentukan hujan es, gerakan massa udara ke atas (*updraft*) yang kuat dari awan Cumulonimbus bersel tunggal (*single cell*) ataupun ganda (*multicell*) yang terbentuk di dekat permukaan bumi. Selain itu juga dipengaruhi oleh ketinggian *freezing level* yang rendah sehingga partikel es yang berukuran besar tidak memiliki waktu untuk cukup untuk berubah menjadi tetes air sebelum jatuh ke permukaan tanah (Lutgens & Tarbuck, 2013). Meskipun Indonesia merupakan area tropis yang memiliki ketinggian *freezing level* yang lebih tinggi dari wilayah lintang tinggi, namun kejadian hujan es tetap dapat terjadi apabila ukuran partikel es sangat besar sehingga akan tetap berbentuk partikel es meskipun mengalami gesekan di dalam awan (Paski et al., 2017).

Beberapa penelitian tentang hujan es sudah pernah dilakukan sebelumnya seperti penggunaan metode *Severe Hail Index* untuk mendeteksi kejadian hujan es (Witt, 1998) Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode SHI cukup baik dalam mendeteksi potensi terjadinya hujan es. Namun, metode tersebut masih perlu dilakukan pengkajian

kembali berdasarkan studi kasus yang lebih banyak sehingga bisa benar-benar diketahui performanya. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengkaji profil awan konvektif penyebab hujan es di Jakarta dengan menggunakan radar cuaca di Tangerang. Selain itu juga menganalisis data radar cuaca pada saat kejadian hujan es pada 17 Desember 2022. Studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme pembentukan hujan es dan membantu dalam pengembangan sistem peringatan dini yang lebih efektif.

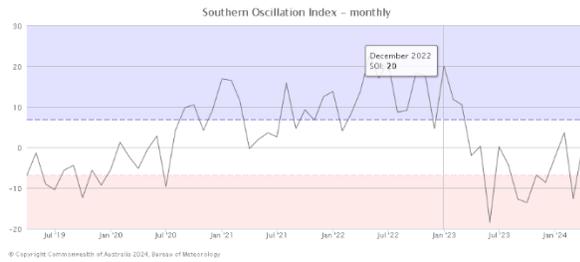
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan radar cuaca doppler yang digunakan untuk melakukan pengamatan atmosfer di sekitar Jakarta. Penempatan radar cuaca ini diletakan di Tangerang. Secara umum metode yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan analisis terlebih dahulu kondisi atmosfer secara global, regional, dan lokal di wilayah Jakarta pada saat kejadian hujan es. Selanjutnya dilakukan analisis fisis dari proses terbentuknya awan konvektif penyebab hujan es dengan menggunakan data citra radar cuaca seperti produk reflektivitas maksimum baik secara horizontal ataupun vertikal. Selanjutnya melakukan analisis berdasarkan pola-pola yang terlihat di citra radar saat tahap pertumbuhan, saat kejadian hujan es, dan saat setelah kejadian hujan es. Selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan produk turunan ZHAIL dari citra radar cuaca untuk melihat potensi kejadian hujan es yang dapat terjadi di Jakarta pada tanggal 17 Desember 2022 (Muaya, 2019)

HASIL DAN PEMBAHASAN

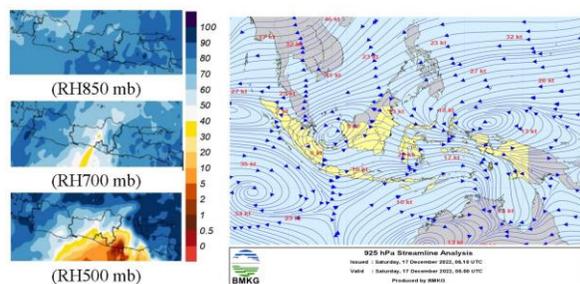
Untuk menjelaskan fenomena hujan es yang terjadi pada tanggal 17 Desember 2022 di Jakarta, penting untuk diketahui faktor apa yang mendukung terjadinya hal tersebut. Pengamatan kondisi atmosfer pada skala global, regional, dan lokal dilakukan dalam analisis penelitian ini. Berdasarkan hasil indeks ENSO pada situs Bureau of Meteorology (BOM) Australia, menunjukkan bahwa nilai SOI (Southern Oscillation Index) pada nilai +20 yang mengindikasikan masih adanya dorongan massa udara dari Samudera Pasifik Equator menuju

wilayah Indonesia, kondisi ini terjadi sejak awal tahun 2022. Hal ini dapat mendukung adanya



Gambar 1. Index SOI bulanan berdasarkan analisa dari BOM Australia (<http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi/>)

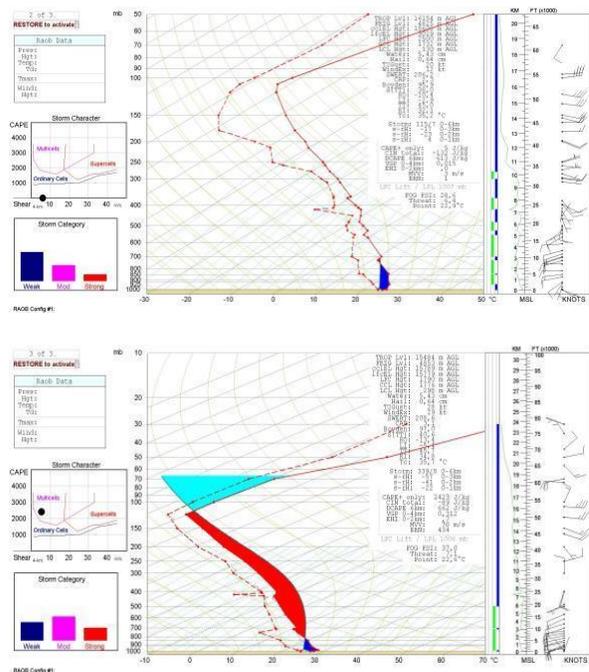
peningkatan jumlah uap air di wilayah Indonesia Selain faktor skala global yang mendukung terjadinya pertumbuhan awan di wilayah Indonesia, pada tanggal 17 Desember 2022 terlihat adanya nilai kelembaban udara yang cukup tinggi pada jam 00.00 UTC di ketinggian lapisan 850 mb, 700 mb, hingga 500 mb untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya. Selain itu juga terdapat pola siklonik di antara pulau Sumatera dan Kalimantan yang mengakibatkan adanya belokan angin terutama di wilayah DKI Jakarta. Hal tersebut dapat meningkatkan adanya potensi pertumbuhan awan di wilayah DKI Jakarta pada pagi hingga siang hari.



Gambar 2. Kondisi atmosfer regional

Selain analisis skala global dan regional, dilakukan juga analisis skala lokal dengan menggunakan data pengamatan udara atas Radiosonde. Hasil analisis radiosonde ditampilkan dalam gambar 3. Data radiosonde pada jam 00.00 UTC menunjukkan bahwa kondisi atmosfer tidak terlalu labil dilihat dari nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) yang sangat kecil, selain itu juga karakter badai yang dapat dihasilkan berdasarkan

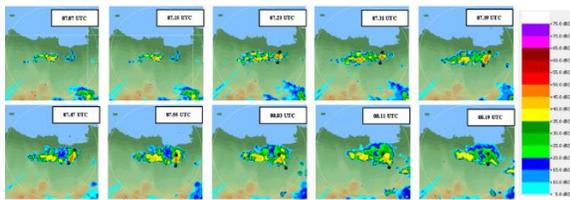
kondisi atmosfer saat itu termasuk kondisi yang Lemah. Namun ketika melihat indeks LI (Lifted Index), kondisi LI pada jam 00.00 UTC memiliki nilai -2.9 yang artinya ada potensi kenaikan parcel udara ke atmosfer sehingga bersifat labil lemah. Kondisi atmosfer berdasarkan data radiosonde pada jam 00.00 UTC tidak selalu menunjukkan hasil yang serupa sepanjang waktu. Dikarenakan periode pengamatan yang dilakukan setiap 12 jam, maka analisis juga dilakukan dengan menggunakan data radiosonde pada jam 12.00 UTC untuk melihat apakah ada perubahan dari karakteristik labilitas atmosfer sepanjang waktu. Berdasarkan hasil analisis data pada malam hari (12.00 UTC), kondisi atmosfer di sekitar Jakarta terjadi perubahan yang cukup drastis menjadi bersifat labil. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) yang tinggi mencapai 2423 J/kg yang artinya dalam waktu pagi hingga malam, terjadi perubahan karakteristik atmosfer yang awalnya stabil menjadi sangat labil. Hal tersebut juga didukung dengan nilai LI (Lifted Index) yang rendah mencapai -5.9 yang artinya kondisi atmosfer mencapai titik labil dan berpotensi besar untuk terbentuk awan-awan jenis konvektif.



Gambar 3. Pengamatan Radiosonde jam 00.00 UTC (atas) dan 12.00 UTC (bawah)

Analisis Data Reflektivitas Polarisasi Tunggal

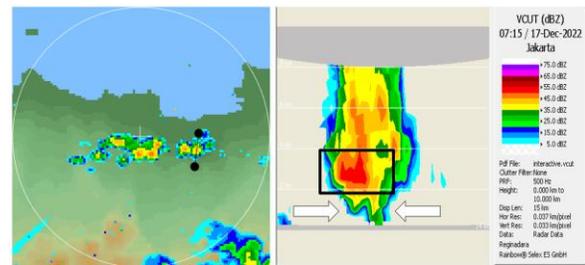
Kondisi awan yang dapat menghasilkan kejadian hujan es (hail) merupakan awan yang berjenis konvektif, yaitu cumulonimbus. Proses terbentuknya awan ini diawali dengan adanya inisiasi pertumbuhan awan konvektif dengan ditandai adanya updraft (aliran udara naik). Pengamatan dengan radar cuaca dapat digunakan untuk melihat proses inisiasi awan konvektif yang dimaksudkan secara realtime dan continuous berdasarkan scanning strategi dari radar cuaca. Pertumbuhan inisiasi awan pada kasus kejadian hujan es di Jakarta tanggal 17 Desember 2022 terjadi pada pukul 07.07 UTC ditandai dengan adanya echo yang signifikan berdasarkan nilai produk CMAX dari radar cuaca yang memiliki nilai reflektivitas 15 - 20 dBZ (Gambar 4).



Gambar 4. Nilai reflektivitas awan konvektif sejak fase pertumbuhan hingga fase peluruhan

Fase pertumbuhan awan dicirikan dengan proses aliran udara naik (updraft) yang terjadi didalam awan. Area dengan nilai reflektivitas maksimum yang terdapat didalam awan dinamakan sel (cell), di sekitar area inilah proses updraft terjadi (Bluestein, 2013). Selain itu, ketika dilihat dari struktur vertikal awan yang terbentuk pada jam 07.15 UTC (8 menit setelah inisiasi), terdapat pola echo berupa weak echo region (WER) yang mengindikasikan fase pertumbuhan dari awan konvektif. Mekanisme updraft dengan intensitas kuat dapat dideteksi oleh radar cuaca berdasarkan pola weak echo region (WER) dan overhang echo (OE). Pola WER dapat dilihat dari produk cross section pengamatan radar pada jam 07.15 UTC.

Karakteristik dari pola WER ditandai dengan nilai reflektivitas yang rendah di sisi bagian bawah aliran udara masuk (inflow) serta untuk bagian atasnya memiliki nilai reflektivitas yang tinggi (Browning, 1965; Marwitz, 1972). Pola ini terjadi akibat dari nilai udara naik (updraft) yang kuat sehingga membawa tetes hujan ke lapisan tengah awan dan membuat terjadinya peningkatan ukuran dan jumlah partikel di awan. Hal tersebut juga menyebabkan pola OE yang merupakan area dengan nilai reflektivitas yang tinggi diatas area WER (Shi et al., 2019) Fenomena inisiasi ini dapat terdeteksi dengan baik menggunakan pengamatan radar cuaca (Borland, 1977).

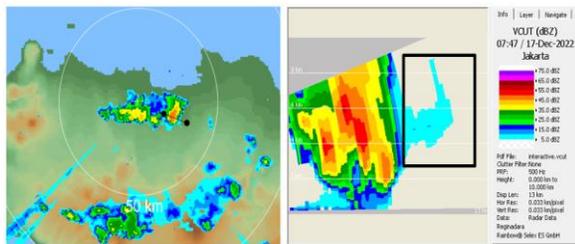


Gambar 5. Reflektivitas maksimum fase inisiasi awan pada pukul 07.15 UTC (a) tampilan horizontal, dan (b) tampilan vertikal cross-section. Garis hitam pada gambar a merupakan penanda lokasi cross-section yang diambil dan gambar b lingkaran hitam merupakan penanda WER dan arah panah merupakan aliran udara yang masuk ke dalam awan (inflow) dan kotak hitam merupakan penanda OE.

Dalam pembentukan partikel es yang terjadi di dalam awan, mekanisme yang penting dalam proses tersebut adalah adanya updraft yang membawa partikel hidrometeor ke atas lapisan melting layer sehingga terbentuklah inti dari es dan tumbuh ketika air superdingin (supercooled water) membeku. Ketika updraft cukup kuat dengan durasi yang lama, maka ukuran dari es (hail) akan menjadi lebih besar. Ketika awan sudah tidak mampu menahan partikel hail tersebut maka es akan jatuh dan menghasilkan hujan es (Grant & van den Heever,

2014). Ketika hujan es terjadi dan memiliki ukuran yang cukup besar, maka peristiwa tersebut akan terdeteksi oleh pengamatan dari Radar Cuaca.

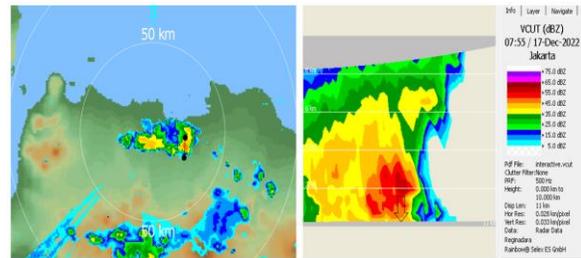
Fase pertumbuhan awan konvektif mencapai tahap matang terjadi pukul 07.47 UTC yang ditunjukkan dengan adanya nilai reflektivitas tertinggi dibandingkan dengan waktu sebelumnya. Berdasarkan citra penampang horizontal (cross section) dari pengamatan citra radar cuaca di Gambar 6, menunjukkan bahwa nilai maksimum reflektivitas mencapai >55 dBZ. Berdasarkan literatur sebelumnya, ambang batas dalam kejadian hujan es pada pengamatan radar cuaca adalah melebihi nilai 55 dBZ (Mason, 1971). Selain itu, pada pukul 07.47 UTC juga terlihat adanya pola hail spike atau biasa dikenal dengan three body scatter spike (TBSS) yang terlihat pada tampilan kotak merah dalam citra cross section radar cuaca.



Gambar 6. Reflektivitas maksimum saat awan konvektif berada di fase matang ditandai dengan pola TBSS yang menunjukkan adanya partikel es yang cukup besar di dalam awan.

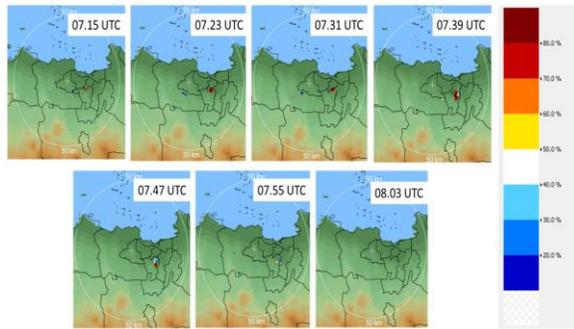
Partikel es yang di dalam awan kemudian turun menjadi presipitasi dalam bentuk es akibat dari ukuran yang besar sehingga awan tidak mampu lagi menahannya. Pada proses turunnya partikel es ke permukaan, nilai reflektivitas tinggi terlihat pada ketinggian dibawah 2 km pada pukul 07.55 UTC. Pada waktu tersebut, citra radar cuaca menunjukkan adanya presipitasi yang terjadi hingga ke permukaan tanah dengan nilai reflektivitas yang beragam dari 25 s.d. 55 dBZ. Berdasarkan nilai

reflektivitas tersebut, dapat dilihat adanya partikel dengan ukuran yang cukup besar berada di ketinggian yang rendah hingga mendekati permukaan bumi. Hal tersebut dapat merupakan indikasi bahwa presipitasi yang terjadi mencapai permukaan bumi masih dalam bentuk partikel es.



Gambar 7. Nilai reflektivitas maksimum saat awan konvektif berada di fase jatuhnya presipitasi berupa hujan es yang ditandai dengan nilai reflektivitas tinggi di ketinggian yang rendah.

Dalam melakukan pemantauan kejadian hujan es dengan menggunakan Metode Waldvogel yang divisualisasikan dengan produk ZHAIL juga dapat digunakan sebagai indikasi adanya potensi kejadian hujan es di suatu tempat (Prasetyo et al., 2022). Gambar 8 menunjukkan produk ZHAIL yang diamati sejak fase pertumbuhan dari sel awan konvektif yang menghasilkan hujan es pada tanggal 17 Desember 2022. Berdasarkan hasil produk ZHAIL menunjukkan bahwa sejak fase inisiasi pada pukul 07.15 UTC, peluang terjadinya hujan es di area Jakarta memiliki nilai probability yang tinggi. Hal tersebut konsisten hingga pukul 07.47 UTC yang merupakan fase matang. Namun saat proses hujan es terjadi pada pukul 07.55 UTC, produk ZHAIL menunjukkan probability yang lebih kecil, hal tersebut menunjukkan bahwa sinyal hujan es dapat dilihat dengan produk ini sebelum kejadian. Namun secara umum produk ini cenderung overestimate karena peluang kejadian hujan es sudah terdeteksi sejak fase pertumbuhan dimana pada fase ini partikel es yang terkandung masih sedikit.



Gambar 8. Produk ZHAIL pada tanggal 17 Desember 2022 pukul 17.15 – 08.03 UTC

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dalam studi ini, terdapat beberapa hal yang menarik tentang pemanfaatan citra radar cuaca di Jakarta untuk kejadian Hujan es di Jakarta pada tanggal 17 Desember 2022. Hujan es yang terjadi di Jakarta disebabkan oleh adanya awan konvektif yang terjadi akibat kondisi atmosfer yang cukup labil dan didukung oleh faktor cuaca skala global maupun regional. Hal tersebut mengakibatkan terbentuknya awan cumulonimbus dengan mekanisme updraft yang kuat, ditandai dengan adanya weak echo region (WER) dan overhang echo (OE) ketika fase pertumbuhan awan pada pukul 07.15 UTC. Kemudian pada fase matang, partikel es yang terkandung di dalam awan cumulonimbus berukuran cukup besar yang ditunjukkan oleh pola three body scatter spike (TBSS) pada pukul 07.47 UTC. Kemudian pada saat terjadi hujan es, radar cuaca dapat menangkap pola echo dengan nilai reflektivitas yang tinggi di ketinggian dibawah 2 km yang menunjukkan potensi kejadian presipitasi yang jatuh ke permukaan masih berbentuk es, sehingga terjadi hujan es. Kemudian dengan menggunakan produk ZHAIL berdasarkan metode Waldvogel, peluang terjadinya hujan es terdeteksi sejak fase pertumbuhan awan konvektif dan konsisten bertahan hingga menjelang awan konvektif tersebut menghasilkan hujan es. Ketika hujan es terjadi, nilai peluang dari kejadian hujan es berdasarkan produk ZHAIL pada studi kasus ini justru menurun dan hilang di citra radar di waktu selanjutnya.

Penelitian ini menunjukkan pentingnya penggunaan radar cuaca dalam mendeteksi dan

memprediksi kejadian hujan es, terutama di wilayah tropis yang peluang terjadinya hujan es memiliki kecenderungan meningkat yang diakibatkan perubahan iklim. Deteksi dini menggunakan radar cuaca dapat memberikan informasi yang berguna untuk mitigasi bencana dan peringatan dini kepada masyarakat serta pihak terkait, seperti pemerintah daerah dan lembaga penanggulangan bencana. Studi lanjutan diperlukan untuk mengkaji kejadian hujan es di berbagai wilayah tropis lainnya guna memahami variasi pola, peluang kejadian, tipe hujan es berdasarkan wilayah topografi serta karakteristik awan konvektif yang menyebabkan hujan es.

DAFTAR PUSTAKA

- Bluestein, H. B. (2013). Ordinary-cell convective storms. In H. B. Bluestein (Ed.), *Severe convective storms and tornadoes: Observations and dynamics* (pp. 95–164). Springer.
- Borland, S. W., Browning, K. A., Changnon, S. A., Cooper, W. A., Danielsen, E. F., Dennis, A. S. & Browning, K. A. (1977). The structure and mechanisms of hailstorms. In S. A. Changnon (Ed.), *Hail: A review of hail science and hail suppression* (pp. 1–47). Springer.
- Browning, K. A. (1965). Some inferences about the updraft within a severe local storm. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 22(6), 669-677.
- Grant, L. D., & Van Den Heever, S. C. (2014). Microphysical and dynamical characteristics of low-precipitation and classic supercells. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71(7), 2604-2624.
- Marwitz, J. D. (1972). The structure and motion of severe hailstorms. Part I: Supercell storms. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 11(1), 166-179.
- Mason, B. J. (1972). The Bakerian Lecture, 1971. The physics of the thunderstorm. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 327(1571), 433-466.
- Muaya, M., Khoirunnisa, A., Fadillah, R. U. N., Wardoyo, E., & Sari, F. P. (2019). Modifikasi Metode Waldvogel Berdasarkan Identifikasi Karakteristik Hujan Es Yang Dikelompokkan Berdasarkan Jarak Cakupan

- Radar Cuaca Pada Radar Cuaca Jakarta Tahun 2010-2019. In *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)* (Vol. 4, pp. 69-81).
- Paski, J. A. I., Permana, D. S., Sepriando, A., & Pertiwi, D. A. S. (2017). Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Es Memanfaatkan Citra Radar dan Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Tanggal 3 Mei 2017 di Kota Bandung). In *Okt* (Vol. 4, pp. 69-81).
- Prasetyo, S., Abdilah, S., Nugraheni, I. R., & Sagita, N. (2022). Studi Awan Konvektif Penyebab Hujan Es Menggunakan Radar Cuaca Doppler Single Polarization di Bogor (23 September 2020). *Jurnal Aplikasi Meteorologi*, 1(1), 32-42.
- Shi, J., Wang, P., Wang, D., & Jia, H. (2019). Radar-based automatic identification and quantification of weak echo regions for hail nowcasting. *Atmosphere*, 10(6), 325.
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (1979). *The atmosphere: An introduction to meteorology*. Prentice Hall.
- Witt, A., Eilts, M. D., Stumpf, G. J., Johnson, J. T., Mitchell, E. D. W., & Thomas, K. W. (1998). An enhanced hail detection algorithm for the WSR-88D. *Weather and Forecasting*, 13(2), 286-303.