EVALUASI PENGARUH ASIMILASI DATA SATELIT TERHADAP SIMULASI HUJAN ES MENGGUNAKAN WRF-HAILCAST (STUDI KASUS HUJAN ES YOGYAKARTA, 11 MARET 2025)

Krisna Dwi Oktabrian*, Adi Mulsandi, Ahmad Fadlan, Aditya Mulya
Prodi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, 15119, Indonesia
*email: kkdoo323@gmail.com

ABSTRAK

Hujan es merupakan fenomena cuaca ekstrem yang dipengaruhi oleh proses konvektif dan mikrofisika awan yang kompleks. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh asimilasi data satelit menggunakan WRF-DA 3DVAR terhadap simulasi hujan es dengan WRF-HAILCAST pada kejadian hujan es Yogyakarta tanggal 11 Maret 2025. Dua eksperimen dilakukan, yaitu tanpa asimilasi (NODA) dan dengan asimilasi data satelit (DAST). Hasil menunjukkan bahwa asimilasi data satelit meningkatkan pembentukan hidrometeor fase es, ditandai dengan konsentrasi cloud water lebih dari 0,06 g/kg, kristal es lebih dari 0,014 g/kg, dan graupel mencapai 0,175 g/kg. Kedua eksperimen menghasilkan estimasi diameter hujan es 10–30 mm dengan diameter maksimum sekitar 25–30 mm. Meskipun tidak meningkatkan diameter maksimum, DAST mampu merepresentasikan lokasi pembentukan hujan es lebih mendekati distribusi ZHAIL radar. Selain itu, nilai koefisien korelasi reflektivitas meningkat dari 0,48 menjadi 0,56, menunjukkan bahwa asimilasi data satelit meningkatkan representasi struktur badai dan lokasi kejadian hujan es.

Kata Kunci: *WRF-HAILCAST; Asimilasi data satelit; WRF-DA 3DVAR; Hujan es; Reflektivitas radar*

ABSTRACT

[Title: Evaluation of the Impact of Satellite Data Assimilation on Hail Simulation Using WRF-HAILCAST (A Case Study of the Yogyakarta Hailstorm on 11 March 2025)] *Hail is a severe weather phenomenon influenced by complex convective processes and cloud microphysics. This study evaluates the impact of satellite data assimilation using WRF-DA 3DVAR on hail simulations with WRF-HAILCAST for the Yogyakarta hail event on 11 March 2025. Two experiments were conducted: a control simulation without data assimilation (NODA) and a simulation with satellite data assimilation (DAST). The results show that satellite data assimilation enhanced the formation of ice-phase hydrometeors, as indicated by cloud water concentrations exceeding 0.06 g kg⁻¹, ice concentrations exceeding 0.014 g kg⁻¹, and graupel concentrations reaching 0.175 g kg⁻¹. Both experiments produced estimated hail diameters ranging from 10 to 30 mm, with maximum diameters of approximately 25–30 mm. Although satellite data assimilation did not increase the maximum hail diameter, the DAST experiment produced a spatial distribution of hail occurrence that more closely matched the radar-derived ZHAIL product. In addition, the reflectivity correlation coefficient increased from 0.48 to 0.56, indicating that satellite data assimilation improved the representation of storm structure and hail occurrence.*

Keywords: *WRF-HAILCAST; Satellite data assimilation; WRF-DA 3DVAR; Hail, Radar reflectivity.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan curah hujan yang relatif tinggi karena menerima energi panas matahari secara stabil sebagai wilayah ekuator (Afif dan Martin, 2022). Kondisi tersebut mendukung pembentukan awan konvektif yang pada kondisi tertentu dapat berkembang menjadi fenomena cuaca ekstrem, salah satunya hujan es (Wicaksono dkk., 2019). Hujan es merupakan presipitasi berupa bola atau serpihan es berdiameter sekitar 5–50 mm (Byers, 1974) yang berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan, tanaman, serta mengganggu aktivitas transportasi (Qin dkk., 2017). Berdasarkan Portal Informasi Kejadian Cuaca Ekstrem (PIKACU) BMKG, selama enam tahun terakhir tercatat 197 kejadian hujan es di Indonesia. Salah satu kejadian terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta pada 11 Maret 2025 dengan curah hujan mencapai 74 mm/hari dan reflektivitas radar maksimum sekitar 60 dBZ yang menunjukkan berkembangnya sistem konvektif intens (Rayhan Rafi dkk., 2025).

Untuk memahami proses pembentukan hujan es, diperlukan informasi mengenai dinamika atmosfer dan proses mikrofisika awan. Radar cuaca mampu menggambarkan struktur dan evolusi sistem konvektif serta mengidentifikasi hidrometeor (Ardiansyah, 2022; Prasetyo dkk.), namun tidak dapat mengukur secara langsung parameter termodinamika atmosfer seperti suhu dan kelembapan (Saltikoff dkk., 2019). Oleh karena itu, model cuaca numerik diperlukan untuk merepresentasikan kondisi atmosfer secara tiga dimensi beserta proses fisik yang berperan dalam pembentukan hujan es (Anggi Dewita dkk.).

Salah satu model yang banyak digunakan adalah Weather Research and Forecasting (WRF), yang mampu mensimulasikan fenomena cuaca beresolusi tinggi (Powers dkk., 2017). Dengan modul HAILCAST, WRF dapat mensimulasikan pertumbuhan partikel hujan es berdasarkan proses mikrofisika awan (Brimelow dkk., 2002). Meskipun demikian, penelitian Maulana dan Kristianto (2024) menunjukkan bahwa WRF-HAILCAST masih cenderung *underestimate* dalam mensimulasikan kejadian hujan es. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas simulasi adalah melalui WRF Data Assimilation (WRF-DA), yaitu teknik yang menggabungkan data observasi dengan keluaran Numerical Weather Prediction (NWP) untuk menghasilkan kondisi awal atmosfer yang lebih akurat.

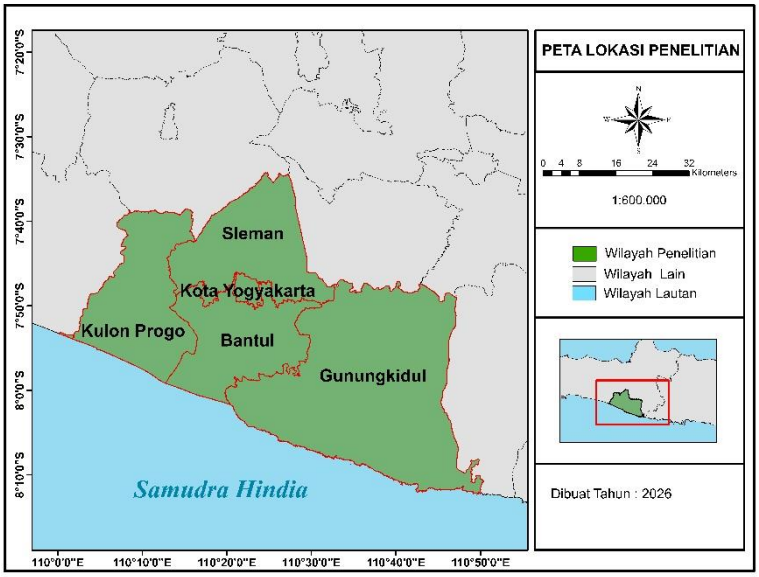
Di antara berbagai sumber observasi, data satelit memiliki cakupan wilayah yang luas dan kontinuitas pengamatan yang tinggi. Penelitian yang dilakukan Kabir dkk. menunjukkan bahwa asimilasi data satelit mampu meningkatkan performa WRF dalam mensimulasikan hujan es. Namun, kajian mengenai pengaruh asimilasi data satelit terhadap simulasi hujan es menggunakan WRF-HAILCAST di Indonesia masih terbatas, khususnya dalam mengevaluasi perubahan representasi struktur badai, karakteristik hidrometeor, dan distribusi hujan es. Penelitian ini penting untuk memahami mekanisme pembentukan hujan es serta menilai sejauh mana asimilasi data satelit mampu meningkatkan kualitas simulasi model terhadap kondisi atmosfer yang sebenarnya. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan simulasi hujan es yang lebih akurat untuk mendukung analisis dan prakiraan cuaca ekstrem di Indonesia.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh asimilasi data satelit terhadap simulasi hujan es menggunakan WRF-HAILCAST pada kejadian hujan es Yogyakarta tanggal 11 Maret 2025. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan simulasi tanpa asimilasi dan simulasi dengan asimilasi data satelit berdasarkan representasi evolusi reflektivitas, karakteristik hidrometeor, dan distribusi hujan es.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat 110°00'00"–110°50'00" BT dan 7°35'00"–8°12'00" LS. Adapun lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1. Wilayah tersebut dipilih karena merupakan lokasi terjadinya fenomena hujan es pada 11 Maret 2025. Berdasarkan



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

laporan kejadian, hujan es terjadi pada pukul 15.00 WIB (08.00 UTC). Oleh karena itu, periode simulasi dalam penelitian ini ditetapkan pada 11 Maret 2025 pukul 00.00 UTC hingga 12 Maret 2025 pukul 00.00 UTC.

Tabel 1. Rincian Data Penelitian

Jenis Data	Sumber	Resolusi /Ekstensi	Kegunaan
NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive	(National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, 2015)	0.25 ° x 0.25 ° grib2	Data Inisial WRF
Citra Satelit HIMAWARI-9	JAXA	2 km, NetCDF	Asimilasi data
RADAR	BMKG	Volumetrik (.vol)	Verifikasi

Data

Penelitian ini menggunakan data Global Forecast System (GFS) sebagai data kondisi awal dan batas (*initial and boundary conditions*) untuk simulasi model WRF, citra satelit Himawari-9 sebagai data observasi yang diasimilasikan ke dalam WRF-DA, serta data radar cuaca BMKG sebagai data verifikasi hasil simulasi. Selain itu, digunakan data batas administrasi Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai referensi spasial dalam penyajian hasil. Rincian data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Lebih lanjut, dua skema eksperimen dirancang dalam penelitian ini, yaitu simulasi tanpa asimilasi data sebagai eksperimen kontrol (NODA) dan simulasi dengan asimilasi data satelit menggunakan sistem WRF-DA 3DVAR (DAST). Perbandingan kedua eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh asimilasi data satelit terhadap representasi evolusi sistem konvektif, karakteristik mikrofisika awan, dan distribusi spasial hujan es. Konfigurasi domain dan skema parameterisasi fisis model yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Analisis Data

Hasil keluaran WRF berupa reflektivitas radar akan digunakan untuk analisis sebab parameter reflektivitas merupakan salah satu output pengamatan yang paling mampu merepresentasikan intensitas dan struktur sistem konvektif yang berkaitan dengan pembentukan hujan es. Sehingga kelauran WRF dalam bentuk reflektivitas akan diverifikasi terhadap reflektivitas hasil pengamatan radar cuaca untuk menilai kesesuaian representasi fase evolusi sistem konvektif pada setiap tahap perkembangan badai melalui koefisien korelasi pada persamaan 1.

Tabel 2. Resolusi dan Skema Parameterisasi

Skema Parameterisasi	Domain			
	1	2	3	4
Resolusi	27 km	9 km	3 km	1 km
Spin up	6 jam	6 jam	6 jam	6 jam
Microphysics	WSM6			
Cumulus	No Cumulus			
Longwave radiation	RRTM			
Shortwave radiation	Dudhia			
Planetary Boundary Layer	YSU			
Surface	NOAH			

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})\,(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Keterangan:

x_i : Nilai reflektivitas WRF
y_i : Nilai reflektivitas RADAR
$\bar{x}$: Rata-rata reflektivitas WRF
$\bar{y}$: Rata-rata reflektivitas RADAR
n : Jumlah pasangan
i : Indeks pasangan data

Adapun tingkat performa nilai koefisien korelasi dikategorikan pada tabel berikut (Sulistiyono dkk.) :

Tabel 3. Rentang Nilai Korelasi

Korelasi	Interpretasi
±(0.9 - 1.0)	Sangat Kuat
±(0.7 – 0.9)	Kuat
±(0.5 - 0.7)	Sedang
±(0.3 – 0.5)	Lemah
±(0.0 – 0.3)	Sangat Lemah

Selain itu, analisis secara visual juga dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh asimilasi data satelit terhadap kemampuan WRF-HAILCAST dalam merepresentasikan proses pembentukan hujan es. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi tanpa asimilasi (CTRL) dan simulasi dengan asimilasi data satelit (DA-SAT). Parameter yang dianalisis meliputi distribusi dan perkembangan komponen hidrometeor, seperti *cloud water, rain water, ice, snow, graupel*, dan *hail*, serta lokasi dan waktu terbentuknya hujan es.

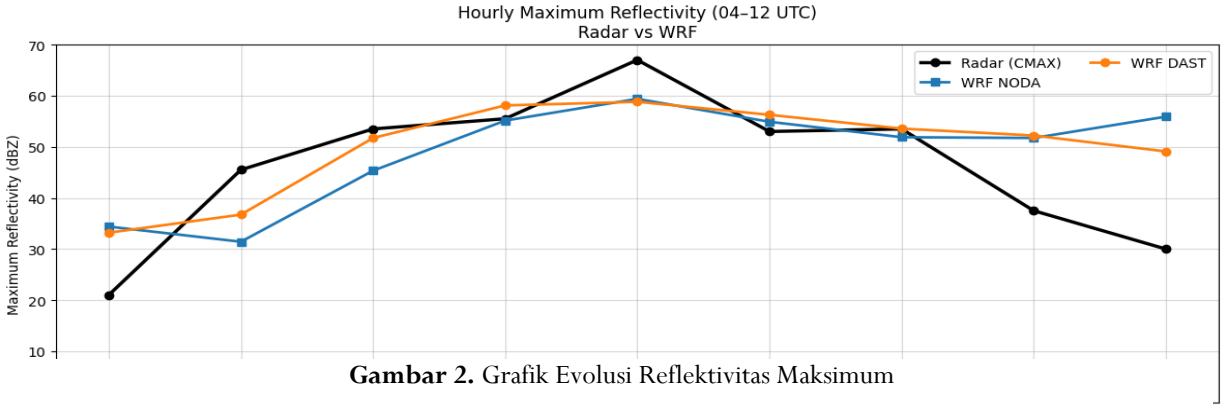
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kecocokan Fase Evolusi

Berdasarkan grafik maksimum reflectivity pada gambar 2 menunjukkan bahwa seluruh eksperimen yang dilakukan mampu mengikuti pola perkembangan reflektivitas maksimum RADAR pada tiap jamnya, namun pada jam kejadian hujan es pada pukul 08.00 UTC seluruh eksperimen belum mampu menyamai nilai reflektivitas RADAR yang mana reflektivitas yang dihasilkan pada masing masing eksperimen hanya berada pada rentang 50 hingga 60 dBZ.

Tabel 4 menunjukkan evolusi *echo* awan hasil pengamatan radar dan simulasi model pada periode 04.00–12.00 UTC. Eksperimen NODA (tanpa asimilasi) menghasilkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,49, yang termasuk dalam kategori sedang. Meskipun demikian, eksperimen NODA masih mampu merepresentasikan pola umum evolusi sistem konvektif dengan cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh kemampuannya dalam menangkap fase puncak perkembangan awan pada waktu yang sesuai dengan hasil pengamatan, yaitu sekitar pukul 08.00 UTC.

Namun, variasi intensitas reflektivitas sebelum dan sesudah fase puncak masih menunjukkan perbedaan dibandingkan hasil pengamatan radar. Sebaliknya, eksperimen DAST yang menerapkan asimilasi data satelit menghasilkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,74, yang termasuk dalam kategori kuat. Hasil ini menunjukkan bahwa asimilasi data satelit mampu meningkatkan kemampuan model dalam merepresentasikan evolusi *echo* awan. Pola perubahan intensitas reflektivitas yang dihasilkan DAST mengikuti hasil pengamatan radar dengan lebih baik, baik pada fase pertumbuhan, fase puncak, maupun fase peluruhan sistem konvektif. Selain berhasil merepresentasikan puncak reflektivitas pada



Gambar 2. Grafik Evolusi Reflektivitas Maksimum

pukul 08.00 UTC, eksperimen DAST juga mampu menggambarkan penurunan intensitas reflektivitas setelah fase puncak secara lebih konsisten dibandingkan eksperimen NODA. Hasil yang diperoleh sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lestanto dan Paski (2018) yang mana penerapan asimilasi data sebagai metode perbaikan data insial dapat memberikan peningkatan terhadap hasil simulasi.

Tabel 4. Nilai Korelasi NODA dan DAST

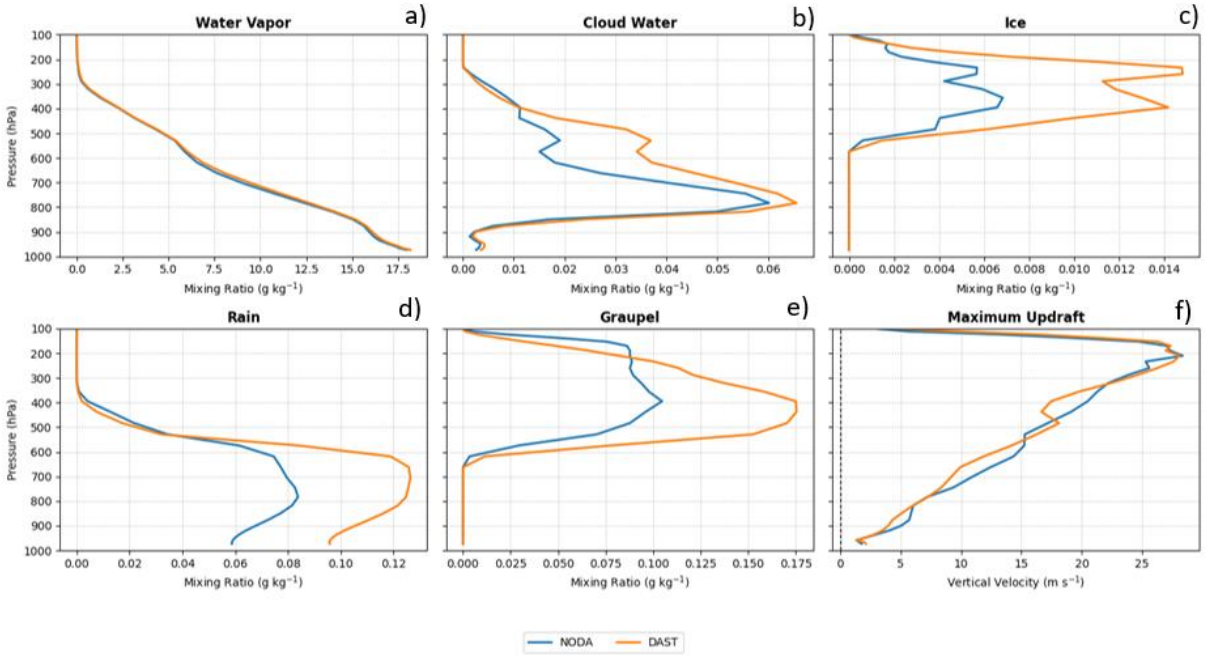
Waktu (UTC)	Nilai Reflektivitas (dBZ)		
	RADAR	NODA	DAST
04.00	21	34.4	33.2
05.00	45.5	31.4	36.7
06.00	53.5	45.3	51.7
07.00	55.5	55.1	58.1
08.00	67	59.4	58.8
09.00	53	54.9	56.3
10.00	53.5	51.9	53.6
11.00	37.5	51.7	52.2
12.00	30	55.9	49.1
Korelasi		0.49	0.74

Analisis komponen Mikrofisika Awan

Berdasarkan Gambar 3a Kedua eksperimen memiliki pola yang relatif serupa dengan konsentrasi tertinggi pada lapisan 950–850 hPa, sehingga menunjukkan ketersediaan uap air yang cukup untuk mendukung perkembangan awan konvektif. Perbedaan mulai terlihat pada Gambar 3b, di mana DAST menghasilkan konsentrasi *cloud water* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan NODA yakni lebih dari 0,06 g/kg. Kondisi ini mengindikasikan bahwa asimilasi data satelit meningkatkan proses kondensasi dan menyediakan lebih banyak *supercooled water* sebagai bahan utama pertumbuhan partikel es.

Selanjutnya, Gambar 3c menunjukkan bahwa DAST menghasilkan konsentrasi *ice* yang lebih tinggi pada lapisan 500–250 hPa mencapai lebih dari 0,014 g/kg. Peningkatan kristal es tersebut mendukung proses *riming* dan akresi sehingga menghasilkan konsentrasi graupel yang lebih besar dibandingkan NODA yakni mencapai 0,175 g/kg, sebagaimana terlihat pada Gambar 3e. Graupel merupakan tahap penting dalam pembentukan hujan es sehingga peningkatan konsentrasinya menunjukkan proses mikrofisika yang lebih aktif pada eksperimen DAST. Sementara itu, distribusi *rain water* pada Gambar 3d menunjukkan pola yang relatif serupa, meskipun DAST menghasilkan konsentrasi yang sedikit lebih tinggi pada lapisan menengah.

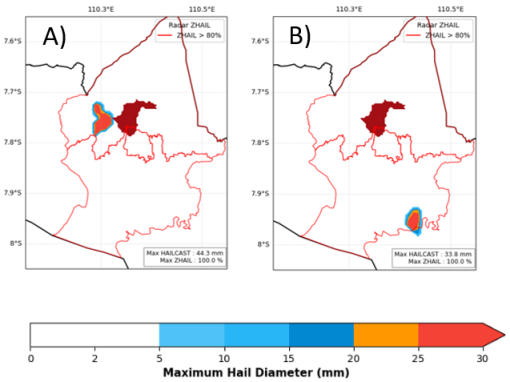
Peningkatan pembentukan hidrometeor fase es juga didukung oleh *maximum updraft* pada Gambar 3f. DAST menunjukkan arus naik yang sedikit lebih lemah dibandingkan NODA pada lapisan 300 hingga 200 mb, adanya *updraft* yang kuat mengindikasikan adanya pertumbuhan melalui proses deposisi, akresi, dan *riming*. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa asimilasi data satelit tidak



Gambar 3. Profil vertikal *mixing ratio* hidrometeor dan *maximum updraft*: (a) *Water vapour*, (b) *Cloud water*, (c) *Ice*, (d) *Rain water*, (e) *Graupel*, dan (f) *Maximum updraft*

banyak memengaruhi ketersediaan uap air, tetapi mampu meningkatkan pembentukan *cloud water*, kristal es, dan graupel. Perbaikan proses mikrofisika tersebut menjadi salah satu penyebab eksperimen DAST menghasilkan evolusi reflektivitas yang lebih sesuai dengan hasil pengamatan radar dibandingkan eksperimen NODA.

Analisis Ketepatan lokasi terjadinya Hail



Gambar 4. Pemetaan Lokasi Kejadian Hujan Es (A.DAST; B.NODA)

Gambar 4 menunjukkan hasil estimasi diameter dan lokasi hujan es berdasarkan keluaran WRF-HAILCAST yang dibandingkan dengan produk ZHAIL radar sebagai acuan verifikasi. Kedua eksperimen menghasilkan diameter hujan es pada kisaran 10–30 mm, namun dengan representasi spasial yang berbeda. Pada Gambar 4b, eksperimen NODA menghasilkan diameter maksimum sekitar 25–30 mm yang berlokasi di bagian selatan domain, sehingga kurang sesuai dengan distribusi area ZHAIL pada radar. Sebaliknya, Gambar 4a menunjukkan bahwa eksperimen DAST menghasilkan diameter maksimum yang relatif sama, tetapi lokasi pembentukan hujan es lebih berdekatan dengan area ZHAIL hasil pengamatan radar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan asimilasi data satelit tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap estimasi diameter maksimum hujan es, tetapi mampu meningkatkan representasi spasial lokasi pembentukan hujan es sehingga lebih sesuai dengan hasil observasi radar.

Lebih lanjut, melalui hasil yang diperoleh diketahui bahwa penerapan perbaikan data inisial melalui metode asimilasi menggunakan 3DVAR mampu meningkatkan performa WRF-HAILCAST dalam mensimulasikan hujan es. Hasil yang diperoleh lebih akurat jika dibandingkan penelitian dengan WRF-HAILCAST tanpa menerapkan perbaikan data inisial yang dilakukan oleh Maulana dan Kristianto (2024), sehingga melalui hal ini diketahui bahwa penerapan asimilasi data menggunakan data satelit mampu memberikan perbaikan terhadap lokasi dan ketepatan lokasi terjadinya hujan es.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan asimilasi data satelit menggunakan WRF-DA 3DVAR mampu meningkatkan kemampuan WRF-HAILCAST dalam mensimulasikan kejadian hujan es di Daerah Istimewa Yogyakarta pada 11 Maret 2025. Dibandingkan simulasi tanpa asimilasi, eksperimen DAST menghasilkan evolusi reflektivitas yang lebih sesuai dengan pengamatan radar, meningkatkan representasi proses mikrofisika melalui pembentukan *cloud water*, *ice*, dan *graupel* yang lebih optimal, serta menghasilkan lokasi hujan es yang lebih konsisten dengan produk ZHAIL radar. Dengan demikian, asimilasi data satelit terbukti meningkatkan representasi dinamika konvektif, proses pembentukan hujan es, dan ketepatan spasial.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atas dukungan berupa pemberian data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Afif, F. dan Martin, A., 2022, Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia, *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, Vol. 6, no. 1, pp 43

Anggi Dewita, Ahmad Shirat Abu Bakar, dan Khalid Dwicahyo, Pemanfaatan Wrf-Arw Untuk Simulasi Potensi Angin Sebagai Sumber Energi Di Teluk Bone, doi:https://doi.org/10.24198/jmei.v5i02.11160

Ardiansyah, D., 2022, Labilitas Atmosfer Terkait Kejadian Hujan Es (Studi Kasus Hujan Es Di Sindang Dataran Bengkulu Tanggal 25 Juni 2021), Advance Access published 2022

Brimelow, J. C., Reuter, G. W., dan Poolman, E. R., 2002, Modeling Maximum Hail Size in Alberta Thunderstorms, *Weather and Forecasting*, Vol. 17, no. 5, pp 1048–1062

Byers, H. R., 1974, *General meteorology*, McGraw-Hill, New York, NY

Kabir, A., Saba, Z., dan Meandad, J., The Assimilation of Satellite Radiance Data for Hailstorm Prediction over Bangladesh with Three-Dimensional Variational (3Dvar) WRF Model

Lestanto, A. W. dan Paski, J. A. I., 2018, UJI Performa Wrf Dengan Data Asimilasi Radar, Satelit Dan Synop Untuk Prediksi Hujan Di Jakarta, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 19, no. 1, pp 1

Maulana, M. I. S. dan Kristianto, A., 2024, Sensitivity of WRF-HAILCAST Model for Hailstone Detection in Central Lombok on 24 February 2019, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 20, no. 1, pp 1

Powers, J. G., Klemp, J. B., Skamarock, W. C., Davis, C. A., Dudhia, J., Gill, D. O., Coen, J. L., Gochis, D. J., Ahmadov, R., Peckham, S. E., Grell, G. A., Michalakes, J., Trahan, S., Benjamin, S. G., dkk., 2017, The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and Future Directions, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 98, no. 8, pp 1717–1737

Prasetyo, S., Abdilah, S., Nugraheni, I. R., dan Sagita, N., Studi Awan Konvektif Penyebab Hujan Es Menggunakan Radar Cuaca Doppler Single Polarization di Bogor (23 September 2020)

Qin, Z., Zou, X., dan Weng, F., 2017, Impacts of Assimilating All or GOES-like AHI Infrared Channels Radiances on QPFs over Eastern China, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, Vol. 69, no. 1, pp 1345265

Rayhan Rafi, Dwi Kuncoro, Bima Arzhida, Noor Jannah Indriyani, dan Warjono, 2025, Identifikasi penyebab awan konvektif pada fenomena hujan ekstrem disertai es berbasis citra radar dual polar, *Jurnal Penelitian Saintek*, Advance Access published 1 Oktober 2025: doi:10.21831/jps.v30i2.89950

Saltikoff, E., Friedrich, K., Soderholm, J., Lengfeld, K., Nelson, B., Becker, A., Hollmann, R., Urban, B., Heistermann, M., dan Tassone, C., 2019, An Overview of Using Weather Radar for Climatological Studies: Successes, Challenges, and Potential, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 100, no. 9, pp 1739–1752

Sulistiyono, W., Zuliandry, M. I. R., dan Haryanto, Y. D., Uji Verifikasi Data Permukaan Dan Indeks Udara Atas Hasil Model Wrf Dengan Data Observasi Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin (Studi Kasus: 6 Desember 2021)

Wicaksono, H., Sadarang, F. R., dan Fadlan, A., 2019, Analisis Hujan Es Di Kota Lubuklinggau Dengan Memanfaatkan Data Citra Satelit Himawari-8 Dan Radiosonde, *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*, Vol. 3, pp 130