

Perbandingan Performa Model *Weather Research and Forecasting* Asimilasi Data *Advanced Microwave Sounding Unit-A*, *Microwave Humidity Sounder*, dan Himawari-8 dalam Memprediksi Curah Hujan di Wilayah Tangerang

Dendi Rona Purnama[✉], Nadya Safira, Wiliam, dan Arif Ripcy Pradana

Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Aren, Tangerang Selatan, Banten 15221

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima:
5 April 2021
Disetujui:
15 September 2021
Dipublikasikan:
13 Oktober 2021

Keywords:
curah hujan, WRF,
3DVAR, satelit cuaca

ABSTRAK

Informasi prakiraan cuaca di wilayah Tangerang penting untuk diketahui karena frekuensi banjir akibat cuaca ekstrim semakin meningkat. Informasi prakiraan cuaca dapat diperoleh dengan memanfaatkan model WRF. Peningkatan akurasi prediksi model WRF dapat dilakukan dengan teknik asimilasi untuk memperbaiki *initial condition*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan performa asimilasi data satelit cuaca WRF-3DVAR dalam memprediksi curah hujan di wilayah Tangerang pada tanggal 21 Januari 2019. Eksperimen yang dilakukan yaitu asimilasi dengan Himawari-8 kanal IR (DA-IR), Himawari-8 kanal WV (DA-WV), gabungan sensor AMSU-A dan MHS (DA-AM), serta tanpa asimilasi (CTRL). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua eksperimen menghasilkan prediksi yang baik untuk parameter curah hujan, RH, dan kecepatan angin. Namun pada parameter suhu udara, semua eksperimen menghasilkan nilai error yang melebihi nilai toleransi. DA-IR menghasilkan perubahan terbesar pada suhu udara dan RH. Sementara itu, DA-WV memberikan perubahan terbesar pada rasio pencampuran uap air, ketinggian geopotensial, dan kecepatan angin. Secara keseluruhan, DA-IR merupakan eksperimen yang paling baik dibandingkan yang lainnya, baik secara verifikasi titik maupun spasial. Eksperimen asimilasi secara berturut-turut dari performa terbaik adalah DA-IR, DA-WV, dan DA-AM.

ABSTRACT

Weather forecast information in the Tangerang area is important to know because the frequency of flooding due to extreme weather is increasing. Weather forecast information can be obtained using the WRF model. Improving the accuracy of the WRF model prediction can be done with assimilation techniques to improve the initial conditions. This study aims to compare the performance of the WRF-3DVAR weather satellite data assimilation in predicting rainfall in the Tangerang area on January 21st, 2019. The experiments were assimilation with Himawari-8 IR channel (DA-IR), Himawari-8 WV channel (DA-WV), a combination of AMSU-A and MHS sensors (DA-AM), and without assimilation (CTRL). The results showed that all experiments produced good predictions for the parameters of rainfall, RH, and wind speed. However, in the air temperature parameter, all experiments resulted in an error value that exceeds the tolerance value. DA-IR produced the largest changes in air temperature and RH. Meanwhile, DA-WV provided the largest changes in water vapor mixing ratio, geopotential height, and wind speed. Overall, DA-IR is the best experiment compared to others, both in point and spatial verification. The assimilation experiments sorted from the best performance are DA-IR, DA-WV, and DA-AM, respectively.

[✉] Alamat korespondensi:
Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
E-mail: deronpurna@gmail.com

PENDAHULUAN

Bencana banjir yang melanda wilayah Kota dan Kabupaten Tangerang setiap tahunnya menjadi permasalahan yang tidak luput dari perhatian (Waluyo dkk., 2020; Angrelia dkk., 2020; Ardiyanti, 2020). Hujan deras dan cuaca ekstrem yang terjadi di wilayah Tangerang sering menyebabkan bencana banjir yang cukup parah. Oleh karena itu, informasi terkait prediksi cuaca khususnya di wilayah Tangerang penting untuk diketahui mengingat semakin tingginya frekuensi serta cakupan wilayah yang terkena bencana banjir sebagai bencana hidrometeorologi terbesar di wilayah tersebut (BNPB, 2019).

Berbagai sumber daya yang mampu mendukung keakuratan prediksi dapat dioptimalkan oleh prakirawan cuaca seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap informasi prakiraan cuaca. Salah satu bagian dalam proses prakiraan cuaca adalah melakukan prediksi cuaca secara numerik atau *Numerical Weather Prediction* (NWP) (Lynch, 2008). Platform yang sering digunakan dalam NWP adalah model *Weather Research and Forecasting* (WRF) (Skamarock dkk., 2019). Model WRF memiliki efisiensi yang tinggi dan kompatibel untuk setiap platform komputer (Skamarock dkk., 2008). Selain itu, model WRF juga menjadi kajian peneliti di seluruh dunia untuk pengembangan jangka panjang (Powers dkk., 2017). Namun, adanya ketidakpastian dalam pengamatan dan ketidaksempurnaan model dalam memprediksi menjadi sumber kesalahan utama dalam prakiraan cuaca (Krishnamurthy, 2019). Salah satu sumber *error* model WRF adalah terletak pada *initial condition* model yang kurang akurat (Xie dkk., 2016). Selain itu, Gallus dkk. (2006) menyatakan bahwa hal yang lebih penting dibandingkan kepekaan terhadap perubahan inti fisis atau dinamis adalah kepekaan pada kondisi awal model.

Teknik asimilasi data dikembangkan untuk mendapatkan *initial condition* yang lebih baik sehingga mampu mengatasi permasalahan ketidakakuratan kondisi awal model. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan produk yang dapat menggambarkan keadaan atmosfer secara akurat dengan menggabungkan bidang grid (*priori state*) dengan data observasi ataupun data *remote sensing* (Katsafados dkk., 2020). Dalam proses asimilasi, data pengamatan satelit memberikan 90 – 95% data yang diasimilasikan untuk sistem prediksi cuaca numerik global pada masa kini (Bauer dkk., 2010). Teknik asimilasi menggunakan data satelit cuaca berorbit polar telah dilakukan oleh beberapa peneliti untuk meningkatkan keakuratan prediksi model. Lestanto dkk. (2018) melakukan asimilasi menggunakan data radar, satelit, dan sinoptik untuk memprediksi hujan di Jakarta dengan teknik *The Three Dimensional Variational* (3DVAR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa asimilasi data satelit polar dari sensor *Advanced Microwave Sounding Unit-A* (AMSU-A) dan sensor *Microwave Humidity Sounder* (MHS) menunjukkan performa yang paling baik dan prediksi hujan yang paling mendekati data curah hujan *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP).

Selain satelit polar, satelit geostasioner juga banyak diasimilasikan untuk perbaikan kondisi awal model (Collard dkk., 2011). Wang dkk. (2018) menggunakan data satelit Himawari-8 dari sensor *Advanced Himawari Imager* (AHI) berupa tiga kanal *water vapor* dalam memprediksi kejadian badai hebat di Cina bagian utara pada tanggal 18 – 21 Juli 2016. Perbaikan pada parameter angin dan RH diperoleh setelah mengasimilasi data AHI kanal WV sehingga mampu berkontribusi pada prediksi hujan ekstrem yang lebih baik. Qin dkk. (2017) melakukan perbandingan asimilasi data satelit Himawari-8 kanal IR 7 – 16 (kecuali 12) dan data *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES) kanal IR untuk *Quantitative Precipitation Forecast* (QPF) di bagian timur Cina. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asimilasi data AHI menghasilkan peningkatan QPF yang paling baik dibandingkan eksperimen asimilasi lainnya.

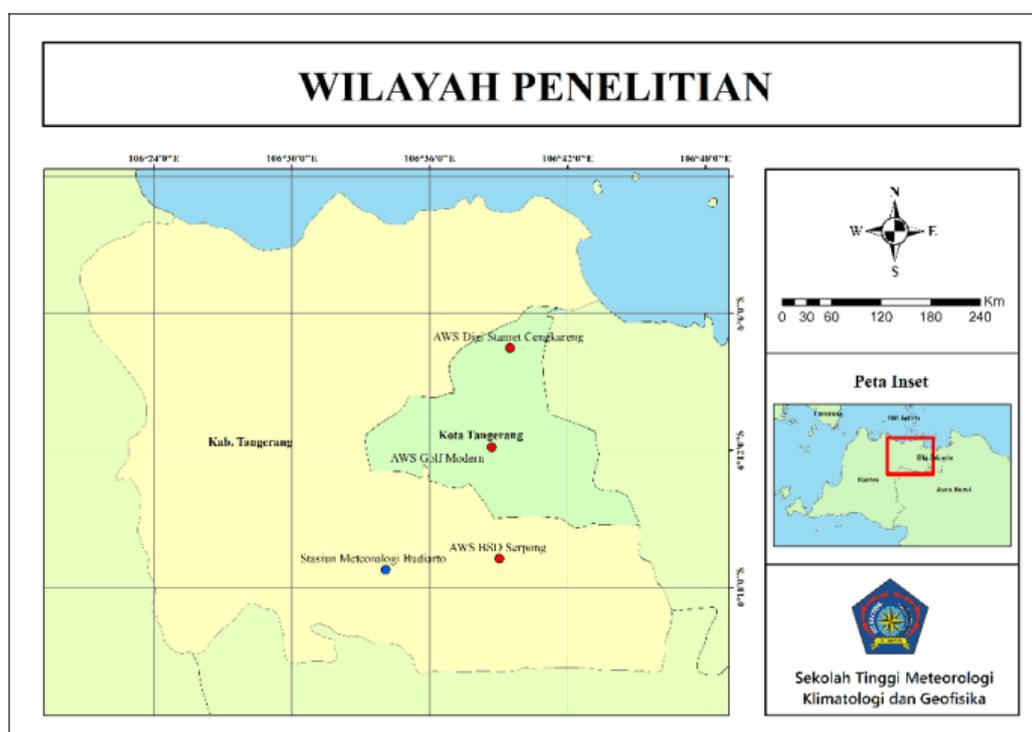
Beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa asimilasi data satelit AMSU-A dan MHS serta data AHI satelit Himawari-8 memberikan kontribusi yang baik dalam prediksi hujan pada kasus tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan performa model WRF dengan menggunakan asimilasi beberapa data satelit cuaca dalam memprediksi kejadian hujan

lebat di wilayah Tangerang tanggal 21 Januari 2019. Data asimilasi yang digunakan adalah data radians satelit dari sensor AMSU-A dan MHS serta data AHI satelit Himawari-8. Teknik asimilasi yang digunakan adalah teknik 3DVAR. Model WRF asimilasi yang terbaik diharapkan dapat diimplementasikan dalam prediksi cuaca numerik.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kota dan Kabupaten Tangerang dengan batasan wilayah penelitian meliputi $6^{\circ}0' - 6^{\circ}20'$ LS dan $106^{\circ}20' - 106^{\circ}44'$ BT yang ditunjukkan pada Gambar 1. Waktu penelitian dilakukan pada tanggal 21 Januari 2019 pada saat terjadi hujan lebat di wilayah Tangerang.



Gambar 1. Peta wilayah penelitian

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data untuk menjalankan asimilasi pada model WRF dengan teknik 3DVAR serta data untuk verifikasi hasil keluaran model. Data-data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data *Global Forecast System* (GFS) dengan resolusi spasial $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ serta resolusi temporal 3 jam dapat diunduh pada situs <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>. Penelitian ini memakai data prediksi sepanjang 36 jam dengan 12 jam pertama pada hari sebelumnya digunakan sebagai *spin-up time* model. Data tersebut digunakan untuk percobaan model WRF asimilasi data radians satelit dan tanpa asimilasi.
2. Data satelit Himawari-8 yang diperoleh dari Sub Bidang Pengolahan Citra Satelit, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan format netCDF dan tipe *Himawari Standard Data* (HSD). Data satelit Himawari-8 kanal 13 ($10,8 \mu\text{m}$) berformat netCDF dengan resolusi spasial $0,04^{\circ} \times 0,04^{\circ}$ dan resolusi temporal setiap 10 menit digunakan untuk validasi kondisi perawanan saat kejadian hujan lebat di wilayah Tangerang. Sementara itu, data AHI satelit

Himawari-8 tipe HSD *full-disk* dengan resolusi spasial 2×2 km dalam berformat *.DAT digunakan untuk proses asimilasi.

3. Data radian satelit AMSU-A dan MHS dengan format BUFR dapat diunduh dari <http://rda.ucar.edu>. Data ini digunakan sebagai data inisiasi dalam proses asimilasi.
4. Data observasi curah hujan tanggal 21 Januari 2019 yang diperoleh dari BMKG di empat titik pengamatan observasi di wilayah Tangerang ditunjukkan oleh Tabel 1. Data ini digunakan sebagai data verifikator secara titik.

Tabel 1. Lokasi pos pengamatan hujan di wilayah Tangerang.

No.	Nama Pos Hujan	Lintang	Bujur	Akumulasi CH 21 Januari 2019
1	AWS BSD Serpong	-6.279	106.650	46,8 mm
2	AWS Digi Stamet Cengkareng	-6.125	106.658	13,6 mm
3	AWS Golf Modern	-6.198	106.644	46,6 mm
4	AWS Stamet Budiarto	-6.287	106.567	86,8 mm

5. Data curah hujan satelit *Global Precipitation Measurement (GPM)* berupa produk *The Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG)* yang diunduh dari <https://disc.gsfc.nasa.gov/> dengan resolusi spasial $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ dan resolusi temporal 24 jam. Data ini digunakan sebagai data verifikator secara spasial.

Konfigurasi Model dan Desain Eksperimen Asimilasi

Konfigurasi model WRF pada penelitian ini menggunakan tiga domain yang diperoleh melalui teknik *downscaling* dengan perbandingan resolusi model yang digunakan adalah 1:3:3. Penelitian ini menerapkan kombinasi skema parameterisasi fisis yang telah diteliti oleh Gustari (2014). Opsi *nesting* yang digunakan adalah *two-way nesting*. Tabel 2 menunjukkan konfigurasi model WRF yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. Pengaturan *running* WRF.

Pengaturan <i>running</i> WRF	Domain 1	Domain 2	Domain 3
<i>Run Hours</i>	36	36	36
<i>History Interval</i>	180	60	60
<i>Time Step</i>	120 detik		
<i>dx dan dy</i>	27 km	9 km	3 km
<i>e_we dan e_sn</i>	80	70	58
<i>e_vert</i>	32	32	32
<i>Long Wave Radiation Option</i>	RRTM	RRTM	RRTM
<i>Short Wave Radiation Option</i>	Dudhia	Dudhia	Dudhia
<i>Surface Layer</i>	MM5 Monin- Obukhov	MM5 Monin- Obukhov	MM5 Monin- Obukhov
<i>Land Surface</i>	Noah LSM	Noah LSM	Noah LSM
<i>Boundary Layer Scheme</i>	YSU	YSU	YSU
<i>Cumulus Physics</i>	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	-
<i>Microphysics Option</i>	Purdue Lin	Purdue Lin	Purdue Lin

Pada penelitian ini terdapat empat desain eksperimen dengan data asimilasi yang digunakan adalah data radians satelit AMSU-A, MHS, dan Himawari-8. Adapun keempat eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu CTRL, DA-AM, DA-IR, dan DA-WV. Penjelasan terkait keempat eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Desain eksperimen model asimilasi WRFDA.

Desain Model	Keterangan
Model 1 (CTRL)	Inisial GFS tanpa asimilasi
Model 2 (DA-AM)	Inisial GFS dengan data asimilasi AMSU-A dan MHS (Lestanto dkk., 2018)
Model 3 (DA-IR)	Inisial GFS dengan data asimilasi satelit Himawari-8 kanal IR (Qin dkk., 2017)
Model 4 (DA-WV)	Inisial GFS dengan data asimilasi satelit Himawari-8 kanal IR-WV (Wang dkk., 2018)

Metode Penelitian

Model penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan komparatif, sedangkan verifikasi model WRF dilakukan secara titik maupun spasial. Verifikasi spasial dilakukan dengan membandingkan curah hujan spasial model WRF dengan GPM-IMERG serta suhu puncak awan antara hasil keluaran model WRF dengan citra satelit Himawari-8 kanal 13. Verifikasi titik dilakukan dengan menghitung parameter statistik berupa *Mean Absolute Error* (MAE) dan koefisien korelasi (R) antara hasil observasi dengan hasil keluaran model untuk parameter suhu udara, *Relative Humidity* (RH), kecepatan angin, dan curah hujan. *Mean Absolute Error* (MAE) merupakan nilai absolut selisih antara nilai keluaran model dengan nilai observasi (Wilks, 2019) ditunjukkan oleh Persamaan (1).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - x| \quad (1)$$

Koefisien korelasi adalah rasio kovarian sampel antara dua variabel (x dan y) dengan produk dari dua standar deviasi (Wilks, 2019) ditunjukkan oleh Persamaan (2).

$$R_{x,y} = \frac{\text{Cov}(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

dimana x adalah data observasi, y adalah data keluaran model, dan n adalah banyaknya data.

Adanya ketidakpastian dalam hasil keluaran model mengharuskan dilakukannya *assessment* terhadap hasil tersebut. Kegiatan *assessment* pada model dilakukan untuk menguji kemampuan model dalam merepresentasikan kondisi cuaca yang sebenarnya. Dalam penelitian ini digunakan ambang batas nilai *error* atau toleransi kesalahan sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4. Toleransi kesalahan hasil keluaran model WRF.

Parameter	Toleransi Kesalahan
Kelembapan Relatif (RH)	< 30% (Hanna dkk., 1998)
Suhu Udara	$\leq 2^{\circ}\text{C}$ (Carbonell dkk., 2013)
Kecepatan Angin	$\leq 2 \text{ m/s}$ atau 3.88769 knot (Carbonell dkk., 2013)
Curah Hujan	<ul style="list-style-type: none"> • < 10 mm, <i>error</i> kecil • 10 – 20 mm, <i>error</i> sedang • > 20 mm, <i>error</i> besar (Zhou dkk., 2018)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi Titik

Kinerja dari masing-masing eksperimen dievaluasi dengan melakukan perhitungan nilai MAE dan koefisien korelasi. Verifikasi ini dilakukan di lapisan permukaan pada parameter curah hujan, kelembapan relatif (RH), suhu udara dan kecepatan angin per jam yang ditunjukkan oleh Tabel 5. Pada titik verifikasi AWS BSD Serpong, semua eksperimen melebihi toleransi pada parameter suhu. Eksperimen DA-IR menghasilkan *error* terkecil pada parameter curah hujan dan kecepatan angin. Pada parameter kelembapan relatif, DA-WV adalah eksperimen terbaiknya.

Parameter RH dan kecepatan angin mampu direpresentasikan dengan baik oleh semua eksperimen di titik verifikasi AWS Digi Stamet Cengkareng, berdasarkan nilai *error* yang lebih kecil daripada nilai toleransi. Nilai MAE dan korelasi terbaik untuk parameter RH dan suhu dihasilkan oleh DA-IR. Sementara itu, DA-WV mampu menghasilkan *error* terkecil pada parameter CH dibandingkan eksperimen lainnya. Parameter kecepatan angin dengan *error* terendah dihasilkan oleh DA-AM. Hasil verifikasi di titik AWS Golf Modern menghasilkan *error* yang melebihi toleransi pada parameter suhu dan kecepatan angin di semua eksperimen. Dalam parameter CH, eksperimen DA-WV menghasilkan *error* yang paling kecil. Nilai *error* terkecil untuk parameter RH adalah eksperimen DA-IR. Untuk parameter suhu udara, DA-IR memiliki MAE terkecil. DA-AM menghasilkan *error* terkecil pada parameter kecepatan angin.

Evaluasi model di titik verifikasi AWS Stamet Budiarto memberikan nilai *error* yang melebihi toleransi pada parameter suhu di semua eksperimen. Eksperimen CTRL memberikan *error* terendah dalam parameter CH dan suhu udara. Sementara itu, *error* terkecil pada unsur RH dan kecepatan angin adalah DA-WV. Korelasi parameter CH pada semua eksperimen bernilai negatif. Korelasi bernilai nol bahkan negatif pada parameter curah hujan juga ditemukan dalam penelitian Fatmasari (2018), Hanggoro dkk. (2012), dan Khoirunnisa dkk. (2019). Nilai korelasi negatif ini menunjukkan bahwa hasil keluaran model dari semua eksperimen belum mampu menangkap adanya nilai curah hujan yang rendah ataupun nilai data observasi kecil sementara nilai hasil model besar dan sebaliknya (Fatmasari, 2018; Hanggoro dkk., 2012).

Parameter kecepatan angin juga cenderung menghasilkan korelasi yang kecil. Korelasi yang bernilai kecil juga ditemukan pada penelitian Soni dkk. (2014) dan menunjukkan bahwa model belum mampu menangkap variasi nilai kecepatan angin. Korelasi pada RH masih tergolong sedang dan bahkan kecil untuk di titik verifikasi AWS Golf Modern. Korelasi terbaik dimiliki oleh parameter suhu udara, artinya model mampu mengikuti pola suhu hasil observasi meskipun nilai *error*-nya melebihi toleransi. Hasil korelasi ini sejalan dengan penelitian Soni dkk. (2014) yang menunjukkan bahwa korelasi terbaik secara berurutan adalah parameter suhu udara, RH, kemudian kecepatan angin.

Tabel 5. Hasil verifikasi titik.

Titik Verifikasi	Parameter Cuaca	Parameter Statistik	Eksperimen			
			CTRL	DA-AM	DA-IR	DA-WV
AWS BSD Serpong	Curah Hujan	MAE (mm)	2.80	7.26	2.05	2.09
		R	-0.32	-0.33	-0.17	-0.23
	Kelembapan Relatif	MAE (%)	13.56	12.83	14.21	12.62
		R	0.77	0.74	0.77	0.70
	Suhu Udara	MAE (°C)	2.71*	2.70*	2.90*	2.63*
		R	0.91	0.87	0.82	0.81
Kecepatan Angin	MAE (knot)	3.03	3.02	3.00	3.08	
	R	0.39	0.32	0.34	0.33	
AWS Digi Stamet Cengkareng	Curah Hujan	MAE (mm)	0.83	3.57	1.35	0.54
		R	-0.15	-0.09	-0.09	-0.07
	Kelembapan Relatif	MAE (%)	17.24	16.84	15.65	18.66
		R	0.69	0.66	0.73	0.69
	Suhu Udara	MAE (°C)	3.41*	3.37*	3.26*	3.79*
		R	0.76	0.76	0.80	0.75
Kecepatan Angin	MAE (knot)	2.93	2.65	2.99	2.83	
	R	0.60	0.64	0.64	0.62	
AWS Golf Modern	Curah Hujan	MAE (mm)	1.98	2.60	2.90	1.98
		R	-0.31	-0.20	-0.19	-0.30
	Kelembapan Relatif	MAE (%)	28.40	27.80	26.02	26.36
		R	0.24	0.25	0.30	0.34
	Suhu Udara	MAE (°C)	4.01*	3.94*	3.80*	3.81*
		R	0.54	0.57	0.53	0.62
Kecepatan Angin	MAE (knot)	4.67*	4.27*	4.51*	4.56*	
	R	0.42	0.24	0.04	0.28	
AWS Stamet Budiarso	Curah Hujan	MAE (mm)	3.46	4.31	3.80	3.50
		R	-0.30	-0.39	-0.16	-0.34
	Kelembapan Relatif	MAE (%)	13.96	14.23	17.37	13.37
		R	0.62	0.62	0.55	0.59
	Suhu Udara	MAE (°C)	2.93*	3.03*	3.55*	3.03*
		R	0.84	0.83	0.72	0.79
Kecepatan Angin	MAE (knot)	2.66	2.35	3.27	2.35	
	R	0.36	0.51	0.15	0.60	

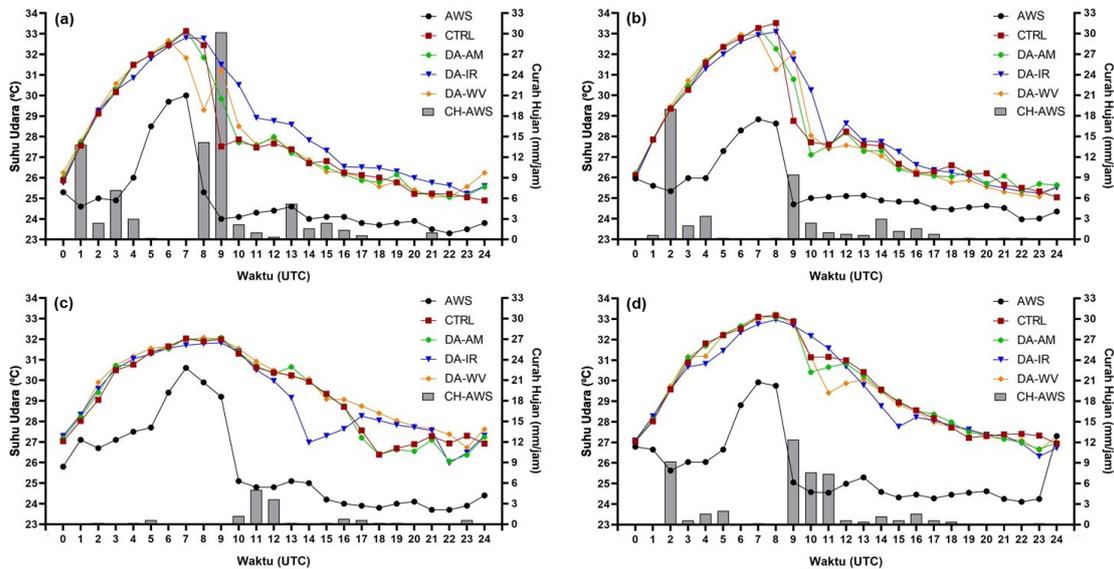
Keterangan:

Angka yang dicetak tebal menunjukkan nilai *error* terkecil atau korelasi tertinggi

*melebihi batas toleransi kesalahan

Berdasarkan Tabel 5 eksperimen menghasilkan nilai MAE pada parameter suhu udara yang melebihi batas toleransi kesalahan. Hal ini terjadi karena model belum mampu mengikuti penurunan suhu secara drastis yang terjadi pada saat hujan berlangsung (Gambar 2). Pada Gambar 2 nilai suhu udara di semua titik verifikasi mengalami penurunan suhu secara drastis pada saat terjadinya hujan. Perubahan kondisi suhu udara secara tiba-tiba belum mampu ditangkap oleh semua eksperimen. Hal ini berakibat pada besarnya perbedaan nilai suhu udara dan menghasilkan nilai MAE yang cukup besar. Selain itu, semua eksperimen cenderung menghasilkan prediksi suhu yang kurang baik pada

siang hari dan menghasilkan perbedaan suhu yang cukup besar dibandingkan dengan data suhu pada AWS. Namun, semua eksperimen menghasilkan prediksi suhu udara yang lebih baik pada waktu dini hari hingga pukul 00.00 UTC (07.00 WIB). Hasil penelitian ini memiliki kemiripan dengan hasil penelitian Suárez-Molina dkk. (2021) yang menunjukkan bahwa semua eksperimen dalam penelitiannya memiliki prediksi suhu udara yang lebih realistis pada pagi hari.



Gambar 2. Diagram garis dari parameter suhu udara dan diagram batang dari parameter curah hujan di titik verifikasi (a) AWS Stamet Budiarto, (b) AWS BSD Serpong, (c) AWS Digi Stamet Cengkareng, dan (d) AWS Golf Modern.

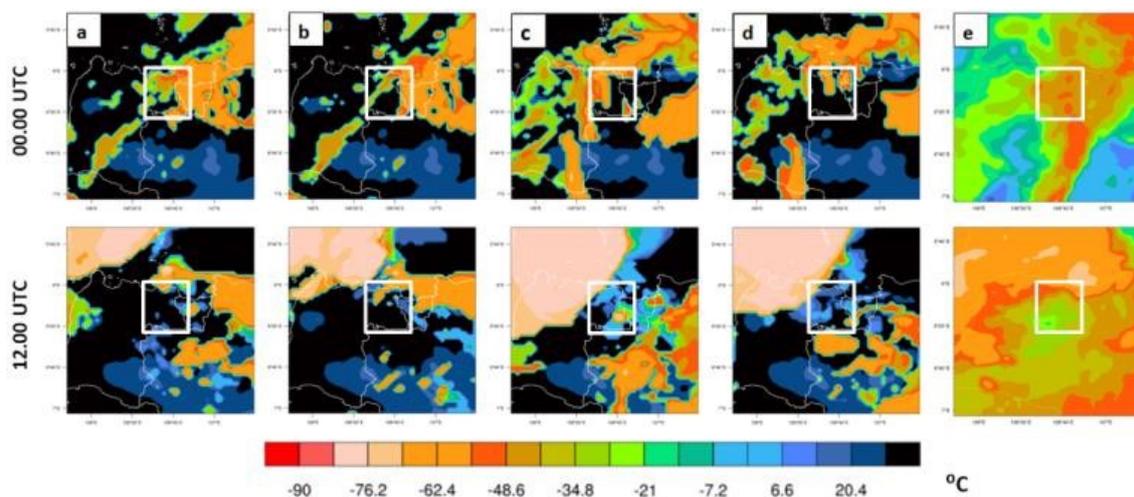
Secara keseluruhan, evaluasi model dengan verifikasi titik menunjukkan bahwa eksperimen DA-IR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan eksperimen lainnya, baik dari nilai MAE maupun korelasinya. Penelitian Ismantoro (2020) yang membandingkan performa asimilasi data Himawari-8 kanal IR dengan kanal WV juga memperlihatkan hasil yang sama dengan penelitian ini, yaitu eksperimen asimilasi dengan menggunakan Himawari-8 kanal IR memberikan performa terbaik.

Verifikasi Spasial

Suhu puncak awan (cloud top temperature)

Analisis suhu puncak awan dibutuhkan oleh seorang prakirawan cuaca untuk mengetahui proses mikrofisis awan dalam menghasilkan presipitasi (Hanna dkk., 2008). Analisis suhu puncak awan digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan awan-awan konvektif yang mampu menghasilkan hujan. Tahap awal ditandai dengan nilai suhu puncak awan -30°C s/d -50°C , tahap dewasa ditandai dengan nilai suhu puncak awan -60°C s/d -30°C , dan tahap peluruhan ditandai dengan nilai suhu puncak awan -50°C s/d -55°C (Saragih dkk., 2017). Gambar 2 menunjukkan sebaran suhu puncak awan hasil keluaran model WRF dari keempat eksperimen serta suhu puncak awan citra satelit Himawari-8.

Pertumbuhan awan *Cumulonimbus* (Cb) model CTRL menunjukkan pada pukul 00.00 UTC tutupan awan di wilayah Tangerang berkisar kurang dari -50°C (Gambar 3a). Pada DA-AM untuk pukul 00.00 dan 12.00 UTC menunjukkan pola yang hampir mirip dengan pola CTRL, namun pada wilayah Tangerang mengalami keadaan *clear* (Gambar 3b).



Gambar 3. Sebaran suhu puncak awan 21 Januari 2019 untuk eksperimen (a) CTRL, (b) DA-AM, (c) DA-IR, dan (d) DA-WV serta (e) citra Himawari-8. Area berkotak putih adalah wilayah penelitian.

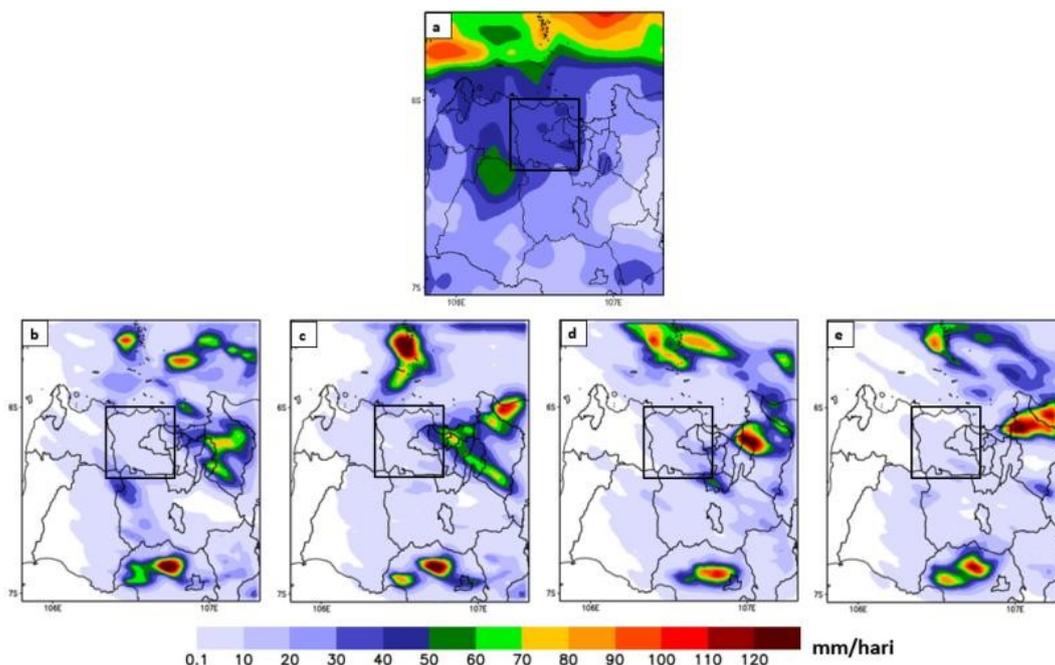
Untuk eksperimen DA-IR, pada pukul 00.00 UTC di wilayah Tangerang bagian timur terlihat *clear*, sedangkan pada wilayah Tangerang bagian barat terpantau daerah tutupan awan Cb dengan suhu puncak awan kurang dari -70°C (Gambar 3c). Pada 12.00 UTC di wilayah Tangerang terdapat daerah tutupan awan Cb dengan suhu puncak awan kurang dari -80°C dan di sebelah barat wilayah Tangerang terlihat pola tutupan awan Cb yang sangat besar dengan kisaran suhu puncak awan kurang dari -80°C . Eksperimen DA-IR memiliki hasil yang paling mendekati citra Himawari-8 (Gambar 3e) dibandingkan dengan eksperimen lainnya.

Pada eksperimen DA-WV pukul 00.00 UTC untuk wilayah Tangerang terdapat daerah tutupan awan dengan suhu puncak awan kurang dari -70°C (Gambar 3d). Pada pukul 12.00 UTC, di wilayah selatan Tangerang terdapat tutupan awan dengan suhu puncak awan kurang dari -70°C . Di wilayah barat laut Tangerang terdapat area tutupan awan Cb yang lebih kecil dibandingkan hasil asimilasi DA-IR. Suhu puncak awan pada area tersebut kurang dari -80°C .

Sebaran spasial akumulasi curah hujan harian

Bagian kedua dari verifikasi spasial adalah membandingkan sebaran spasial curah hujan. Verifikasi spasial akumulasi curah hujan harian digunakan untuk mengetahui kemampuan masing-masing eksperimen dalam menangkap pola akumulasi curah hujan yang dihasilkan oleh satelit presipitasi GPM-IMERG. Gambar 4 menunjukkan perbandingan pola sebaran spasial curah hujan hasil keluaran model WRF dengan GPM-IMERG.

Hasil prediksi akumulasi CH 24 jam memperlihatkan bahwa eksperimen CTRL, DA-AM, DA-IR, dan DA-WV belum mampu menangkap pola persebaran akumulasi CH dari GPM-IMERG (Gambar 4). Akumulasi CH 24 jam sebesar 60 mm di barat daya Tangerang pada GPM-IMERG mampu diprediksi model CTRL dengan intensitas sebesar 50 mm. Meskipun demikian, semua eksperimen memberikan prediksi bahwa akan terjadi hujan di wilayah Tangerang pada tanggal 21 Januari 2019 dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan hasil observasi satelit presipitasi GPM-IMERG. Hal ini dilihat dari pola sebaran spasial akumulasi curah hujan pada keempat eksperimen yang memperlihatkan nilai akumulasi curah hujan antara 0,1–10 mm di wilayah Tangerang.



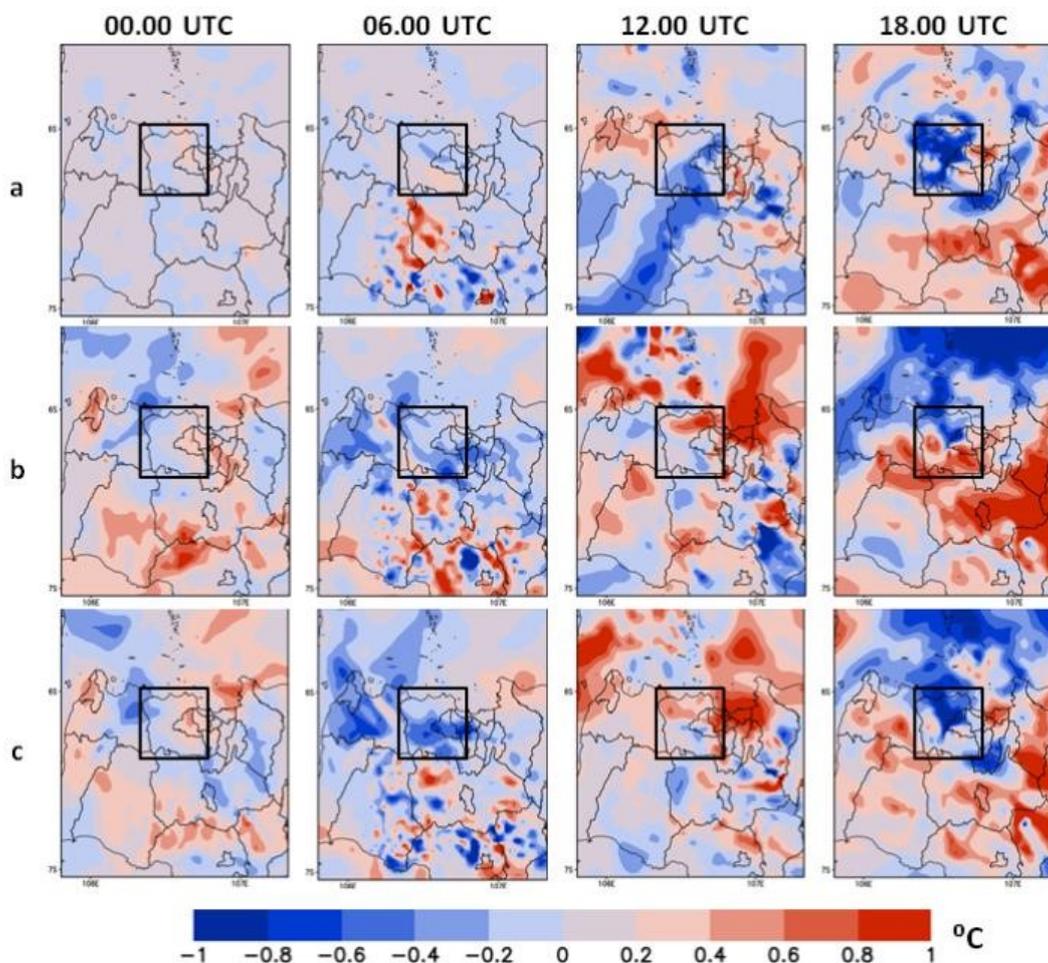
Gambar 4. Sebaran spasial akumulasi CH hasil observasi (a) GPM-IMERG serta prediksi akumulasi CH 21 Januari 2019 untuk eksperimen (b) CTRL, (c) DA-AM, (d) DA-IR, dan (e) DA-WV. Area berkotak hitam adalah wilayah penelitian.

Pengaruh Asimilasi Data Satelit Cuaca terhadap Kondisi Awal Model

Analisis increment suhu udara lapisan 850 mb

Pada analisis *increment* suhu udara, warna merah menandakan peningkatan nilai suhu udara dan warna biru menandakan penurunannya. Gambar 5 menunjukkan *increment* ketiga eksperimen asimilasi dibandingkan dengan CTRL. Gambar 5a menunjukkan hasil *increment* model DA-AM – CTRL. Secara umum, terjadi penurunan suhu dari jam 00.00 UTC – 18.00 UTC sebesar 0,4°C hingga –1°C. Pada *increment* DA-IR – CTRL didominasi nilai negatif yang menunjukkan adanya penurunan suhu dari jam 00.00 UTC – 06.00 UTC dengan rentang 0,4°C hingga –0,2°C (Gambar 5b). Pada jam 12.00 UTC, wilayah Tangerang bagian utara didominasi nilai positif dengan kenaikan suhu 0,2°C hingga 0,8°C, pada jam 18.00 UTC terjadi penurunan antara 0°C hingga –0,8°C. Sementara itu, di wilayah Tangerang bagian selatan pada 18.00 UTC didominasi nilai positif dengan peningkatan suhu berkisar 0,2°C hingga 0,8°C. Analisis *increment* suhu udara yang paling memberikan perubahan signifikan adalah model DA-IR – CTRL.

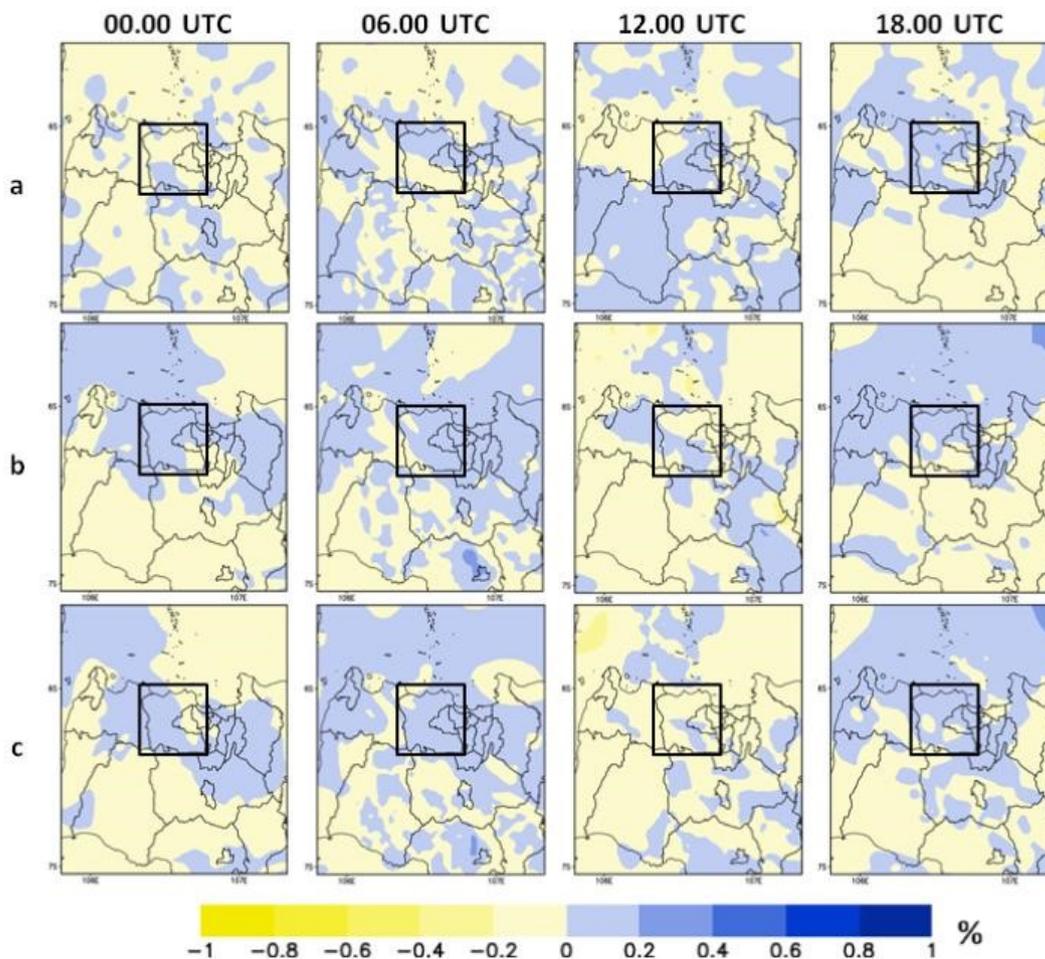
Pada DA-WV – CTRL menunjukkan adanya penurunan suhu dari jam 00.00 UTC – 06.00 UTC dengan rentang 0,4°C hingga –0,2°C (Gambar 5c). Pada jam 12.00 UTC, wilayah Tangerang bagian utara didominasi nilai positif dengan kenaikan suhu 0,2°C hingga 0,6°C. Kemudian, pada jam 18.00 UTC terjadi penurunan suhu di wilayah Tangerang dengan kisaran 0,2°C hingga –1°C.



Gambar 5. *Increment* suhu udara lapisan 850 mb tanggal 21 Januari 2019 untuk (a) DA-AM – CTRL, (b) DA-IR – CTRL dan (c) DA-WV – CTRL. Area berkotak hitam adalah wilayah penelitian.

Analisis increment RH lapisan 850 mb

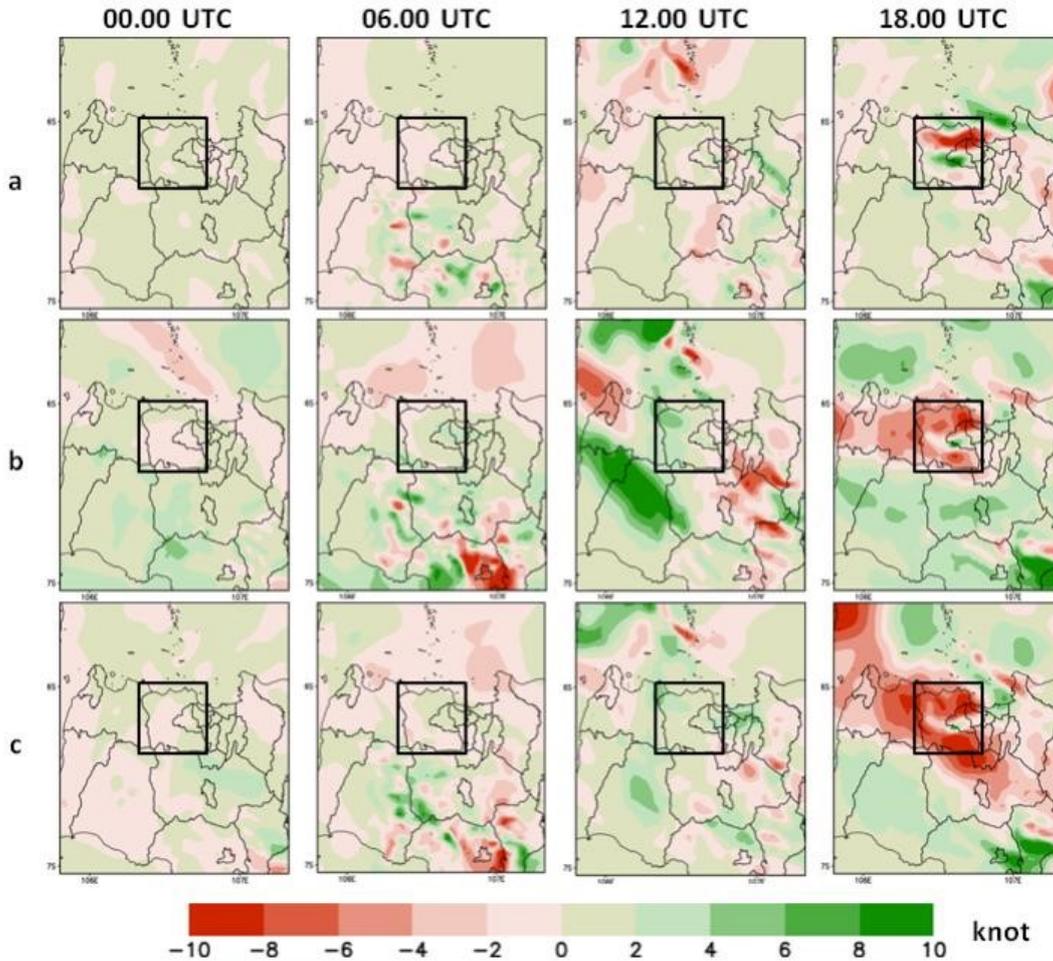
Pada analisis *increment* RH, warna biru menandakan peningkatan nilai RH dan warna kuning menandakan penurunannya. Gambar 6 menunjukkan *increment* RH dari ketiga eksperimen asimilasi dibandingkan dengan CTRL. Nilai *increment* DA-AM – CTRL pada wilayah penelitian didominasi nilai negatif antara -0,2 hingga 0 % pada jam 00.00 UTC (Gambar 6a). Kemudian, pada jam 06.00 UTC didominasi nilai positif dan negatif yang hampir sama, dan pada jam 12.00 – 18.00 UTC didominasi nilai positif antara 0 – 0,2 %. Pada DA-IR – CTRL, wilayah penelitian didominasi nilai positif antara 0 – 0,2 % (Gambar 6b). Namun, pada jam 12.00 UTC didominasi nilai positif dan negatif hampir sama. Untuk DA-WV – CTRL, pada jam 00.00 – 06.00 UTC menunjukkan di wilayah penelitian didominasi nilai positif (Gambar 6c). Namun, pada jam 12.00 UTC didominasi nilai negatif. Hasil *increment* model DA-IR – CTRL dan model DA-WV – CTRL memiliki pola yang hampir mirip, dimana pada jam 00.00 – 06.00 UTC dan 18.00 UTC didominasi nilai positif dan pada jam 12.00 UTC didominasi nilai negatif.



Gambar 6. *Increment* RH lapisan 850 mb tanggal 21 Januari 2019 untuk (a) DA-AM – CTRL, (b) DA-IR – CTRL dan (c) DA-WV – CTRL. Area berkotak hitam adalah wilayah penelitian.

Analisis increment kecepatan angin lapisan 850 mb

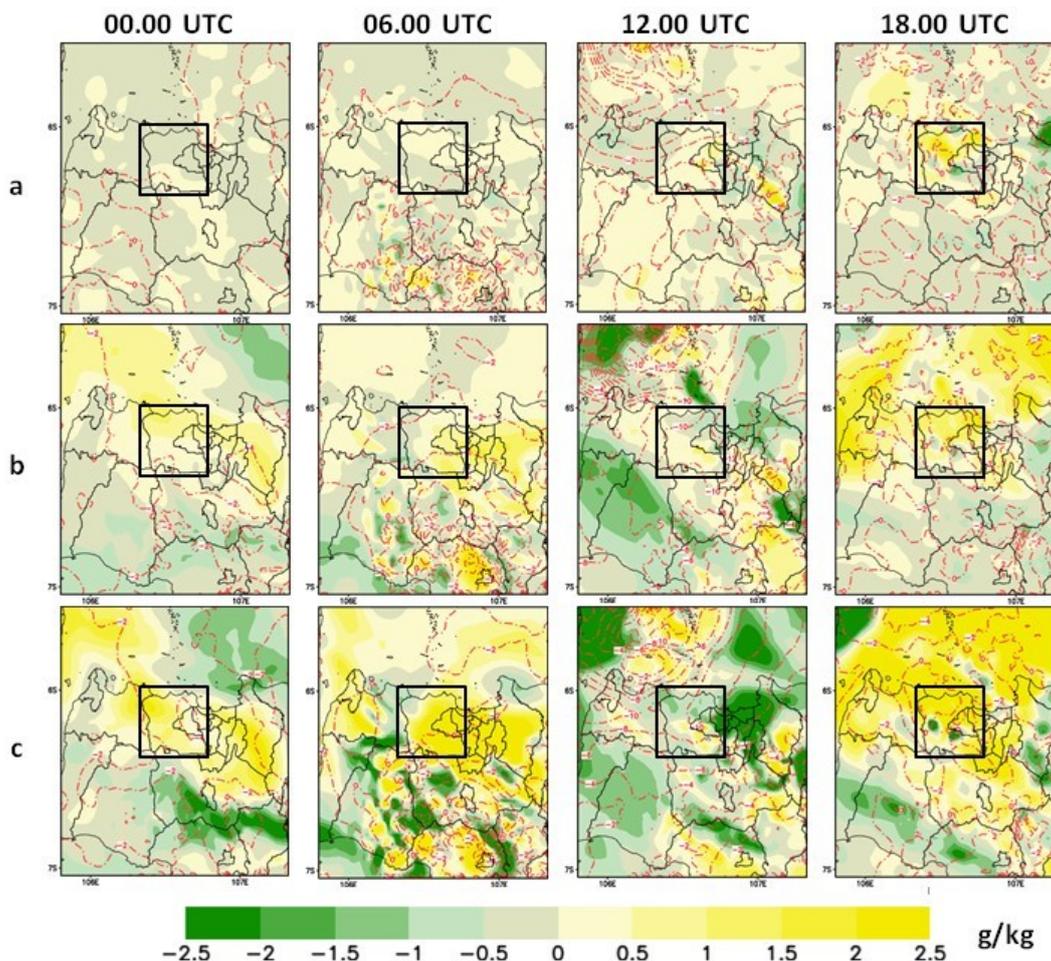
Pada analisis *increment* kecepatan angin, warna hijau menandakan peningkatan nilai kecepatan angin dan warna merah menandakan penurunannya. Gambar 7 menunjukkan *increment* kecepatan angin dari ketiga eksperimen asimilasi dibandingkan dengan CTRL. Ketiga model memberikan nilai *increment* yang bernilai positif pada kecepatan angin di wilayah Tangerang pada jam 00.00 UTC hingga 12.00 UTC di lapisan 850 mb, dengan peningkatan berkisar antara 0 – 2 knot. Pada jam 18.00 UTC, ketiga model menunjukkan adanya nilai *increment* yang bernilai negatif yang berarti terdapat penurunan kecepatan angin di wilayah Tangerang. Nilai *increment* negatif paling jelas terlihat pada model DA-WV – CTRL dengan rentang nilai –2 hingga –8 knot yang mencakup hampir seluruh wilayah Tangerang.



Gambar 7. *Increment* kecepatan angin lapisan 850 mb tanggal 21 Januari 2019 untuk (a) DA-AM – CTRL, (b) DA-IR – CTRL dan (c) DA-WV – CTRL. Area berkotak hitam adalah wilayah penelitian.

Analisis increment rasio pencampuran uap air dan ketinggian geopotensial lapisan 850 mb

Pada analisis *increment* untuk parameter *water vapor mixing ratio* (WVMR) dan ketinggian geopotensial, warna kuning menandakan peningkatan nilai WVMR dan warna hijau menandakan penurunannya. Sementara itu, untuk kenaikan atau penurunan ketinggian geopotensial dilihat dari label angka yang tertera pada garis kontur merah. Gambar 8 menunjukkan *increment* WVMR dan ketinggian geopotensial dari ketiga eksperimen asimilasi dibandingkan dengan CTRL. Secara umum nilai *increment* pada WVMR mengalami peningkatan pada tiap waktunya. Pada DA-AM – CTRL, peningkatan WVMR berada pada rentang 0 – 1 g/kg (Gambar 8a). Untuk DA-IR – CTRL dalam Gambar 8b dan DA-WV – CTRL dalam Gambar 8c, nilai *increment* bernilai positif pada jam 00.00 UTC – 06.00 UTC dengan rentang 0 – 1,5 g/kg. Pada jam 12.00 UTC terjadi perubahan nilai *increment* bernilai negatif dan pada jam 18.00 terjadi perubahan kembali menjadi bernilai positif dengan rentang 0,5 – 2 g/kg. Untuk ketinggian geopotensial, model DA-AM – CTRL menunjukkan nilai *increment* negatif dengan ketinggian geopotensial berada pada rentang -2 hingga -4 meter. Untuk model DA-IR – CTRL dan DA-WV – CTRL, nilai *increment* ketinggian geopotensial adalah sebesar -10 meter. Perubahan nilai *increment* terlihat jelas pada model DA-WV – CTRL yang memberikan perubahan yang paling signifikan.



Gambar 8. *Increment WVMR (shaded) dan ketinggian geopotensial (dash-dot line) lapisan 850 mb tanggal 21 Januari 2019 untuk (a) DA-AM – CTRL, (b) DA-IR – CTRL dan (c) DA-WV – CTRL. Area berkotak hitam adalah wilayah penelitian. Bilah warna (color bar) menunjukkan besaran increment WVMR dengan satuan g/kg. Besaran increment ketinggian geopotensial memiliki satuan meter.*

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, eksperimen asimilasi data satelit Himawari-8 kanal IR (DA-IR) merupakan eksperimen yang paling baik dibandingkan eksperimen lainnya dalam memprediksi curah hujan di wilayah Tangerang tanggal 21 Januari 2019. Hal ini dilihat dari hasil verifikasi titik, verifikasi spasial, maupun dalam hal analisis increment terkait perbaikan kondisi awal model yang lebih baik dari eksperimen model lainnya. Dengan demikian, jika diurutkan eksperimen model asimilasi dari performa terbaik adalah asimilasi data satelit Himawari-8 kanal IR (DA-IR), asimilasi data satelit Himawari-8 kanal WV (DA-WV), kemudian asimilasi data satelit AMSU-A dan MHS (DA-AM).

REFERENSI

Angrelia, C., Prihata, R., Mubarak, A. C., & Utami, W. K. (2020). Peranan Pemerintah Kota Tangerang dalam Penanggulangan dan Pencegahan Banjir Tahun 2020. *Jurnal Agregasi: Aksi Reformasi Government dalam Demokrasi*, 8(1), 21-27.

- Ardiyanti, D. M. (2020). *Analisis Genangan Banjir Berdasarkan Data Radar Sentinel-1 di Kabupaten Tangerang* (Bachelor thesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember).
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2019). *Data dan Informasi Bencana Indonesia*. Diakses dari <http://dibi.bnpb.go.id>.
- Bauer, P., Geer, A. J., Lopez, P., & Salmond, D. (2010). Direct 4D-Var assimilation of all-sky radiances. *Part I: Implementation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 136(652), 1868-1885.
- Carbonell, L. T., Mastrapa, G. C., Rodriguez, Y. F., Escudero, L. A., Gacita, M. S., Morlot, A. B., Montejo, I. B., Ruiz, E. M., & Rivas, S. P. (2013). Assessment of the Weather Research and Forecasting model implementation in Cuba addressed to diagnostic air quality modeling. *Atmospheric Pollution Research*, 4(1), 64-74.
- Collard, A., Hilton, F., Forsythe, M., & Candy, B. (2011). From Observations to Forecasts—Part 8: The use of satellite observations in numerical weather prediction. *Weather*, 66(2), 31–36.
- Fatmasari, D. (2018). *Perbandingan Asimilasi Data Observasi Permukaan, Udara Atas, dan Radiasi Satelit dengan Teknik 3DVAR pada Model Weather Research and Forecasting untuk Prediksi Curah Hujan di Wilayah Jakarta* (Bachelor thesis, Program Studi D-IV Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika).
- Gallus Jr, W. A., & Bresch, J. F. (2006). Comparison of impacts of WRF dynamic core, physics package, and initial conditions on warm season rainfall forecasts. *Monthly weather review*, 134(9), 2632-2641.
- Gustari, I. (2014). *Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Curah Hujan Sangat Lebat Terkait dengan Sistem Awan di Jabodetabek Menggunakan Asimilasi Data Radar C-Band* (Doctoral dissertation, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung).
- Hanggoro, W., Harmoko, I. W., & Makmur, E. E. S. (2012). Simulasi hujan ekstrem pada kejadian banjir di Mataram tanggal 10 Januari 2009 menggunakan WRF-EMS. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(1), 71-80.
- Hanna, J. W., Schultz, D. M., & Irving, A. R. (2008). Cloud-top temperatures for precipitating winter clouds. *Journal of applied meteorology climatology*, 47(1), 351-359.
- Hanna, S. R., Chang, J. C., & Fernau, M. E. (1998). Monte Carlo estimates of uncertainties in predictions by a photochemical grid model (UAM-IV) due to uncertainties in input variables. *Atmospheric Environment*, 32(21), 3619-3628.
- Ismantoro, I. (2020). *Pengaruh Asimilasi Data Satelit Himawari-8 terhadap Akurasi Prediksi Hujan Lebat di Jakarta (Studi Kasus Hujan Lebat 24 Januari 2016)* (Bachelor thesis, Program Studi D-IV Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika).
- Katsafados, P., Mavromatidis, E., & Spyrou, C. (2020). *Numerical Weather Prediction and Data Assimilation*. John Wiley & Sons.
- Khoirunnisa, A., Fadillah, R. U. N., Muaya, M., & Sari, F. P. (2019). Kajian Quasi Linear Convective System Di Bengkulu Pada Tanggal 10 November 2017 Menggunakan WRF-ARW. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*, 4, 15-24.
- Krishnamurthy, V. (2019). Predictability of weather and climate. *Earth Space Science*, 6(7), 1043-1056.
- Lestanto, A. W., & 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*, 19(1), 1-10.
- Lynch, P. (2008). The origins of computer weather prediction and climate modeling. *Journal of Computational Physics*, 227(7), 3431–3444.
- 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., Alexander, C.R., Dimego, G.J., Wang, W., Schwartz, C.S., Romine, G.S., Liu, Z.,

- Snyder, C., Chen, F., Barlage, M.J., Yu, W. dan Duda, M.G. (2017). The weather research and forecasting model: Overview, system efforts, and future directions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(8), 1717–1737.
- Qin, Z., Zou, X., & Weng, F. (2017). Impacts of assimilating all or GOES-like AHI infrared channels radiances on QPFs over Eastern China. *Tellus A: Dynamic Meteorology Oceanography*, 69(1), 1345265.
- Saragih, I. J. A., Kristianto, A., Silitonga, A. K., & Paski, J. A. I. (2017). Kajian Dinamika Atmosfer saat Kejadian Hujan Lebat di Wilayah Pesisir Timur Sumatera Utara Menggunakan Model WRF-ARW dan Citra Satelit Himawari-8. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 25-30.
- Skamarock, W.C., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J.G., Duda, M.G., Barker, D.M., & Huang, X.Y. (2019). A Description of the Advanced Research WRF Version 4. *National Center for Atmospheric Research*.
- Skamarock, W.C., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X. Y., Wang, W. & Powers, J.G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *National Center for Atmospheric Research*.
- Soni, M., Payra, S., Sinha, P., & Verma, S. (2014). A performance evaluation of WRF model using different physical parameterization scheme during winter season over a semi-arid region, India. *International Journal of Earth and Atmospheric Science*, 1(3), 104-114.
- Suárez-Molina, D., Fernández-González, S., Montero, G., Oliver, A., & González, J.C.S. (2021). Sensitivity analysis of the WRF model: Assessment of performance in high resolution simulations in complex terrain in the Canary Islands. *Atmospheric Research*, 247, 105157.
- Waluyo, S., & Haq, S. (2016). Optimasi Pengendalian Banjir di Kota Tangerang dengan Metode Goal Programming dan AHP (Analytical Hierarchy Process). *Jurnal Teknik*, 5(1), 6-11.
- Wang, Y., Liu, Z., Yang, S., Min, J., Chen, L., Chen, Y., & Zhang, T. (2018). Added value of assimilating Himawari-8 AHI water vapor radiances on analyses and forecasts for “7.19” severe storm over north China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(7), 3374-3394.
- Wilks, D. S. (2019). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (4th ed.). Elsevier Academic Press.
- Xie, Y., Xing, J., Shi, J., Dou, Y., & Lei, Y. (2016). Impacts of radiance data assimilation on the Beijing 7.21 heavy rainfall. *Atmospheric Research*, 169, 318-330.
- Zhou, Y., & Mu, Z. (2018). Impact of Different Reanalysis Data and Parameterization Schemes on WRF Dynamic Downscaling in the Ili Region. *Water*, 10(12), 1729.