
Pengaruh Asimilasi Data Radiance Satelit pada Model WRF (Weather Research and Forecasting) untuk Prediksi Siklon Tropis Frances

Agung Hari Saputra¹, Rifqi Mulyana Muchtar², Sirly Oktarina³

¹Program Studi Meteorologi, STMKG, Indonesia

²Stasiun Meteorologi Klas III Wamena, Jayawijaya Indonesia

³Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ABSTRACT

Model Weather Research and Forecasting-Advanced Research (WRF-ARW) merupakan salah satu model prediksi cuaca numerik regional yang paling populer yang digunakan oleh operasional prakiraan dan penelitian. Namun, permasalahan dalam model ini berkaitan dengan tingkat keakuratan pada data awal model. Salah satu teknik untuk memperbaiki kondisi awal dan performa model adalah dengan asimilasi data teknik Three-Dimensional Variation (3DVar). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh asimilasi data radiance satelit dalam memprakirakan kejadian siklon tropis yang wilayah pembentukannya terjadi di dekat Indonesia siklon tropis Frances (2017). Penelitian ini juga melakukan konfigurasi parameterisasi pada skema mikrofisis dan skema konveksi dimana pada kajian sebelumnya kedua skema ini berpengaruh terhadap estimasi intensitas dan lintasan siklon tropis. Enam eksperimen model dijalankan menggunakan data satelit AMSU-A, MHS dan AHI Himawari-8 sebagai data observasi untuk diasimilasikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asimilasi data radiance satelit secara umum mampu memperbaiki performa model dalam memprediksi kejadian siklon tropis dengan baik. Lebih lanjut, eksperimen asimilasi terpilih pada masing-masing kasus kejadian siklon tropis mampu menurunkan kesalahan prediksi model sekitar 2%. Selain itu, penelitian ini juga mengungkap bahwa asimilasi data radiance mampu mengurangi kesalahan pada lintasan dan intensitas siklon tropis.

Penulis Koresponden:

Agung Hari Saputra,
Program Studi Meteorologi,
Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Indonesia,
Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221.
Email: agung.hs@stmkg.ac.id

1. PENDAHULUAN

Prediksi terhadap kejadian siklon tropis melibatkan beberapa parameter seperti posisi, intensitas, lintasan, gelombang laut, serta curah hujan yang menyertainya. Berdasarkan beberapa parameter terkait, yang terpenting diketahui adalah ke arah mana siklon akan bergerak sehingga masyarakat di daerah yang terkena dampak dapat diperingatkan sebelumnya. Alasan ini yang membuat prediksi lintasan siklon tropis dianggap sebagai salah satu fungsi prediksi yang paling penting oleh banyak badan meteorologi di seluruh dunia [1]. Model prediksi cuaca numerik (PCN) merupakan salah satu alat bantu untuk dapat memprediksi siklon tropis [2]. PCN merupakan teknik prakiraan melalui integrasi waktu dari seperangkat persamaan matematika yang menggambarkan kondisi di atmosfer menggunakan metode numerik [3]. Weather Research and Forecasting (WRF) merupakan model PCN yang bersifat open source sehingga dapat digunakan untuk prakiraan cuaca dan dikembangkan untuk penelitian Skamarock dkk., (2008) [4]. Kemampuan model PCN semakin berkembang setiap harinya seiring dengan perkembangan kemampuan komputasi dan peningkatan jaringan pengamatan [5]. Terlepas dari kemajuan dalam PCN, prediksi yang akurat terhadap siklon tropis merupakan tantangan besar, terutama karena perubahan intensitasnya [6]–[8].

Kemampuan model dalam memprediksi sangat dipengaruhi oleh parameterisasi fisis, karena parameterisasi fisis menentukan aspek-aspek penting dari cuaca yang disimulasikan [9]. Parameterisasi fisis dapat mewakili proses-proses fisis yang tidak mampu diselesaikan secara langsung oleh model numerik [10]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Raju dkk. (2011) [11] menyatakan bahwa skema konveksi mempengaruhi pada estimasi intensitas siklon tropis dan skema mikrofisis mempengaruhi pada estimasi lintasan siklon tropis. Oleh karena itu konfigurasi

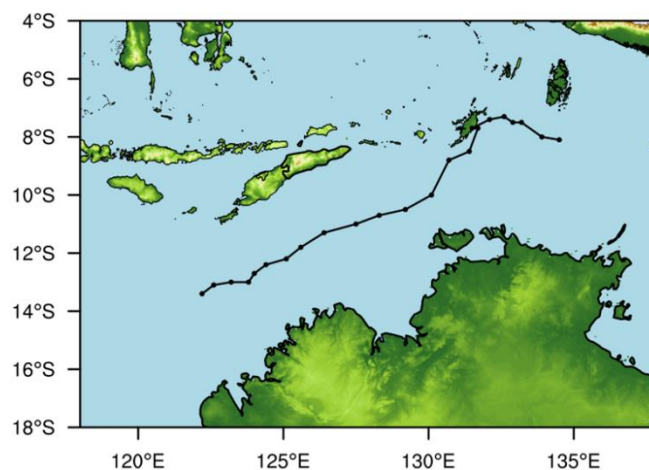
parameterisasi pada kedua skema tersebut perlu dilakukan, agar mendapat performa model yang optimal.

Salah satu metode untuk memperbaiki hasil prediksi WRF yaitu dengan asimilasi data. Asimilasi data merupakan teknik atau metode di mana data observasi dikombinasikan dengan data keluaran model numerik untuk memperbaiki data kondisi awal sehingga dapat menghasilkan prakiraan optimal [12]. Three-dimensional Variational (3DVar) merupakan salah satu metode asimilasi data yang mampu mengasimilasikan berbagai jenis data observasi seperti data pengamatan sinoptik, udara atas hingga data pengamatan satelit [13]. Asimilasi data pada awalnya menggunakan data pengamatan sinoptik dari beberapa titik pengamatan. Namun, data observasi tersebut kurang dalam merepresentasikan suatu daerah dikarenakan jarak antar titik pengamatan yang renggang. Oleh karenanya dikembangkan asimilasi data dengan menggunakan data penginderaan jauh seperti radar dan satelit [14].

Liu dan Barker (2006) [15] telah melakukan asimilasi dengan memanfaatkan data radiance satelit dalam sistem WRF Data Assimilation (WRFDA). Penelitian dengan memanfaatkan data radiance satelit Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A) dan Microwave Humidity Sounder (MHS) untuk prediksi siklon tropis telah dilakukan oleh Islam dkk. (2016) [16] dengan menggunakan metode asimilasi 3DVar dalam sistem WRFDA. Selanjutnya, Lu dkk. (2019) [17] telah melakukan penelitian untuk prediksi siklon tropis dengan memanfaatkan data radiance AHI satelit Himawari-8 menggunakan metode asimilasi 3DVar dalam sistem Gridpoint Statistical Interpolation (GSI). Penelitian terkait asimilasi telah banyak dilakukan di Indonesia. Namun, pemanfaatannya belum optimal karena hanya terbatas pada proses asimilasi tunggal [18]. Oleh karena itu perlu dilakukan pemanfaatan berbagai jenis data observasi khususnya pada penelitian ini data radiance satelit diantaranya yaitu, data satelit AMSU-A, MHS dan AHI Himawari-8 untuk memperbaiki kondisi data awal model dan juga performa model WRF.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilakukan di dua daerah pembentukan siklon tropis, yaitu di sekitar wilayah perairan selatan Indonesia. Lokasi untuk pembentukan siklon Frances tahun 2017 berada pada koordinat $4^{\circ}0'0''$ LS - $18^{\circ}0'0''$ LS dan $118^{\circ}0'0''$ - $138^{\circ}0'0''$ BT yang ditampilkan oleh gambar 1. Waktu penelitian yang digunakan terdiri dari enam hari, yaitu pada saat kejadian siklon tropis Frances, 25-30 April 2017.

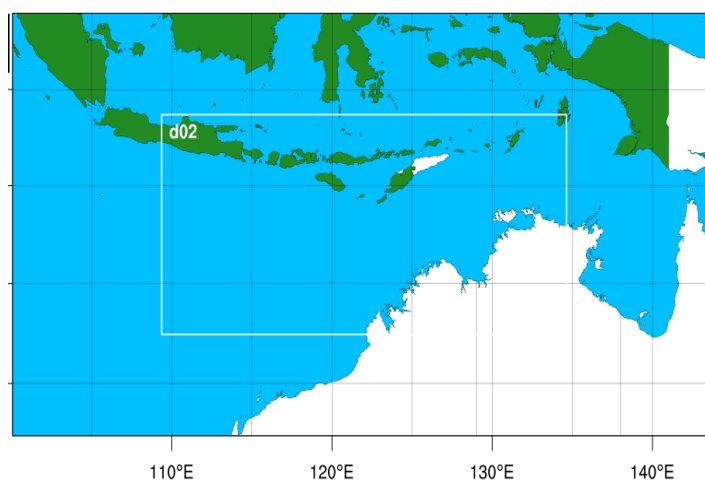


Gambar 1. Lokasi pembentukan siklon tropis Frances (Sumber data: BIG, BOM, JTWC)

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data Global Forecast System (GFS) merupakan data model prediksi cuaca yang dikeluarkan oleh National Centers for Environmental Prediction (NCEP) dengan resolusi spasial $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ dan resolusi temporal 3 jam. Data GFS dapat diunduh pada situs <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>. Pada penelitian ini, data GFS yang digunakan sesuai waktu penelitian di mana 12 jam pertama merupakan waktu spin up dengan rincian pada pukul 12.00 UTC 20 Desember 2016 hingga prediksi pada pukul 00.00 UTC tanggal 28

Desember 2016 dan pada pukul 12.00 UTC 24 April 2017 hingga prediksi pada pukul 00.00 UTC tanggal 30 April 2017. Data pengamatan permukaan dan udara atas yang dikeluarkan oleh NCEP. Data ini dapat diunduh pada situs <https://rda.ucar.edu/datasets/ds337.0/>. Data dengan format PREPBUFR pada pukul 12.00 UTC tanggal 24 April 2017 sebagai data observasi untuk diasimilasikan. Data radiance satelit AMSU-A dan MHS yang dikeluarkan oleh NCEP. Data ini dapat diunduh pada situs <https://rda.ucar.edu/datasets/ds735.0/>. Data dengan format PREPBUFR pada pukul 12.00 UTC tanggal 24 April 2017 sebagai data observasi untuk diasimilasikan. Data radiance AHI Himawari-8 full-disk diperoleh dari Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit Cuaca BMKG. Data dalam tipe HSD dengan format data file (*.DAT) pukul 12.00 UTC tanggal 24 April 2017 sebagai data observasi untuk diasimilasikan. Data Background Error (BE) sebagai data inisiasi tambahan model dengan menggunakan pilihan BE default (cv3) disediakan secara langsung dalam model WRFDA v4.1. Data best track siklon tropis diperoleh dari Joint Typhoon Warning Center yang diunduh melalui situs <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific/> serta Bureau of Meteorology Australia yang diunduh melalui situs <http://www.bom.gov.au/cyclone/>. Data best track siklon tropis terdiri dari data historis kejadian siklon tropis, koordinat posisi lintasan serta intensitas siklon tropis yang meliputi tekanan udara permukaan minimum dan kecepatan angin maksimum sebagai data untuk analisis studi kasus siklon tropis dan verifikator prediksi lintasan dan intensitas siklon tropis keluaran model.

Langkah-langkah dalam penelitian ini dijelaskan adalah proses konfigurasi model WRF-ARW dimana pada proses konfigurasi model WRF-ARW dilakukan proses konfigurasi (pre-processing) untuk menentukan domain model, penyesuaian skema parameterisasi dan pengaturan informasi lainnya yang dibutuhkan model pada masing-masing wilayah penelitian. Dalam penentuan domain model, mempertimbangkan data best track dari setiap studi kasus siklon tropis. Kondisi syarat batas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data GFS dengan waktu spin up 12 jam pada semua eksperimen. Gambar 2 menunjukkan nesting dan downscaling sebanyak 2 kali dengan perbandingan resolusi horizontal yaitu 1:3.



Gambar 2. Desain domain penelitian

Resolusi grid horizontal pada domain 1 (D1), yaitu 27 km dan domain 2 (D2), yaitu 9 km sebagai domain yang lebih kecil. Setiap domain menggunakan resolusi vertikal sebesar 37 hingga puncak lapisan 50 hPa. Model diatur sedemikian rupa sehingga siklon tropis tercakup dengan baik oleh setidaknya domain luar. Selanjutnya, konfigurasi skema parameterisasi fisis yang digunakan meliputi skema mikrofisis, konveksi, lapisan permukaan, permukaan tanah, lapisan batas atmosfer, radiasi gelombang panjang dan radiasi gelombang pendek dengan rincian yang ditunjukkan dalam tabel 1. Pada penelitian ini juga akan dilakukan uji skema parameterisasi pada 3 skema mikrofisis dan 5 skema konveksi yang dikombinasikan dalam 15 eksperimen uji parameterisasi dengan rincian kombinasi yang ditunjukkan dalam tabel 2. Proses uji parameterisasi ini dilakukan terlebih dahulu sebelum proses asimilasi dan bertujuan untuk menentukan kombinasi skema terbaik yang mampu

merepresentasikan hasil keluaran model yang lebih optimal. Uji parameterisasi diterapkan pada tropis Frances.

Tabel 1. Konfigurasi Parameterisasi Fisis

Skema Parameterisasi Fisis	Pilihan Skema
<i>Long Wave Radiation</i>	RRTM
<i>Short Wave Radiation</i>	<i>Dudhia</i>
<i>Surface Layer</i>	<i>Revised MM5</i>
<i>Land Surface</i>	<i>Unified Noah land - surface model</i>
<i>Boundary layer</i>	<i>Yonsei University Scheme</i>
	<i>Kain-Fritsch (KF)</i>
<i>Cumulus Physics</i>	<i>Betts-Miller-Janjic (BMJ)</i>
	<i>Grell 3D Ensemble</i>
	<i>Kessler</i>
	<i>Purdue Lin</i>
<i>Microphysics</i>	<i>WSM3</i>
	<i>WSM6</i>
	<i>Thompson</i>

Tabel 2. Kombinasi uji skema parameterisasi konveksi dan mikrofisis

Eksperimen	Konveksi	Mikrofisis
1		<i>Kessler</i>
2		<i>Purdue-Lin</i>
3	<i>Kain-Fritsch (KF)</i>	<i>WSM3</i>
4		<i>WSM6</i>
5		<i>Thompson</i>
6		<i>Kessler</i>
7		<i>Purdue-Lin</i>
8	<i>Betts-Miller-Janjic (BMJ)</i>	<i>WSM3</i>
9		<i>WSM6</i>
10		<i>Thompson</i>
11		<i>Kessler</i>
12	<i>Grell 3D Ensemble (G3D)</i>	<i>Purdue-Lin</i>
13		<i>WSM3</i>

14	<i>WSM6</i>
15	<i>Thompson</i>

Data sensor AMSU-A dan MHS yang diunduh pada situs <https://rda.ucar.edu/datasets/ds735.0/> sudah dalam format BUFR sehingga dapat langsung digunakan dalam proses asimilasi data tanpa harus melalui proses konversi terlebih dahulu. Untuk membaca data radianse satelit AMSU-A dan MHS, pada penelitian ini menggunakan CRTM v2.3.0, yang sudah tersedia dalam paket data sistem asimilasi WRFDA. Data sensor AHI Himawari-8 dari Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit BMKG dalam format HSD yang terdiri dari data seluruh kanal diolah terlebih dahulu sebelum diasimilasikan pada data masukan model. Proses pengolahan menggunakan aplikasi CSPP GEO Geocat Software Package v1.0.3b untuk mengkonversi data HSD menjadi data dengan format NetCDF-4 (*.nc) sehingga dapat digunakan dalam proses asimilasi data. Hasil konversi yang diolah aplikasi tersebut dibagi menjadi 2 file data, yaitu data brightness temperature (data level 1) dan data cloud product (data level 2) dalam format NetCDF-4. Pada penelitian ini menggunakan data level 1 yang diubah nama file-nya (L1AHITBR) sehingga dapat dibaca oleh sistem WRFDA v4.1. Selanjutnya, dilakukan proses konfigurasi pada file himawari-8ahi.info yang tersedia dalam sistem pengasimilasian untuk memilih data kanal yang akan digunakan pada proses asimilasi. Pada penelitian ini menggunakan data kanal infrared (IR) termasuk kanal water vapor yaitu kanal 7-16 kecuali kanal 12 karena memiliki sensitivitas terhadap lapisan ozon pada troposfer sehingga tidak digunakan dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini melakukan proses asimilasi dengan teknik 3DVar pada sistem WRFDA. Pengolahan data pada WRFDA membutuhkan beberapa data inisiasi, yaitu data tebakan awal (first guess) berupa data wrfinput_d0x dan wrfbdy_d0x yang didapat dari proses running model WRF keluaran dari real.exe, data asimilasi yang meliputi data observasi (permukaan dan udara atas, radianse satelit AMSU-A, MHS dan AHI Himawari-8) serta data Background Error dengan data default, yaitu BE cv3 yang telah disediakan oleh sistem WRFDA. Kemudian, model dijalankan dengan konfigurasi domain serta menerapkan kombinasi skema parameterisasi model terbaik yang merupakan hasil dari pengujian yang dilakukan pada masing-masing lokasi pembentukan siklon tropis. Eksperimen model WRF-ARW pada penelitian ini terdiri dari 6 eksperimen seperti yang ditampilkan pada tabel 3. Eksperimen tanpa data asimilasi disebut dengan Without Data Assimilation (WDA). Pada 5 eksperimen asimilasi ditambahkan data observasi permukaan dan udara atas serta didesain dengan menggunakan data radianse satelit yang berbeda yaitu sensor AMSU-A (DA-AMSUA), sensor MHS (DA-MHS), sensor AMSU-A dan MHS (DA-MIX), AHI kanal water vapor (DA-WV), dan AHI kanal infrared (DA-IR).

Tabel 3 Eksperimen penelitian

Eksperimen	Data yang digunakan	Nama Eksperimen
1	tanpa asimilasi data	WDA
2	sensor AMSU-A	DA-AMSUA
3	sensor MHS	DA-MHS
4	sensor AMSU-A dan MHS	DA-MIX
5	sensor AHI <i>water vapor</i> (kanal 8-10)	DA-WV
6	sensor AHI <i>infrared</i> (kanal 13)	DA-IR

Dalam menilai hasil atau kualitas dari suatu prediksi hasil keluaran model perlu dilakukan proses verifikasi prediksi. Pada penelitian ini, data prediksi lintasan dan intensitas siklon tropis hasil pengolahan model WRF pada setiap eksperimen penelitian dibandingkan dengan data best track untuk

memverifikasinya. Data best track siklon tropis merupakan penilaian subjektif dari lokasi atau posisi pusat, intensitas, dan struktur siklon tropis selama siklus hidupnya yang ditentukan oleh prakirawan cuaca berpengalaman dan terlatih di operasional Tropical Cyclone Warning Center (TCWC) menggunakan semua pengamatan (baik in situ maupun penginderaan jauh) yang tersedia pada saat waktu analisis [2]. Pada pengujian skema parameterisasi, ditentukan skema terbaiknya dengan memverifikasi 15 prediksi pada kasus siklon tropis Frances. Adapun metode verifikasi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Verifikasi temporal

Verifikasi temporal dilakukan dengan menggunakan metode verifikasi best track. Metode verifikasi best track dilakukan dengan analisis secara visual pada hasil prediksi siklon tropis terhadap data best track yang diplot pada grafik setiap interval 6 jam. Verifikasi best track pada umumnya terdiri dari variabel tekanan udara permukaan minimum pada pusat siklon tropis dan kecepatan angin maksimum [2].

2. Verifikasi statistic

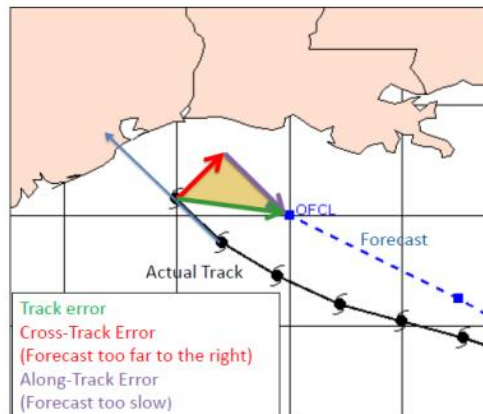
Verifikasi statistik dilakukan untuk menentukan skema terbaik dengan menggunakan metode verifikasi continuous variables forecast. Metode ini digunakan untuk memverifikasi hasil prediksi siklon tropis terhadap data best track melalui beberapa perhitungan statistik. Prediksi intensitas siklon tropis menggunakan perhitungan nilai mean absolute error (MAE) melalui persamaan 1 [2].

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (1)$$

Keterangan:

F_i : data prediksi ke-I ; O_i : data pengamatan ke-I; N : jumlah data

Nilai error dari prediksi lintasan siklon tropis merupakan besaran vektor yang terdiri dari direct positional error (DPE), cross track error (CTE) dan along track error (ATE) [2]. Gambar 3 menunjukkan skema vektor dari setiap perhitungan DPE, ATE dan CTE.



Gambar 3 Skema perhitungan vektor error pada prediksi siklon tropis
(Sumber: WMO, 2013)

Penentuan skema terbaik diverifikasi menggunakan DPE dengan menghitung nilai selisih dari jarak antara pusat siklon tropis hasil keluaran model dengan data best track. Perhitungan DPE ditunjukkan oleh haversine formula (persamaan 2) yang merupakan persamaan penting dalam navigasi yang berguna untuk menghitung jarak antara dua titik di permukaan bumi melalui garis lintang dan bujur (Choudhury dkk., 2017).

$$d = 2r \arcsin \sqrt{\text{haversine}(\phi_2 - \phi_1) + \cos \phi_1 \times \cos \phi_2 \times \text{haversine}(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (2)$$

Keterangan:

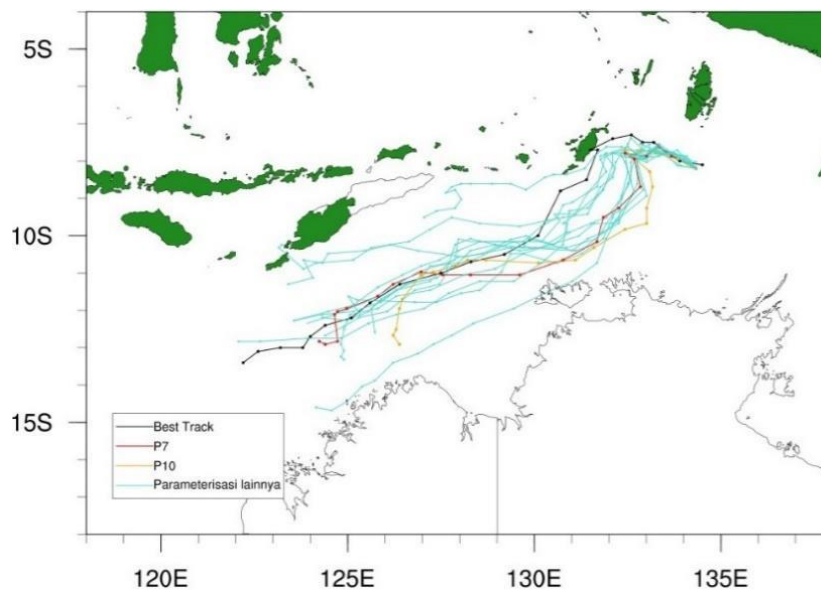
ϕ_1, ϕ_2 : lintang; λ_1, λ_2 : bujur; r : jari-jari bumi; d : jarak dua titik di permukaan bumi

Setiap eksperimen dilakukan perhitungan pada masing-masing nilai DPE dan MAE dengan presentase relatif terhadap nilai DPE/MAE terbesarnya. Skema uji parameterisasi terpilih didasarkan pada nilai rata-rata presentase terkecil dari setiap eksperimen. Verifikasi 6 eksperimen untuk menentukan asimilasi terbaik (tabel 3.3) juga menggunakan metode yang sama dengan uji parameterisasi. Pada prediksi lintasan siklon tropis menerapkan juga perhitungan nilai ATE dan CTE. Nilai ATE berguna untuk memahami apakah suatu sistem prediksi menggerakkan siklon tropis terlalu cepat atau lambat, sedangkan nilai CTE menunjukkan prakiraan siklon tropis menyimpang ke arah kanan atau kiri berdasarkan data best track.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan terlebih dahulu pengujian skema parameterisasi fisis model pada dua kasus siklon tropis sebelum dilakukannya asimilasi data radiance satelit. Pengujian skema parameterisasi pada 3 skema mikrofisis dan 5 skema konveksi yang dikombinasikan dalam 15 eksperimen. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Raju dkk. (2011) menyatakan bahwa skema konveksi mempengaruhi pada estimasi intensitas siklon tropis dan skema mikrofisis mempengaruhi pada estimasi lintasan siklon tropis. Hasil verifikasi dan penentuan skema uji parameterisasi fisis pada siklon tropis dijelaskan pada bagian 3.1 dan 3.2.

3.1. Hasil dan Penentuan Skema Parameterisasi Siklon Tropis Frances



Gambar 4 Lintasan siklon tropis Frances hasil 15 eksperimen skema parameterisasi dan data best track

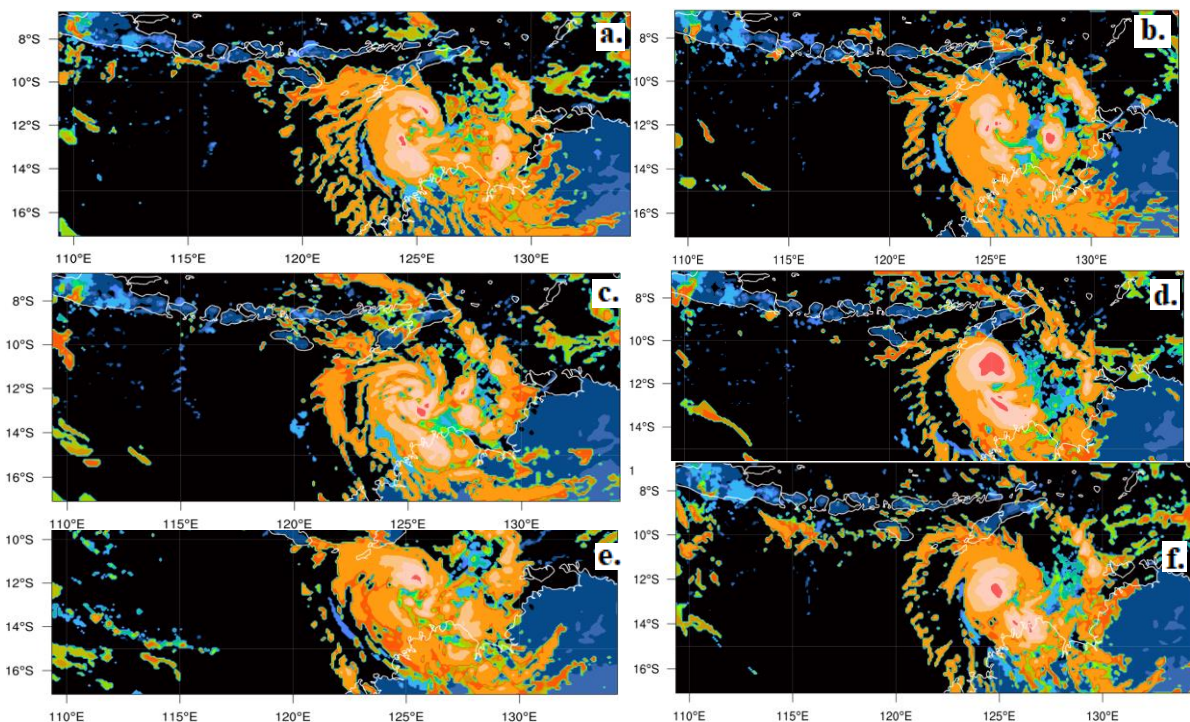
Pada kasus ini menerapkan ketentuan dan metode uji parameterisasi dilakukan pada skema mikrofisis dan skema konveksi kemudian dianalisis melalui beberapa parameter yaitu lintasan siklon tropis, tekanan udara permukaan laut minimum di pusat siklon tropis dan kecepatan angin permukaan maksimum disekitar pusat siklon tropis. Gambar 4 menampilkan grafik hasil uji parameterisasi luaran model terhadap parameter lintasan siklon tropis dari 15 skema eksperimen. Titik pusat siklon tropis diplot setiap interval 6 jam yang kemudian membentuk pola lintasan siklon tropis di setiap eksperimen dan menghasilkan pola yang bervariasi. Berdasarkan perbandingan data best track dengan hasil prediksi masing-masing lintasan siklon tropis, skema P7 (gambar 4 ditampilkan dengan garis lintasan warna merah) menunjukkan pola lintasan yang paling mendekati mulai dari awal hingga akhir prediksi. Penentuan eksperimen kombinasi skema parameterisasi terbaik pada kasus kedua menggunakan ketentuan yang sama dengan kasus pertama yaitu dengan meverifikasi setiap luaran eksperimen melalui perhitungan nilai MAE pada beberapa parameter diantaranya lintasan,

tekanan udara permukaan minimum laut dan kecepatan angin maksimum. Nilai MAE serta persentasenya dari setiap eksperimen ditampilkan pada tabel 4.2 dengan nilai MAE terkecil pada kolom background kuning dan cetak tebal. Selanjutnya nilai persentase dari setiap eksperimen dihitung rata-ratanya dan diperoleh nilai pada kolom 8. Penentuan eksperimen terbaik didasarkan pada nilai persentase rata-rata MAE terkecilnya sehingga diperoleh eksperimen P7 sebagai skema parameterisasi terbaik yaitu kombinasi antara skema mikrofisis Purdue-Lin dan skema konveksi Betts-Miller-Janjic.

Tabel 4 Rangkuman nilai MAE pada beberapa parameter untuk setiap eksperimen uji parameterisasi siklon tropis Frances

Eksperimen	Lintasan		SLP		Angin		% Rata-rata
	MAE	%	MAE	%	MAE	%	
P1	208.04	74.76	16.19	100	13.47	100	91.59
P2	209.73	75.37	11.44	70.7	11.19	83.04	76.37
P3	157.05	56.44	9.59	59.24	8.79	65.26	60.31
P4	190.09	68.31	12.65	78.15	10.91	80.95	75.80
P5	176.6	63.46	11.81	72.94	11.31	83.93	73.44
P6	170.3	61.2	11.57	71.47	9.74	72.25	68.31
P7	101.74	36.57	3.68	22.74	6.11	45.38	34.90
P8	169.72	60.99	8.85	54.67	7.56	56.14	57.27
P9	106.87	38.4	5.32	32.86	6.08	45.14	38.80
P10	205.95	74.01	6.89	42.57	5.97	44.30	53.63
P11	119.26	42.86	11.06	68.34	9.33	69.26	60.15
P12	152.93	54.96	9.32	57.58	8.07	59.89	57.48
P13	278.27	100	6.63	40.93	6.49	48.18	63.04
P14	168.47	60.54	8.9	54.97	8.57	63.63	59.71
P15	156.16	56.12	8.08	49.91	7.18	53.29	53.11
Maks	278.27	100	16.19	100	13.47	100	91.59
Min	101.76	36.57	3.68	22.74	5.97	44.30	34.90

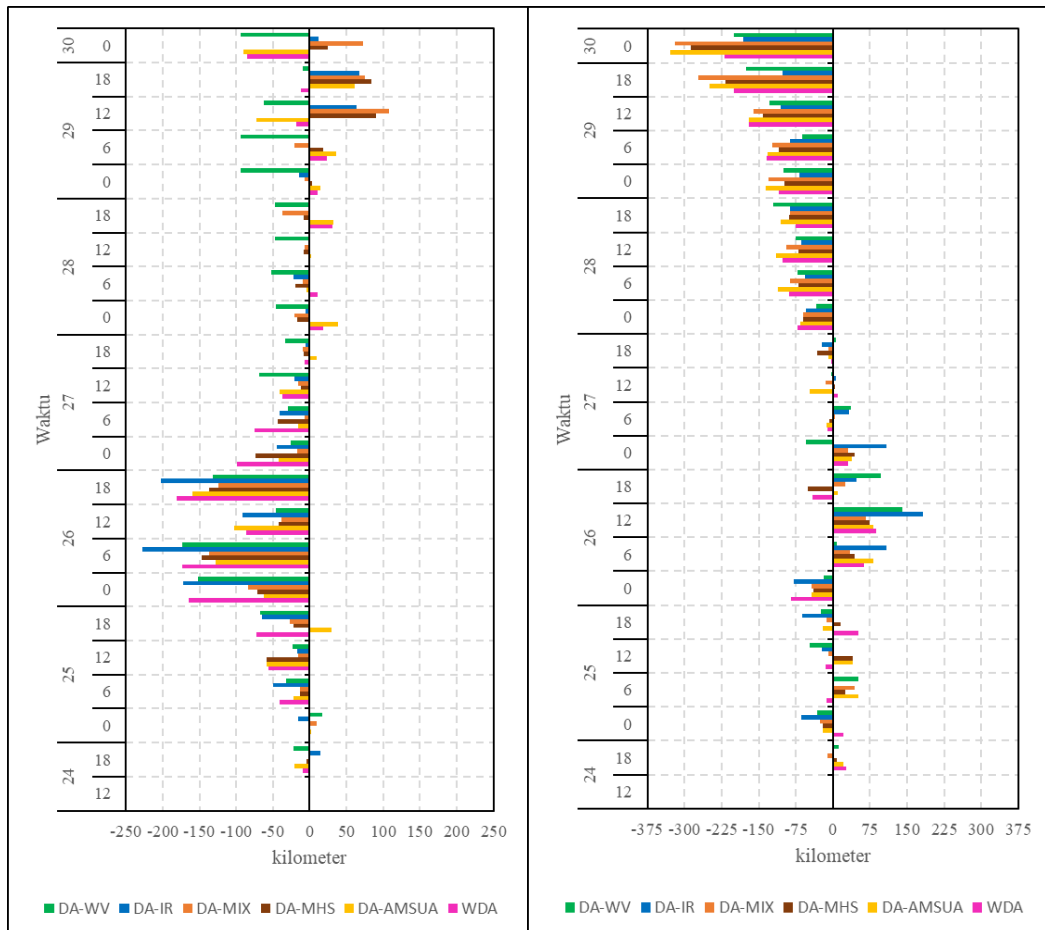
3.2. Perbandingan Model Asimilasi pada Prediksi Siklon Tropis Frances



Cloud Top Temperature (C)

-90 -76.2 -62.4 -48.6 -34.8 -21 -7.2 6.6 20.4

Gambar 5. Suhu puncak awan pada tanggal 28 April 2017 18.00 UTC, saat puncak intensitas siklon tropis Frances: (a) WDA, (b) DA-AMSUA: (c) DA-MHS, (d) DA-MIX (e) DA-IR, (f) DA-WV



Gambar 6. Time series nilai (a) CTE dan (b) ATE lintasan siklon tropis Frances interval 6 jam dari 6 eksperimen skema asimilasi

Tabel 5. Rangkuman nilai MAE pada beberapa parameter untuk setiap eksperimen asimilasi siklon tropis Frances

Eksperimen	Lintasan		SLP		Angin		% Rata-rata
	MAE	%	MAE	%	MAE	%	
WDA	101.74	99.64	3.68	51.64	6.11	90.52	80.60
DA-AMSUA	102.11	100.00	4.31	60.54	6.71	99.33	86.62
DA-MHS	87.31997791	84.63	4.96	69.56	5.49	81.25	78.48
DA-MIX	88.94	87.11	3.89	54.61	6.75	100	80.57
DA-IR	94.42	92.47	5.65	79.26	6.18	91.55	87.76
DA-WV	97.47	95.46	7.13	100	6.56	97.18	97.55
Maks	102.11	100	7.13	100	6.75	100	97.55
Min	87.32	84.63	3.68	51.64	5.49	81.25	78.48

Pada kasus kejadian siklon tropis Frances, pola lintasan yang dihasilkan oleh setiap eksperimen asimilasi menunjukkan pola yang hampir menyerupai dari data best track. Jika ditinjau dari nilai CTE, dari setiap eksperimen secara umum model memiliki kecenderungan penyimpangan ke arah kiri pada awal prediksi hingga pertengahan prediksi, kemudian penyimpangan pada akhir prediksi relatif seimbang baik ke arah kanan maupun ke arah kiri jika dibandingkan dengan data best track. Adapun nilai ATE dari setiap eksperimen, secara umum model menunjukkan kecenderungan pergerakan yang lebih lambat dari awal hingga akhir prediksi jika dibandingkan dengan data best track. Skema eksperimen DA-MHS terpilih sebagai skema asimilasi terbaik dalam menggambarkan pola lintasan siklon tropis dibandingkan dengan skema asimilasi lainnya. Pada parameter tekanan udara permukaan laut minimum di pusat siklon tropis, dari setiap eksperimen asimilasi jika dilihat dari pola spasial tekanan minimumnya menunjukkan nilai yang bersesuaian dengan data best track. Skema eksperimen tanpa asimilasi data (WDA) terpilih sebagai skema eksperimen terbaik dalam menggambarkan pola dan nilai tekanan siklon tropis jika dibandingkan dengan skema eksperimen lainnya. Sedangkan pada parameter kecepatan angin maksimum di dekat siklon tropis dari setiap eksperimen asimilasi jika dilihat dari pola spasial kecepatan angin maksimumnya menunjukkan nilai yang bersesuaian dengan data best track. Skema asimilasi DA-MHS menjadi skema asimilasi terbaik dalam menggambarkan nilai kecepatan angin maksimum dibandingkan dengan skema asimilasi lainnya. Berdasarkan analisis yang telah dipaparkan, dari semua skema eksperimen asimilasi dapat disimpulkan bahwa model WRF secara umum mampu untuk memprediksi kejadian siklon tropis. Hal ini dapat ditinjau dari beberapa parameter penting siklon tropis yaitu lintasan dan intensitas (tekanan udara permukaan laut minimum dan kecepatan angin maksimum) dari siklon tropis

Nilai MAE serta persentasenya dari setiap eksperimen ditampilkan pada tabel 5 dengan nilai MAE terkecil pada kolom background kuning dan cetak tebal. Selanjutnya nilai persentase dari setiap eksperimen dihitung rata-ratanya dan diperoleh nilai pada kolom 8. Berdasarkan data yang ditampilkan, pada parameter lintasan nilai rata-rata MAE terkecil di hasilkan oleh skema eksperimen DA-MHS dengan nilai 87,32 km. Nilai rata-rata MAE terkecil pada parameter tekanan udara minimum pada pusat siklon tropis justru dihasilkan oleh skema eksperimen tanpa asimilasi data (WDA) dengan nilai 3,68 mb. Selanjutnya, pada parameter kecepatan angin maksimum dekat pusat siklon tropis nilai rata-rata MAE terkecil dihasilkan oleh skema eksperimen DA-MHS dengan nilai 5,49 m/s. Penentuan eksperimen asimilasi terbaik didasarkan pada nilai persentase rata-rata MAE terkecilnya sehingga diperoleh eksperimen skema asimilasi DA-MHS dengan nilai rata-rata 78,48 % sebagai skema asimilasi terbaik yang mampu menurunkan presentase kesalahan prediksi sebesar 2%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Singh dkk. (2017) [18] yang menjelaskan bahwa performa prediksi yang paling baik dihasilkan oleh skema asimilasi MHS yang menunjukkan bahwa adanya perbaikan signifikan pada lintasan intensitas dan posisi awal siklon tropis.

4. KESIMPULAN

Kombinasi skema mikrofisis Purdue-Lin dan skema konveksi Betts-Miller-Janjic memberikan performa yang paling stabil dalam menggambarkan kasus siklon tropis Frances pada tanggal 24 – 30 April 2017. Eksperimen DA-MHS memberikan hasil yang lebih stabil dan menurunkan kesalahan prakiraan sekitar 2% dalam menggambarkan kasus siklon tropis Frances pada wilayah pembentukan di selatan Indonesia.

REFERENSI

- [1] J. L. McBride and G. J. Holland, "Tropical-cyclone forecasting: a worldwide summary of techniques and verification statistics.," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 68, no. 10, Oct. 1987, pp. 1230–1238, 1987, doi: 10.1175/1520-0477(1987)068<1230:tcfaws>2.0.co;2.
- [2] WMO, "Verification Methods for Tropical Cyclone Forecasts," WMO, 2013.
- [3] G. C. Schulze, "Atmospheric observations and numerical weather prediction," *S. Afr. J. Sci.*, vol. 103, no. 7–8, pp. 318–323, 2007.
- [4] J. G. Skamarock, W.C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. Y., Wang, W., dan Powers, "A Description of the Advanced Research WRF Version 3," *NCAR Tech. Note, Natl. Cent. Atmos. Res. Boulder, Color. USA*, 2008, doi:

-
- 10.1080/07377366.2001.10400427.
- [5] I. Gustari, “Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Hujan Sangat Lebat Terkait dengan Sistem Awan di Jabodetabek Menggunakan Asimilasi Data Radar C-Band,” Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014.
- [6] M. DeMaria, C. R. Sampson, J. A. Knaff, and K. D. Musgrave, “Is tropical cyclone intensity guidance improving?,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 95, no. 3, pp. 387–398, 2014, doi: 10.1175/BAMS-D-12-00240.1.
- [7] NHC, “National Hurricane Center Forecast Verification,” 2016.
- [8] T. Honda *et al.*, “Assimilating all-sky Himawari-8 satellite infrared radiances: A case of Typhoon Soudelor (2015),” *Mon. Weather Rev.*, vol. 146, no. 1, pp. 213–229, 2018, doi: 10.1175/MWR-D-16-0357.1.
- [9] P. Bauer, A. Thorpe, and G. Brunet, “The Quiet Revolution of Numerical Weather Prediction,” *Nature*, vol. 525, no. 7567, pp. 47–55, 2015, doi: 10.1038/nature14956.
- [10] D. J. Stensrud, *Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models*. Cambridge University Press, 2009.
- [11] P. V. S. Raju, J. Potty, and U. C. Mohanty, “Sensitivity of physical parameterizations on prediction of tropical cyclone Nargis over the Bay of Bengal using WRF model,” *Meteorol. Atmos. Phys.*, vol. 113, no. 3, pp. 125–137, 2011, doi: 10.1007/s00703-011-0151-y.
- [12] A. O’Neill, “Introduction to Data Assimilation,” 2003.
<https://earth.esa.int/documents/973910/979015/oneill1-2.pdf>
- [13] J. G. Powers *et al.*, “The weather research and forecasting model: Overview, system efforts, and future directions,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 98, no. 8, pp. 1717–1737, 2017, doi: 10.1175/BAMS-D-15-00308.1.
- [14] J. A. I. Paski, “Pengaruh Asimilasi Data Penginderaan Jauh (Radar Dan Satelit) Pada Prediksi Cuaca Numerik Untuk Estimasi Curah Hujan,” *J. Penginderaan Jauh dan Pengolah. Data Citra Digit.*, vol. 14, no. 2, pp. 79–88, 2017, [Online]. Available: <http://repositori.lapan.go.id/id/eprint/1002>
- [15] Z. Liu and D. Barker, “Radiance Assimilation in WRF-Var : Implementation and Initial Results,” *7th WRF users Work.*, vol. 2, pp. 19–22, 2006.
- [16] T. Islam, P. K. Srivastava, D. Kumar, G. P. Petropoulos, Q. Dai, and L. Zhuo, “Satellite radiance assimilation using a 3DVAR assimilation system for hurricane Sandy forecasts,” *Nat. Hazards*, vol. 82, no. 2, pp. 845–855, 2016, doi: 10.1007/s11069-016-2221-4.
- [17] J. Lu *et al.*, “Impact of Assimilating Himawari-8-Derived Layered Precipitable Water With Varying Cumulus and Microphysics Parameterization Schemes on the Simulation of Typhoon Hato,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 124, no. 6, pp. 3050–3071, 2019, doi: 10.1029/2018JD029364.
- [18] K. S. Singh, M. Mandal, and P. K. Bhaskaran, “Impact of radiance data assimilation on the prediction performance of cyclonic storm SIDR using WRF-3DVAR modelling system,” *Meteorol. Atmos. Phys.*, vol. 131, no. 1, pp. 11–28, 2019, doi: 10.1007/s00703-017-0552-7.